



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**EVALUACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE DESECHOS  
SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE COBÁN**

**Moisés Antonio Eskenasy Sierra**

Asesorado por la Inga. Sigrid Alitza Calderón de León

Guatemala, mayo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE  
DESECHOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE COBÁN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**MOISÉS ANTONIO ESKENASY SIERRA**

ASESORADO POR LA INGA. SIGRID ALITZA CALDERÓN DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, MAYO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADORA	Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **EVALUACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE COBÁN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 19 de noviembre de 2010.

  
**Moisés Antonio Eskenasy Sierra**



Guatemala, 29 de noviembre de 2011.  
REF.EPS.DOC.1518.11.11.

Ingeniera  
Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Inga. Sarmiento Zeceña.

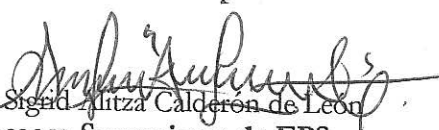
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Industrial, **Moisés Antonio Eskenasy Sierra**, Carné No. **200611227** procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“EVALUACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE COBÁN”**.

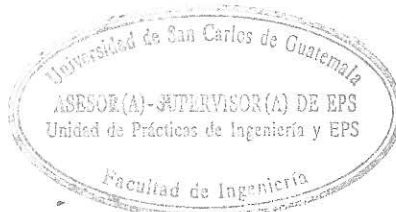
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

  
Inga Sigrid Lizta Calderón de León  
**Asesora-Supervisora de EPS**  
Área de Ingeniería Mecánica Industrial



SACdL/ra



Guatemala, 29 de noviembre de 2011.  
REF.EPS.D.1084.11.11

Ingeniero  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Presente


Estimado Ing. Urquizú Rodas.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **“EVALUACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE COBÁN”** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Moisés Antonio Eskenasy Sierra** quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Inga. Sigrid Alitza Calderón de León.

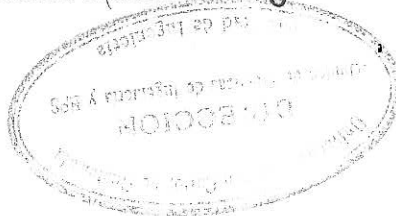
Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora-Supervisora de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
“Id y Enseñad a Todos”

  
Inga. Norma Ileana Sarmiento Zecena de Serrano  
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra





REF.REV.EMI.235.011

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **EVALUACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE COBÁN**, presentado por el estudiante universitario **Moisés Antonio Eskenasy Sierra**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, noviembre de 2011.

/mgp



REF.DIR.EMI.121.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de **EVALUACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE COBÁN**, presentado por el estudiante universitario **Moisés Antonio Eskenasy Sierra**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, abril de 2013.

/mgp





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE COBÁN**, presentado por el estudiante universitario: **Moisés Antonio Eskenasy Sierra**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, mayo de 2013



/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por iluminarme, darme sabiduría, paciencia y llenarme de bendiciones.
- Mis padres** Antonio Eskenasy y Brenda Sierra, por todas las enseñanzas, cariño y apoyo incondicional. Por su tiempo y esfuerzo para ayudarme a salir adelante siempre estaré agradecido.
- Mi familia** A mis hermanos, primos, tíos y abuelos por su cariño y apoyo.
- Mis amigos** Por los momentos compartidos, la amistad incondicional y el apoyo durante la carrera.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por abrir sus puertas y permitirme formar parte de tan prestigiosa casa de estudios.

**Facultad de Ingeniería**

Por la formación profesional y personal enfocada a conocimientos de la ingeniería.

**Inga. Sigrid Calderón**

Por su apoyo y paciencia durante la realización del presente trabajo. Le agradezco por los conocimientos compartidos.

**Municipalidad de Cobán,  
Alta Verapaz**

Por permitirme realizar este trabajo de graduación y aportar al desarrollo de sus pobladores, en especial al Lic. Juan de la Cruz y el Ing. Sergio Portillo, gracias por el apoyo recibido.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA INSTITUCIÓN	
1.1. Antecedentes del municipio	1
1.2. Misión	2
1.3. Visión	2
1.4. Estructura organizacional del área de desechos sólidos	2
1.5. Actividades	4
1.6. Ubicación de la institución	4
2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	
2.1. Análisis de la situación actual	5
2.1.1. Información general del municipio	5
2.1.2. Antecedentes	6
2.1.3. Fuentes de generación de desechos	8
2.1.4. Medios de almacenaje de desechos	10
2.1.5. Recolección y transporte de desechos	14
2.1.6. Disposición final de desechos	17
2.2. Reordenamiento de rutas de recolección de desechos	27
2.2.1. Base de datos de usuarios en la actualidad	28

2.2.2.	Tabulación y análisis de datos	32
2.2.3.	Sectorización del servicio	33
2.2.4.	Definición de costos del servicio	35
2.2.5.	Métodos de transporte	41
2.2.6.	Reordenamiento de rutas	53
2.3.	Estudio de mercado para clasificación previa de desechos	54
2.3.1.	Características del servicio a ofrecer	54
2.3.2.	Muestra poblacional	56
2.3.3.	Herramientas de investigación	58
2.3.4.	Demanda actual del servicio	58
2.3.5.	Oferta actual del servicio	59
2.3.6.	Proyección de demanda y oferta	59
2.3.7.	Precio del servicio	60
2.4.	Estudio financiero para la implementación del sistema de compactación de desechos	61
2.4.1.	Inversiones fijas y diferidas	64
2.4.2.	Capital de trabajo	68
2.4.3.	Costos de operación	70
2.4.4.	Costos de mantenimiento	71
2.4.5.	Ingresos a generar	73
2.4.6.	Financiamiento	75
2.4.7.	Análisis de beneficio-costo	76
2.4.8.	Nuevo flujo de operaciones en vertedero	89
2.4.9.	Definición de participantes	90
3.	FASE DE INVESTIGACIÓN	
3.1.	Plan de contingencias	95
3.1.1.	Descripción del problema	95

3.1.2.	Legislación ambiental vigente	96
3.1.3.	Antecedentes de incidencia ambiental en el municipio	98
3.1.4.	Análisis de riesgos	102
3.1.5.	Medios preventivos de mitigación de riesgos	106
3.1.6.	Medios correctivos de mitigación de riesgos	110
3.1.7.	Plan de acción en caso de emergencias	112
4.	FASE DE DOCENCIA	
4.1.	Capacitación al personal	119
4.1.1.	Propósito	119
4.1.2.	Elaboración	120
4.1.3.	Uso de base de datos digital	121
4.1.4.	Separación y clasificación de desechos	123
4.1.5.	Condiciones de uso de sistema de compactación	125
4.1.6.	Mantenimiento de maquinaria	127
4.2.	Programa de concientización a la población	129
	CONCLUSIONES	137
	RECOMENDACIONES	141
	BIBLIOGRAFÍA	143
	APÉNDICES	145
	ANEXOS	155



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Organigrama del Departamento de Desechos Sólidos	3
2.	Bosquejo de ubicación de la Municipalidad de Cobán	4
3.	Depósito de basura de malla metálica	11
4.	Depósito de basura de malla metálica en instituciones públicas	12
5.	Depósito de basura empleada en la actualidad	12
6.	Recolección de desechos en el sector urbano	13
7.	Flujo generalizado para la construcción de un relleno sanitario	19
8.	Acceso al botadero municipal (sitio de descarga)	20
9.	Terreno del botadero municipal saturado	21
10.	Terreno del botadero municipal libre	21
11.	Desechos de plástico duro	22
12.	Desechos de envases plásticos desechables PET	23
13.	Establecimiento de problemática por lluvia de ideas	24
14.	Diagnóstico por diagrama de causa y efecto	25
15.	Base de datos de usuarios del servicio de recolección	28
16.	Orden personalizado	29
17.	Ordenamiento por zona	30
18.	Formato final de sectorización	30
19.	Base de datos de usuarios	31
20.	Número de usuarios por zona	32
21.	Usuarios con que cuenta cada empresa por zona	34
22.	Mapa del casco urbano con distancias establecidas	36
23.	Distancias entre empresas y zonas en mapa (cm)	37



24.	Distancias entre empresas y zonas bajo factor de conversión (km)	37
25.	Producción diaria en toneladas de desechos por sector	38
26.	Matriz de transporte a utilizar	42
27.	Matriz de transporte (método esquina noroeste)	43
28.	Matriz de transporte (método de costo mínimo)	44
29.	Matriz de transporte (método Vogel o penalización)	45
30.	Ejemplo de circuito para método de banquillo	47
31.	Matriz de transporte (costo mínimo mejorado)	52
32.	Modelo de flujo de caja	77
33.	Flujo de efectivo para opción 1	83
34.	Flujo de efectivo para opción 2	84
35.	Flujo de efectivo para opción 3	85
36.	Flujo de efectivo para opción 3 (recomendada) incluyendo depreciaciones de maquinaria	87
37.	Diagrama de bloques de actividades de comercialización de desechos	89
38.	Hoja de control de personal, sector y herramientas	115
39.	Hoja de control de desastres	118
40.	Programa de localización de empresas	121
41.	Forma para nuevos usuarios	122
42.	Base de datos de usuarios del servicio de recolección de desechos	123
43.	Diagrama de bloques de actividades de comercialización de desechos	124
44.	Diagrama de bloques del manejo general del sistema de compactación	125
45.	Modelo de trifoliar para campaña de concientización	135

## TABLAS

I.	Fuentes de generación de desechos	9
II.	Dirección de empresas recolectoras	14
III.	Flujo de usuarios del servicio de recolección	15
IV.	Costo de transporte por empresa en quetzales por tonelada recolectada (diaria)	40
V.	Reordenamiento de rutas de recolección	53
VI.	Color de medios de almacenaje dependiendo del tipo de desecho	55
VII.	Proveedores de bolsas	56
VIII.	Empresas proveedoras de mecanismos de compactación	62
IX.	Empresas recicladoras con las que se establecerá contacto	63
X.	Conformación de capital de trabajo	68
XI.	Costos de operación	70
XII.	Precios establecidos por empresa	74
XIII.	Opciones de inversión	76
XIV.	Tabla resumen para flujo de caja	78
XV.	Tablas de depreciaciones SDD	79
XVI.	Tasas de interés (tablas de relaciones para flujos de efectivo)	82
XVII.	Tablas de análisis de sensibilidad	86
XVIII.	Empresas recicladoras participantes	91
XIX.	Empresa proveedora de mecanismos de compactación recomendada	93
XX.	Cantidad y calidad de características biológicas presentes en el río Cahabón	100
XXI.	Cantidad y calidad de características químicas presentes en el río Cahabón	101
XXII.	Cantidad de recursos a emplear	109

XXIII.	Costo total de propuesta	109
XXIV.	Tabla comparativa entre medios de eliminación y de prevención de desechos	130

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>(P/A, i, n)</b>	Presente dado anualidad a una tasa de interés $i$ en $n$ años.
<b>(P/F, i, n)</b>	Presente dado futuro a una tasa de interés $i$ en $n$ años.



## GLOSARIO

<b>Análisis de beneficio-costo</b>	Es una lógica o razonamiento basado en el principio de obtener los mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido, tanto por eficiencia técnica como por motivación humana.
<b>Análisis de sensibilidad</b>	Herramienta financiera que permite visualizar de forma inmediata las ventajas y desventajas económicas de un proyecto, con el propósito de obtener el grado de riesgo que representa esa inversión.
<b>Biodegradable</b>	Es el producto o sustancia que puede descomponerse en sus elementos químicos que los conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales.
<b>Calidad</b>	Es un conjunto de propiedades inherentes a un objeto que le confieren capacidad para satisfacer necesidades implícitas o explícitas.
<b>Capital</b>	Es dinero que se independiza y se vuelve un sujeto autónomo.

<b>Censo</b>	Es un recuento de población que se realiza periódicamente.
<b>Centro de acopio</b>	Lugares de almacenamiento, clasificación y embalaje de desechos aprovechables, en condiciones higiénicas que no pongan en peligro la salud humana o contaminen el ambiente.
<b>Comercialización</b>	Actividad socioeconómica consistente en el intercambio de algunos materiales que sean libres en el mercado compra y venta de bienes y servicios, sea para su uso, para su venta o su transformación.
<b>Costo</b>	Monto económico que representa la fabricación de cualquier componente, producto o la prestación de cualquier servicio.
<b>Demanda</b>	Cantidad y calidad de bienes y servicios que pueden ser adquiridos en los diferentes precios del mercado por un consumidor (demanda individual) o por el conjunto de consumidores (demanda total o de mercado), en un momento determinado.
<b>Depreciación</b>	Es una reducción anual del valor de una propiedad, planta o equipo. Esta depreciación puede venir motivada por tres aspectos; el uso, el paso del tiempo y la obsolescencia.

<b>Desechos inorgánicos</b>	Los desechos inorgánicos son materiales que no son biodegradables o de biodegradación lenta y por consiguiente, deben clasificarse y reciclarse para volver a producir materiales útiles.
<b>Desechos orgánicos</b>	Los desechos orgánicos, es decir, residuos de comida, hojas, vegetales y todos los materiales biodegradables, mediante un sencillo proceso, se utilizan para mejorar la tierra de producción alimentaria.
<b>Disposición final de desechos</b>	Tiene como objetivo fundamental la transformación o tratamiento de la basura, aplicando un proceso químico, físico o biológico o cualquier tipo de combinación de tales procesos.
<b>Estudio financiero</b>	Ordena y sistematiza la información de carácter monetario provista en un proyecto determinado. De igual manera, elabora los cuadros analíticos y antecedentes adicionales para la evaluación del proyecto, evaluación que establece la rentabilidad del mismo.
<b>Financiamiento</b>	Conjunto de recursos monetarios financieros para llevar a cabo una actividad económica, con la característica de que generalmente se trata de sumas tomadas a préstamo que complementan los recursos propios.



<b>Gasto</b>	Es una salida de dinero que una persona o empresa debe pagar para un artículo o por un servicio.
<b>Gestión de desechos sólidos</b>	Conjunto de medidas a nivel familiar, institucional o industrial para evitar, almacenar, recolectar y aprovechar desechos sólidos con el objetivo de reducir al máximo la generación de desechos, maximizar su aprovechamiento, reducir los costos de manejo, minimizar la cantidad de basura así como evitar molestias y daños al bienestar de las personas o del ambiente.
<b>Ingreso</b>	Hace referencia a las cantidades que recibe una empresa por la venta de sus productos o servicios.
<b>Intermediario</b>	Se aplica a la persona que media entre dos o más partes de una transacción comercial.
<b>Inversión</b>	Es el acto mediante el cual se adquieren ciertos bienes con el ánimo de obtener ingresos o rentas a lo largo del tiempo.
<b>Mantenimiento</b>	Acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida.

<b>Método de transporte</b>	Para programación lineal, busca determinar un plan de transporte de una mercancía de varias fuentes a varios destinos.
<b>Muestreo</b>	Es la actividad por la cual se toman ciertas muestras de una población de elementos de los cuales se van a tomar ciertos criterios de decisión, el muestreo es importante porque a través de él se pueden hacer análisis de situaciones de una empresa o de algún campo de la sociedad.
<b>Oferta</b>	Cantidad de bienes o servicios que los productores están dispuestos a vender.
<b>Precio</b>	Valor monetario asignado a un bien o servicio.
<b>Reciclaje</b>	Es un proceso que tiene por objeto la recuperación, de forma directa o indirecta, de los componentes que contienen los residuos urbanos.
<b>Recolección y transporte de desechos</b>	Servicio de transporte de desechos sólidos entre el almacenamiento primario o intermedio y plantas de compostaje o centros de acopio o centros de acopio o industrias de aprovechamiento o depósitos técnicos.
<b>Relleno sanitario</b>	Técnica de eliminación de residuos sólidos en el suelo que no causa molestias a la comunidad ni riesgos para la salud.

<b>Rentabilidad</b>	Se refiere a obtener más ganancias que pérdidas en un campo determinado.
<b>Residuo sólido</b>	Cualquier objeto o material en estado sólido o de contextura pastosa exceptuando las excretas de animales o personas y lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales cuyo propietario no lo desee poseer independientemente si este posea o no-valor de uso.
<b>Valor de salvamento</b>	Aquella parte del costo de un activo que se espera recuperar mediante venta o permuta del bien al fin de su vida útil.

## RESUMEN

Para realizar mejoras en el servicio de recolección de desechos domiciliarios se realizaron propuestas de rutas de recolección tomando en cuenta sectores geográficos, costos por medio de métodos de transporte y niveles de cobertura por empresa, de las cuales se estableció la última como la más adecuada debido a que permite controlar la calidad del servicio prestado por las empresas, mayor orden en sus actividades y no las afecta con disminuciones considerables de usuarios.

Para realizar el reordenamiento de rutas se llevó a cabo una base de datos de usuarios del servicio, la cual permitió estimar la cobertura actual del servicio en un 22% de la población ubicada en el casco urbano. Ante la baja cobertura obtenida, se realizó un censo de usuarios, obteniendo que únicamente el 23% de los censados se encuentra reportado como usuario por las empresas recolectoras.

En el caso de la clasificación de desechos, se llevó a cabo un estudio de mercado para la clasificación de desechos previa su recolección, el cual obtuvo buena aceptación por parte de la población, pero aceptación negativa ante el incremento del costo del servicio, incremento necesario para proveer de medios de almacenaje adecuados a la población. Por lo anterior, se genera un plan de clasificación para guajeros del botadero municipal, basado en requerimientos de empresas recicladoras contactadas y por medio de las cuales se duplicarían los ingresos obtenidos por venta de plásticos en la actualidad.

Se generó un programa de concientización para la población, promoviendo la recogida selectiva de desechos dentro de sus hogares y publicando un reglamento para usuarios del servicio de recolección.

Finalmente, se estableció la rentabilidad del uso de compactadores de desechos por un análisis de beneficio-costos cuyo resultado fue de 1,82.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar el sistema de gestión de desechos de la ciudad de Cobán para posteriormente generar propuestas de acondicionamiento del mismo, contribuyendo al ordenamiento y la tecnificación en sus actividades.

### **Específicos**

1. Establecer las causas por las cuales el sistema de gestión de desechos presta un servicio inadecuado en la actualidad.
2. Determinar la cobertura del servicio de recolección actual y si la misma es aceptable con respecto a los medios con los que se cuenta para proveer el servicio y la capacidad de consumo de la población.
3. Generar una base de datos de los usuarios del servicio de recolección de desechos por medio de la cual se organizará y se tendrá control de las actividades del mismo.
4. Determinar el nivel de aceptación de parte de la población ante la implementación de una clasificación de desechos previa a su disposición final.

5. Establecer el costo en que incurrirían las empresas de recolección para llevar a cabo una clasificación de desechos previa a su disposición final y por lo tanto, el precio del servicio.
6. Establecer el costo de la instalación de maquinaria de compactación de desechos, así como, los medios por los cuales se recuperaría la inversión.
7. Determinar la rentabilidad del uso de maquinaria de compactación de desechos en el botadero municipal.
8. Elaborar un plan de contingencia con la finalidad de mitigar riesgos de contaminación de aguas del río Cahabón con material tóxico procedente del vertedero municipal.
9. Elaborar material de autoaprendizaje para capacitar al personal involucrado en la recolección, clasificación y disposición final de desechos sólidos; con el propósito de asegurar se le dé seguimiento a los métodos implementados para mejorar el sistema de gestión de desechos actuales.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se ha visto afectada la población del municipio de Cobán, Alta Verapaz por diversos problemas, entre los cuales figuran el incremento de basureros clandestinos, desorden y aumento de contaminación urbana; problemas que aunados al constante incremento en el índice de crecimiento poblacional, creciente urbanización y desarrollo comercial del municipio, exigen cambios y nuevos métodos en la gestión de desechos sólidos como medio para contrarrestar el desgaste del paisaje y salud poblacional.

En el primer capítulo del presente trabajo de graduación se expone información general del municipio de Cobán, Alta Verapaz y de su municipalidad como institución.

En el segundo capítulo se presenta la fase de servicio técnico-profesional, en la cual se realiza un análisis de la situación actual para establecer las necesidades existentes en la gestión de desechos de la Municipalidad de Cobán, así como, los medios por los cuales satisficieren dichas necesidades. En esta misma fase se incluyen las propuestas e implementaciones para el mejoramiento de la gestión de desechos en la ciudad de Cobán, tomando en cuenta la recolección de desechos, su clasificación y disposición final.



Las propuestas e implementaciones realizadas incluyen un reordenamiento de rutas de recolección de desechos, un plan de clasificación de desechos derivado de un estudio de mercado dirigido a la promoción de clasificación domiciliar de desechos, así como, la implementación de maquinaria de compactación de desechos para su disposición final justificada por medio de un estudio financiero.

En el tercer capítulo se presenta la fase de investigación, para la cual se elabora una planificación de contingencias para prevenir la contaminación del río Cahabón con desechos del botadero municipal.

Finalmente, se presenta la fase de docencia, en la cual se recopilan los materiales elaborados con el fin de capacitar al personal de desechos sólidos de la Municipalidad de Cobán en el empleo de las mejoras propuestas o implementadas a la gestión de desechos.





# **1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA INSTITUCIÓN**

## **1.1. Antecedentes del municipio**

Cobán es un municipio y la cabecera del departamento de Alta Verapaz, localizado en la República de Guatemala.

La ciudad de Cobán está ubicada a 216 kilómetros de la ciudad de Guatemala. Limita al norte con el departamento de Petén; al sur con los departamentos de Zacapa y Baja Verapaz; al este con el departamento de Izabal; y al oeste con el departamento del Quiché.

La ciudad fue fundada por frailes dominicos en 1543. Años después fue declarada Ciudad Imperial por Carlos V, en el 2000 la población estimada era de 70 000. El municipio de Cobán se encuentra localizado en la parte central del país, que es una región en la que crece café estrictamente duro y es el mayor productor y exportador de cardamomo del mundo.

Todos los años se corre la Media Maratón de Cobán desde 1974 en el tercer fin de semana del mes de mayo, en dicho evento llegan más de 2 500 corredores de todo el mundo a participar. El evento es reconocido por su dificultad y una organización de clase mundial, es el evento deportivo más grande de Guatemala y una de las carreras más importantes de Latinoamérica.

Los alemanes se organizaron en una comunidad muy unida y solidaria en Cobán. Hacían sus actividades sociales en el Club Alemán o Deutsche Verein, en Cobán, fundado en 1888 que actualmente, es la Sociedad de Beneficencia. En sus inicios, este grupo tenía sólo socios germanos.

## **1.2. Misión**

“Alcanzar la sostenibilidad en la calidad de vida de la población, constituyendo un municipio modelo de crecimiento equitativo económico y social”<sup>1</sup>.

## **1.3. Visión**

“Modelo de ciudad cultural, con población accediendo a servicios de salud y educación; modelo de desarrollo productivo sostenible, mejorando la producción y administración de recursos naturales, el turismo, las agroindustrias y canales de comercialización exitosos y modelo de inversión socioeconómica, con infraestructura de soporte para el desarrollo económico y social de la población altaverápacense”<sup>1</sup>.

## **1.4. Estructura organizacional del área de desechos sólidos**

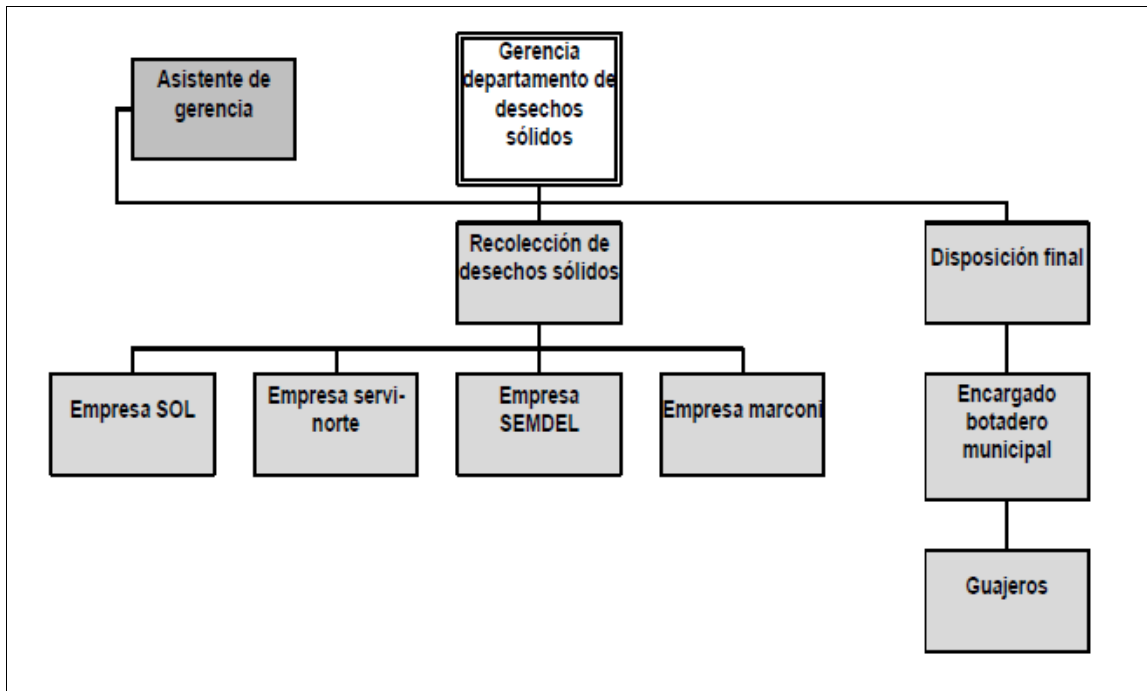
En la actualidad, se cuenta únicamente con un encargado de desechos sólidos, que a su vez, gestiona los servicios de recolección y de disposición final en el botadero municipal.

---

<sup>1</sup> Municipalidad de Cobán. [www.coban.com.gt](http://www.coban.com.gt). Consulta: septiembre de 2010.

A continuación se presenta el organigrama elaborado para el Departamento de Desechos Sólidos de la Municipalidad de Cobán.

Figura 1. **Organigrama del Departamento de Desechos Sólidos**



Fuente: elaboración propia.

Con base al organigrama elaborado se puede establecer que el Departamento de Desechos Sólidos se maneja como organización lineal, puesto que las actividades a realizar en las aéreas de recolección y disposición final de desechos dependen de las decisiones de la gerencia, se respeta la jerarquía presentada en el organigrama y la comunicación entre los involucrados se da únicamente entre los relacionados por el organigrama (líneas formales de comunicación).

De igual manera, obsérvese que el servicio de recolección de desechos se ha concesionado a cuatro empresas privadas de recolección.

## 1.5. Actividades

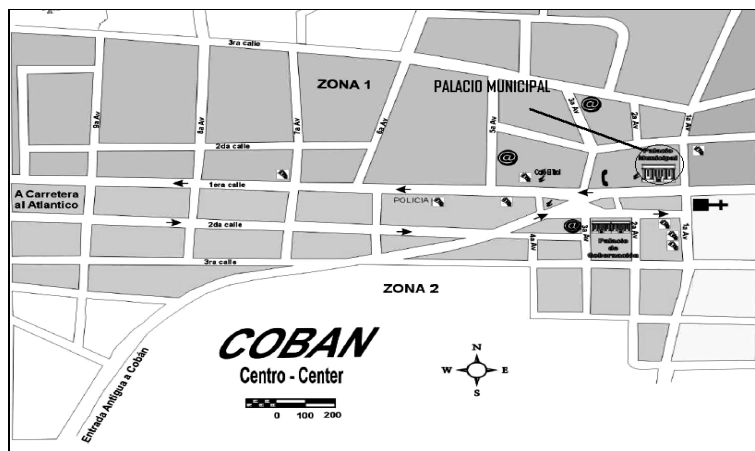
La Municipalidad de Cobán se desempeña realizando obras y proyectos que contribuyan al desarrollo económico y social del municipio. De igual manera, gestiona recursos naturales de la región, así como, el turismo y las industrias de productos agropecuarios. También se ocupa de servicios de agua potable, alcantarillados y desechos sólidos del municipio, así como, el tren de aseo del sector urbano.

## 1.6. Ubicación de la institución

Dirección: 1a. calle 1-11, zona 1, Cobán, Alta Verapaz

Teléfonos: 7952-1305 y 7952-1305

Figura 2. Bosquejo de ubicación de la Municipalidad de Cobán



Fuente: [www.Coban.com.gt](http://www.Coban.com.gt). Consulta: septiembre de 2010.

## **2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

### **2.1. Análisis de la situación actual**

El problema de desechos sólidos ha sido un problema común en diferentes administraciones de la Municipalidad de Cobán, desde la recolección hasta la disposición final de desechos, viéndose reflejada la problemática descrita en la inconformidad de los usuarios y problemas de saturación en el botadero. Es entonces necesario realizar un análisis de la situación actual, por medio del cual se analicen las deficiencias y las causas de las mismas en el Departamento de Desechos Sólidos en la Municipalidad de Cobán.

#### **2.1.1. Información general del municipio**

El municipio de Cobán, Alta Verapaz cuenta con una población de 182 245 personas, de las cuales 56 922 se encuentran en el área urbana. La ubicación de la cabecera municipal se encuentra a 15°27'23" de latitud y 90° 22'37" de longitud, a una altura de 1 317 metros sobre el nivel del mar. Dista 214 kilómetros al norte de la ciudad capital de Guatemala, desde la cual se llega por las rutas CA-9 carretera al Atlántico y CA-14 las Verapaces.

El municipio de Cobán cuenta con una extensión territorial de 2 132 kilómetros cuadrados y limita al norte con Ixcán, municipio de Quiché; río Chixoy o Negro de por medio, al sur con Tamahú, Tactic, Santa Cruz Verapaz y San Cristóbal Verapaz, al oriente con Chisec, San Pedro Carchá y San Juan Chamelco y al occidente con Uspantán, municipio de Quiché; río Chixoy o Negro de por medio.



El municipio se encuentra en una zona subtropical húmeda. En la parte baja hacia el norte del municipio, el clima es muy húmedo y cálido, con alturas entre los 150 a 700 metros sobre el nivel del mar; en la parte alta hacia el sur, el clima predominante es muy húmedo de templado a frío, con alturas entre los 700 a 1 900 metros sobre el nivel del mar. La precipitación promedio anual es de más de 3 000 milímetros y la humedad relativa mayor del 80%. La parte sur del municipio se caracteriza por tener topografía accidentada y la parte norte por sus valles planos a ondulados y montañas escarpadas.

Los idiomas predominantes en la región son el español y el q'eqchi'.

### **2.1.2. Antecedentes**

Ante los problemas de recolección y gestión de desechos experimentados en la actualidad por la Municipalidad de Cobán y por lo tanto, por la población en general, se realiza un análisis de la situación actual por medio del cual se identifican las deficiencias del servicio prestado por la municipalidad y las causas de las mismas.

A continuación se presentan los antecedentes más importantes con respecto al manejo de desechos en el municipio de Cobán, Alta Verapaz.

- Existen en la actualidad normativos y reglamentos para la gestión y el manejo de desechos, pero los mismos no se han hecho del conocimiento de la población en general.
- Debido al desconocimiento que existe de parte de la población con respecto al manejo de desechos se ha dado mal uso de diversos medios de almacenaje de desechos.

- Se han cambiado al menos en tres ocasiones los basureros al cabo de dos gestiones municipales por el mal uso que se hace de ellos, en algunos casos no se volvieron a ubicar los basureros en los sectores afectados.
- No existen en la actualidad controles sobre las actividades de selección y clasificación de desechos en el botadero municipal.
- No se manejan en la actualidad herramientas para llevar control y seguimiento de las actividades de las empresas recolectoras de desechos, lo mismo provoca incapacidad de acción de parte del Departamento de Desechos Sólidos ante frecuentes quejas de usuarios del servicio de recolección.
- Las empresas recolectoras laboran en los mismos sectores de manera desordenada, es decir, no existen en la actualidad rutas de recolección de desechos.
- No se cuenta con maquinaria de compactación o incineración de desechos en el botadero municipal para la disposición final de los desechos sólidos.
- Se han realizado estudios de la empresa consultora ECONSULT para tecnificar las actividades en materia de disposición final de desechos. Sin embargo, las propuestas han sido desestimadas ante el elevado costo de las mismas.

Tomando en cuenta los antecedentes presentados se lleva a cabo el análisis de la situación actual teniendo especial consideración en los elementos principales de la gestión de desechos, los cuales son:

- Las fuentes de generación de desechos
- Los medios de almacenaje de desechos
- La recolección y transporte de desechos
- La disposición final

### **2.1.3. Fuentes de generación de desechos**

Las fuentes de generación de desechos las conforman las personas u organizaciones que producen desechos sólidos de sus actividades cotidianas. Las fuentes de generación de desechos identificadas en el municipio son organizaciones, comercios, instituciones religiosas, instituciones de servicios y hogares particulares; los cuales son todos atendidos por el servicio de recolección de desechos con la excepción de hospitales y mercados los cuales son atendidos por camiones equipados con mecanismo de volteo, propiedad de la Municipalidad de Cobán.

La generación estimada por habitante de la ciudad de Cobán es de 0,51 kilogramos al día. De esta generación (se crean 900 toneladas al mes en el municipio) se estima que sólo el 18% se recolecta<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Empresa Consultora en Ingeniería Ambiental y Sanitaria –ECONSULT-. Manejo Integral de los Residuos Sólidos Municipales de la Ciudad de Cobán, Alta Verapaz. 2007.

De los desechos reciclables que se recolectan, se estima que el 70% es de consistencia plástica, misma que llega a acumular demasiado volumen, siendo un problema para los guajeros, puesto que obtienen ingresos por el peso de plástico que logran transportar y no por su volumen.

A continuación se presenta la generación de desechos con respecto al tipo de actividad por la cual se genera según el censo del INE en el 2002.

Tabla I. **Fuentes de generación de desechos**

<b>Fuente de generación de desechos</b>	<b>Población</b>
Comercio por mayor y menor, restaurantes y hoteles	<b>4 820</b>
Servicios comunales, sociales y personales	<b>2 473</b>
Industria manufacturera textil y alimenticia	<b>1 640</b>
Agricultura, caza, silvicultura y pesca	<b>1 571</b>
Administración pública y defensa	<b>1 492</b>
Construcción	<b>1 315</b>
Enseñanza	<b>1 292</b>
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	<b>1 017</b>
Establecimientos financieros y de servicios	<b>796</b>
Electricidad, gas y agua	<b>285</b>
Rama de actividad no especificada	<b>218</b>
Organizaciones extraterritoriales	<b>39</b>
Explotación de minas y canteras	<b>30</b>

Fuente: Instituto Nacional de Estadística de la República de Guatemala –INE-. XI Censo de Población y VI de Habitación República de Guatemala. 2002.

En la tabla anterior se puede observar la cantidad de población generadora de desechos con respecto a la actividad a la que se dedican. Nótese que las actividades de comercio, restaurantes y hoteles representan la mayor cantidad de generadores en el ramo de los productos y servicios (16 988 habitantes), los mismos representan únicamente el 29,84% de la población urbana. De esta manera se hace evidente que gran porcentaje de los desechos sólidos generados se originan de actividades domiciliarias, desechos de los cuales únicamente se recolectan los generados en hogares con servicio de recolección de desechos (muchas familias no cuentan con servicio de recolección y prefieren emplear botaderos clandestinos o quema de desechos en los hogares).

#### **2.1.4. Medios de almacenaje de desechos**

En la actualidad, los medios de almacenaje de desechos que se emplean en la ciudad de Cobán son contenedores de basura (sin clasificación de materiales reciclables, reutilizables y desechables) y bolsas de basura empleadas en los hogares (sin distinción de materiales reciclables, reutilizables y desechables).

A pesar de los medios mencionados, los mismos no se emplean por toda la ciudad, esto se debe a la falta de conciencia de la población al destruir y darle uso equivocado a los mismos. Uno de los principales problemas que se generaban al emplear baldes contenedores de basura por toda la ciudad era que las personas que no contaban con servicio de recolección de basura, tendían a acumular sus desechos en bolsas plásticas y las almacenaban en los baldes contenedores, más comúnmente en los ubicados en el parque central de la ciudad.

Esto provocaba la acumulación de desechos en el parque, lo que provocaba mal aspecto y olores fétidos sin tomar en cuenta el riesgo a la salud de las personas que pasaban por el lugar.

Los basureros empleados por la Municipalidad de Cobán han variado desde basureros de color verde de malla metálica (figura 3) que en su mayoría fueron removidos a causa de uso incorrecto de parte de la población.

Figura 3. **Depósito de basura de malla metálica**



Fuente: ciudad de Cobán.

Así mismo, se emplean depósitos de malla metálica en instituciones de servicio, principalmente en la Municipalidad de Cobán, cambiando el color verde por azul (figura 4).

Figura 4. **Depósito de basura de malla metálica en instituciones públicas**



Fuente: Municipalidad de Cobán.

En la actualidad, el basurero que se emplea con más frecuencia es el de color naranja (figura 5) que concuerda con el color de las gabachas de los recolectores de basura y camiones recolectores de la administración actual.

Figura 5. **Depósito de basura empleada en la actualidad**



Fuente: ciudad de Cobán.

Una de las ventajas que se pueden observar del depósito de basura empleado en la actualidad, es que, como se observa en la figura 5, fue ideado con la intención de darle la opción al recolector de volcarlo y de emplear un recogedor de basura para recolectar los desechos que contenga, evitando el contacto directo con los desechos.

El recolector de desechos en el sector urbano (figura 6) cuenta comúnmente con los siguientes utensilios:

- Gabacha
- Guante para mano hábil
- Carreta o depósito móvil
- Recogedor de basura
- Escoba

Figura 6. **Recolección de desechos en el sector urbano**



Fuente: ciudad de Cobán.



### 2.1.5. Recolección y transporte de desechos

En la actualidad, el servicio de recolección domiciliar de desechos se ha concesionado a cuatro empresas privadas de recolección las cuales son:

- Empresa Marconi
- Empresa SOL
- Empresa Servi-Norte
- Empresa SEMDEL

Los datos generales de las empresas son los siguientes:

Tabla II. **Dirección de empresas recolectoras**

<b>Empresa</b>	<b>Dirección</b>
<b>Servi-Norte</b>	1ª. Avenida 6ª. Calle lote 1-38 Residenciales Cacic Z. 5
<b>SEMDEL</b>	3a. Calle 1-46 Z.1
<b>SOL</b>	Entrada a Colonia San Jorge
<b>Marconi</b>	3a. Calle 7-48 Z. 3

Fuente: elaboración propia.

Con base al registro municipal de usuarios del servicio de recolección la empresa Marconi cuenta con 1 205 usuarios, SOL con 560 usuarios, Servi-Norte con 316 usuarios y SEMDEL con 196 usuarios. De esta manera, se totalizan 2 277 usuarios cubriendo únicamente el sector urbano de la población.

Tabla III. **Flujo de usuarios del servicio de recolección**

<b>Empresa</b>	<b>Usuarios a 1997</b>	<b>Usuarios al 2002</b>	<b>Usuarios al 2007</b>
<b>Marconi</b>	1 094	1 700	<b>1 200</b>
<b>SOL</b>	463	900	<b>560</b>
<b>Estrella Azul</b>	250	No hay datos	<b>No hay datos</b>
<b>SEMDEL</b>	No hay datos	120	<b>310</b>
<b>Servi-Norte</b>	No existía	No existía	<b>130</b>
<b>Total</b>	<b>1 807</b>	<b>2 720</b>	<b>2 200</b>

Fuente: Empresa Consultora en Ingeniería Ambiental y Sanitaria –ECONSULT-.Manejo Integral de los Residuos Sólidos Municipales de la Ciudad de Cobán, Alta Verapaz. 2007.

En la tabla anterior se puede observar con respecto al 2007 que la cantidad de usuarios se mantiene estable en comparación a 1997 pero es menor a la del 2002, situación preocupante pues significa que la cobertura del servicio ha disminuido con el paso de los años.

- Precio del servicio

El precio del servicio al consumidor es de Q30,00 mensuales, de lo cual, la Municipalidad de Cobán obtiene Q1,50 por usuario de cada empresa recolectora.

- Características del servicio

Las características de los medios empleados para la recolección de desechos son las siguientes:

- Se emplean camiones convencionales para recolectar los desechos.
- Cuentan con una capacidad de 10 toneladas, pero debido al volumen de desechos que se acumula, la capacidad se limita a 4 toneladas.
- No poseen mecanismos de compactación ni volteo.
- El personal que requiere es de 4 trabajadores que recolectan la basura en los domicilios y la introducen al vehículo y un piloto.
- Las empresas recolectoras cuentan con un camión cada una con la excepción de SOL que cuenta con dos.

Actualmente, las operaciones de recolección de desechos sólidos se llevan a cabo de la siguiente manera:

- Camiones realizan la recolección sin realizar una clasificación de los desechos previa a su ingreso al botadero.
- Recuperación de residuos reutilizables, ya sea por los trabajadores del camión o por los guajeros en el botadero.
- Los acopiadores compran y acondicionan los desechos para su venta.
- Centros de acopio mayores (ciudad capital) adquieren los desechos para su venta.

- Los desechos son adquiridos por empresas recicladoras para ofrecerlos a la industria.
- Las industrias transforman los materiales reciclados en productos finales.

### **2.1.6. Disposición final de desechos**

En la actualidad, las actividades que se llevan a cabo en el botadero municipal de la ciudad de Cobán no involucran una disposición final de desechos sólidos directamente (con la excepción del relleno sanitario), es decir, toman parte intermediarios, plantas de tratamiento, reutilizamiento y empresas de reciclaje para llevar a cabo la disposición final de los desechos y la misma no se lleva a cabo en el botadero.

El procedimiento de disposición final realizado por la municipalidad consiste en la separación de desechos depositados en el botadero municipal, de lo cual se encargan guajeros o segregadores de desechos residentes del botadero, los cuales separan los desechos orgánicos de los reciclables.

Los desechos reciclables son vendidos a intermediarios que transportan los desechos a la ciudad de Guatemala para su posterior venta a centros de acopio, mientras los desechos orgánicos se emplean como relleno sanitario en el botadero municipal.

- Almacenaje y venta

En la ciudad de Cobán se encuentran pequeños negocios intermediarios que compran a los guajeros y luego venden esos materiales en centros de acopio mayores ubicados en la capital o en Escuintla. En algunos casos, son vendidos directamente a las empresas recicladoras.

Los centros de acopio le dan a los productos una forma adecuada para las empresas que los convierten en materia prima para la industria (bloques, trozos y cilindros).

Para las actividades de venta de desechos reciclables se identifican tres tipos de consumidor, los cuales son:

- El intermediario local (ubicado en Cobán)
- El intermediario en segundo grado (ubicado en la ciudad capital)
- Empresa recicladora

El intermediario local no tiene exigencia alguna para el vendedor, le compra el material como se lo presenta.

Cabe mencionar que el intermediario local obtiene los materiales de dos fuentes distintas las cuales son:

- Guajeros ambulantes (previa la recolección domiciliar)
- Ayudantes de camionetas de recolección domiciliar

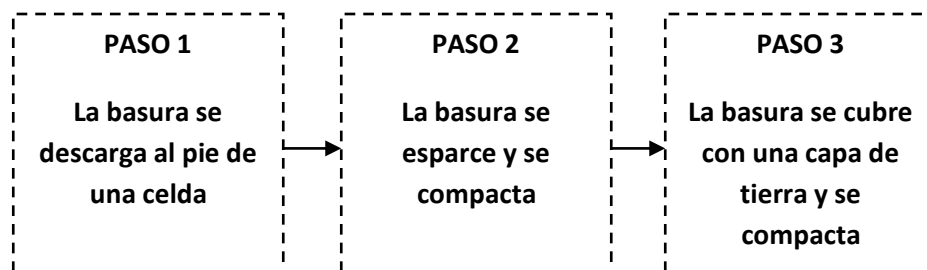
El intermediario en segundo grado y la empresa recicladora prefieren el material limpio, clasificado y compactado, en bloques o destrozado según sea el material que compran.

Se debe mencionar que las empresas recicladoras están sujetas a las fluctuaciones de la demanda de las industrias que emplea materia prima importada cuando los precios son favorables y reciclados cuando estos suben.

- Disposición por relleno sanitario

El proceso de construcción del relleno sanitario consiste en descargar los desechos sólidos orgánicos en el botadero municipal. A medida que se van colocando los desechos, se cubren con una capa de tierra y otros materiales para posteriormente cubrirlos con una capa de tierra que ronda los 40 centímetros de grosor y sobre esta depositar otra capa de desechos y así sucesivamente hasta que el relleno sanitario se da por saturado.

Figura 7. **Flujo generalizado para construcción de un relleno sanitario**



Fuente: elaboración propia.

- Botadero municipal finca Sachamach

Se realizó una visita al botadero municipal con el fin de establecer los procesos que se llevan a cabo para la disposición final de los desechos, así como, las necesidades en las incurren en la actualidad.

Inicialmente, el acceso al botadero se encuentra en buenas condiciones a excepción del sitio de descarga, en el cual se atascan los camiones de recolección (en el momento de la visita se atascaron el camión de servicio privado SOL y un camión de recolección de la Municipalidad de Cobán).

Figura 8. **Acceso al botadero municipal (sitio de descarga)**



Fuente: botadero municipal de Cobán.

En la actualidad, el terreno en el cual se depositaba la basura se ha saturado por lo cual, se evalúa el aprovechamiento de un terreno disponible en la misma finca municipal.

Figura 9. **Terreno del botadero municipal saturado**



Fuente: botadero municipal de Cobán.

Figura 10. **Terreno del botadero municipal libre**



Fuente: botadero municipal de Cobán.



Ante el problema de saturación que se experimenta en el botadero, en conjunto con el difícil acceso al área de descarga, muchas personas y algunas empresas privadas de recolección han descargado los desechos a un lado del camino hacia el área de descarga como se puede observar en la figura 12, lo cual ocasiona problemas a los guajeros para desocupar estas áreas que no están destinadas a relleno sanitario.

El objetivo principal de los guajeros, que residen en el botadero, consiste en recolectar todo material reutilizable para comercializarlo con intermediarios y los mismos con plantas de reciclaje. Actualmente, tienen relaciones comerciales con dos intermediarios, uno proveniente de Salamá, Baja Verapaz, mientras que el otro de Cobán, Alta Verapaz.

La ganancia que obtienen depende de la cantidad de quintales que recolecten de ciertos materiales, siendo el que se comercializa de mejor manera el envase de plástico desechable PET y por el cual se obtienen Q45,00 por quintal recolectado.

Figura 11. **Desechos de plástico duro**



Fuente: botadero municipal de Cobán.

Figura 12. **Desechos de envases plásticos desechables PET**

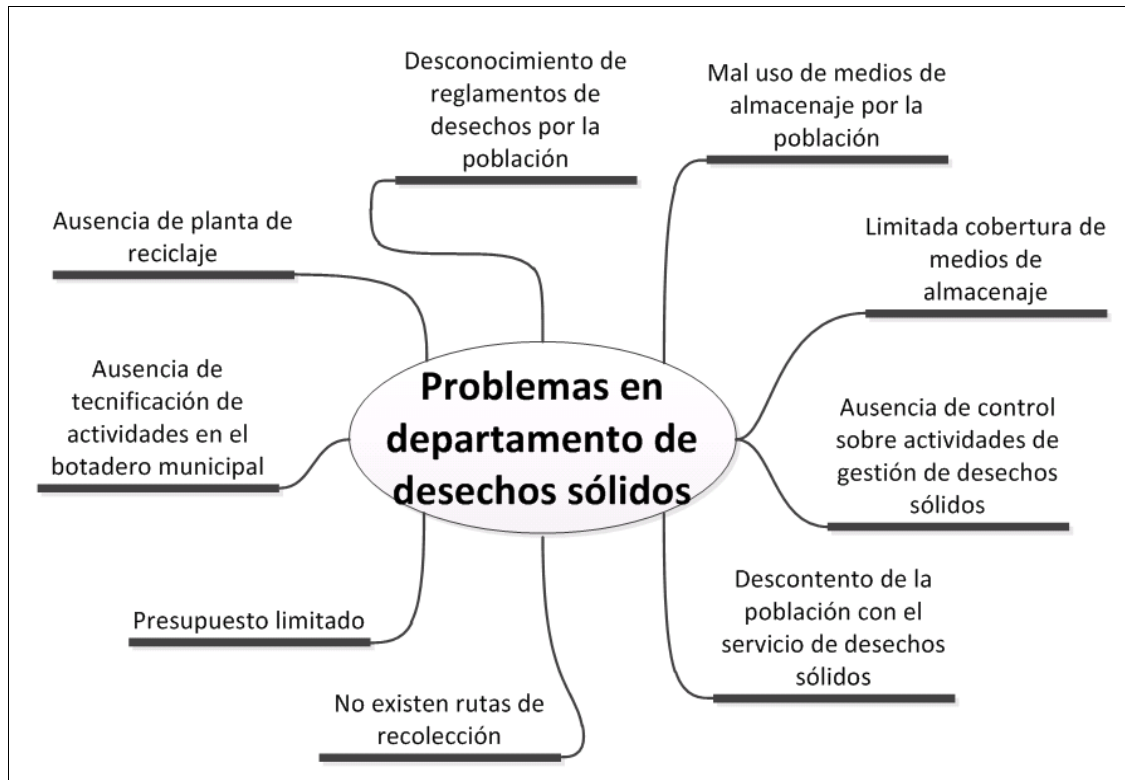


Fuente: botadero municipal de Cobán.

Para llevar a cabo un diagnóstico de la situación actual del sistema de recolección de desechos, se recolectó información de los proyectos que se han llevado a cabo en el área de gestión de desechos. De igual manera, se ha documentado e ilustrado la situación actual de las fuentes generadoras de desechos del municipio, así como, los medios que se utilizan para almacenar los desechos en la actualidad, los procesos actuales de recolección y de disposición final en el botadero municipal.

Con el objetivo de establecer la problemática que se da en el Departamento de Desechos Sólidos se realiza una lluvia de ideas como se observa a continuación:

Figura 13. **Establecimiento de problemática por lluvia de ideas**



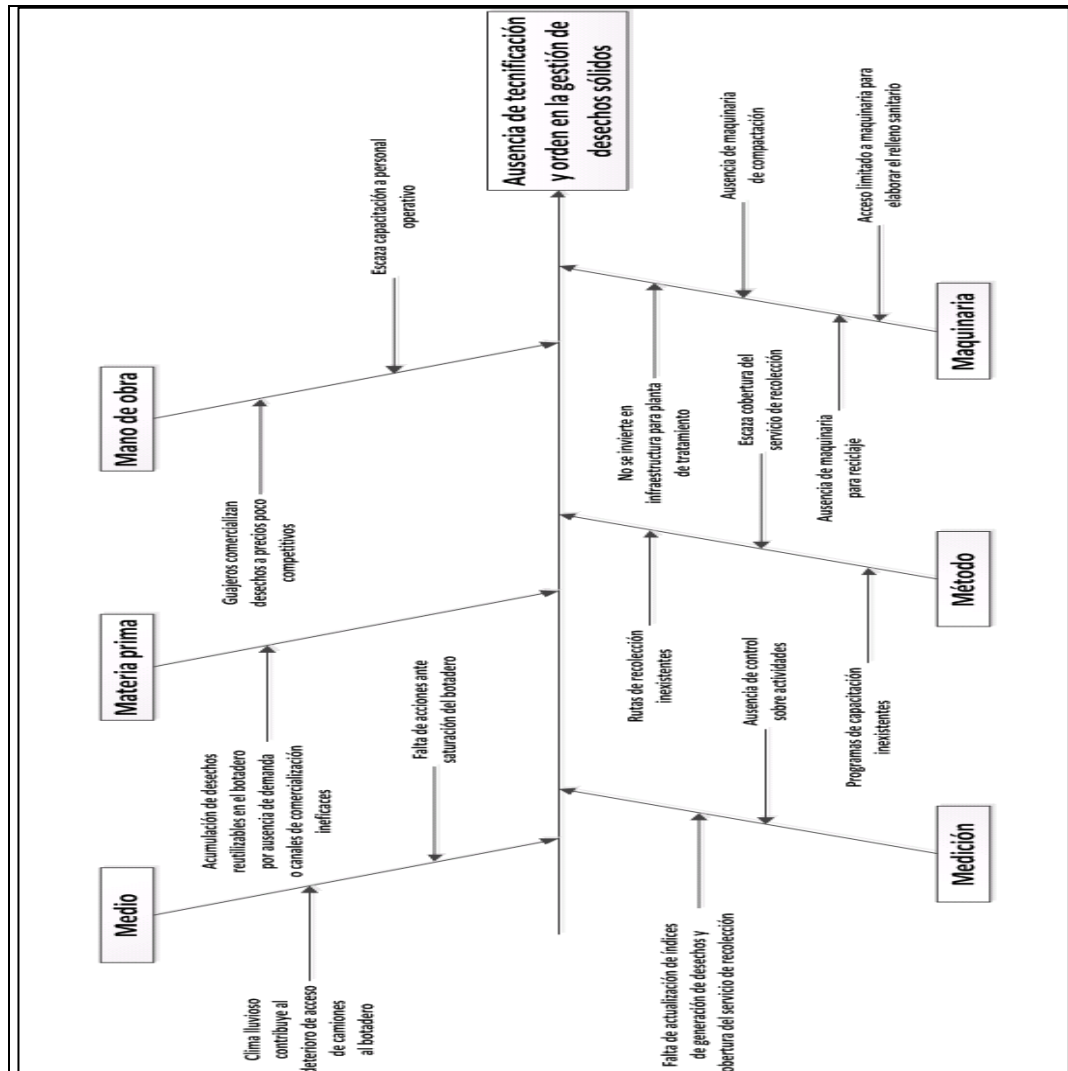
Fuente: elaboración propia.

Puesto que no se cuenta con la frecuencia con que se dan los problemas evaluados (información cualitativa y no cuantitativa) no se hace posible establecer la causa raíz por medio de un diagrama de Pareto. Ante esto, se evalúan todas las causas englobadas en la causa raíz ausencia de tecnificación y orden en actividades de gestión de desechos sólidos.

Con base en los resultados recabados se realizó un diagrama de causa y efecto que tiene por objeto desglosar las causas de la problemática actual en la gestión municipal de desechos.

Es importante notar, que del diagrama realizado se identifican las necesidades que se pueden atender en el presente proyecto con recursos municipales, entre las cuales se encuentran una redistribución de rutas de recolección y mejoras al procedimiento de disposición final (clasificación de desechos y comercialización de los mismos).

Figura 14. Diagnóstico por diagrama de causa y efecto



Fuente: elaboración propia.

- Conclusiones

En términos generales, se aprecian dificultades para transportar los desechos a un punto de descarga puesto que se acumula agua en el acceso al mismo lo cual hace que se llene de lodo y dificulte el paso de los camiones recolectores.

De igual manera, se necesita habilitar el terreno disponible para relleno sanitario puesto que el terreno que se emplea en la actualidad se ha saturado.

Es necesario realizar propuestas que contribuyan a mejorar los ingresos de los guajeros que residen en el botadero municipal. Puesto que el plástico es el material que se comercializa con más frecuencia y el precio del mismo va sujeto a su peso en quintales, se debe reducir el volumen del mismo para enviar mayor peso por cantidad transportada e incrementar los ingresos. De igual manera se deben generar contactos directos con plantas de reciclaje ante lo cual se incrementarían los ingresos por eliminar intermediarios.

## **2.2. Reordenamiento de rutas de recolección de desechos**

Ante la necesidad de proveer un servicio de mejor calidad y el aumento de la cobertura del mismo, se realiza un reordenamiento de rutas bajo los siguientes lineamientos:

- Generar una base de datos de los usuarios del servicio en la actualidad.
- Valuar la cobertura de servicio actual y la logística del sistema.
- Segmentar las áreas de servicio en zonas basadas en los inventarios de clientes.
- Inventariar y analizar los recursos utilizados para propósitos de recolección de desechos.
- Definir el equipo y los niveles de personal que serán requeridos para el reordenamiento de rutas.
- Conducir entrenamiento con respecto a las nuevas rutas, su propósito, ventajas, desventajas y el seguimiento que debe recibir.
- Funcionamiento actual

En la actualidad, el servicio de recolección no cuenta con base de datos de los usuarios del servicio en digital, más que las bases de datos que presentan las empresas impresas en papel. Lo mismo entorpece el proceso de control de calidad del servicio, de igual manera, evita que se establezcan responsabilidades por empresa para la atención de cada sector de la población.

### 2.2.1. Base de datos de usuarios en la actualidad

- Proceso de elaboración

Para la sectorización del servicio, se hace necesaria la elaboración de una base de datos de todos los usuarios del servicio. La misma se realiza con la finalidad de determinar los usuarios ubicados en zonas cercanas a las empresas que proporcionan el servicio como primer paso a optimizar los costos en que incurren para recolectar los desechos.

Los usuarios se registran en una hoja electrónica de Microsoft Excel como se representa en la figura 14, siendo importantes los datos de zona y colonia, parámetros por los cuales serán ordenados los usuarios; de igual manera, es importante determinar la empresa a la que pertenece en la actualidad, lo cual facilitaría la notificación de modificaciones y la priorización a empresas que se especializan en ciertos sectores al asignar zonas.

Figura 15. Base de datos de usuarios del servicio de recolección

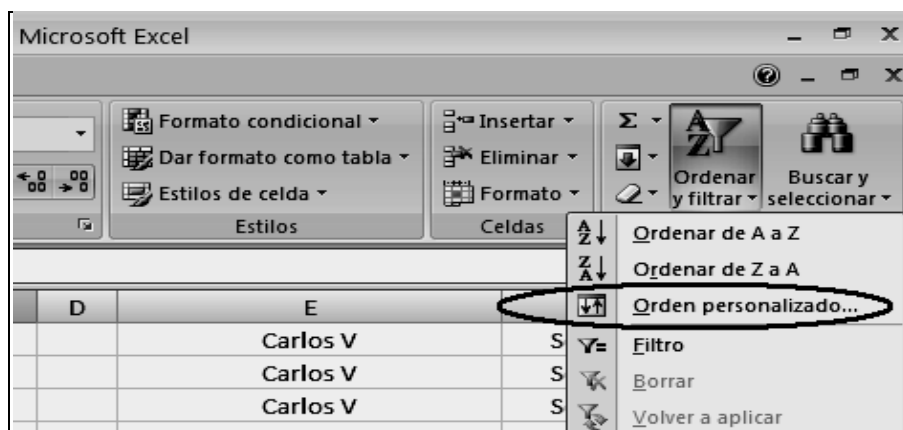
1	No.	Usuario	Dirección	Zona	Colonia	Empresa
2	1	Edwin Hugo Quillonez Cajbon	10a. Avenida 1-05	1		SOL
3	2	Maria del Carmen Chub	10a. Avenida 2-0	1		Marconi
4	3	Mynor Pelaez	10a. Avenida 2-30	1		SOL
5	4	Hector Rolando Chub Caal	10a. Avenida 2-30	1		SOL
6	5	Thelma de Sanchez	10a. Avenida 2-52	1		Marconi
7	6	Raymundo Caseros	11a. Avenida 1-11	1		Marconi
8	7	Albertina Vda. De Col	11a. Avenida 1-13	1		Marconi
9	8	Carlos Waldemar Cu Pop	11a. Avenida 1-13 B	1		Marconi
10	9	Dora Lilia Caceros Juarez	11a. Avenida 2-04	1		Marconi
11	10	Mynor Sagastume	11a. Avenida 2-11	1		Marconi

Fuente: elaboración propia.

Para llevar a cabo el ordenamiento se utiliza el comando ordenar y filtrar y el subcomando orden personalizado, por medio del cual se ordenan los usuarios por zona, procedimiento que se puede apreciar en las figuras 15 y 16.

Se debe repetir el procedimiento antes descrito con la excepción de que en esta ocasión, se deberán ordenar únicamente los usuarios que no tienen zona por la colonia en la que residen.

Figura 16. Orden personalizado



Fuente: elaboración propia.



Figura 17. **Ordenamiento por zona**



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se obtienen los usuarios ordenados por zona inicialmente y luego, por colonia en la que residen como se observa en la figura 17. Como se puede apreciar en la figura, se encuentran usuarios tanto de la empresa SEMDEL y SOL teniendo como orden prevaleciente la zona en la que se ubican.

Figura 18. **Formato final de sectorización**

No	Usuario	Dirección	Zona	Colonia	Empresa
11	Bac Caal Flavio	14 avenida 2-41	1		Semdel
22	Caal Sandra	2a. Calle B 14-20	1		Semdel
1	Cristina Najarro de Ponce	2a. Calle 1-32	1		SOL
2	Margarito Aguirre	3a. Calle 2-35	1		SOL

Fuente: elaboración propia.

- Presentación final

La base de datos elaborada, llega a su forma final presentando por 12 pestañas distintas que distribuyen los usuarios del servicio por zona como se observa en la figura 18, catalogando los mismos por número, nombre del usuario, dirección y empresa que presta el servicio.

Figura 19. Base de datos de usuarios

No.	Nombre	Dirección	Empresa
352	Lesvia Patricia Artola	Diagonal 1, Cantina "Av. INTECAP"	Marconi
353	Luvia Cu	F/ Estadio Verapaz	Marconi
354	Otto Noack	7a. Avenida 2-15	Marconi
355	Amelia Lacan de Kline	11a. Avenida 2-33	Marconi
356	Modesta Chun		Marconi
357	Amanda Pacay		Marconi
358	Encarnación Pop		Marconi
359	Marina Coy		Marconi
360	Anibal Amesquita		Marconi
361	Margarita Macz		Marconi
362	Gloria Carrillo		Marconi
363	Francisco Yath		Marconi
364	Walther Lopez		Marconi
<b>Colonia 30 de Junio</b>			
367	De Archila Amada	Lote 42	Semdel
368	De Villafuerte Olinda	Lote 20	Semdel
369	Guillermo Anival	Lote 18	Semdel
370	Milian Blanca	Lote 1	Semdel
371	Milian Maria Irene	Lote 41	Semdel
372	Sun Eleodoro	Lote 58	Semdel
373	Vasquez Osmin	Lote 67	Semdel
374	Carla Morales	Lote 53	SOL
375	Matilde Cacao	Lote 89	SOL
376			

Fuente: elaboración propia.

## 2.2.2. Tabulación y análisis de datos

- Resultados iniciales

Con respecto a la base de datos generados, se obtienen datos importantes para llevar a cabo la sectorización del servicio, entre ellos, la cantidad de usuarios por zona y por colonia.

A continuación se presenta el total de usuarios registrados en la base de datos digital elaborada con respecto a la zona a la que pertenecen:

Figura 20. **Número de usuarios por zona**

<b>Zona</b>	<b>Usuarios</b>
1	402
2	36
3	285
4	322
5	215
6	80
7	130
8	277
9	46
10	107
11	100
12	278
	<b>2278</b>

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la figura anterior, el total de familias atendidas por el servicio de recolección de desechos es de 2 278. “Tomando en cuenta este dato, se calcula a continuación la cobertura del servicio considerando la familia promedio compuesta de 5,5 integrantes en Guatemala”<sup>3</sup>.

- Cobertura del servicio

La cobertura del servicio se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Cobertura} = \frac{(\text{familias con servicio}) * (\text{habitantes por familia})}{(\text{habitantes en área urbana})} * 100$$

$$\text{Cobertura} = \frac{(2\ 278 \text{ familias}) * (5,5 \text{ habitantes por familia})}{(56\ 922 \text{ habitantes})} * 100$$

Cobertura = 22,01% de la población del área urbana.

“Cabe mencionar que según los indicadores establecidos por la GTZ de Alemania a través de su programa Promudel para la Municipalidad de Cobán, la cobertura del servicio de recolección de desechos no es aceptable (no se aceptan coberturas menores al 30% de la población urbana)”<sup>4</sup>.

### **2.2.3. Sectorización del servicio**

Para llevar a cabo un reordenamiento de rutas se hace necesario conocer los sectores de la población que cubren el servicio de recolección de desechos en la actualidad.

---

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Estadística de la República de Guatemala –INE. XI Censo de Población y VI de Habitación República de Guatemala. 2002.

<sup>4</sup> Empresa Consultora en Ingeniería Ambiental y Sanitaria –ECONSULT-. Manejo Integral de los Residuos Sólidos Municipales de la Ciudad de Cobán, Alta Verapaz. 2007.

Debido a lo anterior, se emplea la información obtenida de la base de datos elaborada para establecer la presencia de las empresas recolectoras por cada una de las zonas de la ciudad de Cobán.

Figura 21. **Usuarios con que cuenta cada empresa por zona**

	Marconi	Servi-Norte	SEMDEL	SOL	
<b>zona 1</b>	252	0	39	108	<b>399</b>
<b>zona 2</b>	10	0	1	25	<b>36</b>
<b>zona 3</b>	237	0	0	49	<b>286</b>
<b>zona 4</b>	260	0	3	59	<b>322</b>
<b>zona 5</b>	0	176	10	29	<b>215</b>
<b>zona 6</b>	0	33	8	39	<b>80</b>
<b>zona 7</b>	85	0	25	20	<b>130</b>
<b>zona 8</b>	116	0	96	65	<b>277</b>
<b>zona 9</b>	44	0	1	1	<b>46</b>
<b>zona 10</b>	79	0	11	17	<b>107</b>
<b>zona 11</b>	87	0	0	12	<b>99</b>
<b>zona 12</b>	36	107	0	135	<b>278</b>
	<b>1206</b>	<b>316</b>	<b>194</b>	<b>559</b>	<b>2275</b>

Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se puede notar que todas las zonas cuentan con usuarios del servicio de recolección de desechos, ante lo cual, los sectores que se tomarán para llevar a cabo el reordenamiento de rutas serán las zonas desde la uno hasta la doce. En el caso de la zona 1 se excluyen en este caso tres usuarios contabilizados durante el cálculo de la cobertura del servicio, esto debido a que los datos generales de los usuarios en mención están incompletos en cuanto a la empresa que los atiende.

Nótese de igual manera que se expresa la cantidad de usuarios por zona, dato importante para calcular la producción diaria de desechos empleando los índices de producción de la ciudad de Cobán.

#### **2.2.4. Definición de costos del servicio**

Debido a la ausencia de procedimientos estandarizados se hace difícil establecer todos los costos en que se incurre actualmente para prestar el servicio de recolección de desechos, especialmente los de los medios de transporte.

Se presenta a continuación, una estimación de costos en que se incurrirá para prestar el servicio de recolección de desechos con las nuevas rutas propuestas, los mismos se presentan por empresa en función de la zona en la que se desempeñen.

Las distancias se miden en función de la distancia de la empresa hasta el acceso de la zona en cuestión. Los costos se obtienen de la multiplicación del kilometraje desde la ubicación de la empresa que presta el servicio hacia cada una de las zonas que debe atender por el costo del consumo normal en los camiones recolectores dividido la producción de desechos por sector, el cálculo de los mismos se muestra a continuación:

$$\text{Costo de transporte} = (\text{recorrido en km}) * (\text{costo/galón}) * (\text{galón/km}) / (\text{toneladas de desechos por zona})$$

- Establecimiento de recorridos

Por medio de un mapa del casco urbano de la ciudad de Cobán, se establecen las distancias que recorrerían las empresas recolectoras desde el centro en el que se ubican hasta los accesos establecidos a cada una de las zonas que cuentan con servicio de recolección.

Con base a la medida en kilómetros del recorrido en automóvil desde la Iglesia Catedral de Cobán hacia el inicio de la plaza Magdalena (trayectoria en línea recta) se establece la escala a utilizar:

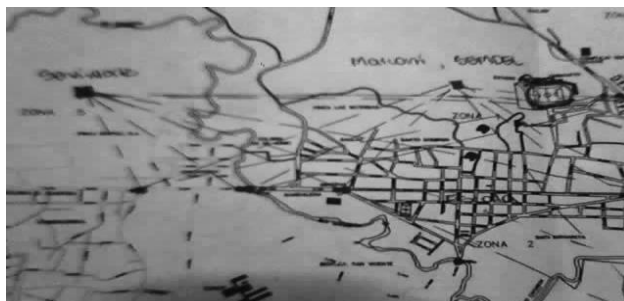
Recorrido: 0,8 km

Distancia en mapa: 6,7 m a escala 1:100 (cm)

Factor de conversión en mapa:  $0,8 \text{ km} / 6,7 \text{ cm} = 0,1194 \text{ km/cm}$

Para obtener la distancia en kilómetros desde las empresas proveedoras del servicio hacia los accesos a cada una de las zonas se trazan las distancias en centímetros en un mapa del casco urbano, que serán multiplicadas por el factor de conversión establecido para obtener las distancias en kilómetros.

Figura 22. **Mapa del casco urbano con distancias establecidas**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Distancias entre empresas y zonas en mapa (cm)**

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Zona 10	Zona 11	Zona 12
Marconi	6,3	6,3	0	1,5	17	14,7	7,9	5,4	4	4,7	7,3	17
SEMDEL	0	4,2	5,5	4,7	7,5	5,5	8,3	10,5	10,5	6,2	3,2	7,5
Servi-Norte	4,5	6	12,5	12,3	0	3,5	13,5	16,5	16,5	13,5	12	3,5
SOL	6,3	8,2	7,5	4	14,5	17	10,5	9,5	9,5	0	4	14,5

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en las figuras anteriores se obtiene la distancia entre las empresas recolectoras de desechos y los puntos de acceso a cada una de las zonas atendidas mediante el trazo de distancias en un mapa a escala proporcionado por la Municipalidad de Cobán.

Figura 24. **Distancias entre empresas y zonas bajo factor de conversión (km)**

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Zona 10	Zona 11	Zona 12
Marconi	0,75	0,75	0	0,18	2,03	1,76	0,94	0,64	0,48	0,56	0,87	2,03
SEMDEL	0	0,50	0,66	0,56	0,90	0,66	0,99	1,25	1,25	0,74	0,38	0,90
Servi-Norte	0,54	0,72	1,49	1,47	0	0,42	1,61	1,97	1,97	1,61	1,43	0,42
SOL	0,75	0,98	0,90	0,48	1,73	2,03	1,25	1,13	1,13	0	0,48	1,73

Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se pueden observar las distancias desde el punto de partida de los camiones recolectores hasta los puntos de acceso en kilómetros. Las mismas se obtuvieron de la multiplicación de las mediciones a escala por el factor de conversión 0,1194 kilómetros / centímetro.



Nótese que las distancias se toman únicamente al acceso de cada zona, puesto que de considerar el recorrido completo no se considerarían únicamente 12 zonas sino 2 278 hogares.

- Producción de desechos por zona

Se calcula la producción diaria de desechos por habitante con base al producto de la cantidad de familias que tienen servicio de recolección (se toma la familia promedio de 5,5 integrantes) por los desechos que producen a diario.

La producción diaria de desechos se calcula por medio del producto del índice de producción de desechos en el municipio por el número de habitantes en cuestión. A continuación se presenta el cálculo de la producción diaria de desechos de usuarios del servicio de recolección:

Figura 25. **Producción diaria en toneladas de desechos por sector**

	Usuarios	Habitantes/Usuario	Desechos (Kg/Habitante*Día)	Ton/Kg	Producción Diaria (Ton)
zona 1	402	5,5	0,51	0,0011023	1,24
zona 2	36	5,5	0,51	0,0011023	0,11
zona 3	285	5,5	0,51	0,0011023	0,88
zona 4	322	5,5	0,51	0,0011023	1,00
zona 5	215	5,5	0,51	0,0011023	0,66
zona 6	80	5,5	0,51	0,0011023	0,25
zona 7	130	5,5	0,51	0,0011023	0,40
zona 8	277	5,5	0,51	0,0011023	0,86
zona 9	46	5,5	0,51	0,0011023	0,14
zona 10	107	5,5	0,51	0,0011023	0,33
zona 11	100	5,5	0,51	0,0011023	0,31
zona 12	278	5,5	0,51	0,0011023	0,86

Fuente: elaboración propia.

“Nótese que el índice de producción de desechos empleado es el índice calculado por la empresa consultora ECONSULT para el estudio de manejo integral de desechos en Cobán, Alta Verapaz”<sup>5</sup>.

- Establecimiento de costos de transporte

Para el cálculo del costo de transporte, se toma en cuenta el consumo promedio de un camión convencional de carga de retorno de 8 toneladas (los que se emplean en la actualidad cuentan con capacidad de 10 toneladas).

De igual manera, se toma el valor de la gasolina al mes de octubre del 2010 (incluida alza de precio a mediados de mes) y se emplea el valor de desechos producidos dependiendo del sector al que se atiende en toneladas.

A continuación se presenta el procedimiento de cálculo de costos de transporte de desechos al día:

Costo de transporte = (recorrido en km)\*(costo/galón)\*(galón/km) / (toneladas de desechos por zona).

Cálculo de costos para zona 1 por cada empresa recolectora:

Costo Marconi = (0,75 km)\*(Q27,00/galón)\*(0,1733 galones/km) / (1,24 toneladas de desechos) = Q2,82/tonelada

Costo de SOL = (0,75 km)\*(Q27,00/galón)\*(0,1733 galones/km)/(1.24 toneladas de desechos) = Q2,82/tonelada

---

<sup>5</sup> Empresa Consultora en Ingeniería Ambiental y Sanitaria –ECONSULT-. Manejo Integral de los Residuos Sólidos Municipales de la Ciudad de Cobán, Alta Verapaz. 2007.

Costo de Servi-Norte =  $(0,54 \text{ km}) \cdot (\text{Q}27,00/\text{galón}) \cdot (0,1733 \text{ galones/km}) / (1,24 \text{ toneladas de desechos}) = \text{Q}2,03/\text{tonelada}$

Costo de SEMDEL =  $(0 \text{ km}) \cdot (\text{Q}27,00/\text{galón}) \cdot (0,1733 \text{ galones/km}) / (1,24 \text{ toneladas de desechos}) = \text{Q}0,00/\text{tonelada}$

Con base al cálculo presentado, se obtienen los siguientes costos de transporte por empresa en cada una de las zonas de la ciudad.

Tabla IV. **Costo de transporte por empresa en quetzales por tonelada recolectada (diaria)**

	MARCONI	SOL	SERVI-NORTE	SEMDEL
Zona	Costo	Costo	Costo	Costo
1	2,82	2,82	2,03	0,00
2	31,53	41,20	30,27	21,02
3	0,00	4,78	7,91	3,50
4	0,85	2,26	6,91	2,63
5	14,29	12,18	0,00	6,33
6	33,29	38,40	7,94	12,48
7	10,94	14,55	18,74	11,52
8	3,50	6,17	10,76	6,83
9	15,79	37,17	64,81	41,12
10	7,92	0,00	22,77	10,47
11	13,17	7,26	21,64	5,75
12	11,05	9,42	2,29	4,90

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se presentan los costos de transporte de desechos para cada una de las zonas de la ciudad en función de la empresa que la atiende. Los costos calculados son importantes en el proceso de reordenamiento de rutas, puesto que los mismos permiten por medio de métodos de transporte, establecer la ruta a la que cada una de las empresas minimizará su costo de transporte.

### **2.2.5. Métodos de transporte**

Los métodos de transporte consisten en técnicas especiales para resolver ciertos tipos de programación lineal. El transporte desempeña un papel importante en la economía y en las decisiones administrativas.

El problema central a atender con métodos de transporte es optimizar la cantidad que se atenderá por sector (de desechos) para minimizar el costo de transporte (de las empresas en conjunto).

- Descripción de la matriz de transporte

A continuación se presenta la matriz de transporte que se empleará, utilizando los costos obtenidos en la sección de definición de costos del servicio (véase tabla IV). De igual manera se plantea la demanda del servicio con base a la producción de desechos por zona calculada en la sección antes mencionada (véase figura 24). El costo de transporte se expresa en quetzales por tonelada recolectada y la demanda y oferta en toneladas de desechos.

Figura 26. **Matriz de transporte a utilizar**

Empresa / Zona	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	ZX	OFERTA
Marconi	2,82	31,53	0	0,85	14,29	33,29	10,94	3,50	15,79	7,92	13,17	11,05	0	4
SOL	2,82	41,20	4,78	2,26	12,18	38,40	14,55	6,17	37,17	0	7,26	9,42	0	8
Servi-Norte	2,03	30,27	7,91	6,91	0	7,94	18,74	10,76	64,81	22,77	21,64	2,29	0	4
SEMDEL	0	21,02	3,50	2,63	6,33	12,48	11,52	6,83	41,12	10,47	5,75	4,90	0	4
DEMANDA	1,24	0,11	0,88	1	0,66	0,25	0,40	0,86	0,14	0,33	0,31	0,86	12,96	

Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se hace necesario agregar una zona ficticia ZX para igualar la demanda y la oferta balanceando así el sistema para aplicar métodos de transporte. La oferta se obtiene con base a la capacidad de carga de los camiones (sin mecanismo de compactación).

Cabe mencionar que la empresa SOL cuenta con una oferta de ocho toneladas puesto que es la única que cuenta con dos camiones recolectores.

- Empleo de métodos de transporte

A continuación se presentan los métodos que proveen una solución inicial al problema de transporte, los cuales son método de esquina noroeste, método de costo mínimo y método de Vogel o penalización.

Figura 27. **Matriz de transporte (método esquina noroeste)**

Empresa / Zona	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	ZX	OFERTA
Marconi	2,82	31,53	0	0,85	14,29	33,29	10,94	3,50	15,79	7,92	13,17	11,05	0	4
	1,24	0,11	0,88	1	0,66	0,11	—————							
SOL	2,82	41,20	4,78	2,26	12,18	38,40	14,55	6,17	37,17	0	7,26	9,42	0	8
						0,14	0,40	0,86	0,14	0,33	0,31	0,36	4,96	
Servi-Norte	2,03	30,27	7,91	6,91	0	7,94	18,74	10,76	64,81	22,77	21,64	2,29	0	4
SEMDEL	0	21,02	3,50	2,63	6,93	11,48	11,52	6,83	41,12	10,47	5,75	4,90	0	4
DEMANDA	1,24	0,11	0,88	1	0,66	0,25	0,40	0,86	0,14	0,33	0,31	0,86	12,96	

Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se presenta el método de esquina noroeste, el cual consiste en realizar asignaciones a las empresas con respecto a la esquina Noroeste de la matriz que siga libre, es decir, la esquina en la cual no se haya agotado la oferta o satisfecho la demanda.

Figura 28. **Matriz de transporte (método costo mínimo)**

Empresa / Zona	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	ZX	OFERTA
Marconi	2,82	31,53	0	0,85	14,29	33,29	10,94	3,50	15,79	7,92	13,17	18,05	0	4
				1			0,40	0,86	0,14	0,33			1,27	
SOL	2,82	41,20	4,78	2,26	12,18	38,40	14,55	6,17	37,17	0	7,26	5,42	0	8
			0,88			0,25							7,12	
Servi-Norte	2,03	30,27	7,91	1,91	0	7,94	18,74	10,76	6,81	22,77	21,64	2,29	0	4
	1,24											0,86	1,65	
SEMDEL	0	21,02	1,50	1,63	6,33	12,48	11,52	6,83	41,12	10,47	5,75	4,90	0	4
		0,11			0,66						0,31		2,92	
DEMANDA	1,24	0,11	0,88	1	0,66	0,25	0,40	0,86	0,14	0,33	0,31	0,86	12,96	

Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se puede observar la matriz de transporte bajo el método de costo mínimo, el cual consiste en realizar asignaciones con respecto al menor costo de todas las columnas y filas presentes en la matriz.

Figura 29. **Matriz de transporte (método Vogel o penalización)**

Empresa / Zona	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	ZX	OFERTA
Marconi	2,82	31,53	0	0,85	14,29	33,29	10,94	3,50	15,79	7,92	13,17	11,05	0	4
				1				0,86	0,14	0,33			1,67	
SOL	3,82	41,20	1,78	2,26	12,18	38,40	14,55	6,17	37,17	0	7,26	5,42	0	8
							0,40				0,31		7,29	
Servi-Norte	2,03	30,27	7,91	1,91	0	7,94	18,74	10,76	6,81	21,77	21,64	2,29	0	4
	1,24		0,88			0,25						0,86	0,77	
SEMDEL	0	21,02	3,50	1,63	6,33	12,48	11,52	6,83	41,12	10,47	9,75	4,90	0	4
		0,11			0,66								3,23	
DEMANDA	1,24	0,11	0,88	1	0,66	0,25	0,40	0,86	0,14	0,33	0,31	0,86	12,96	

Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se presenta la matriz de transporte bajo el método de Vogel o penalización. El mismo consiste en el cálculo de diferencias entre los costos más bajos de cada fila y columna en la matriz, penalizando la fila o columna cuya diferencia sea mayor. La asignación se realiza en la casilla de la fila o columna penalizada cuyo costo sea el menor.

- Cálculo de costos totales de transporte

El costo de transporte se calcula para cada método de la misma manera, multiplicando el valor de la asignación (en toneladas) por el costo unitario (en quetzales por tonelada recolectada).

A continuación se presentan los cálculos de costo total de transporte por cada uno de los métodos de transporte utilizados:



$$\begin{aligned} \text{E.Noroeste} &= (1,24)*(2,82) + (0,11)*(31,53) + (0,88)*(0) + (1)*(0,85) + \\ &(0,66)*(14,29) + (0,11)*(33,29) + (0,14)*(38,40) + (0,4)*(14,55) + (0,86)*(6,17) + \\ &(0,14)*(37,17) + (0,33)*(0) + (0,31)*(7,26) + (0,86)*(9,42) + (0)*(4,96) + (0)*(4) + \\ &(0)*(4) = Q52,97/\text{día} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{C.Minimo} &= (1,24)*(2,03) + (0,11)*(21,02) + (0,88)*(4,78) + (1)*(0,85) + \\ &(0,66)*(6,33) + (0,25)*(7,94) + (0,4)*(10,94) + (0,86)*(3,5) + (0,14)*(15,79) + \\ &(0,33)*(7,92) + (0,31)*(5,75) + (0,86)*(2,29) + (0)*(1,27) + (0)*(7,12) + (0)*(1,65) \\ &+ (0)*(2,92) = Q32,01/\text{día} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vogel} &= (1,24)*(2,03) + (0,11)*(21,02) + (0,88)*(7,91) + (1)*(0,85) + (0,66)*(6,33) \\ &+ (0,25)*(7,94) + (0,4)*(14,55) + (0,86)*(3,5) + (0,14)*(15,79) + (0,33)*(7,92) + \\ &(0,31)*(7,26) + (0,86)*(2,29) + (0)*(1,67) + (0)*(7,29) + (0)*(0,77) + (0)*(3,23) = \\ &Q36,68/\text{día} \end{aligned}$$

Ante los costos obtenidos se puede observar que las asignaciones obtenidas por el método de costo mínimo son las que proporcionan el menor costo de transporte.

- Empleo de mejoras a métodos de transporte

Una vez obtenida una solución inicial al problema de transporte por medio de métodos de esquina noroeste, costo mínimo o Vogel se puede mejorar el resultado obtenido por medio de métodos como el método de banquillo, de multiplicadores o de asignación.

A continuación se presenta el cálculo de mejoras a las asignaciones obtenidas por el método de costo mínimo, por los métodos de banquillo y de multiplicadores (se omite el método de asignación puesto que la matriz de transporte debe tener la misma cantidad de columnas y filas para aplicar este método).

– Por el método de banquillo

Inicialmente, se identifican circuitos para cada casilla de la matriz a la que no se hallan asignado recursos aún. Los circuitos consisten en casillas que si tienen asignaciones y que se ubican en segmentos horizontales y verticales consecutivos hasta regresar a la casilla que se está evaluando (sin asignación). A continuación se presenta un ejemplo de circuito para la casilla de fila 1 y columna 1.

Figura 30. Ejemplo de circuito para método de banquillo

	2,82	31,53	0	0,85	14,29	33,29	10,94	3,50	15,79	7,92	11,17	11,05	0	
				<b>1</b>			<b>0,40</b>	<b>0,86</b>	<b>0,14</b>	<b>0,33</b>				<b>1,27</b>
	2,82	41,20	4,78	2,26	12,18	34,40	14,55	5,17	37,17	0	7,26	17,42	0	
			<b>0,88</b>											<b>7,12</b>
	2,03	30,27	7,91	5,91	0	7,94	18,74	10,76	6,81	12,77	21,64	2,29	0	
	<b>1,24</b>					<b>0,25</b>						<b>0,86</b>	<b>1,65</b>	
	0	21,02	3,50	2,63	6,33	11,48	11,52	5,83	4,12	10,47	5,75	1,90	0	
		<b>0,11</b>			<b>0,66</b>						<b>0,31</b>			<b>2,92</b>

Fuente: elaboración propia.

A continuación se procede a calcular la diferencia entre los costos de las casillas ubicadas en las esquinas del circuito formado, alternando signos positivos y negativos, comenzando siempre por la casilla que no tiene asignación de recursos. Como se observa en la figura 10, la única manera de formar circuitos es por medio de la última columna perteneciente a la zona ficticia “ZX”, esto debido a que es la única que cuenta con asignaciones en las cuatro filas de la matriz.

Para el circuito ejemplificado en la figura 10, se procede a calcular la diferencia de costos a continuación:

$$\text{Dif.X11} = 2,82 - 2,03 + 0 - 0 = 0,79$$

Como se observa en el cálculo anterior, los costos de la última columna no influyen en el resultado del cálculo de diferencias, ante lo cual se toman en cuenta únicamente los costos de la columna que se este evaluando.

A continuación se presentan las diferencias calculadas para todas las variables sin asignación en la matriz de transporte:

$$\text{Dif.X11} = 2,82 - 2,03 = 0,79$$

$$\text{Dif.X12} = 31,53 - 21,02 = 10,51$$

$$\text{Dif.X13} = 0 - 4,78 = -4,78$$

$$\text{Dif.X15} = 14,29 - 6,33 = 7,96$$

$$\text{Dif.X16} = 33,29 - 7,94 = 25,35$$

$$\text{Dif.X1 11} = 13,17 - 5,75 = 7,42$$

$$\text{Dif.X1 12} = 11,05 - 2,29 = 8,76$$

$$\text{Dif.X21} = 2,82 - 2,03 = 0,79$$

$$\text{Dif.X22} = 41,20 - 21,02 = 20,18$$

$$\text{Dif.X24} = 2,26 - 0,85 = 1,41$$

$$\text{Dif.X25} = 12,18 - 6,33 = 5,85$$

$$\text{Dif.X26} = 38,40 - 7,94 = 30,46$$

$$\text{Dif.X27} = 14,55 - 10,94 = 3,61$$

$$\text{Dif.X28} = 6,17 - 3,5 = 2,67$$

$$\text{Dif.X29} = 37,17 - 15,75 = 21,42$$

$$\text{Dif.X2 10} = 0 - 7,92 = -7,92$$

$$\text{Dif.X2 11} = 7,26 - 5,75 = 1,51$$

$$\text{Dif.X2 12} = 9,42 - 2,29 = 7,13$$

$$\text{Dif.X32} = 30,27 - 21,02 = 9,25$$

$$\text{Dif.X33} = 7,91 - 4,78 = 3,13$$

$$\text{Dif.X34} = 6,91 - 0,85 = 6,06$$

$$\text{Dif.X35} = 0 - 6,33 = -6,33$$

$$\text{Dif.X37} = 18,74 - 10,94 = 7,8$$

$$\text{Dif.X38} = 10,76 - 3,5 = 7,26$$

$$\text{Dif.X39} = 64,81 - 15,79 = 49,02$$

$$\text{Dif.X3 10} = 22,77 - 7,92 = 14,85$$

$$\text{Dif.X3 11} = 21,64 - 5,75 = 15,89$$

$$\text{Dif.X41} = 0 - 2,03 = -2,03$$

$$\text{Dif.X43} = 3,50 - 4,78 = -1,28$$

$$\text{Dif.X44} = 2,63 - 0,85 = 1,78$$

$$\text{Dif.X46} = 12,48 - 7,94 = 4,54$$

$$\text{Dif.X47} = 11,52 - 10,94 = 0,58$$

$$\text{Dif.X48} = 6,83 - 3,5 = 3,33$$

$$\text{Dif.X49} = 41,12 - 15,79 = 25,33$$

$$\text{Dif.X4 10} = 10,47 - 7,92 = 2,55$$

$$\text{Dif.X4 12} = 4,90 - 2,29 = 2,61$$

De los cálculos realizados se obtienen resultados negativos en las casillas (1,3), (2,10), (3,5), (4,1) y (4,3). Lo mismo se da debido a que en las casillas mencionadas se pueden realizar asignaciones que disminuyan el costo total del transporte. Ante esto se deben mover las asignaciones realizadas con anterioridad en las columnas de zona 1, zona 3, zona 5 y zona 10, hacia las casillas en las que se encuentran valores negativos en el cálculo de diferencias (exceptuando la casilla 4,3 que obtiene un valor positivo al realizar las modificaciones en cuestión).

- Por el método de multiplicadores

El método de multiplicadores reproduce las mismas iteraciones del método de banquillo con la diferencia que las variables en que se realizaron las asignaciones si cuentan en cada iteración.

Inicialmente, se procede a calcular los multiplicadores  $U_i$  para cada fila de la tabla y los multiplicadores  $V_j$  para cada columna de la tabla. Puesto que la suma de multiplicadores de filas y columnas da como resultado el costo unitario  $C_{ij}$  implícito en cada casilla, se proceden a plantear las siguientes ecuaciones:

$U_i + V_j = C_{ij}$	$U_1 + V_{13} = 0$	$U_3 + V_{13} = 0$
$U_1 + V_4 = 0,85$	$U_2 + V_3 = 4,78$	$U_4 + V_2 = 21,02$
$U_1 + V_7 = 10,94$	$U_2 + V_{13} = 0$	$U_4 + V_5 = 6,33$
$U_1 + V_8 = 3,5$	$U_3 + V_1 = 2,03$	$U_4 + V_{11} = 5,75$
$U_1 + V_9 = 15,79$	$U_3 + V_6 = 7,94$	$U_4 + V_{13} = 0$
$U_1 + V_{10} = 7,92$	$U_3 + V_{12} = 2,29$	

Una vez planteadas las ecuaciones se pueden obtener los valores para multiplicadores de filas y columnas, basándose en la suposición de  $U_1 = 0$ , ante lo cual se obtienen los siguientes resultados:

$V_1 = 2,03$	$V_7 = 10,94$	$V_{13} = 0$
$V_2 = 21,02$	$V_8 = 3,5$	$U_1 = 0$
$V_3 = 4,78$	$V_9 = 15,79$	$U_2 = 0$
$V_4 = 0,85$	$V_{10} = 7,92$	$U_3 = 0$
$V_5 = 6,33$	$V_{11} = 5,75$	$U_4 = 0$
$V_6 = 7,94$	$V_{12} = 2,29$	

Una vez obtenidos los valores de los multiplicadores se procede a calcular las diferencias de costos como se muestra a continuación:

$$\text{Dif.}X_{ij} = C_{ij} - U_i - V_j$$

Puesto que  $U = 0$  para todo  $i$ , la relación se reduce únicamente a la resta de  $V_j$  a  $C_{ij}$ .

$$\text{Dif.}X_{11} = 2,82 - 2,03 = 0,79$$

Nótese que ante la ausencia de valores en los multiplicadores de cada fila, los resultados para las diferencias serán los mismos que los obtenidos por el método de banquillo.

- Aplicación de mejoras a métodos de transporte

Ante los resultados obtenidos por método de banquillo y multiplicadores, se realizan las modificaciones a las asignaciones obtenidas previamente por el método de costo mínimo como se observa a continuación:

- Sustracción de 0,33 a casilla (1,10) y suma del mismo a casilla (2,10).
- Sustracción de 0,66 a casilla (4,5) y suma del mismo a casilla (3,5).
- Sustracción de 0,88 a casilla (2,3) y suma del mismo a casilla (1,3).
- Sustracción de 1,24 a casilla (3,1) y suma del mismo a casilla (4,1).
- No se realizan cambios a casilla (4,3) pues al realizar las asignaciones anteriores la diferencia se torna positiva.

Realizadas las mejoras al método de costo mínimo la matriz de transporte queda de la siguiente manera:

Figura 31. **Matriz de transporte (costo mínimo mejorado)**

Empresa / Zona	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	ZX	OFERTA
Marconi	2,82	31,53	0	0,85	14,29	33,29	10,94	3,50	15,79	7,92	13,17	11,05	0	4
			0,88	1			0,40	0,86	0,14				1,27	
SOL	2,82	41,20	4,78	2,26	11,18	38,40	14,55	6,17	37,17	0	7,26	9,42	0	8
										0,33			7,12	
Servi-Norte	2,03	30,27	7,91	4,91	0	7,94	11,74	10,76	6,81	22,77	21,64	2,29	0	4
					0,66	0,25						0,86	1,65	
SEMDEL	0	21,02	6,50	1,63	6,33	12,48	11,52	6,83	4,112	10,47	5,75	4,90	0	4
	1,24	0,11									0,31		2,92	
DEMANDA	1,24	0,11	0,88	1	0,66	0,25	0,40	0,86	0,14	0,33	0,31	0,86	12,96	

Fuente: elaboración propia.

Con base a la matriz de transporte mejorada se calcula el costo total del servicio como se muestra a continuación:

$$Ct (C.M.) = (1,24)(0) + (0,11)(21,02) + (0,88)(0) + (1)(0,85) + (0,66)(0) + (0,25)(7,94) + (0,4)(10,94) + (0,86)(3,5) + (0,14)(15,79) + (0,33)(0) + (0,31)(5,75) + (0,86)(2,29) + (0)(1,27) + (0)(7,12) + (0)(1,65) + (0)(2,92) = Q18,50/día$$

Como se observa en el cálculo del costo total del servicio, con base al método de banquillo y multiplicadores, se mejoran las asignaciones pues el costo total disminuye en Q13,51 al día.

## 2.2.6. Reordenamiento de rutas

A continuación se presenta una propuesta de reordenamiento de rutas a la Municipalidad de Cobán, realizada con el objetivo de mejorar la calidad del servicio. Esto se lleva a cabo por la implementación de rutas de recolección como una herramienta de calidad, es decir, utilizarlos para controlar la calidad del servicio que provee cualquiera de las cuatro empresas privadas que operan en la actualidad.

- Reordenamiento de rutas

A continuación se presentan las zonas que atenderán las empresas recolectoras con base en los resultados obtenidos por el empleo de métodos de transporte para minimizar los costos de transporte de desechos en que incurrir en la actualidad.

Tabla V. Reordenamiento de rutas de recolección

Empresa	Ubicación	Usuarios
<b>Marconi</b>	Zona 3	286
	Zona 4	322
	Zona 7	130
	Zona 8	277
	Zona 9	46
<b>SOL</b>	Zona 10	107
<b>Servi-Norte</b>	Zona 5	215
	Zona 6	80
	Zona 12	275
<b>SEMDEL</b>	Zona 1	402
	Zona 2	36
	Zona 11	99

Fuente: elaboración propia.



## **2.3. Estudio de mercado para clasificación previa de desechos**

Para facilitar el proceso de clasificación de desechos a los guajeros en el vertedero y así mismo, ampliar las oportunidades de comercialización de desechos reutilizables, se realiza un estudio de mercado para determinar la aceptación de un proceso de clasificación previa la recolección de desechos, así como, los costos en que se incurriría para llevar a cabo el proyecto y alternativas al mismo, de no adecuarse a la situación actual.

### **2.3.1. Características del servicio a ofrecer**

El servicio a evaluar por medio del estudio de mercado consiste en la promoción y puesta en práctica de la clasificación domiciliar de desechos sólidos de parte de los usuarios del servicio de recolección de desechos.

El servicio se llevaría a cabo, inicialmente, proveyendo de medios de almacenaje de desechos apropiados a los usuarios del servicio de recolección de desechos.

Tabla VI. **Color de medios de almacenaje dependiendo del tipo de desecho**

<b>Color de Bolsa</b>	<b>Tipo de Desecho</b>	<b>Actividad</b>
<b>Azul</b>	Papel y cartón	Almacenaje para venta
<b>Amarillo</b>	Plástico	Reclasificación en plásticos duros, plásticos suaves y PET
<b>Verde</b>	Vidrio	Almacenaje para venta
<b>Gris</b>	Aluminio	Almacenaje para venta
<b>Negro</b>	Orgánico	Relleno sanitario

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla anterior, se asignan colores a los medios de almacenaje que se proveerán a los usuarios con el fin de facilitar la clasificación domiciliar y así mismo, facilitarán la identificación de actividades a realizar por los guajeros del botadero municipal. Las actividades dispuestas en la tabla anterior se establecen con base a las actividades realizadas en la actualidad por los guajeros o segregadores en el botadero municipal.

- Medios de almacenaje a emplear

Debido a que el empleo de botes se presenta demasiado costoso y además, implica la utilización de bolsas de cualquier forma, se evalúan únicamente proveedores de bolsas los cuales se presentan a continuación:

Tabla VII. **Proveedores de bolsas**

<b>Producto</b>	<b>Teléfono</b>	<b>Correo Electrónico</b>
Amerplastic	2238-0442	www.amerplastic.com
Bolsanic	5894-9739	
El Chato	2332-2916	
Castiplast	2443-5650	www.castiplast.com
Agriplast Guatemala S.A.	7838-8906	www.agriplasguatemala.com
BAGSA	2250-6068	www.grupofiama.com
CAMBI S.A.	2473-1088	www.combicg.com
CORFILA S.A.	2253-8249	www.corfila.com
DEPEXT	2253-9382	www.depositoexito.com

Fuente: elaboración propia.

Para obtener información con respecto a precios y a características de los materiales a utilizar para proveer el servicio de clasificación, se llevó a cabo una entrevista no estructurada a los proveedores de bolsas, siendo la misma breve debido al canal (Internet) que se decidió emplear para la misma.

### **2.3.2. Muestra poblacional**

Una parte fundamental para realizar un estudio estadístico de cualquier tipo es obtener resultados confiables y aplicables.

Puesto que resulta casi imposible o impráctico llevar a cabo algunos estudios sobre toda una población, por lo que la solución es llevarlos a cabo sobre un subconjunto de esta llamada muestra.

- Tamaño de muestra

Conociendo el tamaño de la población se aplica la fórmula siguiente:

$$n = (Z^2)(pqN) / (4)(E^2) + ((Z^2)pq)$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

Z = nivel de confianza al que se trabaja

p = variabilidad positiva

q = variabilidad negativa

N = población

E = factor de error

Muestra poblacional de usuarios del servicio de recolección

Para el cálculo de la muestra poblacional se emplea el modelo para poblaciones conocidas obteniendo los siguientes resultados:

$$n = ((1,6)^2)(0,95)(0,05)(2\ 275\ usuarios) / (2\ 275\ usuarios)((0,05)^2) + ((1,96)^2)(0,95)(0,05)$$

Trabajando a un 95% de confianza, aceptando un 5% como margen de error, se obtiene una muestra poblacional de 402 usuarios, tomando en cuenta únicamente usuarios del servicio de recolección puesto que son los únicos relevantes a la investigación.

### **2.3.3. Herramientas de investigación**

Las herramientas de investigación son los medios por los cuales se obtiene información concluyente respecto al cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Las herramientas a emplear para obtener información con respecto a la aceptación y puesta en práctica de clasificación de desechos previa su recolección serán encuestas, puesto que en las mismas, se puede orientar al encuestado a proporcionar únicamente los datos necesarios para confirmar la viabilidad del proyecto. De igual manera, las encuestas constituyen una herramienta eficaz al tener una idea clara de lo que se quiere llevar a cabo (o lo que se necesita para llevarlo a cabo) contraria a la entrevista.

En el apéndice 1 se presenta el modelo de encuesta empleado con usuarios del servicio de recolección de desechos.

### **2.3.4. Demanda actual del servicio**

El consumidor potencial del servicio de clasificación domiciliar lo constituyen los usuarios del servicio de recolección de desechos, los cuales deberán obtener medios apropiados para el almacenaje y clasificación de desechos sólidos. En la actualidad contabilizan 2 278 usuarios con respecto a la base de datos de usuarios elaborada.

### **2.3.5. Oferta actual del servicio**

En la actualidad no se realizan actividades de clasificación domiciliar en la ciudad de Cobán. De igual manera, las instituciones públicas y privadas no cuentan con medios de almacenaje de desechos adecuados para clasificar desechos.

### **2.3.6. Proyección de demanda y oferta**

Con base en las encuestas realizadas, el 81,25% de los usuarios está de acuerdo con clasificar sus desechos previa la recolección de los mismos. Aun así, únicamente el 43,75% de los usuarios pagaría un incremento al valor del servicio, mismo que sería necesario para proveer de medios de almacenaje apropiados a los usuarios del servicio de recolección de desechos.

A continuación se calcula la demanda proyectada para el servicio de clasificación domiciliar de desechos sólidos:

Demanda (proyectada) = (número de usuarios)\*(porcentaje de aceptación)

Demanda (proyectada) = (2 278 usuarios)\*(0,8125) = 1 851 usuarios

Debido a la escasa aceptación de un incremento en el pago del servicio de recolección, se hace necesario que la municipalidad absorba el costo de provisión de medios de almacenaje de desechos.

### 2.3.7. Precio del servicio

El precio del servicio lo constituye el costo que representaría para la municipalidad proveer los medios de almacenaje de desechos a los usuarios del servicio de recolección de desechos.

Para proveer de medios de almacenaje a los usuarios del servicio de recolección se necesitaría de la siguiente cifra mensual:

Precio del servicio = (cantidad de bolsas)\*(precio de las bolsas).

Cantidad de bolsas = (2 278 usuarios)\*(4 bolsas/recolección)\*(2 recolecciones / semana).

Cantidad de bolsas = (18 224 bolsas/semana)\*((1 semana)/(7 días))\*((30 días)/(1 mes)).

Cantidad de bolsas = 78 103 bolsas al mes.

Precio del servicio = (78 103 bolsas/mes)\*(Q1,00 por bolsa) = Q78 103,00 al mes.

Ante la amplia aceptación de la clasificación domiciliar de desechos en usuarios del servicio de recolección (81,25% de los encuestados), se hace factible implementar un plan de clasificación de desechos previa su recolección, siempre y cuando la municipalidad sea capaz de cubrir el costo de provisión de medios de almacenaje de desechos ante la negativa de los usuarios al incremento del precio del servicio.

#### **2.4. Estudio financiero para la implementación de sistema de compactación de desechos**

En la actualidad, la comunidad de guajeros que vive y labora en el botadero municipal de Cobán obtiene ingresos relativamente bajos por las actividades que realizan (Q15,00 por quintal recolectado según informes a encargado de Departamento de Desechos Sólidos). Lo mismo se da en parte debido a la existencia de intermediarios, en parte debido a la ausencia de procesos de acondicionamiento de desechos para su comercialización.

Es entonces necesario, realizar un estudio que determine la capacidad económica de la Municipalidad de Cobán, para implementar maquinaria necesaria para el desarrollo comercial de la comunidad de guajeros. De igual manera, se presentan los participantes en el proyecto (intermediarios y plantas recicladoras) y los procedimientos que deben llevar a cabo los guajeros para adaptarse a las condiciones que establezcan las plantas de reciclaje.

- Elección de mecanismos de compactación

Antes de determinar las inversiones en que se debe incurrir e ingresos a generar, es necesario evaluar los modelos de mecanismos de compactación que se encuentran disponibles en el país y determinar si sus características satisfacen las necesidades del botadero municipal, establecidas en el estudio de mercado previo.

De igual manera, se contactan proveedores del servicio de reciclaje, teniendo como finalidad, alcanzar precios competitivos con respecto a lo que se obtiene en la actualidad de los intermediarios ubicados en la ciudad de Cobán, Alta Verapaz y de Salamá, Baja Verapaz.



Para la elección de proveedores de mecanismos de compactación se toman en cuenta las siguientes empresas, mismas que pertenecen a la industria y construcción.

Tabla VIII. **Empresas proveedoras de mecanismos de compactación**

<b>Proveedor</b>	<b>Teléfono</b>	<b>Página</b>	<b>Maquinaria disponible</b>
<b>COGUMA</b>	7771-0195	www.coguma.com	Compresores Compactadores
<b>Construental</b>	2310-9100	www.construental.com	Compresores Compactadores
<b>DISAGRO</b>	2474-9300	www.disagro.com	Compactadores
<b>RENTAMAX</b>	2485-3762	www.rentamaxsa.com	Compresores
<b>Iberoequipos</b>	2367-3107	www.iberoequipos.com	Trituradores Compactadores

Fuente: elaboración propia.

Para establecer los costos y condiciones en que operan los mecanismos compactadores disponibles en el país se elabora una entrevista no estructurada, empleada en proveedores de maquinaria industrial y en algunos casos, de construcción.

- Evaluación de clientes probables

Para la comercialización del plástico para reciclar, se evalúa el contacto con las siguientes empresas:

Tabla IX. **Empresas recicladoras con las que establecerá contacto**

<b>Empresa</b>	<b>Teléfono</b>	<b>Correo/Página</b>
<b>Ecogenica, S.A.</b>	6631-0256	ecogenica@intelnet.com
<b>Ecoplast</b>	5990-9823	ventas@ecoplast.com.gt
<b>Fumente</b>	2427-0780	www.fumente.org
<b>Recipa</b>	5518-8075	recipa@intelnet.net.gt
<b>Recicladora La Joya</b>	2448-1286	recicladoralajoya@yahoo.com
<b>Reciclados de Centroamérica</b>	2326-5687	www.recicla.com
<b>Amigos de la Naturaleza</b>	4472-2180	www.amigosdelanaturaleza.net
<b>Comercializadora Fresno S.A.</b>	2250-6858	www.fresnorecicla.com
<b>DISO S.A.</b>	2221-1372	www.recicladoradiso.com
<b>DISPEL</b>	2473-2869	dispelmario@hotmail.com

Fuente: elaboración propia.

Los clientes a evaluar fueron establecidos mediante clasificados y anuncios publicados en Internet.

Para establecer los precios de compra de desechos y condiciones de envío como de presentación de los mismos se realiza una entrevista no estructurada a empresas dedicadas al reciclado de desechos.

#### **2.4.1. Inversiones fijas y diferidas**

Las inversiones que se deben llevar a cabo para echar a andar el proyecto se dividirán en inversiones fijas y diferidas tanto para la adquisición y operación de un sistema de compactación, como para el transporte de los desechos clasificados hacia las plantas de reciclaje.

- Inversiones fijas

A continuación se presentan los cálculos realizados para calcular el monto mensual de las inversiones fijas.

Para el cálculo del costo de transporte se toma en cuenta un envío de desechos semanal, esto se debe a que en la actualidad se recolectan alrededor de cuatro toneladas de desechos reciclables (según información proporcionada por el Departamento de Desechos Sólidos, Municipalidad de Cobán) y con este tonelaje de desechos se cumple con la capacidad máxima de carga de los camiones convencionales utilizados por la municipalidad.

Transporte = (recorrido)\*(no.de viajes)\*(consumo comb.)\*(precio comb.)

Transporte = (219 km)\*(2 viajes de ida y vuelta)\*(0,1733 gal/km)\*(Q28,50/gal)

Transporte = (Q2 149,57/semana)\*(1 semana/7 días)\*(30 días/1 mes)

Transporte=Q9 212,44 al mes

Los guajeros obtienen un pago de Q15,00 por quintal de desechos recolectados, de igual manera se les proporciona vivienda.

Guajeros = (precio por qq recolectado)\*(cantidad de qq recolectados)

Guajeros = (Q 25,00/qq recolectado)\*(22,45 qq/día)\*(30 días/mes)

= Q16 837,50 al mes

En el costo de guajeros se contempla un incremento en su sueldo, al recargar sus actividades con limpieza de los residuos que recolectan y como un incentivo para mejorar su desempeño.

Se toman en cuenta los salarios obtenidos por conductores y ayudantes del servicio de recolección de desechos. De igual manera, se toma en cuenta la cantidad de ayudantes empleada para carga y descarga de camiones recolectores de desechos.

Conductores/ayudantes = (cantidad de empleados)\*(salario de empleados)

Conductor = (1 conductor)\*(Q60,00/día\*conductor)\*(30 días/mes)

Conductor = Q1 800,00 al mes

Ayudantes = (2 ayudantes)\*(Q56,00/día\*ayudante)\*(30 días/mes)

Ayudantes = Q3 360,00 al mes

Se toma en cuenta la paga de operarios de maquinaria de compactación bajo el salario mínimo (a diciembre del 2010). Se consideran dos operarios para dividir entre ellos funciones de operación de maquinaria e inspección durante la compactación (ambos realizarían operaciones de carga y descarga de desechos a la maquinaria).

Operarios = (cantidad de operarios)\*(salario de operarios)

Operarios = (2 operarios)\*(Q56,00/día\*operario)\*(30 días/mes)

Operarios = Q3 360,00 al mes

Las dimensiones de la maquinaria son de 21 pies cuadrados como mínimo hasta 58 pies cuadrados como máximo dependiendo de la maquinaria.

Infraestructura = (Q17,50/6 m<sup>3</sup> cimentados)(5,58 m<sup>3</sup>)

Infraestructura = Q97,58 para establecer cimientos de maquinaria

Se debe notar que de adquirir un compactador móvil (recomendado) no se invertiría en infraestructura y el costo de energía eléctrica equivaldría al del combustible empleado.

“El precio de la energía eléctrica se encuentra a \$112,82 por MW por hora para diciembre del 2010”<sup>6</sup>.

La maquinaria de compactación trabaja compactando alrededor de 3,3 quintales en 40 segundos (según manual de maquinaria de compactación proveído por empresa ORWAK), por lo que para compactar 20 quintales diarios, necesitaría únicamente de 2 horas de trabajo de la maquinaria al mes.

Energía eléctrica = (2 h)\*(115 V)\*(9 A)\*(\$ 112,82/MW\*h)\*(Q 7,98/\$ 1)

Energía eléctrica = Q1,85 al mes

---

<sup>6</sup> Según informe semanal del Departamento de Vigilancia y Monitoreo del Mercado Mayorista, Comisión Nacional de Energía Eléctrica –CNEE-. Página 1.

El precio promedio al que se obtiene maquinaria de compactación en dólares es de \$7 237,50, que a un tipo de cambio de Q7,98 por dólar (diciembre 2010) sería de Q57 755,25 con base en cotizaciones realizadas.

- Inversiones diferidas

Las inversiones diferidas las constituyen gastos variados e imprevistos, los cuales en este caso los constituyen únicamente los gastos de capacitación calculados a continuación.

Las capacitaciones a impartir al personal serán las siguientes (como mínimo):

- Clasificación de desechos.
- Condiciones de uso de maquinaria.
- Mantenimiento de maquinaria.
- Manejo de base de datos de usuarios y concientización a la población (sólo para personal administrativo).

Se estima que se invertirían Q2 000,00 por moderador de conferencias (incluidos viáticos) y Q100,00 por conferencia para proveer material de apoyo para reforzar los conocimientos adquiridos (para consulta del material propuesto para capacitaciones véase fase de docencia, capacitación al personal).

Tomando en cuenta que se impartirían cuatro conferencias distintas, el costo por capacitación sería de Q8 400,00.

- Inversión total

Al establecer las inversiones fijas se obtiene un total de Q92 424,62, cantidad que representa el monto de la inversión inicial en la que se incurriría para echar a andar el proyecto, incluyendo la inversión diferida que se estima en Q8 400,00, sería necesaria una inversión de Q100 824,62 para llevar a cabo el proyecto.

#### 2.4.2. Capital de trabajo

A continuación se presenta el cálculo del capital de trabajo, el cual consiste en el efectivo necesario para echar a andar el proyecto, es decir, la adquisición de maquinaria y puesta en marcha de comercialización de desechos reciclables con los nuevos proveedores del servicio de reciclaje.

Tabla X. **Conformación de capital de trabajo**

<b>Inversión</b>	<b>Costo</b>
<b>Fija (inversión inicial)</b>	<b>Q92 424,62</b>
<b>Diferida</b>	<b>Q8 400,00</b>
<b>Inventarios de materia prima</b>	-----
<b>Inventarios de productos terminados</b>	-----
<b>Productos terminados</b>	<b>Q8 909,84</b>
<b>Repuestos de maquinaria</b>	-----
<b>Suministros</b>	-----
<b>CAPITAL DE TRABAJO</b>	<b>Q91 914,78</b>

Fuente: elaboración propia.

Se debe tomar en cuenta que la materia prima en este caso la representan los desechos sólidos plásticos recolectados, pues son los únicos que necesitan transformación. El producto terminado lo constituyen los desechos listos para ser transportados a la planta de reciclaje, es decir, papeles, vidrios, cartones y plásticos compactados.

- Suministros

Los suministros se refieren a quienes proveen de materia prima a la empresa, en este caso constituida por las empresas recolectoras de desechos. Los suministros en este caso perciben un ingreso municipal de Q1,50 mensual por usuario de cada una de las empresas recolectoras ante lo cual no representa un costo para el proyecto la materia prima, así como, los suministros de la misma.

- Repuestos de maquinaria

Costo adjunto al costo de la maquinaria inicialmente.

- Productos terminados

Puesto que el vidrio, papel y cartón no necesitan preparación previa para su comercialización se toman como productos terminados y por los cuales se pueden obtener ingresos antes de iniciadas las operaciones del proyecto.



### 2.4.3. Costos de operación

A continuación se presentan los costos en que se incurrirá para llevar a cabo el servicio, desde la clasificación hasta la preparación de materiales, así como, su transporte hacia las plantas de reciclaje.

Tabla XI. Costos de operación

Inversiones de operación	Costo
Materia prima	-----
Mano de obra	
Guajeros (clasificadores)	Q16 837,50
Operadores (compactadores)	Q3 360,00
Piloto de transporte	Q1 800,00
Ayudantes de transporte	Q3 360,00
Outsourcing por inconvenientes	Q3 241,70
Servicios básicos	
Agua potable	-----
Energía eléctrica	Q1,85
Publicaciones (estimados para publicación mensual en diarios)	Q100
Transporte	Q9 212,44
Clasificación de desechos	Q2 668,00
TOTAL (mensual)	Q40 581,49

Fuente: elaboración propia.

- *Outsourcing* por inconvenientes (disposición de servicios de intermediarios).

El costo del empleo de intermediarios se daría al tener inconvenientes con el transporte y se vería representado por el costo de oportunidad. El costo de oportunidad se obtiene de la sustracción de los ingresos obtenidos con intermediarios de los obtenidos sin empleo de intermediarios.

Ingresos (con proyecto) = Q5 894,00 a la semana

Ingresos (intermediarios) = (Q45,00/qq)((8,42 qq)/día)((7 días)/semana)

Ingresos (intermediarios) = Q2 652,30 a la semana

Costo de oportunidad = Q5 894,00 - Q2 652,30 = Q3 241,70 por envío

Se debe notar que el costo de oportunidad se expresa por envío, debido a que los envíos de material se llevarían a cabo una vez a la semana.

#### **2.4.4. Costos de mantenimiento**

Para el óptimo funcionamiento de la maquinaria de compactación se establece el costo de mantenimiento de la misma con base en las condiciones establecidas por la empresa ORWAK en su manual operativo y de mantenimiento.

Las condiciones establecidas para el mantenimiento de maquinaria de compactación son las siguientes:

- El consumo de los compactadores móviles (en caso de disponer de los mismos en lugar de los compactadores estacionarios) se estima en 26 litros por hora para trabajo pesado. Con base en esto, se infiere que la cantidad de combustible requerida para trabajar un día entero (4 horas propuestas para el trabajo de compactación) es de 28 galones.
- Los compactadores móviles normalmente cuentan con motores diésel turbocargados. Su capacidad con respecto a lubricantes y refrigerantes es de 38 litros en el caso del aceite de motor y 50 litros para el refrigerante. Para el mantenimiento de maquinaria pesada se recomienda cambio en el aceite de motor e hidráulico cada 250 y 1 000 horas respectivamente. Tomando como un día convencional de trabajo el de 8 horas, se tiene entonces que el cambio de lubricantes se realiza cada mes para el aceite de motor y cada 4 meses para el aceite hidráulico.

A continuación se presenta el cálculo de los costos de mantenimiento:

$$\text{Combustibles} = (\text{Q}28,50/\text{gal}) * (28 \text{ gal}) = (\text{Q}798,00) * (4 \text{ días}) = \text{Q}3 192,00$$

Debe tomarse en cuenta que los envíos se realizarían por semana (4 días al mes).

Se estima que el valor de las reparaciones para maquinaria industrial o agrícola se encuentra alrededor del 40% del valor original de la maquinaria, por lo que se estima que las reparaciones a la maquinaria estarían alrededor de Q24 000,00.

Puesto que no se esperan averías mensuales en la maquinaria, se propone un valor mensual de Q8 000,00 tomando en cuenta 4 averías al año.

Con base a las cotizaciones realizadas, el costo de lubricantes sería de Q185,60 al mes.

“Se estima para maquinaria industrial o agrícola, el costo de seguros en Q1 000,00 mensuales”<sup>7</sup>.

Con base en los cálculos y cotizaciones realizadas, el costo en que se incurriría para darle mantenimiento a la maquinaria de compactación sería de Q12 377,60 al mes, estimando una cantidad elevada para reparaciones las cuales pueden ser evitadas de dar correcto uso y mantenimiento constante a la maquinaria.

#### **2.4.5. Ingresos a generar**

Con base en las entrevistas realizadas con proveedores del servicio de reciclaje se obtienen los precios (ver definición de participantes, página 88) a los que se comercializarán los residuos como se observa a continuación:

---

<sup>7</sup> MGB. Correduría de Seguros. Cotización *online*. Septiembre de 2010.

Tabla XII. Precios establecidos por empresa

Características por empresa	Material reciclable	Precio promedio por quintal	Observaciones
Todo tipo de desechos reutilizables	Plástico	Q40,00	El material debe ir limpio y separado por tipo de material
	Cartón corrugado	Q12,00	
	Papel revuelto	Q35,00	
	Papel blanco	Q60,00	
	Vidrio	Q7,00	
Especializada en plásticos	Plásticos	Q100,00	

Fuente: elaboración propia.

Con base en los precios promedio obtenidos se estiman los siguientes beneficios a generar con el proyecto.

- La producción unitaria de desechos es de 0,56 kilogramos por habitante día.
- La población del casco urbano es de 56 925 habitantes.
- La composición de desechos se divide en 6% para plásticos, 2% de papel y cartón y 3% de vidrios.

Producción de desechos =  $((0,51 \text{ kg})/(\text{hab} \cdot \text{día}))((2,2 \text{ lb})/\text{kg})((30 \text{ días})/\text{mes})((1 \text{ qq})/(100 \text{ lb}))(56 \text{ 925 hab})$ .

Producción de desechos = 19 160,96 qq al mes

Residuos plásticos =  $(19 \text{ 160,96 qq/mes}) \cdot (6\%) \cdot (Q100,00/\text{qq})$

Residuos plásticos= Q114 965,76 al mes

Residuos de vidrio =  $(19\ 160,96\ \text{qq/mes}) \cdot (3\%) \cdot (\text{Q}7,00/\text{qq})$

Residuos de vidrio = Q4 023,80 al mes

Residuos de papel y cartón =  $(19\ 160,96\ \text{qq/mes}) \cdot (2\%) \cdot (\text{Q}36,00/\text{qq})$

Residuos de papel y cartón = Q13 795,89 al mes

Total estimado = (Q132 785,45 al mes)(personal tal 50% de su capacidad)

Total estimado = Q66 392,72 al mes

Se estiman los ingresos generados, tomando en cuenta una eficiencia del personal de 50% para la recolección de desechos de la ciudad de Cobán.

La cantidad estimada (no se lleva registro de cantidades recolectadas) es obtenida con base en la generación de desechos en el casco urbano, sin considerar desechos que puedan ser generados en el área rural del municipio.

#### **2.4.6. Financiamiento**

Las fuentes de financiamiento las constituyen las partes que realizan aportaciones económicas para la puesta en marcha del proyecto.

Para obtener financiamiento, se espera enviar el informe terminado a instituciones de ayuda internacional, principalmente a embajadas de países extranjeros para solicitar ayuda financiera (los fondos municipales no se darían abasto para cubrir la inversión inicial).

Para efectos del trabajo, se tomarán en cuenta tasas de interés de entidades bancarias, provistas por la firma de servicios profesionales enfocados a consultorías económicas COPADES (Consultores para el Desarrollo S.A.), mismas que son del 13,21 y 5,40% para tasas activas y pasivas respectivamente.

### 2.4.7. Análisis de beneficio-costo

Para llevar a cabo un análisis de beneficio-costo, se llevará a cabo antes un análisis de sensibilidad para determinar la opción de producción más adecuada. Las opciones de inversión fueron planteadas con base en los requerimientos obtenidos de los proveedores del servicio de reciclaje de desechos y las mismas se presentan a continuación.

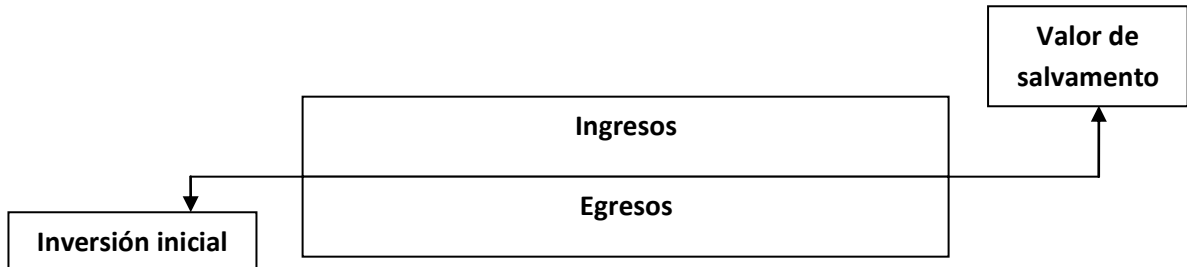
Tabla XIII. Opciones de inversión

Inversión	Características
Comercialización de plásticos	Se comercializarían únicamente los desechos plásticos reciclables. Para esta opción se obtendrían ingresos altos pero se incurriría en costos de embalaje y limpieza de los desechos.
Comercialización de vidrio, papel y cartón	Se comercializaría todo desecho sólido reciclable excepto los desechos plásticos para evitar la inversión en una compactadora de desechos. Se obtendrían ingresos reducidos pero disminuye la inversión a realizar.
Combinación de opciones anteriores	Se comercializaría todo desecho reciclable. Se obtendrían ingresos elevados por comercialización de plásticos y se evita la acumulación de <i>stock</i> al comercializar los otros materiales reciclables.

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta el modelo de flujos de caja a utilizar para calcular el Valor Presente Neto de cada una de las opciones de inversión.

Figura 32. **Modelo de flujo de caja**



Fuente: elaboración propia.

La inversión inicial se conforma con base en la inversión fija, diferida y capital de trabajo calculados con anterioridad.

Los egresos se obtienen de los costos de operación y mantenimiento calculados. Así mismo, los ingresos se obtienen con base en los ingresos a generar calculados con anterioridad más las depreciaciones de maquinaria.

El valor de salvamento lo representa el costo de la maquinaria menos el costo de remoción o de desmantelamiento, puesto que se estima que al final de su vida útil el valor de desmantelamiento oscila entre el 80% del valor final de la maquinaria, el valor de salvamento de la maquinaria es de Q12 000,00.

La depreciación la constituye una reducción anual del valor de una propiedad, planta o equipo. Para este proyecto se emplea la depreciación de saldo doble decreciente, puesto que la misma implica un alto valor de depreciación en el primer año, situación provechosa para absorber positivamente la inversión inicial.

Para maquinaria la depreciación es de 20% en 5 años de vida útil para el activo.



Tabla XIV. **Tabla resumen para flujo de caja**

<b>Opción</b>	<b>Inversión inicial</b>	<b>Egresos</b>	<b>Ingresos</b>	<b>Valor de salvamento</b>
<b>1</b>	Q91 914,78	Q52 959,09 /mes	Q57 482,88 /mes	Q12 000,00
		Q635 509,08 /año	Q689 794,56 /año	
<b>2</b>	Q34 159,53	Q37 221,49 /mes	Q8 909,84 /mes	0
		Q446 657,88 /año	Q106 918,08 /año	
<b>3</b>	Q101 127,22	Q62 171,53 /mes	Q66 392,72 /mes	Q12 000,00
		Q746 058,36 /año	Q796 712,64 /año	

Fuente: elaboración propia.

Los valores presentados representan los costos e ingresos contemplados por alternativa de inversión, aún sin tomar en cuenta la depreciación de maquinaria y la tasa inflacionaria debido a que serán utilizados únicamente como medio de comparación en el análisis de sensibilidad, a diferencia del análisis de B/C.

- **Cálculo de depreciaciones**

Se debe tomar en cuenta que las depreciaciones aplican a las opciones de inversión que implican adquisición de maquinaria. Se emplea el método de saldo doble decreciente puesto que incrementa la cantidad de la depreciación en los primeros años de operación, lo que contribuye a disminuir la inversión inicial.

Tabla XV. **Tablas de depreciaciones SDD**

<b>Opción no. 1 de inversión</b>						
<b>Año</b>	<b>FE antes de ISR</b>	<b>Depreciación SDD</b>	<b>Ingreso gravable</b>	<b>ISR 15%</b>	<b>FE después de ISR</b>	<b>FE mas depreciación</b>
<b>0</b>	Q91 914,78	0	0	0	0	Q91 914,78
<b>1</b>	Q54 285,48	Q23 102,10	Q31 183,38	Q4 677,51	Q25 505,83	Q49 607,93
<b>2</b>	Q54 285,48	Q13 861,26	Q40 424,22	Q60 63,63	Q34 360,59	Q48 221,85
<b>Opción no. 3 de inversión</b>						
<b>Año</b>	<b>FE antes de ISR</b>	<b>Depreciación SDD</b>	<b>Ingreso gravable</b>	<b>ISR 15%</b>	<b>FE después de ISR</b>	<b>FE mas depreciación</b>
<b>0</b>	Q101 127,22	0	0	0	0	Q101 127,22
<b>1</b>	Q50 654,28	Q23 102,10	Q27 552,18	Q4 132,83	Q23 419,35	Q46 521,45
<b>2</b>	Q50 654,28	Q13 861,26	Q36 793,02	Q5 518,95	Q31 274,07	Q45 135,33

Fuente: elaboración propia.

A continuación se detallan los procedimientos de los cuales se obtienen los valores de depreciación por opción de inversión:

Para el cálculo del flujo de efectivo antes de impuestos, en el año cero se toma la inversión inicial únicamente, mientras que para el resto de años se incluyen las anualidades (ingresos – egresos).

La depreciación (por método de saldo doble decreciente) se calcula utilizando la fórmula:

$$D_t = dB \left[ (1-d) \right]^{(t-1)}$$

Donde:

Dt	=	depreciación en función del tiempo
d	=	depreciación máxima
B	=	costo inicial de maquinaria
T	=	años

La depreciación máxima por saldo doble decreciente se calcula con la fórmula siguiente:

$$d=2/n$$

Donde:

N	=	número de años de vida útil del activo = 5 años para maquinaria
d	=	$2/5 = 0,4$

A partir de los datos anteriores se calculan las depreciaciones para los primeros tres años como se muestra a continuación:

$$D1 = (0,4) * (Q57 755,25) [ (0,6) ] ^0 = Q23 102,10$$

$$D1 = (0,4) * (Q57 755,25) [ (0,6) ] ^1 = Q13 861,26$$

$$D1 = (0,4) * (Q57 755,25) [ (0,6) ] ^2 = Q8 316,76$$

Nótese que ya no se toma en cuenta el valor de la depreciación para el año 3 puesto que el valor de salvamento es mayor que él.

El ingreso gravable se obtiene de la resta de depreciaciones de los ingresos considerados en el flujo de efectivo.

El impuesto sobre la renta se obtiene al multiplicar los ingresos gravables por el 15% legal.

Una vez calculado el ISR se calcula el flujo de efectivo después de impuestos por medio de la sustracción del impuesto sobre la renta de los ingresos gravables estimados.

Finalmente se expresa el flujo de efectivo incluyendo las depreciaciones, el cual se calcula por medio de la adición de depreciaciones al valor de ingresos gravables después de impuestos.

- Análisis de sensibilidad

Puesto que la maquinaria (de compactación) tiene una vida útil de 5 años, se emplea este parámetro para evaluar el rendimiento de las alternativas de inversión.

Para establecer la mejor opción de inversión se lleva a cabo un análisis comparativo de los Valores Presentes Netos (lo que generaría hoy en día el proyecto) de cada una a diferentes tasas de interés.

Para obtener el Valor Presente Neto de las opciones de inversión es necesario pasar las anualidades que se obtendrán por proyecto, así como, el valor de rescate de la maquinaria al presente, lo cual se hace por medio de los siguientes valores:

Tabla XVI. **Tasas de interés (tablas de relaciones para flujos de efectivo)**

<b>Tasa de interés</b>	<b>Presente dado futuro (P/F, i, 5 años)</b>	<b>Presente dado anualidades (P/A, i, 5 años)</b>
<b>8%</b>	0,6806	3,9927
<b>12%</b>	0,5674	3,6048
<b>13,21% (tasa activa)</b>	<b>0,5384</b>	<b>3,5009</b>
<b>14%</b>	0,5194	3,4331
<b>22%</b>	0,3700	2,8636
<b>30%</b>	0,2693	2,4356

Fuente: elaboración propia.

Los valores de razón (presente dado futuro y dado anualidades) para la tasa activa de interés, a utilizar como tasa de oportunidad en el proyecto, se establecen interpolando los dos porcentajes conocidos más cercanos a 13,21%, en este caso 12% y 14%.

Interés	P/F	P/A
12%	0,5674	3,6048
13,21%	$X_1$	$X_2$
14%	0,5194	3,4331

Interpolando:

$$(12 - 13,21)/(12 - 14) = (0,5674 - X_1)/(0,5674 - 0,5194) \quad X_1 = 0,5384$$

$$(12 - 13,21)/(12 - 14) = (3,6048 - X2)/(3,6048 - 3,4331) X2 = 3,5009$$

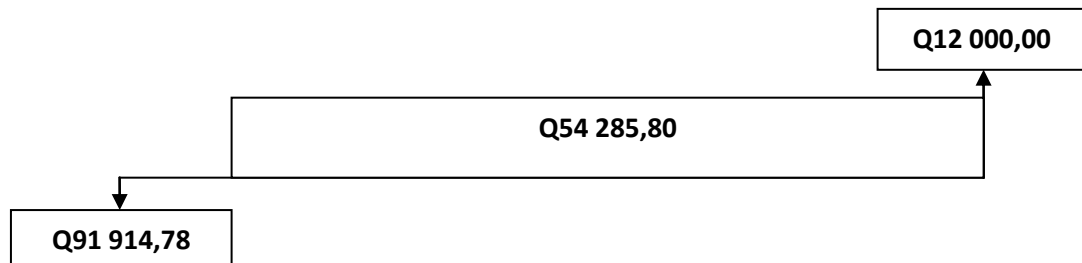
De igual manera se calculan los valores para un interés de 50% (no incluido en tablas) para el posterior cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR), empleando las siguientes fórmulas:

$$(P/F, 50\%, 5) = 1/(1+0,5)^*(5) = 1/7,59375 = 0,1317$$

$$(P/A, 50\%, 5) = ((1 + 0,5)^*(5) - 1)/(0,5)*(1 + 0,5)^*(5) = 6,59375/11,3906 = 0,5789$$

A continuación se presenta el cálculo del Valor Actual Neto para cada una de las opciones de inversión:

Figura 33. Flujo de efectivo para opción 1



Fuente: elaboración propia.

$$VAN = - Q91 914,78 + Q54 285,80(P/A, i, 5) + Q12 000,00(P/F, i, 5)$$

$$VAN 13,21\% = - Q91 914,78 + Q190 094,16 + Q6 460,80 = Q104 640,80$$

$$VAN 8\% = - Q91 914,78 + Q216 746,91 + Q8 167,20 = Q132 999,30$$

$$VAN 14\% = - Q91 914,78 + Q186 368,58 + Q6 232,80 = Q100 686,60$$

$$VAN 22\% = - Q91 914,78 + Q155 452,82 + Q4 440,00 = Q67 978,04$$

$$VAN 30\% = - Q91 914,78 + Q132 218,48 + Q3 231,60 = Q43 535,30$$

$$\text{VAN } 50\% = - \text{Q}91\,914,78 + \text{Q}31\,426,05 + \text{Q}1\,580,40 = - \text{Q}58\,908,33$$

Para obtener la Tasa Interna de Retorno (TIR):

VAN	Tasa de interés
Q43 535,30	30%
0	TIR
- Q58 908,33	50%

Interpolando:

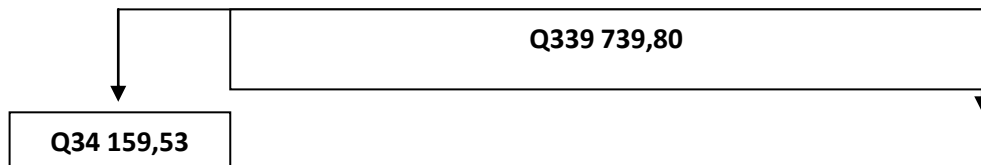
$$(43\,535,30 - 0) / (43\,535,30 + 58\,908,33) = (30 - \text{TIR}) / (30 - 50)$$

$$\text{TIR} = 38,50\%$$

$$\text{VAN } +10\% \text{ B} = - \text{Q}91\,914,78 + \text{Q}209\,103,58 + \text{Q}6\,460,80 = \text{Q}123\,649,60$$

$$\text{VAN } -10\% \text{ B} = - \text{Q}91\,914,78 + \text{Q}171\,084,74 + \text{Q}6\,460,80 = \text{Q}85\,630,76$$

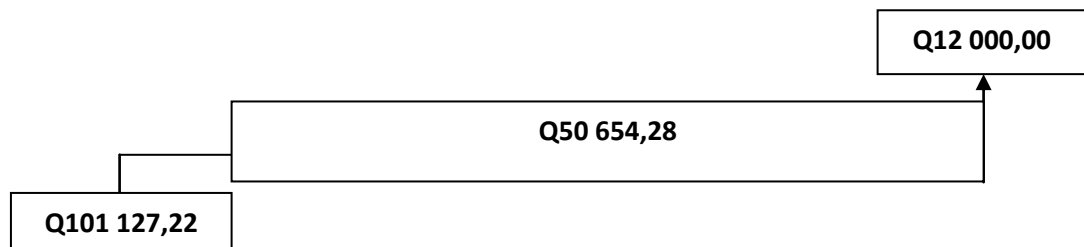
Figura 34. **Flujo de efectivo para opción 2**



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la figura anterior para la opción de inversión 2 (comercialización de desechos reciclables exceptuando plásticos) los ingresos son menores a los egresos ante lo cual no es necesario calcular el Valor Presente Neto para descartar la opción y se deben tomar en consideración únicamente opciones que involucren la comercialización de desechos plásticos.

Figura 35. **Flujo de efectivo para opción 3**



Fuente: elaboración propia.

$$\begin{aligned} \text{VAN} &= - \text{Q}101\,127,22 + \text{Q}50\,654,28(\text{P/A},i,5) + \text{Q}12\,000,00(\text{P/F},i,5) \\ \text{VAN } 13.21\% &= - \text{Q}101\,127,22 + \text{Q}177\,335,57 + \text{Q}6\,460,80 = \text{Q}82\,669,15 \\ \text{VAN } 8\% &= - \text{Q}101\,127,22 + \text{Q}202\,247,34 + \text{Q}8\,167,20 = \text{Q}109\,287,32 \\ \text{VAN } 14\% &= - \text{Q}101\,127,22 + \text{Q}173\,901,21 + \text{Q}6\,232,80 = \text{Q}79\,006,79 \\ \text{VAN } 22\% &= - \text{Q}101\,127,22 + \text{Q}145\,053,60 + \text{Q}4\,440,00 = \text{Q}48\,366,38 \\ \text{VAN } 30\% &= - \text{Q}101\,127,22 + \text{Q}123\,373,56 + \text{Q}3\,231,60 = \text{Q}25\,477,94 \\ \text{VAN } 50\% &= - \text{Q}101\,127,22 + \text{Q}29\,323,76 + \text{Q}1\,580,40 = - \text{Q}70\,223,06 \end{aligned}$$

Para obtener la TIR:

VAN	Tasa de interés
Q25 477,94	30%
0	TIR
- Q70 223,06	50%



Interpolando:

$$(25\,477,94)/(25\,477,94 + 70\,223,06) = (30 - \text{TIR})/(30 - 50)$$

$$\text{TIR} = 35,32\%$$

$$\text{VAN} +10\% \text{ B} = -\text{Q}101\,127,22 + \text{Q}195\,069,13 + \text{Q}6\,460,80 = \text{Q}100\,402,71$$

$$\text{VAN} -10\% \text{ B} = -\text{Q}101\,127,22 + \text{Q}159\,602,01 + \text{Q}6\,460,80 = \text{Q}64\,935,59$$

Tabla XVII. **Tablas de análisis de sensibilidad**

Opción	VAN 13.21%	TIR	8%	14%	22%	30%
1	Q104 640,18	38,50%	Q132 999,33	Q100 686,60	Q67 978,04	Q43 535,30
2	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3	Q82 669,15	35,32%	Q109 287,00	Q79 006,79	Q48 366,38	Q25 477,94

Opción	+ 10% beneficios	VAN 13.21%	- %10 beneficios	VAN 13.21%	Mejor opción
1	Q209 649,60	Q123 649,60	Q171 084,74	Q85 630,76	<b>X</b>
2	-----	-----	-----	-----	
3	Q195 069,13	Q100 402,71	Q159 602,01	Q64 935,59	

Fuente: elaboración propia.

- Análisis de beneficio costo

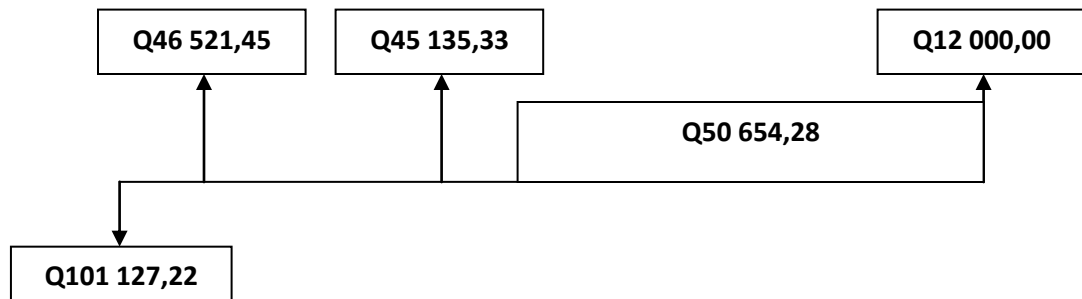
A partir de la mejor opción estimada, se emplea un análisis de beneficio/costo a una tasa de interés de 13,21% anual, obteniéndola por la relación siguiente:

$$\text{B/C} = \text{VPN B} / \text{VPN C}$$

La cual implica la relación del Valor Presente de beneficios y Valor Presente Neto de costos en el proyecto. Lógicamente, una relación mayor que uno será beneficiosa y menor que ella implicaría que el proyecto no es rentable.

A pesar de obtener la primera opción de inversión como la más rentable, se opta por la opción 3 debido a que la misma presenta una salida para residuos no plásticos, que no pueden ser empleados en el botadero como relleno sanitario. En esta ocasión si se consideran las depreciaciones calculadas para la maquinaria de compactación, así como, la tasa de inflación.

Figura 36. **Flujo de efectivo para opción 3 (recomendada) incluyendo depreciaciones de maquinaria**



Fuente: elaboración propia.

Tasa de interés = 13,21%

Tasa de inflación = 5,25%

Tasa inflada =  $0,1321 + 0,0521 + (0,1321) \cdot (0,0521) = 19,11\%$  anual

Interés	P/F(1)	P/F(2)
18%	0,8475	0,7182
19,11%	X1	X2
20%	0,8333	0,6944

Interés	P/F(5)	P/A
18%	0,4371	2,1743
19,11%	X3	X4
20%	0,4019	2,1065

Interpolando:

$$(18 - 19,11)/(18 - 20) = (0,8475 - X1)/(0,8475 - 0,8333)$$

$$(18 - 19,11)/(18 - 20) = (0,7182 - X2)/(0,7182 - 0,6944)$$

$$(18 - 19,11)/(18 - 20) = (0,4371 - X3)/(0,4371 - 0,4019)$$

$$(18 - 19,11)/(18 - 20) = (2,1743 - X4)/(2,1743 - 2,1065)$$

$$X1 = 0,8396, \quad X2 = 0,7050, \quad X3 = 0,4176, \quad X4 = 2,1367$$

$$\text{VPN B} = (Q46\ 521,45) \cdot (0,8386) + (Q45\ 135,33) \cdot (0,7050) + (Q12\ 000) \cdot (0,4176) \\ + (Q50\ 654,28) \cdot (2,1367) = Q184\ 124,02$$

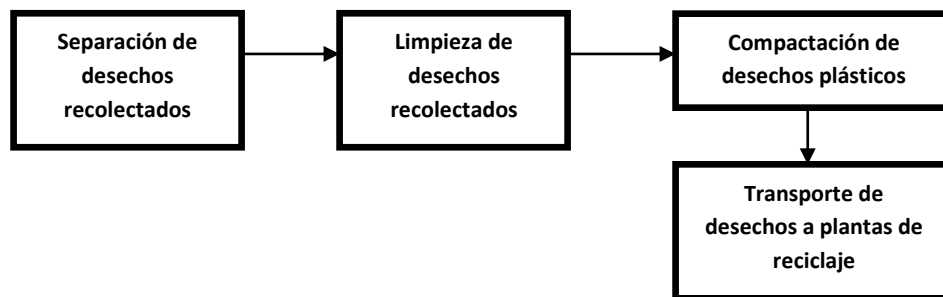
$$\text{VPN C} = Q101\ 127,22$$

$$\text{B/C} = \text{VPN B} / \text{VPN C} = Q184\ 124,02 / Q101\ 127,22 = 1,82$$

#### 2.4.8. Nuevo flujo de operaciones en el vertedero

En el estudio financiero a realizar se contempla el servicio de clasificación de desechos como parte del sistema de compactación de desechos para su comercialización posterior.

Figura 37. **Diagrama de bloques de actividades de comercialización de desechos**



Fuente: elaboración propia.

Con base en los resultados obtenidos del estudio de mercado se plantean tres opciones viables:

- Compactación y comercialización de desechos plásticos.
- Preparación y comercialización de desechos varios (exceptuando desechos plásticos).
- Comercialización de todo material reutilizable.

Para llevar a cabo la evaluación económica se toma en cuenta la tasa de interés establecida por el Banco de Guatemala de 13,21% anual (tasa activa).

Para cumplir con la cuota mínima de ingresos planteada los segregadores o guajeros necesitan reunir residuos en las siguientes cantidades:

Residuos plásticos = 9 quintales/día clasificados entre PET, LDPE, HDPE, PP.

Residuos de vidrio = 5 quintales/día

Residuos de papel y cartón = 6 quintales/día clasificados entre papel revuelto, papel blanco y cartón corrugado.

#### **2.4.9. Definición de participantes**

A continuación se presentan las empresas que se recomiendan para llevar a cabo el reciclaje de desechos seleccionados y clasificados en el botadero municipal. Se presenta tanto la información de contacto como precios de compra y requerimientos presentados por las empresas recicladoras.

Tabla XVIII. **Empresas recicladoras participantes**

<b>Empresa</b>	<b>Material reciclable</b>	<b>Precio por quintal</b>	<b>Observaciones</b>
<b>DISO, S.A.</b>  <b>Info. contacto:</b>  Tel. 2221-1372 www.recicladoradiso.com	Plástico	Q40,00	El plástico se comerciara únicamente con Ecoplast S.A.
	Cartón corrugado	Q12,00	Transportarlo a la planta de reciclaje.
	Papel revuelto	Q35,00	
	Papel blanco	Q60,00	
	Vidrio	Q7,00	
<b>Ecoplast, S.A.</b>  <b>Info. contacto:</b>  Tel. 2475-5756 Tel. 2440-7410 ventas@ecoplast.com.gt	Plásticos	Q100,00	Material debe ir limpio.  Separado por tipo de material.  Transportarlo a la planta de reciclaje.


Fuente: elaboración propia.

El material plástico para Ecoplast se debe clasificar de la siguiente manera:

- PET, que consisten en botellas de aguas gaseosas, de agua y aceite. Deben decir PET o PETE en la parte de abajo.
- LDPE, entre los cuales están: bolsas de plástico, transparentes o con muy poca impresión y tela de lluvia.
- HDPE, que consisten en cajillas de aguas gaseosas, cubetas, palanganas y baldes.
- PP, entre los cuales se encuentran sillas y mesas.

Para la adquisición de maquinaria de compactación de desechos, se sugiere la siguiente empresa estadounidense, puesto que en el medio nacional se encontró únicamente maquinaria especializada en construcción y agricultura.

Tabla XIX. **Empresa proveedora de mecanismos de compactación recomendada**

Empresa	Modelo de maquinaria	Características	Precio
	<b>ORWAK</b> <i>little elephant front-loading 100 compactor (FL 100)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ejerce una presión de 3 300 lb, funcionando a ciclos de 40 segundos.</li> <li>Garantía de 12 meses para todas las partes y 3 de funcionamiento.</li> </ul>	<b>\$7 885,00</b>
	<b>ORWAK</b> <i>little elephant top loading compactor</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ejerce una presión de 3 300 lb, funcionando a ciclos de 40 segundos.</li> <li>Garantía de 12 meses para todas las partes y 3 de funcionamiento.</li> </ul>	<b>\$6 590,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Con base en el estudio financiero realizado, se establece que es rentable llevar a cabo una inversión destinada a adquirir un mecanismo de compactación que contribuiría a reducir el volumen de los desechos plásticos, para su posterior transporte a plantas de reciclaje en mayor peso y así, obtener mayores ganancias por viaje. Se establece la rentabilidad con base en un análisis de beneficio-costos que dé como resultado 1,82, es decir, se obtienen beneficios en un 82% por encima de los costos en que se incurre para prestar el servicio.



Con base en los requerimientos planteados por las empresas contactadas se recomiendan dividir las actividades de los guajeros ubicados en el botadero municipal en recolección, segregación, limpieza y compactación/preparación de los residuos previo su transporte a plantas de reciclaje. De igual manera, se recomienda dividir el trabajo en estaciones para incrementar la eficiencia con la que se trabaja actualmente.

### **3. FASE DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Plan de contingencias**

Una planificación de contingencias representa un conjunto de acciones que se deben llevar a cabo en caso de emergencias, más comúnmente empleados como medios de mitigación de riesgos tras desastres naturales o problemas de índole ambiental afectando el funcionamiento normal de las empresas o instituciones.

Es preocupante, la situación que se experimenta actualmente en el botadero municipal de Cobán, puesto que se ubica demasiado cerca del río Cahabón, pudiendo así, afectar y contaminar el afluente del río y por consiguiente, a la población cuyas actividades dependen del mismo.

A continuación se presentan tanto el análisis de contaminantes como las medidas para prevenir y corregir la contaminación de la subcuenca del río Cahabón por desechos del botadero municipal.

##### **3.1.1. Descripción del problema**

En la ciudad de Cobán, es realmente preocupante que por la cercanía del botadero municipal con el río Cahabón, los desechos contenidos en el botadero lleguen a contaminar las aguas del río en mención. Situación que se hace posible debido al clima de la región, en el cual prevalecen las lluvias, mismas que al provocar deslaves e inundaciones pueden provocar que los desechos se mezclen con el río.

A pesar de estar ya contaminado el río, como se demostrará más adelante con base en los estudios previos, sería catastrófica la contaminación del mismo con los desechos contenidos en el botadero, entre los cuales se encuentran desechos hospitalarios y de índole industrial que causarían daños severos a la salud de la población que vive a orillas del río, transita por el mismo o que lo emplea como apoyo en actividades de riego en agricultura informal en su mayoría.

### **3.1.2. Legislación ambiental vigente**

A continuación se presentan leyes incluidas en la Constitución de la República y leyes ambientales vigentes en el país, en las cuales se podrán respaldar las medidas planteadas frente a la problemática observada.

- Constitución Política de la República de Guatemala

De la sección séptima, dedicada a la salud, seguridad y asistencia social se obtiene el artículo siguiente:

#### Artículo 94. Obligación del estado sobre salud y asistencia social

El estado velará por la salud y asistencia social de todos los habitantes. Desarrollará a través de sus instituciones, acciones de prevención, promoción, recuperación, rehabilitación, coordinación y los complementarios pertinentes a fin de procurarles el más completo bienestar físico, mental y social.

- El código de salud

Artículo 97. Queda prohibida la descarga de contaminantes de origen industrial, agroindustrial y el uso de aguas residuales que no hayan sido tratadas sin previo dictamen favorable del Ministerio de Salud, la Comisión Nacional del Ambiente y la autorización del Consejo Municipal de la jurisdicción o jurisdicciones municipales afectadas.

Dicho dictamen debe ser emitido en un plazo que no exceda a lo que establezca el reglamento respectivo. Se prohíbe, así mismo, la descarga de aguas residuales no tratadas en ríos, lagos, riachuelos y lagunas o cuerpos de agua, ya sean estos superficiales o subterráneos.

- Reglamento de las descargas y reúso de aguas servidas

Artículo 16. Se establece que los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son: la temperatura, potencial de hidrógeno, grasas y aceites, materia flotante, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, arsénico, cadmio, cianuro total, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, zinc cloro y coliformes fecales.

Como se observa en la sección de artículos anterior, se justifica la implementación y publicación de medidas de preservación de la salud, en este caso, por medio de la prevención y corrección de presencia de contaminantes en el río Cahabón.

De igual manera, se observa la prohibición de ley para el contacto de desechos municipales con afluentes y posteriormente, se provee de parámetros por medio de los cuales se mide la contaminación del río en cuestión.

### **3.1.3. Antecedentes de incidencia ambiental en el municipio**

El río Cahabón nace en la aldea Pantín de Tactic, Alta Verapaz, recorre parte de los municipios de Tactic y Santa Cruz Verapaz, antes de entrar al municipio de Cobán. Durante su recorrido recibe la afluencia de otros pequeños ríos y al llegar a la ciudad de Cobán ya presenta un caudal bastante considerable, luego de recorrer los municipios de San Pedro Carchá, Lanquín y Cahabón, desemboca en el río Polochic en el municipio del Estor, Izabal.

Su importancia radica en que sus aguas riegan todos estos municipios, pero lamentablemente, no pueden ser aprovechadas con fines turísticos, para riego o consumo humano o de animales domésticos, debido a su alto grado de contaminación principalmente en la parte alta de la cuenca.

“Una de las maneras en que se evidencia la contaminación del río Cahabón es que se ha podido apreciar en los últimos años un gran incremento de plantas acuáticas que cuentan con altos contenidos de materia orgánica”<sup>8</sup>. Esta abundancia de plantas acuáticas, retiene basura y todo tipo de desperdicios que van a dar al río, para incrementar la materia orgánica y otorgarle su característico mal olor.

---

<sup>8</sup> Ing. Agr. Rodolfo A. Reyes Villatoro, Contaminación en el río Cahabón, Alta Verapaz, Guatemala. Ing. Agr. Rodolfo A. Reyes Villatoro. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009.

Por otro lado, este río, históricamente se ha caracterizado por sus frecuentes desbordamientos durante la época de lluvias, habiendo sido más perjudicial a la población durante el huracán Mitch.

A pesar de que el río atraviesa la ciudad de Cobán y su contaminación causa malestar a la población, no fue sino hasta en años recientes en que se hizo un estudio de los indicadores ambientales para observar las causas de los problemas ambientales (presión sobre el ambiente, la calidad del ambiente y los recursos naturales como resultado de las acciones humanas, el impacto y efecto de las actividades humanas sobre el ambiente, las medidas y respuestas que toma la sociedad sobre el ambiente y los indicadores de gestión que se relacionan con el manejo de los instrumentos legales y económicos generados por la sociedad).

En la ciudad de Cobán, muchas viviendas alrededor del río, vierten sus drenajes y desechos sólidos directamente al río, incrementando considerablemente su contaminación.

El grado de contaminación actual inhabilita a este río para fines de turismo y recreación, tampoco se aprovechan sus aguas con otros fines, aunque en el pasado abastecía de agua a algunas fincas que la usaban para beneficiar café, de lo cual aún quedan vestigios de presas construidas con ese fin.

- Muestras tomadas de cantidad y calidad de contaminantes

Basado en los resultados obtenidos por el estudio de Contaminación en el río Cahabón e informes del comité para el manejo sustentable de la subcuenca del río Cahabón, en tomas muestrales realizadas a diversas locaciones en Alta Verapaz, se presentan los resultados de cantidad y calidad de contaminantes.

Las muestras evaluadas que se presentan, son únicamente las que involucran a la ciudad de Cobán, puesto que la misma es el único objeto de investigación evaluado. La muestra fue tomada en la entrada a Cobán, a 15 grados latitud norte y 90 grados longitud oeste, a 1 310 metros sobre el nivel del mar de altitud.

Tabla XX. **Cantidad y calidad de características biológicas presentes en el río Cahabón**

<b>Sujetos de Análisis Microbiológico</b>	<b>Resultados</b>
<b><i>Coliformes totales (NMP/100mL)</i></b>	19 000
<b><i>Coliformes fecales (NMP/100mL)</i></b>	1 100
<b><i>Escherichia Coli</i></b>	Positivo
<b><i>Enterococcus</i></b>	Positivo

Fuente: REYES VILLATORO, Rodolfo A. Contaminación en el río Cahabón, Alta Verapaz. P. 40.

Según los resultados obtenidos de coliformes totales, los mismos representan ya una contaminación más alta de lo normal y requieren tratamientos de agua activos (2 000 microorganismos por 100 mililitros de agua es el límite tolerado según Normas de la Organización Mundial para la Salud en cuanto a calidad de agua). Es de notarse igualmente, que los coliformes fecales aún no se presentan en grandes cantidades, pero rebasan los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (1 000 NMP/100 mL).

Tabla XXI. **Cantidad y calidad de características químicas presentes en el río Cahabón**

<b>Características químicas</b>	<b>Muestra (mg/L)</b>	<b>Límite permitido (mg/L)</b>
<b>pH</b>	8,13	6, 5-8, 5
<b>Demanda bioquímica de oxígeno DBO</b>	25 000	6 000
<b>Demanda química de oxígeno DQO</b>	4	10 000
<b>Nitrógeno</b>	2 700	1 000
<b>Nitratos</b>	1 000	10 000
<b>Nitritos</b>	0,021	1 000
<b>Fosfatos</b>	3 100	-----
<b>Sulfatos</b>	100	250 000
<b>Cianuros</b>	0,031	0,07
<b>Sodio</b>	10 000	-----
<b>Calcio</b>	14 000	150 000
<b>Magnesio</b>	51 900	100 000
<b>Cromo</b>	0,05	0,05
<b>Cloro</b>	0,01	1 000
<b>Boro</b>	0,06	0,3
<b>Plomo</b>	0,27	0,01

Fuente: REYES VILLATORO, Rodolfo A. Contaminación en el río Cahabón, Alta Verapaz. p 26.

Como se observa en la tabla anterior, la DBO, nitrógeno y plomo, exceden los límites establecidos en cuanto a cantidades permitidas en el río Cahabón y por lo tanto, sus aguas no son aprovechables por la población en general.



### **3.1.4. Análisis de riesgos**

- Riesgos identificados

Contaminación de aguas por percolación de aguas o escorrentía ocasionadas por riegos o lluvias. Por el efecto de escorrentía o percolación se pueden llegar a contaminar aguas donde la concentración de contaminantes sea intolerable por el ser humano. En este caso, la presencia elevada de nitritos en el agua representa contaminación por herbicidas.

- Evaluación de riesgos

Para evaluar el riesgo principal definido se emplea el método de la ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades) que consiste de los siguientes pasos:

- Evaluación de información acerca del lugar
- Determinación de contaminantes de interés
- Identificar y evaluar rutas ambientales
- Identificar y evaluar rutas de exposición humana
- Determinación de implicación a la salud

Debe observarse que se emplean los riesgos con base en niveles de exposición y no de dosis, tratándose el riesgo de un problema de epidemiología y no de toxicología debido a la cantidad elevada de población que puede ser afectada.

De los pasos del método ATSDR se han llevado a cabo por el momento tres de ellos:

- Evaluación de información acerca del lugar (antecedentes de incidencia ambiental en el municipio).
- Determinación de contaminantes de interés (muestreo incluido en descripción del problema).
- Identificar y evaluar rutas ambientales (antecedentes de incidencia ambiental en el municipio).

Ante esto resta identificar las rutas de exposición humana, la cantidad de personas expuestas al riesgo propuesto y sus implicaciones a la salud.

- Identificación y evaluación de rutas de exposición humana

En la actualidad, se lleva a cabo un proyecto de restauración de las aguas del río Cahabón, por medio del comité para el manejo sustentable de la subcuenca del río Cahabón. El mismo cuenta con el apoyo financiero del programa de Naciones Unidas para el Ambiente –PNUMA- y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales –MARN-.

Los encargados del proyecto son autoridades municipales en conjunto a empresas e industrias ubicadas en Alta Verapaz. Los mismos han obtenido la facultad de tomar acciones inmediatas a partir de finales del 2010.

Con base en este proyecto, se ha determinado que el río Cahabón cuenta con alrededor de 100 afluentes, contaminados en un 100% desde el municipio de Tactic hasta el municipio de Carcha, ambos ubicados en Alta Verapaz y cuyo trayecto incluye a la ciudad de Cobán.

Las causas son la deforestación excesiva y la creciente de aguas residuales en el afluente del río. De igual forma, se prevé que el río acarrea desperdicios de alrededor de 3 000 habitantes.

Puesto que se conoce que únicamente el 47% de la población posee agua entubada, el riesgo de tener contacto con agua contaminada es latente en el 53% de la población restante.

Expo. humana = (0,53)\*(182 245 habitantes) = 96 590 habitantes

- Determinación de implicación de contaminantes en la salud

Para calcular la implicación de los contaminantes en la salud por medio de la muestra tomada de exposición a los contaminantes descritos se emplea la fórmula siguiente:

$$D = \frac{C * TI * TA * DE}{PC}$$

Donde:

D	=	dosis de exposición
C	=	concentración del contaminante
TI	=	tasa de ingreso al organismo
TA	=	tasa de absorción
DE	=	duración de exposición
PC	=	peso corporal

Para los cuales se emplean los valores convencionales para adultos de 2 litros promedio de ingesta de agua y 70 kilogramos de peso corporal. Utilizando valores convencionales igualmente, la duración de la exposición en años se expresa en 30 años mientras que la tasa de absorción (sólidos en agua) es de 100 miligramos por día.

$$D = (C*(2L/día)*(100 \text{ mg/día})*(1 \text{ kg})/((1 \text{ 000 mg})*(30 \text{ años})*((365 \text{ días)/año)))/(70 \text{ kg})$$

$$D = (31,28 \text{ L/día})*C$$

Con base en esta fórmula se obtienen tanto las dosis de exposición como las medidas. Las medidas se toman de las muestras obtenidas por el Ingeniero Rodolfo Reyes Villatoro, mientras que las de exposición representan el máximo al que se puede exponer una persona.

$$D (\text{DBO}) = (31,28 \text{ L/día})*(6 \text{ 000 mg/L}) = 187 \text{ 680 mg/día}$$

$$\text{Expo.medida (DBO)} = (31,28 \text{ L/día})*(25 \text{ 000 mg/L}) = 782 \text{ 000 mg/día}$$

$$D (\text{Nitrogeno}) = (31,28 \text{ L/día})*(1 \text{ 000 mg/L}) = 31 \text{ 280 mg/día}$$

$$\text{Expo.medida (Nitrogeno)} = (31,28 \text{ L/día})*(2 \text{ 700 mg/L}) = 84 \text{ 456 mg/día}$$

$$D (\text{Plomo}) = (31,28 \text{ L/día})*(0,01 \text{ mg/L}) = 0,31 \text{ mg/día}$$

$$\text{Expo.medida (Plomo)} = (31,28 \text{ L/día})*(0,27 \text{ mg/L}) = 8,44 \text{ mg/día}$$

De igual manera se emplea la siguiente relación para establecer la magnitud del riesgo:

$$\text{Índice de peligro} = (\text{Exposición medida}) \cdot (100\%) / (\text{Dosis de exposición})$$

$$\text{Índice de peligro (DBO)} = (782\,000 \text{ mg/día}) / (187\,680 \text{ mg/día}) \cdot 100\% = 416,67\%$$

$$\text{Índice de peligro (Nitrógeno)} = (84\,456 \text{ mg/día}) / (31\,280 \text{ mg/día}) \cdot 100\% = 270\%$$

$$\text{Índice de peligro (Plomo)} = (8,44 \text{ mg/día}) / (0,31 \text{ mg/día}) \cdot 100\% = 2\,722,58\%$$

Como se puede observar, los índices de peligro superan el cien por ciento puesto que las muestras tomadas son mayores que los valores convencionales.

### **3.1.5. Medios preventivos de mitigación de riesgos**

A continuación se presentan medidas preventivas de riesgos de contaminación del río Cahabón con desechos del botadero municipal por escorrentía o percolación de desechos provocada por las frecuentes lluvias experimentadas en el municipio.

Para evitar que las frecuentes lluvias, de la mano de la saturación del botadero y los canales formados a causa del estancamiento de los camiones recolectores en zonas de descarga contaminen las aguas del río Cahabón, se proponen medidas sencillas para contener los desechos y posteriormente controlar el drenaje de agua de lluvia que se satura en áreas de almacenamiento de desechos en la actualidad.

A continuación se presentan los pasos a seguir para aplicar medidas estructurales de prevención de riesgos.

- Para evitar que se desborden los desechos acumulados en el área actual de descarga (área saturada) se debe aplicar tierra reforzada por medio de la cual se sellaría el terreno empleado en la actualidad y de ser posible, emplear muros de contención que eviten la segregación de los desechos durante el temporal lluvioso.
- Como apoyo a la aplicación de muros de contención se deben aplicar divisorios de agua o cunetas para evitar la infiltración y aplicar medidas de control de drenaje.

A continuación se presenta la propuesta generada para el mejoramiento del acceso de camiones recolectores al área de descarga (evitar estancamiento de agua y generación de canales).

- Mantenimiento al acceso del botadero municipal

Ante la problemática expuesta, se plantea el empleo de mantenimiento interno utilizando un estimado de 360 metros cúbicos de balastro, mantenimiento que se llevaría a cabo con la intención de mejorar el acceso para los camiones recolectores de desechos y que le permitiría a los mismos alcanzar los puntos de descarga de desechos y evitar la aglomeración de desechos en las orillas. Es necesario llevar a cabo el procedimiento descrito pues este sector está saturado de desechos y será necesario el mismo mientras no se habilite otro terreno en el botadero.

- Se deben tomar en cuenta las condiciones de uso y mantenimiento del tractor empleado (Tractor de Oruga Modelo D6) entre las cuales se encuentra el suministro de lubricantes y de 200 galones de combustible semanales.
- El consumo de los tractores de oruga se estima en 23 litros por hora para trabajo liviano y 26 litros por hora para trabajo pesado. Con base en lo anterior, se puede inferir que la cantidad de combustible requerida para trabajar un día entero (8 horas convencionalmente) es de 55 galones.
- Los tractores de oruga normalmente cuentan con motores diésel turbocargados. Su capacidad con respecto a lubricantes y refrigerantes es de 38 litros en el caso del aceite de motor y 50 litros para el refrigerante.
- Para el mantenimiento de un tractor de oruga se recomienda cambio en el aceite de motor e hidráulico cada 250 y 1 000 horas respectivamente. Tomando como un día convencional de trabajo el de 8 horas, se tiene entonces que el cambio de lubricantes se realiza cada mes para el aceite de motor y cada 4 meses para el aceite hidráulico.

Con base en lo expresado se estima a continuación la cantidad necesaria de recursos para llevar a cabo el proyecto:

Tabla XXII. **Cantidad de recursos a emplear**

<b>Recurso</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Combustible</b>	200 galones semanales
<b>Aceite de motor</b>	38 litros
<b>Refrigerantes</b>	50 litros
<b>Balastro</b>	360 metros cúbicos
<b>Transporte</b>	Municipal de preferencia

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Costo total de propuesta**

<b>Recursos a utilizar</b>	<b>Cantidad de recursos</b>	<b>Costo unitario aproximado Q</b>	<b>Costo total Q</b>
<b>Balastro</b>	360 metros cúbicos	100,00 por metro cúbico	36 000,00
<b>Transporte de balastro</b>	_____	_____	_____
<b>Combustibles para tractor</b>	1 200 galones	28,50 por galón	34 200,00
<b>Lubricantes para tractor</b>	88 litros como máximo entre refrigerantes (50 litros) y aceite de motor e hidráulico (38 litros)	9,28 por galón aproximadamente	185,60
<b>TOTAL</b>			70 385,60

Fuente: elaboración propia.



Se prescinde de los servicios de transporte del balastro y del personal a emplear para llevar a cabo el proyecto, esto debido a que se podría disponer de transporte municipal para acarrear el material y del personal del botadero para echar a andar el proyecto.

Las medidas planteadas son formuladas como una propuesta a corto plazo, que evitaría que el acceso de los camiones se cubra de desechos e imposibilite el paso. Así mismo, las medidas permitirían se continúe con las actividades del botadero hasta finalizar el presente año, debiendo continuar con un estudio técnico para la habilitación de otro terreno para depósito de desechos/relleno sanitario ante la saturación del terreno utilizado en la actualidad.

### **3.1.6. Medios correctivos de mitigación de riesgos**

A continuación se presentan una serie de medidas que tienen por objetivo principal eliminar la existencia de desechos sólidos de carácter microbacteriano, físico o químico en el río Cahabón.

Se debe tomar en cuenta que se plantean medidas generales puesto que en la actualidad se lleva a cabo un tratamiento de aguas residuales por parte del comité para el manejo sustentable de la subcuenca del río Cahabón.

- Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua afluyente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reúso. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables.

El diagrama de flujo de una planta de tratamiento de aguas residuales es generalmente el mismo en todos los países:

- Tratamiento fisicoquímico

- ✓ Remoción de sólidos.
- ✓ Remoción de arena.
- ✓ Precipitación con o sin ayuda de coagulantes o floculantes.
- ✓ Separación y filtración de sólidos.

El agregado de cloruro férrico ayuda a precipitar en gran parte a la remoción de fósforo y ayuda a precipitar biosólidos.

- Tratamiento biológico

- ✓ Lechos oxidantes o sistemas aeróbicos.
- ✓ Postprecipitación.
- ✓ Liberación al medio de efluentes, con o sin desinfección según las normas de cada jurisdicción.

– Tratamiento químico

Este paso es usualmente combinado con procedimientos para remover sólidos como la filtración. La combinación de ambas técnicas es referida en los Estados Unidos como un tratamiento físico-químico.

### **3.1.7. Plan de acción en caso de emergencias**

Como se ha expresado con anterioridad existen riesgos elevados de contacto de desechos con las aguas del río Cahabón, riesgos que por consiguiente, constituyen un peligro grande para la población en general.

De los 3 contaminantes que exceden el cien por ciento de riesgo, se toma como prioridad el control del plomo, puesto que el DBO y el nitrógeno representan en la mayoría de los casos problemas ambientales (incremento excesivo de la vegetación acuática) mientras que el plomo representa efectos tóxicos al cuerpo humano.

Puesto que anteriormente se han presentado tanto las medidas preventivas (estructurales y señalización) como las correctivas (tratamiento químico de aguas residuales), se presenta un plan de acción ante el contacto de la población con aguas contaminadas con plomo proveniente de desechos del vertedero.

- Plan de acción

Se entiende por primeros auxilios las técnicas y procedimientos de carácter inmediato, limitado, temporal, profesional o de personas capacitadas y con conocimiento técnico que es brindado a quien lo necesite, víctima de un accidente o enfermedad repentina.

En caso de establecer que se ha contaminado el río con desechos del botadero municipal, se deben tomar las medidas siguientes, las cuales se basan en el control de emergencias actual en República Dominicana y el accionar de primeros auxilios en Argentina.

A continuación se presenta la secuencia de atención que se deberá seguir en caso de emergencias (aplicable a otros tipos de emergencias):

- Evaluación del área
- Evaluación inicial de pacientes
  - ✓ Valoración de la conciencia
  - ✓ Valoración neurológica
  - ✓ Valoración respiratoria
  - ✓ Valoración cardíaca
  - ✓ Solicitar ambulancias

El plan de acción se limita geográficamente a las zonas 12, 5, 6, 2, 7, 3, 9 y 10 en sectores que las recorra el río, al igual que la colonia 30 de junio ubicada en la zona 1 de Cobán. El plan de acción en mención deberá ser manejado por los Bomberos Voluntarios, quienes definirán los asistentes al momento del desastre.

Los pasos establecidos en la secuencia de atención se definen a continuación:

- Evaluación del área

Se refiere a establecer la seguridad pública y definir el sector afectado, el mismo se divide en los siguientes pasos:

- Establecer el sector afectado
- Determinar la situación o condición de los afectados
- Determinar la cantidad de afectados
- Establecer el equipo necesario de atención
- Solicitar asistencia

Para llevar a cabo la evaluación del área será necesario que por órdenes del director de Bomberos Voluntarios se establezca el personal necesario y el sector al que atenderá cada uno, dando prioridad a sectores que no cuenten con el servicio de agua potable y situado entre las zonas ya establecidas.

Figura 38. **Hoja de control de personal, sector y herramientas**

Personal	Sector	Equipo de Asistencia (Existencia)						
		Alcohol	Gaza	Jeringa	Aspirina	Antihistamínico (intoxicación)	Jabón	Guante

Fuente: elaboración propia.

- Evaluación inicial de pacientes

Una vez establecidos los afectados se les asistirá realizando evaluaciones de conciencia, neurología, respiración y actividad cardiaca. Dependiendo de los resultados de las evaluaciones se notificará a ambulancias para asistencia médica.

- Valoración de la conciencia
  - Evaluación de alerta (está despierto, habla)
  - Evaluación verbal (responde a llamados)
  - Evaluación de dolor (responde a dolor)
  - Estado inconsciente (no responde)

- Valoración neurológica

A continuación se presentan los cuestionamientos para la valoración neurológica, al igual que los parámetros de calificación.

¿Tiene los ojos abiertos?

- Nunca (1)
- Sólo con estímulo doloroso (2)
- Sólo con estímulo verbal (3)
- De manera espontánea (4)

Estímulo verbal

- Sin respuesta (1)
- No comprensible (2)
- Incoherencia (3)
- Habla desorientado (4)
- Habla orientado (5)

Estímulo motor

- No responde (1)
- Extensión ante el estímulo (2)
- Flexión anormal (3)
- Retira ante el estímulo (4)
- Localiza el foco doloroso (5)
- Respuesta voluntaria (6)

Para la evaluación de los resultados se utilizan los siguientes parámetros:

15 puntos ----- Paciente en estado normal  
14 puntos ----- Traumatismo craneal leve  
13 a 9 puntos ----- Traumatismo craneoencefálico moderado  
Inferior a 9 puntos ----- Traumatismo craneoencefálico grave

- Valoración respiratoria y cardiaca
  - Observar el tórax elevándose (si se eleva y baja respira).
  - Escuchar el sonido de la respiración.
  - Sentir a un lado de la tráquea con los dedos índice y medio el pulso.
  - Sentir el pulso en la cara interna de la muñeca.

Finalmente se podrá solicitar asistencia médica de ser requerida.

Para llevar control de la emergencia se presenta una hoja de control de desastres, que podrá contribuir a registrar los avances del plan de acción.



Figura 39. **Hoja de control de desastres**

Asistente:	_____
Fecha:	_____
Hora:	_____
Sector asistido (zona):	_____
Cantidad de hogares visitados:	_____
Cantidad de personas afectadas:	_____
Cantidad de personas asistidas:	_____
Personas trasladadas a emergencias:	_____
	_____
	Firma de asistente

Fuente: elaboración propia.

## **4. FASE DE DOCENCIA**

### **4.1. Capacitación al personal**

La capacitación es un entrenamiento más bien teórico, que exige, además de él, la adquisición de una destreza específica al ocupar el puesto del que se trata; este se da sobre todo a niveles alto y medio; aunque en el nivel medio puede ser teórico-práctico y en el nivel operativo necesariamente práctico.

#### **4.1.1. Propósito**

El proyecto de evaluación y acondicionamiento del servicio de gestión de desechos consiste en la realización de un diagnóstico, del cual se derivan el reordenamiento de rutas de recolección de desechos, estudio de mercado para clasificación de desechos y estudio económico/financiero para mecanismos de compactación realizados.

El propósito principal de la capacitación de empleados tanto administrativos como operativos es el de proveerles de conocimientos y herramientas necesarias para que el proyecto alcance los objetivos trazados en sus diferentes fases.

La capacitación se orienta al empleo de base de datos de usuarios elaborada como método de control de calidad del servicio de recolección de desechos.

De igual manera, se enfocará a orientar a los guajeros que residen en el botadero a clasificar y preparar los desechos para su comercialización con plantas de reciclaje.

También se orientará a los trabajadores para utilizar correctamente un mecanismo de compactación de desechos.

#### **4.1.2. Elaboración**

Se realizaron cinco capacitaciones dirigidas a los niveles administrativos de gestión de desechos, operativos en el caso de los guajeros o segregadores y la población en general (usuarios del servicio).

Se llevaron a cabo capacitaciones para el encargado del Departamento de Desechos Sólidos con respecto a la utilización de la base de datos de usuarios y los lineamientos para llevar a cabo la separación y clasificación de desechos en el botadero municipal.

Para niveles operativos se establecieron procedimientos de operación y mantenimiento de maquinaria de compactación con respecto a manuales provistos por la empresa recomendada para obtener sistemas de compactación (ORWAK).

Por último, se estableció un programa de concientización a la población incluyendo información del nuevo sistema y un reglamento para el servicio de recolección de desechos.

A continuación se presenta el contenido de cada una de las capacitaciones.

### 4.1.3. Uso de base de datos digital

Para llevar un mejor control de las actividades de recolección de desechos se llevó a cabo una base de datos de los usuarios del servicio, estableciendo la participación de las empresas que funcionan en la actualidad (Marconi, Servi-Norte, SEMDEL y SOL) con respecto a las zonas en donde tienen mayor influencia. Ante la implementación de la base de datos, se requiere del procedimiento siguiente para el registro de usuarios nuevos:

Establecer la empresa que atenderá al usuario. Esto se facilita por medio del programa proveído Localización de Empresas, por medio del cual se identifica a la empresa que atenderá al usuario con base a sus datos generales.

Figura 40. Programa de localización de empresas

Nombre de Usuario	Dirección de Usuario	Zona	Empresa que Atiende el sector
-------------------	----------------------	------	-------------------------------

Fuente: elaboración propia.

Comunicar a la empresa proveedora del servicio. Una vez obtenida la firma de recibido de parte de la empresa recolectora se podrá proceder a incluir al usuario a la base de datos.

Figura 41. **Forma para nuevos usuarios**

**NUEVOS USUARIOS, SERVICIO DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS**  
Municipalidad de Cobán, Alta Verapaz  
Fecha: \_\_\_\_\_

NOMBRE DEL USUARIO	DIRECCIÓN	ZONA	EMPRESA

\_\_\_\_\_  
Firma y Sello (Autorizado)  
Encargado de Desechos Sólidos

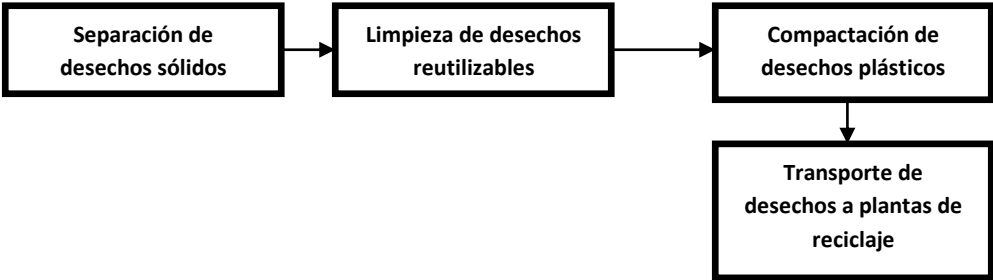
\_\_\_\_\_  
Firma y Sello (Enterado)  
Encargado de Empresa Recolectora

Fuente: elaboración propia.

Ubicar al usuario nuevo en la base de datos de Excel, dependiendo de la zona en que se ubique o en el caso de la zona 1, la avenida o colonia.



Figura 43. **Diagrama de bloques de actividades de comercialización de desechos**



Fuente: elaboración propia.

La clasificación se llevaría a cabo de la siguiente manera:

- Plásticos
  - PET
    - ✓ Botellas de aguas gaseosas
    - ✓ Botellas de agua
    - ✓ Botellas de aceite
  - LDPE
    - ✓ Bolsas de plástico
    - ✓ Bolsas transparentes
    - ✓ Bolsas con muy poca impresión
    - ✓ Tela de lluvia
  - HDPE
    - ✓ Cajillas de aguas gaseosas
    - ✓ Cubetas
    - ✓ Palanganas
    - ✓ Baldes

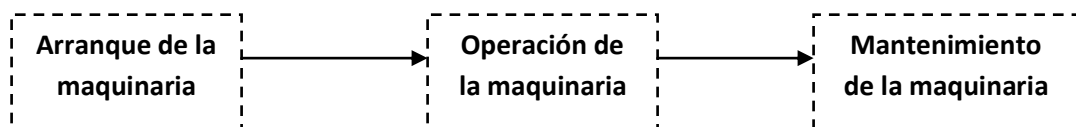
- PP
  - ✓ Sillas
  - ✓ Mesas
- Cartón corrugado
- Papel
  - Papel revuelto
  - Papel blanco
- Vidrio

#### 4.1.5. Condiciones de uso de sistema de compactación

Para capacitar al personal con respecto al uso del sistema de compactación es necesario el empleo de manuales de operación que se incluyen regularmente al adquirir la maquinaria. Esta capacitación debe implementarse al personal que manejará la maquinaria (se sugiere contratar personal para manejo de la maquinaria de compactación puesto que el personal del botadero no cuenta con un nivel académico adecuado).

El procedimiento general de uso del sistema de compactación se presenta a continuación:

Figura 44. **Diagrama de bloques del manejo general del sistema de compactación**



Fuente: elaboración propia.



Puesto que la capacitación para el uso de la maquinaria se necesita del manual específico por modelo o marca, se proveen las operaciones básicas para su manejo desde el arranque hasta la operación de maquinaria.

#### Operación 1. Verificación del estado del equipo

- Revisar que el equipo esté en buen estado antes de arrancarlo.
- Observar que no se encuentren objetos extraños antes de arrancar la maquinaria.
- Corroborar que no se encuentren personas manipulando o dando mantenimiento al equipo antes de arrancarlo.

#### Operación 2. Carga de compactadora

- Abrir compuerta de carga.
- Inspeccionar visualmente la cámara de compactación para evitar la presencia de objetos extraños.
- Depositar plástico a compactar en el equipo (hasta alcanzar el máximo indicado en el manual de operaciones de la maquinaria).
- Cerrar compuerta de carga.

#### Operación 3. Energizar el sistema de alimentación

- Encendido de maquinaria

#### Operación 4. Compactación de materiales

- Seleccionar ciclo de compactación
- Accionar compactación

- Observar (correcto funcionamiento)
- Desenergizar fuente de potencia (botón de encendido/apagado)
- Abrir cámara de compactación
- Extraer paca de plástico compactado
- Repetir pasos según se necesite

#### **4.1.6. Mantenimiento de maquinaria**

Para el mantenimiento de la maquinaria, se sugiere realizar actividades de limpieza, lubricación y revisiones generales cuya periodicidad y operación dependerán de la parte de la maquinaria a la que pertenezca el mantenimiento.

El mantenimiento se realizará de la siguiente manera:

- Tipo de mantenimiento: limpieza de la estructura en general.  
Periodicidad: semestral.  
Operación: lavado normal con agua y detergente.
- Tipo de mantenimiento: limpieza de controles eléctricos.  
Periodicidad: trimestral.  
Operación: limpiar con cepillo y limpiador solvente. Dejar secar antes de operar de nuevo.
- Tipo de mantenimiento: limpieza de motor eléctrico.  
Periodicidad: mensual.  
Operación: limpiar carcasa exterior con cepillo duro y estopa seca.

- Tipo de mantenimiento: limpieza de la placa de compactación.  
Periodicidad: semanal.  
Operación: limpiar con escobilla o cepillo duro.
- Tipo de mantenimiento: lubricación.  
Periodicidad: trimestral.  
Operación: lubricar compuerta de carga y cilindro de compactación con pistola de engrase (7 gramos aproximadamente).
- Tipo de mantenimiento: revisión general.  
Periodicidad: semestral.  
Operación: reajuste de tornillos de unión y de anclaje, medición de voltaje, amperaje y resistencias, sustitución o cambio de repuestos (de ser necesario), probadores de componentes (contactos, filtros de sección y retorno y cilindro hidráulico).

## **4.2. Programa de concientización a la población**

Para hacer del conocimiento de la población acerca de mejoras al servicio de gestión de desechos proveído por la Municipalidad de Cobán, así como, responsabilidades adquiridas por los usuarios y las sanciones en que incurrirían de incumplir a las mismas; se realiza un programa de concientización a la población de Cobán. El mismo se lleva a cabo considerando únicamente el casco urbano (sector que cuenta con el servicio de recolección y disposición de desechos) y se difundiría por propaganda de medios de comunicación masivos para la población y en el caso de personal de servicio por conferencias y capacitaciones.

- Contenido del programa
  - Desechos sólidos

Los desechos los constituyen todo residuo que surja de las actividades humanas y animales, normalmente sólidos que se desechan como inútiles, provenientes de actividades en casas de habitación, sitios y servicios públicos, construcciones, demoliciones, comercios, así como, residuos industriales que no se deriven de su proceso y no estén considerados como peligrosos.

El problema de los desechos va en aumento conforme se incrementa la población y mejoran tanto la tecnología como los recursos con que cuentan.

Para el manejo de desperdicios sólidos se manejan las siguientes alternativas:

Tabla XXIV. **Tabla comparativa entre medios de eliminación y de prevención de desechos**

Eliminación de desechos sólidos	Prevención de desechos sólidos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se entierran o se queman los desechos sólidos.</li> <li>• Necesita de disposición de terrenos los cuales eventualmente se saturan.</li> <li>• La quema emite sustancias tóxicas a la atmósfera y son percibidas también por suministros subterráneos de agua.</li> <li>• Tanto los vertederos como las incineradoras son métodos que presentan problemas y en ningún caso aprovechan los materiales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reciclado y reúso de desperdicios.</li> <li>• Ventajas económicas, sociales, ambientales y sanitarias.</li> <li>• El reciclaje no es contaminante y además aprovecha las materias primas por lo cual no es necesario extraer más del ambiente.</li> <li>• La selección de desechos se puede realizar en el hogar, lo cual resulta beneficioso puesto que los medios industriales resultan caros en este caso.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

El reciclaje es la acción de devolver al ciclo de consumo los materiales que ya fueron desechados y que son aptos para elaborar otros productos.

Los resultados que se obtienen al reciclar son los siguientes:

- Conservación o ahorro de energía
- Conservación o ahorro de recursos naturales

- Al reciclar una tonelada de papel se ahorran 17 árboles o 2 metros cúbicos de espacio para relleno sanitario.
  - Al reciclar el vidrio se reduce en un 79% el uso de materiales vírgenes, 50% de consumo de agua y 14% de gases contaminantes.
- 
- Disminución del volumen de residuos que hay que eliminar
  - Protección del ambiente
  
  - Tipos de reciclaje

Reutilización: materiales que pueden ser reutilizados sin proceso industrializado a no ser, lavado y esterilizado. Entre los materiales reutilizables se encuentran las botellas de refresco o cerveza en buen estado.

Reciclaje: recuperación de ciertos materiales por procesos industriales. Los materiales reciclables son papel, vidrio, plástico y metales.

- El papel y el cartón, se procesan por tratamiento químico para disolverlos, quitarles las impurezas y luego se presionan y se prensan para producir nuevo papel.
- El vidrio, se procesa por fundición a grandes temperaturas, para luego formar nuevos envases y una gran variedad de objetos de adorno.
- Los metales, como el hierro y el aluminio, se procesan también por fundición a altas temperaturas, para formar envases de latas y otros productos diversos como juguetes.

El reciclaje de los plásticos es distinto al de los demás materiales, debido a que existen diferentes tipos y cada uno de ellos requiere procesos diferentes.

Su recogida es muy importante entre otras razones debido a que son productos no biodegradables.

- Medidas para el manejo integral de desechos

Para contribuir al cuidado del ambiente y la salud de la población en general se recomienda lo siguiente:

- Llevar a cabo recogidas selectivas de desechos en el hogar

La recogida selectiva se basa en que son los propios ciudadanos los que realizan la selección de los productos recuperables, colocándolos en recipientes independientes.

Estos materiales pueden ser reutilizados por la industria como materias primas en mejores condiciones que si hubiese que separarlas de las bolsas de basura donde están mezcladas con materia orgánica, que las ensucian y deterioran.

- Clasificar los componentes inorgánicos en papel y cartón, plásticos, vidrio y metales en bolsas de color azul, amarillo, verde y gris respectivamente.
- Depositar la basura orgánica en bolsas de color negro.
  - Para la entrega de desechos a los camiones recolectores.

- Los desechos deben entregarse en bolsas que no superen los 10 kilogramos de carga.
- Entregar los desechos en bolsas amarradas o cerradas propiamente.
- Prohibida la entrega de animales muertos.
- Prohibido el depósito de residuos sólidos en la vía pública o privada que no haya sido debidamente autorizada para este fin.
- Entregar los desechos en bolsas que permitan la manipulación sin dificultad y de manera tal que los animales o personas no los rompan y los esparzan.
- No sacar la basura antes de la llegada de los camiones recolectores.
- En caso de que los desechos sean esparcidos antes de ser recolectados el generador o usuario está en la obligación de recogerlos y depositarlos nuevamente.
- Barrer banquetas hasta 30 centímetros del final de las mismas al frente de los predios de su propiedad, depositando la basura en recipientes propios.
- Los desechos de jardinería se dispondrán en forma que se facilite su manejo. Las ramas deberán cortarse en tramos que tengan como máximo un metro y amarrarlos (no depositar en la vía pública).




- Las cajas de cartón voluminoso de desechos deberán desarmarse y conformarse en atados que no excedan 25 kilogramos.
- Los depósitos públicos son únicamente para el uso de transeúntes.
- Ante la infracción de las disposiciones contenidas se dará lugar a amonestaciones públicas.
- Medios de difusión

Para la difusión de la información seleccionada con respecto a ventajas del reciclaje y propuestas para realizar clasificaciones domiciliarias de desechos, se aplican trifoliales para la población en general y reglas con guiones gráficos para concientizar a los niños con respecto al manejo integral de desechos.

Figura 45. Modelo de trifoliar para campaña de concientización

**Reglamento para Usuarios del Servicio de Recolección de Basura**

1. Los usuarios del servicio de recolección de basura pagan los 18 Kz en sus...
2. Prohíbase arrojar en las calles, veredas o terrenos baldíos...
3. Prohíbase arrojar en las veredas, veredas, veredas, veredas...
4. Prohíbase arrojar en las veredas, veredas, veredas...
5. Prohíbase arrojar en las veredas, veredas, veredas...
6. Prohíbase arrojar en las veredas, veredas, veredas...
7. Prohíbase arrojar en las veredas, veredas, veredas...
8. Prohíbase arrojar en las veredas, veredas, veredas...
9. Prohíbase arrojar en las veredas, veredas, veredas...
10. Prohíbase arrojar en las veredas, veredas, veredas...
11. Prohíbase arrojar en las veredas, veredas, veredas...




**Municipalidad de Cobán**

MUNICIPALIDAD DE COBÁN  
 Av. Calle 1-11 zona 1 de Cobán, Alta Verapaz  
 Teléfono: (+502) 700-1200  
 Fax: (+502) 700-1200  
 www.coban.gub.gv

**MUNICIPALIDAD DE COBÁN**  
 Departamento de Derechos Sólidos

**Reciclaje y Recogida Selectiva Domiciliar**  
*Cuidemos Nuestro Medio Ambiente*



*Aprendamos a Reciclar!*

---

**Reciclaje y Recogida Selectiva Domiciliar**

**Derechos Sólidos**

Los desechos son los residuos sólidos que resultan de las actividades humanas y que, al ser desechados, se convierten en residuos sólidos que se desechan como residuos sólidos de las actividades humanas y que, al ser desechados, se convierten en residuos sólidos que se desechan como residuos sólidos de las actividades humanas...

**El reciclaje**

El reciclaje es la acción de devolver al ciclo de consumo los materiales que ya fueron desechados y que ya no son más útiles para ser reutilizados.

Se utilizan en su estado original o se tratan a través de procesos para volver a utilizarlos en actividades que generan nuevos productos útiles.

**VENTAJAS DEL RECICLAJE**

El reciclaje es un consumo responsable y sostenible que contribuye a la conservación del medio ambiente y a la reducción de los residuos sólidos. La recolección de desechos se puede realizar en el hogar, lo cual resulta beneficioso porque es la mejor manera de reducir los residuos sólidos que se desechan.

El reciclaje es una forma de conservación del medio ambiente, porque nos permite reutilizar los materiales que ya fueron desechados y que ya no son más útiles para ser reutilizados.

**RECOGIDA SELECTIVA**

Para contribuir al cuidado del medio ambiente y a la reducción de los residuos sólidos, se debe realizar la recolección selectiva de los desechos:

- Separar el papel y el cartón. (Papel de diario, periódicos, revistas, etc.)

- Separar los residuos de vidrio. (Botellas de cerveza, de refresco, etc.)
- Separar los residuos de plástico. (Botellas de agua, envases de alimentos, etc.)
- Separar los residuos de metal. (Latas de refresco, etc.)
- Separar los residuos de textil. (Ropa, etc.)
- Separar los residuos de vidrio. (Botellas de cerveza, de refresco, etc.)
- Separar los residuos de plástico. (Botellas de agua, envases de alimentos, etc.)
- Separar los residuos de metal. (Latas de refresco, etc.)
- Separar los residuos de textil. (Ropa, etc.)

Cuidemos nuestro medio ambiente y trabajemos al unísono para un Cobán limpio y saludable.

Fuente: elaboración propia.

135



## CONCLUSIONES

1. Con base a un diagnóstico de la situación actual del sistema de recolección de desechos, se detectaron dificultades con respecto al control de las actividades de recolección de desechos, puesto que al recibir quejas de parte de los usuarios, no se puede identificar con certeza la empresa que incumplió con sus actividades. De igual manera, se aprecian dificultades en cuanto a la disposición final de los desechos, al obtener precios bajos al comercializar los desechos reciclables con intermediarios de la región y dificultades para los camiones recolectores al descargar los desechos a causa de estancamiento de agua en el acceso.
2. Se estima que la cobertura del servicio de recolección de desechos es del 22% de la población del casco urbano, cifra obtenida de la base de datos realizada con los datos proporcionados por las empresas recolectoras de desechos.
3. Se llevaron a cabo propuestas de reordenamiento de rutas de recolección de desechos por medio de métodos de transporte elaborados con base en los costos en que se incurre para prestar el servicio, la demanda en cada una de las zonas y la oferta o capacidad de carga de cada una de las empresas recolectoras.

4. Ante el reordenamiento de rutas, se elaboró una base de datos, por medio de la cual se llevará control de los usuarios que atiende cada una de las empresas y por medio de un programa elaborado en *Visual Basic V.6* se establecerá automáticamente la empresa a atender a los usuarios nuevos por medio del ingreso de su dirección.
5. Con base en las encuestas realizadas a usuarios del servicio de recolección de desechos se puede establecer que un servicio de clasificación de desechos previa su recolección no es factible, puesto que a pesar de obtener una buena aceptación la idea de clasificación, no existe aceptación hacia el incremento en la cuota de recolección actual, de la cual se dependería para proveer de medios de almacenaje de desechos adecuados a los usuarios (gasto estimado en Q78 103,00 al mes).
6. La inversión inicial necesaria para iniciar operaciones con maquinaria compactadora de desechos es de Q101 127,22.
7. Con base en el estudio financiero realizado, se establece que es rentable llevar a cabo una inversión destinada a adquirir un mecanismo de compactación que contribuiría a reducir el volumen de los desechos plásticos, para su posterior transporte a plantas de reciclaje en mayor peso y así, obtener mayores ganancias por viaje. La rentabilidad se establece mediante un análisis de beneficio/costo, el cual demuestra que se obtendrían ganancias en un 82% más de lo que se necesitaría para cubrir la inversión inicial.

8. Con base en los requerimientos presentados por las empresas de reciclaje de desechos contactadas, se elaboró un plan de selección y clasificación de desechos, por medio del cual se incrementarán los ingresos obtenidos en la actualidad mediante intermediarios y de igual manera, contribuirá al aprovechamiento de mayor cantidad de material reciclable que no se comercia en la actualidad.
  
9. Con base en el análisis de riesgos elaborado, se hace necesario establecer medidas preventivas para riesgos de contaminación del río Cahabón con desechos del botadero municipal por escorrentía o percolación de desechos en temporales de lluvia, situación que podría afectar los avances del Comité para el manejo sustentable de la subcuenca del río Cahabón para sanear las aguas del río en mención y que por consiguiente, afectaría al 53% de la población (población sin servicio de agua potable) que depende del río para actividades diarias como aseo personal, agricultura y consumo.



## RECOMENDACIONES

1. La dirección del Departamento de Desechos Sólidos en la Municipalidad de Cobán debe implementar medidas de control de las actividades de las empresas recolectoras de desechos, estableciendo sectores de servicio a cada una de las empresas tomando en cuenta la ubicación de la empresa o el punto de partida de la recolección para reducir el costo de transporte.
2. Se debe eliminar el uso de intermediarios para la comercialización de desechos sólidos reciclables para duplicar los ingresos percibidos en la actualidad.
3. Se deben tomar medidas para hacer obligatorio el pago del servicio de recolección de desechos (como el agua potable) para incrementar la cobertura del servicio y contribuir a la prevención de basureros clandestinos y uso equivocado de medios de almacenaje públicos.
4. Implementar los sectores de servicio definidos por el método de transporte más rentable encontrado de manera gradual para permitir que las empresas que cuentan con pocos usuarios en la actualidad se adapten al incremento de usuarios. De igual manera, las empresas que disminuyan la cantidad de usuarios deben adaptarse a la atención de instituciones públicas, de salud y mercados.



5. Actualizar la base de datos de usuarios ante la adición de usuarios al servicio de recolección de desechos para evitar depender de información provista por empresas recolectoras.
6. Puesto que el servicio de clasificación domiciliar evaluado en el estudio de mercado es demasiado costoso y no se tiene la aceptación de un incremento en el pago del servicio de recolección, es preferible establecer un plan de clasificación en el botadero municipal con base en los requerimientos de empresas proveedoras del servicio de reciclaje de la mano de un programa de concientización a la población en general.
7. Es necesario solicitar financiamiento (bancario o apoyo internacional) para cubrir la inversión inicial por el sistema de compactación de desechos que contribuiría a la tecnificación del botadero municipal y a un incremento en los ingresos percibidos por la comercialización de desechos reciclables.
8. Tomando en cuenta la saturación del terreno empleado para relleno sanitario en el botadero municipal, se obtiene la oportunidad para emplear medidas estructurales para la prevención de riesgos (de contaminación del río Cahabón por percolación o escorrentía de desechos) ante lo cual se aplicarían tierras reforzadas al sector saturado y muros de contención para el sector a habilitar próximamente.
9. Modificar la misión y la visión de la institución, esto debido a que en la actualidad la misión refleja las expectativas (característica de visión) y la visión la razón de existir de la empresa y sus actividades (característico de misión).

## BIBLIOGRAFÍA

1. Empresa Consultora en Ingeniería Ambiental y Sanitaria. *Manejo Integral de los Residuos Sólidos Municipales de la Ciudad de Cobán. Alta Verapaz*: ECONSULT, 2007. 330 p.
2. HAYES, Marion E. *Administración de Proyectos*. México: Iberoamérica, 1992. 85 p.
3. NIEBEL, Benjamin; FREIVALDS, Andris W. *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño de trabajo*. 10a ed. Mexico: Alfaomega, 2003. 728 p.
4. Programa Regional del Medio Ambiente para Centro América. *Tecnificación del vertedero municipal y producción de compost*. Guatemala: PREMACA, 2008. 77 p.
5. REYES VILLATORO, Rodolfo A. *Contaminación en el Río Cahabón, Alta Verapaz, Guatemala*. Trabajo de graduación de Maestría en Diseño, Planificación y Manejo Ambiental, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 2009. 73 p.
6. STANTON, William; ETZEL, Michael; WALKER, Bruce. *Fundamentos del marketing*. 14a ed. México: McGraw-Hill, 2007. 741 p.



## **APÉNDICES**



Apéndice 1. Encuestas realizadas a la población en general



**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Ejercicio Profesional Supervisado**  
**Municipalidad de Cobán**

**Investigador:** Moisés Eskenasy

**Fecha:** \_\_\_\_\_

**1. Edad del entrevistado:**

15 a 20 años  21 a 30 años  31 a 40 años  41 años en adelante

**2. Género del entrevistado:**

Masculino  Femenino

**3. Región en la que reside:**

Central  Sudeste  Suroccidente  Noreste   
Noroccidente  Zona: \_\_\_\_\_

**4. ¿Tiene usted servicio de recolección?**

Si  No

**5. ¿Conoce usted la empresa que presta el servicio de recolección?**

Si  No

**6. De ser así, ¿cuál es la empresa que le atiende?**

Marconi  Servi-Norte  SEMDEL  SOL

Continuación del apéndice 1.

**7. ¿Cómo califica el servicio que ha obtenido de la empresa que le sirve?**

Excelente  Bueno  Regular  Malo

**8. ¿Conoce el término reciclaje y su significado?**

Si  No

**9. ¿Consideraría usted separar o clasificar sus desechos antes que le atienda el recolector?**

Si  No

**10. ¿Consideraría usted pagar un incremento en el precio del servicio de recolección para mejorar su calidad?**

Si  No

**11. ¿Qué medio consideraría el mejor para clasificar sus desechos?**

Bolsas etiquetadas

Bolsas identificadas por colores

Botes identificados por etiquetas

Botes identificados por colores

Otro \_\_\_\_\_

**12. ¿Qué medios prefiere para ser informado de cambios en el servicio?**

Televisión  Radio  Volantes  Teléfono

Visitas

Continuación del apéndice 1.

El modelo de encuesta empleado se enfoca principalmente en evaluar la opinión del usuario del servicio de recolección con respecto a la clasificación de desechos previa su recolección.

- Entrevistas a usuarios del servicio de recolección

Se realizan encuestas a usuarios del servicio de recolección con el objetivo de determinar niveles de aceptación de clasificación de desechos previa su recolección. De igual manera, se emplearán los datos obtenidos como parámetros para establecer la demanda del servicio, misma que será útil para un estudio económico-financiero a realizarse enfocado a la compactación de desechos, que tendrá como base la clasificación previa de los mismos. Tras llevar a cabo un muestreo inicial que demuestre la validez del estudio se elabora el modelo de encuesta para implementarla por medio de bases de datos en Internet utilizando el servicio proveído como se observa en la *figura 33* por la página e-encuesta.com.

Con base a las encuestas realizadas a los usuarios de recolección se obtienen los siguientes resultados.

Pregunta 1: Edad del encuestado

Respuestas/Opción	15 a 20 años	21 a 30 años	31 a 40 años	Mas de 41 años
% de respuestas	12,5	18,75	31,25	37,5



Continuación del apéndice 1.

Pregunta 2: Género del encuestado

Respuestas/Opción	Masculino	Femenino
% de respuestas	56,25	43,75

Pregunta 3: Región en la que reside (por zona)

Respuestas/Opción	Central	Sudeste	Suroccidente	Noreste	Noroccidente
% de respuestas	32,14	21,43	3,57	32,14	10,71

Pregunta 4: ¿Tiene usted servicio de recolección de basura?

Respuestas/Opción	Si	No
% de respuestas	100	0

Pregunta 5: ¿Conoce usted a la empresa que le presta el servicio de recolección?

Respuestas/Opción	Si	No
% de respuestas	56,25	43,75

Pregunta 6: De ser así, ¿cuál es la empresa que le atiende?

Respuestas/Opción	Marconi	SOL	Servi-Norte	SEMDEL
% de respuestas	55,56	22,22	11,11	11,11

Continuación del apéndice 1.

Pregunta 7: ¿Cómo califica el servicio que ha obtenido de la empresa que le sirve?

Respuestas/Opción	Excelente	Bueno	Regular	Malo
% de respuestas	0	56,25	37,5	6,25

Pregunta 8: ¿Conoce el término reciclaje y su significado?

Respuestas/Opción	Si	No
% de respuestas	93,75	6,25

Pregunta 9: ¿Consideraría usted separar o clasificar sus desechos antes que le atienda el recolector?

Respuestas/Opción	Si	No
% de respuestas	81,25	18,75

Pregunta 10: ¿Consideraría usted pagar un incremento en el costo del servicio de recolección para mejorar su calidad?

Respuestas/Opción	Si	No
% de respuestas	43,75	56,25

Continuación del apéndice 1.

Pregunta 11: ¿Qué medio consideraría el mejor para clasificar sus desechos?

Respuestas/Opción	Bolsas/Etiqueta	Bolsas/Color	Botes/Etiqueta	Botes/Color
% de respuestas	12,5	31,25	25	43,75

Pregunta 12: ¿Qué medios prefiere para ser informado de cambios en el servicio?

Respuestas/Opción	Televisión	Radio	Volantes	Teléfono	Visitas
% de respuestas	50	56,25	56,25	50	31,25

- Entrevistas no estructuradas en el botadero municipal

Se entrevistó al guardián del botadero municipal de Cobán y encargado de coordinar las actividades de los guajeros ubicados en el mismo. Según lo expresado por el encargado, las principales necesidades identificadas (relacionadas a clasificación de desechos) en las actividades del botadero municipal son las siguientes:

- Se observa inconformidad de los trabajadores con respecto a los ingresos que obtienen de la comercialización de desechos reutilizables, puesto que han oído de empresas que obtienen más ingresos por quintal vendido.
- En la actualidad, son dos empresas las que participan como intermediarios en la venta de desechos reutilizables, una de la localidad y otra de Salamá, Baja Verapaz.

Continuación del apéndice 1.

- Actualmente se encuentran negociaciones con la organización CAFNIMA, la cual ofrece solución a la oscilación de precios por desechos recolectados, de igual manera ofreciendo trabajar todo material aprovechable.
- Las labores de clasificación de desechos por parte de los guajeros se limitan a identificar plásticos duros, plásticos suaves y aluminios, de los cuales, el PET que forma parte de los plásticos suaves es el que mayor mercado encuentra.

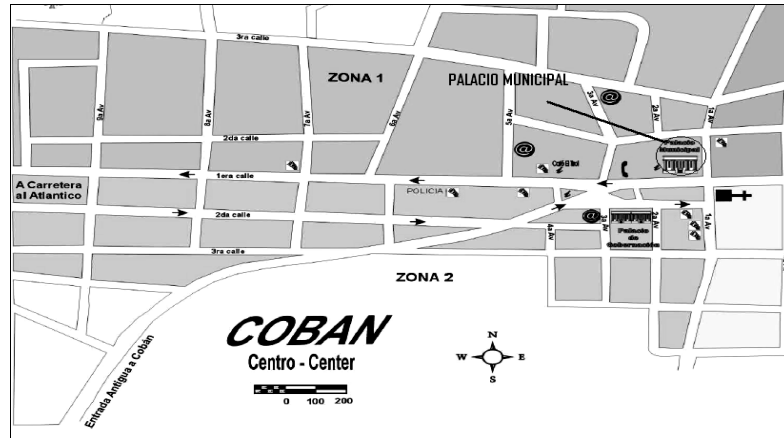
Fuente: elaboración propia.



## **ANEXOS**



Anexo 1. **Bosquejo de ubicación de la municipalidad de Cobán**



Fuente: www.Coban.com.gt consulta: septiembre de 2010.

Anexo 2. **Fuentes de generación de desechos**

Fuente de generación de desechos	Población
Comercio por mayor y menor, restaurantes y hoteles	4 820
Servicios comunales, sociales y personales	2 473
Industria manufacturera textil y alimenticia	1 640
Agricultura, caza, silvicultura y pesca	1 571
Administración pública y defensa	1 492
Construcción	1 315
Enseñanza	1 292
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	1 017
Establecimientos financieros y de servicios	796
Electricidad, gas y agua	285
Rama de actividad no especificada	218
Organizaciones extraterritoriales	39
Explotación de minas y canteras	30

Fuente: Instituto Nacional de Estadística de la República de Guatemala –INE-, “XI Censo de Población y VI de Habitación República de Guatemala”, 2002,



Anexo 3. **Flujo de usuarios del servicio de recolección**

<b>Empresa</b>	<b>Usuarios a 1997</b>	<b>Usuarios al 2002</b>	<b>Usuarios al 2007</b>
<b>Marconi</b>	1 094	1 700	<b>1 200</b>
<b>SOL</b>	463	900	<b>560</b>
<b>Estrella Azul</b>	250	No hay datos	<b>No hay datos</b>
<b>SEMDEL</b>	No hay datos	120	<b>310</b>
<b>Servi-Norte</b>	No existía	No existía	<b>130</b>
<b>Total</b>	<b>1 807</b>	<b>2 720</b>	<b>2 200</b>

Fuente: Empresa Consultora en Ingeniería Ambiental y Sanitaria –ECONSULT-, “Manejo Integral de los Residuos Sólidos Municipales de la Ciudad de Cobán, Alta Verapaz”, 2007.

Anexo 4. **Cantidad y calidad de características biológicas presentes en el río Cahabón**

<b>Sujetos de Análisis Microbiológico</b>	<b>Resultados</b>
<b>Coliformes Totales (NMP/100mL)</b>	19 000
<b>Coliformes Fecales (NMP/100mL)</b>	1 100
<b>EscherichiaColi</b>	Positivo
<b>Enterococcus</b>	Positivo

Fuente: Ing. Agr. Rodolfo A. Reyes Villatoro, Contaminación en el río Cahabón, Alta Verapaz, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009.

Anexo 5. **Cantidad y calidad de características químicas presentes en el río Cahabón**

<b>Características químicas</b>	<b>Muestra (mg/L)</b>	<b>Limite permitido (mg/L)</b>
<b>pH</b>	8,13	6, 5-8, 5
<b>Demanda bioquímica de oxígeno DBO</b>	25 000	6 000
<b>Demanda química de oxígeno DQO</b>	4	10 000
<b>Nitrógeno</b>	2 700	1 000
<b>Nitratos</b>	1 000	10 000
<b>Nitritos</b>	0,021	1 000
<b>Fosfatos</b>	3100	-----
<b>Sulfatos</b>	100	250 000
<b>Cianuros</b>	0,031	0,07
<b>Sodio</b>	10 000	-----
<b>Calcio</b>	14 000	150 000
<b>Magnesio</b>	51 900	100 000
<b>Cromo</b>	0,05	0,05
<b>Cloro</b>	0,01	1000
<b>Boro</b>	0,06	0,3
<b>Plomo</b>	0,27	0,01

Fuente: Ing. Agr. Rodolfo A. Reyes Villatoro, Contaminación en el río Cahabón, Alta Verapaz, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009.