



Figura J-5: Optimización de Rutas de Recolección Mapa 4

### Formulario de Seguimiento de Tiempos y Kilometraje en Ruta

Ruta N° \_\_\_\_\_

Frecuencia: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Volumen de Camión:

25yds<sup>3</sup> (19.10m<sup>3</sup>)  18yds<sup>3</sup> (13.75m<sup>3</sup>)  16yds<sup>3</sup> (12.20m<sup>3</sup>)  11yds<sup>3</sup> (8.40m<sup>3</sup>)  Otro: \_\_\_\_\_

Capacidad máxima de Carga:

25yds<sup>3</sup> 10,000 kg = 22000 lbs  18yds<sup>3</sup> 7500 kg = 16500 lbs  16 yds<sup>3</sup> 6500 kg = 14300 lbs

11yds<sup>3</sup> 4500 kg = 9900 lbs  Otro: \_\_\_\_\_ Numero de Ayudantes: \_\_\_\_\_

Combustible: \_\_\_\_\_ galones Nombre de Motorista: \_\_\_\_\_

Salida de Parqueo	KM	Hora
Inicio 1er viaje	KM	Hora
Fin 1er viaje	KM	Hora
Llegada a Disposición final	KM	Hora
Salida de disposición Final	KM	Hora
Inicio de 2do Viaje	KM	Hora
Fin de 2do Viaje	KM	Hora
Llegada a Disposición final	KM	Hora
Salida de disposición final	KM	Hora
Llegada a Parqueo	KM	Hora

### Para uso de Jefatura

Recolección		Peso (lbs)	Tiempo (Hrs.)	Kilómetros
1er. Viaje	(Fin - Inicio)			
2do. Viaje	(Fin - Inicio)			
Sub-Total				

Transporte		Peso (lbs)	Tiempo (Hrs.)	Kilómetros
1er. Viaje	(Inicio 2do. Viaje - Fin 1er Viaje)			
2do. Viaje	(Llegada a Parqueo- Fin 2do. Viaje - (Inicio 1er Viaje - Salida de parqueo)			
Sub-Total				

Otro		Tiempo (Hrs.)	Kilómetros
Llegada a Ruta	(Inicio 1er Viaje - Salida de parqueo)		
Regreso a Plantel	(Inicio 1er Viaje - Salida de parqueo)		
Sub-Total			

### Formulario de seguimiento bisemanal de rutas

FORMULARIO DE SEGUIMIENTO BISEMANAL DE RUTA																		
RUTA: _____										BISEMANA N° _____								
MES: _____										AÑO: _____								
DIA		L	M	M	J	V	S	D	total	L	M	M	J	V	S	D	total	Promedio día
FECHA																		
Combustible																		
Peso (libras)	1 er viaje																	
	2 er viaje																	
Peso Total	Total																	
Kilometros recolección	1 er viaje																	
	2 er viaje																	
Sub-total																		
Kilometros transporte	1 er viaje																	
	2 er viaje																	
Sub-total																		
Kilometros Otro	1 er viaje																	
	2 er viaje																	
Sub-total																		
<b>Total Kilometros de Zona</b>																		
Tiempo de recolección	1 er viaje																	
	2 er viaje																	
Sub-total																		
Tiempo de transporte	1 er viaje																	
	2 er viaje																	
Sub-total																		
Tiempo Otro	1 er viaje																	
	2 er viaje																	
Sub-total																		
<b>Total Tiempo de Zona</b>																		
Personal	Motorista																	
	Ayudantes																	
	Total																	
N° equipo																		
volumen (m3)																		
Densidad de Recolección (Lbs/m3)																		

Además de recopilar la información anterior, se realizó también un Estudio de Tiempos y Movimientos (ETM) para cada ruta durante un día para obtener información acerca de los trabajos de recolección y transporte de las rutas meta (ver sección 3.3 Estudio de Tiempos y Movimientos), el cual podía ser comparado con la información obtenida en otros ETM después del cambio de las rutas de recolección.

#### Paso 2: Plan de optimización de rutas de recolección

Utilizando el área de recolección actual y los mapas antes indicados, se procedió a la interpretación y comprensión de la situación actual, para lo cual se siguieron los siguientes pasos que se describen a continuación:

i) Se estimó para cada zona la cantidad generada de residuos del área de recolección actual, y se confrontó con la capacidad de carga del vehículo asignado en la zona, verificándose si éste era apropiado.

**Formulario para estimar la generación de residuos:** El objeto de este formulario es proporcionar la estimación de residuos generados, y para completarlo se utiliza la información del mapa N° 2 y N° 3 donde están plasmados los números de casas, comercios etc.

Para calcular la cantidad de residuos generada en el área es importante saber la proporción de generación de residuos para cada tipo de residuo.

### Formulario para Cálculo de Generación de Residuos

Ruta N° \_\_\_\_\_ Municipio: \_\_\_\_\_  
 Frecuencia: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Días de Atención: \_\_\_\_\_

Entidades	N° de Entidades	Unidad	Total de Unidades por entidad	Generación por unidad día, (Kg)	Producción por día (Kg)	Total semanal (Kg)	Frecuencia	Esperado por día de recolección (Kg)
Viviendas		Habitantes		0.475				
Mercados		Puestos		1.674				
Hospitales		Empleados		0.196				
Escuelas y colegios		Alumnos y empleados		0.196				
Industrias		Empleados		0.196				
Barrido de Calles		Metros lineales		0.198				
Comercios		Empleados		0.486				
Instituciones		Empleados		0.196				
Restaurantes		Sillas		0.482				
Totales								

ii) Con la información de los dos últimos formularios se definió a través de los siguientes indicadores qué estaba sucediendo en el área. El primero a usar fue la siguiente fórmula:

**Eficiencia en el uso de la capacidad del camión:**

$$\text{Eficiencia de uso Capacidad del camión} = \text{(ECC)} = \frac{\text{Cantidad recolectada}}{\text{Peso de diseño de vehículo}} \%$$

Los resultados nos indicaron si la magnitud del área de recolección era adecuada para el vehículo correspondiente. De lo contrario se procedía a preparar un plan tentativo para modificar el área de recolección para que se ajuste al vehículo.

El grupo acordó que si el valor se encontraba entre 110% y 90% era aceptable, mayor de 110% inaceptable y menor de 90% ineficiente.

Los resultados encontrados se muestran en la siguiente tabla.

**Eficiencia en el uso de la capacidad de carga del camión**

Municipio	N° de ruta	ECC	Observación
02MJ	12	155.64%	Inaceptable
02MJ	13	90.66%	Eficiente
03CD	01	130.73%	Inaceptable
03CD	02	116.85%	Inaceptable
06SM	07	125.45%	Inaceptable
06SM	08	125.17%	Inaceptable
07ST	02	80.97%	Ineficiente
07ST	04	112.73	Inaceptable
09SY	05	90.85%	Eficiente
09SY	11	98.28%	Eficiente
11SMT	03	60.61% / <sup>1</sup>	Ineficiente
11SMT	05	60.61% / <sup>1</sup>	Ineficiente
12AP	04	115.76%	Inaceptable
12AP	05	106.67%	Eficiente

1/ este municipio no pesa los desechos; el peso usado fue estimado

Como se observa, 10 de las 14 rutas estaban usando inadecuadamente el camión.

### Cobertura de Zona:

$$\text{Cobertura de zona} = \text{CRC} = \frac{\text{Cantidad efectiva recolectada}}{\text{Cantidad estimada de recolección}} \%$$

Aplicando la fórmula anterior identificamos qué tan eficiente se era en cada una de las áreas. Si el valor contenido se encontraba entre 110% y 90% le definimos que el servicio era eficiente, menor que 90% ineficiente, y si era mayor de 110%, se procedía a una inspección en el área porque se podría estar recolectando en puntos fuera de ésta. Y los resultados encontrados fueron los siguientes:

Estudio No.	Municipio	N° de ruta	CRC	Observación
1	02MJ	12	ND	-
2	02MJ	13	ND	-
3	03CD	01	ND	-
4	03CD	02	ND	-
5	06SM	07	305.29%	Inspección
6	06SM	08	234.17%	Inspección
7	07ST	02	46.85%	Ineficiente
8	07ST	04	104.03%	Eficiente
9	09SY	05	53.19%	Ineficiente
10	09SY	11	46.62%	Ineficiente
11	11SMT	03	142.15%	Inspección
1	11SMT	05	ND	-
13	12AP	04	29.85%	Ineficiente
14	12AP	05	35.75%	Ineficiente

Como se puede observar, sólo una ruta es adecuada.

Con estos dos indicadores se concluyó que las 14 rutas necesitaban ser optimizadas.

iii) Se procedió a la formulación de cómo mejorar las rutas con el menor esfuerzo posible, y para ello se propuso lo que denominamos método gráfico que consistió en lo siguiente:

Usando el mapa N° 4, se procedió a medir con una regla graduada en centímetros las distancias productivas donde el camión está recolectando basura, y las distancias muertas en las que el camión no está recolectando. Para el registro de esta información el equipo proporcionó el siguiente formulario:

### Formulario para cálculo de distancias productivas y la eficiencia de la ruta

Hoja de calculo de distancias productivas y eficiencia				
Nombre de Zona: _____				
Fecha de calculo: _____				
Distancia de ruta = Distancia productiva + Distancia Muerta				
Indice de Eficiencia de Ruta = Distancia Productiva / Distancia de ruta				
Responsable del calculo: _____				
<b>Nota: los valores considerados son entre el Inicio y Fin de recoleccion, no se toma en Cuenta la distancia del parqueo a zona, ni la distancia a disposicion final.</b>				
	Colonia	Calle ó Avenida	Ruta Analizada	
			Distancia Productiva	Distancia Muerta
	1	2		
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	Total o pasa			

Con la información obtenida a través de este cuadro se indica a continuación la eficiencia de las rutas de recolección.

$$\text{Eficiencia de ruta} = \text{ERZ} = \frac{\text{Distancia Productiva}}{\text{Distancia Total}} \%$$

### Eficiencia de Ruta

Municipio	N° ruta	ERZ (%)
02MJ	12	40.50
02MJ	13	81.17
03CD	01	ND
03CD	02	ND
06SM	07	73.90
06SM	08	74.74
07ST	02	42.86
07ST	04	68.50
09SY	05	ND
09SY	11	45.95
11SMT	03	33.72
11SMT	05	48.38
12AP	04	34.75
12AP	05	40.62

Se trazó una ruta alternativa preliminar en un papel transparente que estaba sobre el mapa N° 3 y se calculó la ERZ de la propuesta. Este método se repitió y eventualmente se propuso una alternativa que tuviera la ERZ de mayor porcentaje.

#### iv) Plan de Implementación

Una vez corroborada, se procedió a calcular a través del formulario denominado **Formulario de cálculo para generación esperada por calle del recorrido de la ruta**. Se muestra a continuación:

Hoja de calculo de generacion esperada por calle

		Uso habitacional				Mercados				Establecimientos de salud				Centros educativos				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Calle	Calle	N°	Total viviendas	habitación	Total	N°	N° puntos	kg. residuos	Total	N° est. Salud	N° empleados	kg. residuos día	Total	N°	N° alumnos	kg. residuos día	Total	
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
Totales (Paseo)																		



Hoja de calculo de generacion esperada por calle

1	2	Industrias					Barrido de calles			Comercios			Instituciones			Restaurantes			36	37
		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
Colonia	Calle	N°	N° emp. c/abto	N° emp. c/abto	N° emp. c/abto	total	N° de calles	N° de calles	total	N°	emp. c/abto	total	N°	N° emp. c/abto	total	N°	N° de mesas	total	Generacion en Kg	Generacion en libras
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
Totales (o pasar)																				

Luego de haber complementado este cuadro que permite identificar calle por calle el peso esperado, se traslada la información de la última columna del formulario denominado **Formulario de optimización y cálculo de viajes y su peso**, que se muestra a continuación:

Hoja de calculo para el rediseño de rutas y su peso.										
Nombre de Zona: _____					Datos Técnicos:					
Fecha de calculo: _____					Volumen de camion : _____ m3					
Capacidad volumetrica del camion: _____ yds3					Peso maximo : _____ libras					
Responsable del calculo: _____					Peso de diseño: _____ Libras					
					Densidad Maxima: _____ Kg/yds3					
					Densidad de diseño: _____ Libs/m3					
Colonia	Calle ó Avenida	Generación diaria Libras	Generación semanal Libras	Frecuencia Dias	Recoleccion X dia Libras	Peso Acumulado Libras	P. Especifico Libras / m3	Volumen m3	V Acumulado m3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
Totales (o pasar)										

### Paso 3: Instrumentación del plan

Cuando cada uno de los participantes concluye su propuesta se procedió a la implementación, designando para ello a un supervisor y en algunos casos el primer viaje lo realizaba él mismo, con el objeto de poder explicar en más detalle al motorista la nueva ruta, y también para poder recoger de primera mano las impresiones y observaciones de ellos.

- Durante la primera semana se ejecutaron algunos ajustes fundamentalmente en aquellas rutas donde el diseñador tenía poca experiencia en el campo; también el segundo día se ejecutó un estudio de tiempos y movimientos.

Todos los participantes procedieron desde el cambio a registrar los datos respecto a las tareas de recolección a través de los formularios proporcionados a través del plan piloto.

#### Paso 4: Inspección y evaluación del plan

Hasta este momento solo se les había proporcionado a la contraparte tres indicadores; es decir, el ECC, CRC y el ERZ. Con el objeto de permitir una mejor asimilación de ellos, se prepararon los siguientes indicadores que a la vez han servido para evaluar la ruta de recolección.

#### Parámetros de evaluación

Parámetro		Fórmula	Unidad
Gasto de combustible por kilómetro =	GCK	$\frac{\text{Galones}}{\text{Kilómetro}}$	Gls/km
Kilómetro por combustible =	KXG	$\frac{\text{Kilómetro}}{\text{Galones}}$	km/Gls
Recolección por empleado =	RCXE	$\frac{\text{Cantidad recolectada de residuos (ton)}}{\text{\# Empleados}}$	Ton / hombre
Eficiencia de recolección por empleado =	RCXEH	$\frac{\text{Cantidad recolectada de residuos (ton)}}{\text{\# trabajadores x Tiempo viaje}}$	Ton/hombre/hora
Producción de basura por kilómetro =	RCXK	$\frac{\text{(Peso recolectado / 2200) x 100}}{\text{Kilómetros de recolección (km)}}$	Ton / km
Velocidad en ruta	VRC	$\frac{\text{Kilómetros de recolección (km)}}{\text{Tiempo de recolección (Hr)}}$	km / hora
Velocidad de transporte =	VT	$\frac{\text{Viaje redondo sin recolección (km)}}{\text{Viaje redondo sitio de disposición (Hr)}}$	km / hora
* Costo por tonelada recolectada =	CTR	$\frac{\{(\text{Costo hora recolector x N}^\circ \text{ Rec.} + \text{Costo hora motorista}) \times \text{Tiempo Rec.}\} + (\text{Costo de Galón x GCK x Kilómetros de recolección})}{(\text{Peso recolectado/ton})}$	¢ por Ton
* Costo de tonelada transportada =	CTT	$\frac{\{(\text{Costo hora recolector x N}^\circ \text{ Rec.} + \text{Costo hora motorista}) \times \text{Tiempo Transporte}\} + (\text{Costo de Galón x GCK x Kilómetros de Transporte})}{(\text{Peso recolectado/ton})}$	¢ por Ton

\* Este costo refleja únicamente el valor de la mano de obra y el combustible consumido, al cual se le denomina de operación.