

c. Selección de las Alternativas

c.1 Método de Transporte

Decidir acerca del transporte directo o de transferencia dependerá básicamente de cuál de los dos costos son menores. En el caso de una menor distancia de transporte, el transporte directo es menos costoso que el transporte de transferencia, pero el primero es más costoso que el segundo cuando la distancia de transporte es mayor.

Por lo general se dice que el uso del transporte de transferencia es benéfico para los siguientes casos:

- La distancia de transporte es de más de 30km, y/o
- Cuando se utilizan vehículos de recolección de poca capacidad.

En esta sección se analiza la necesidad del transporte de transferencia. La Figura K-1 presenta el flujo de dicho análisis.

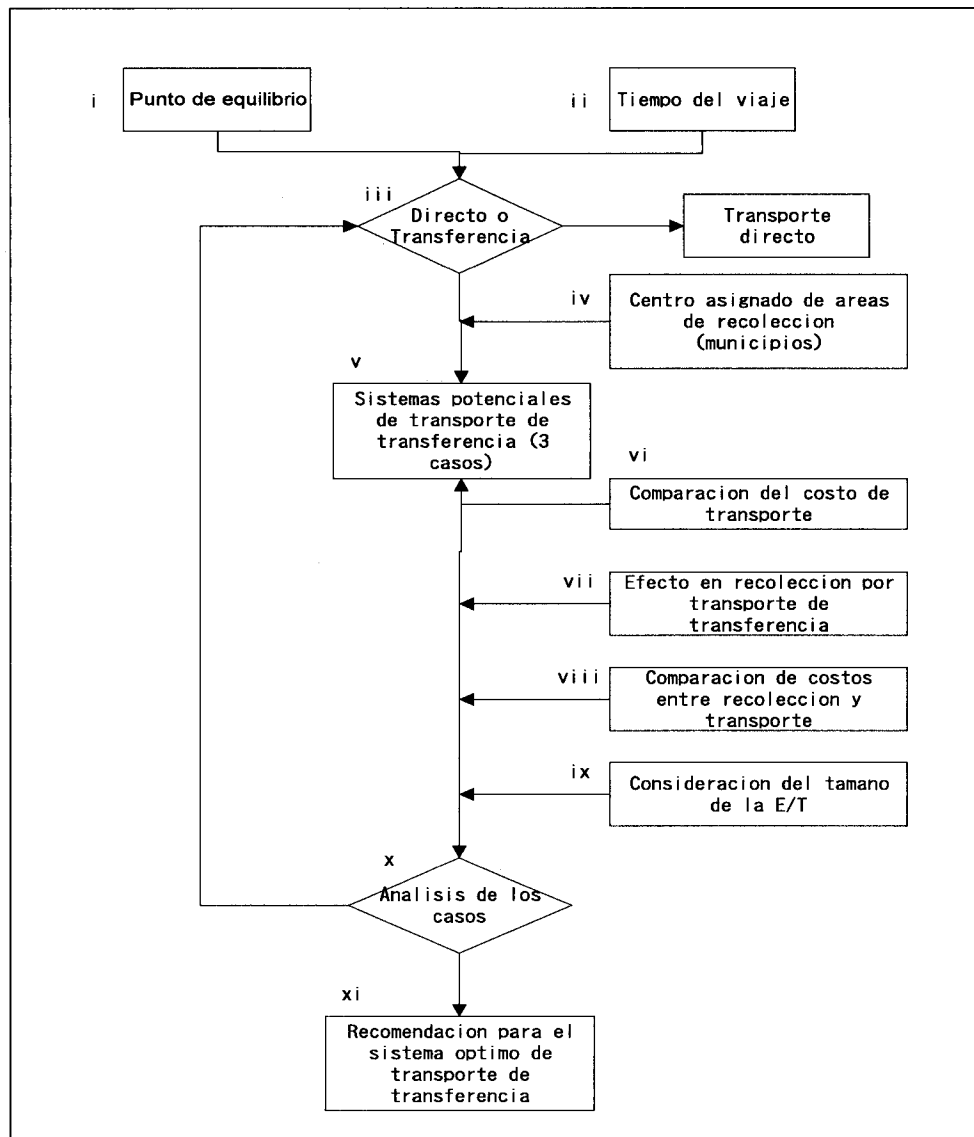


Figura K-1: Flujo del Análisis del Método de Transporte

i. Punto de Equilibrio

Se muestran las estimaciones de costos para alcanzar el punto de equilibrio en el Cuadro K-47 y Cuadro K-48. El Cuadro K-49 muestra los puntos de equilibrio entre el transporte directo mediante el compactador de 18yd³ y el transporte de transferencia mediante un tractocamión de 20ton para capacidades de estaciones de transferencia de 100ton/día, 300ton/día, 600ton/día, 900ton/día y 1200ton/día.

Debe advertirse que los costos fueron estimados bajo diversos supuestos. Se debe poner atención al hecho de que los costos tienen ciertos rangos, y que particularmente los costos de las estaciones de transferencia tienen un rango mayor dependiendo de los lugares donde se van a construir tales estaciones, ya que la ubicación de la misma decide tanto la distancia a la que va a viajar un vehículo de recolección y uno de transporte.

Cuadro K-47: Estimaciones de Costos del Transporte (Resumen)

Vehículos	US\$/ton-minuto
Camión recolector de 18yd ³	0.0441
Tractocamión de 20ton	0.0154

Cuadro K-48: Estimaciones de Costos de la Estación de Transferencia (Resumen)

E/T	Costo (US\$/ton)
100t	5.19
300t	2.71
600t	1.80
900t	1.48
1200t	1.32

La siguiente figura muestra la distancia y tiempo de equilibrio para los casos respectivos de magnitud de la E/T:

- En el caso de E/T con capacidad de 100ton/día, el tiempo de viaje de equilibrio es de 181 minutos (es decir, la distancia de equilibrio es de 90.5km). Si la distancia de la E/T a un destino es menor a 90.5km, el transporte directo es más barato. Y el costo unitario de equilibrio de transporte por tonelada es de US\$7.9774/ton.
- De igual manera, en el caso de la E/T con capacidad de 300ton/día, el tiempo de viaje de equilibrio es de 94 minutos (es decir, la distancia de equilibrio es de 47.0km). y el costo unitario de equilibrio de transporte por tonelada es de US\$4.1576/ton.

El Cuadro K-49 resume el tiempo de viaje de equilibrio, la distancia y el costo unitario de transporte para los casos respectivos.

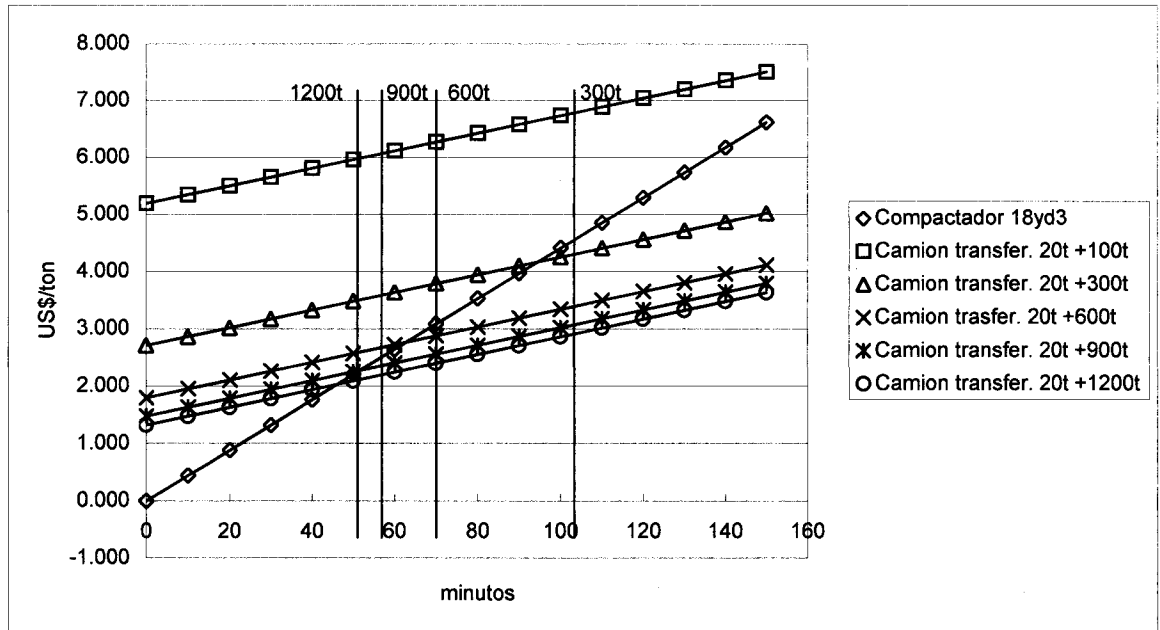


Figura K-2: Distancia/Tiempo de Equilibrio entre el Transporte Directo de Transferencia y su Costo Unitario

Cuadro K-49: Distancia/Tiempo de Equilibrio entre el Transporte Directo de Transferencia y su Costo Unitario

Combinación	Tiempo de transporte de equilibrio (minutos)	Distancia de equilibrio (km)		Costo unitario de transporte en punto de equilibrio (US\$/ton)
		ida y vuelta	ida	
Transporte con 100t de E/T	181	90.5	45.3	7.9774
Transporte con 300t de E/T	94	47.0	23.5	4.1576
Transporte con 600t de E/T	63	31.5	15.8	2.7702
Transporte con 900t de E/T	52	26.0	13.0	2.2808
Transporte con 1200t de E/T	46	23.0	11.5	2.0284

ii. Tiempo de Viaje

Para poder analizar si el uso del transporte de transferencia es benéfico o no para cada alcaldía, se compara el tiempo de viaje del vehículo de recolección de los municipios al sitio de disposición con el tiempo de viaje de equilibrio que se indicó anteriormente. La Figura K-3 muestra esta comparación de manera esquemática. Se supone que el destino es el sitio de disposición de Nejapa para simplificar la comparación, aunque también se utilizan en la actualidad los sitios de la ESPIGA, SMT y TN.

Cuadro K-50: Tiempo de Viaje al Sitio de Disposición de Nejapa

Municipio	Velocidad Ida (km)	30 km/hr	
		Viaje ida y vuelta (km)	Viaje ida y vuelta (min)
01SS	28.9	57.8	116
02MJ	25.5	51.0	102
03CD	22.2	44.4	89
04CT	21.2	42.4	85
05AY	24.5	49.0	98
06SM	32.1	64.2	128
07ST	37.3	74.6	149
08AC	42.2	84.4	169
09SY	29.3	58.6	117
10IL	33.9	67.8	136
11SMT	42.0	84.0	168
12AP	14.0	28.0	56
13NJ	9.6	19.2	38
14TN	26.0	52.0	104

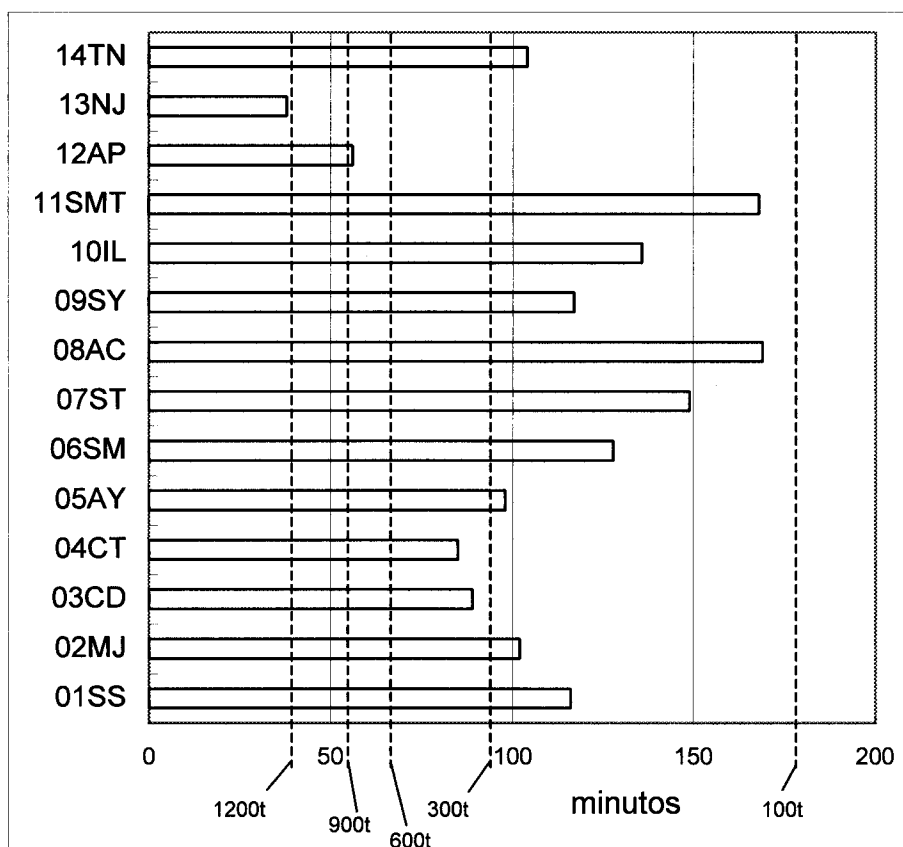


Figura K-3: Tiempo de Viaje al Sitio de Disposición de Nejapa (viaje ida y vuelta)

iii. Transporte Directo o de Transferencia

El transporte de transferencia con una E/T de 100ton/día nunca será benéfica, ya que el tiempo de viaje de la municipalidad no excede el del punto de equilibrio de 181 minutos. La E/T de 300ton/día sería ventajosa para SS, MJ, AY, SM, ST, AC, SY, IL, SMT e TN en vez del transporte directo. En el caso de E/T de 600ton/día, CD y CT se beneficiarían del transporte de transferencia, además de los municipios mencionados. AP se les uniría en el caso de la E/T de 900ton/día. NJ no se vería beneficiada aún en el caso del transporte de transferencia con una E/T de 1200ton/día. Por ello, se puede decir que el uso de del transporte de transferencia sería benéfico para muchos municipios del Área de Estudio.

La discusión anterior se basa en el supuesto de que las estaciones de transferencia se localicen en el centro de cada municipio. Sin embargo, esto es imposible ya que la mayor parte de éstas no generan una cantidad tan grande de residuos como para requerir una estación de transferencia de 300 ton/día, 600 ton/día o 900ton/día. Por ello, se necesita analizar la ubicación óptima de la(s) estación(es) de transferencia y el costo de transporte para cada municipio a una estación de transferencia. Esto se realiza en las siguientes secciones.

iv. Centro Ponderado de las Municipalidades

Para obtener la ubicación óptima de la(s) estación(es) de transferencia, es necesario saber el centro ponderado y la cantidad de recolección de residuos de cada municipalidad. Estos se muestran en el Cuadro K-51 y la Figura K-4. SS se divide en 5 distritos. La coordenada muestra la ubicación relativa del centro ponderado de cada municipio/distrito. X muestra la coordenada de ubicación oriente-occidente, Y muestra la coordenada norte-sur y la unidades son en km. Aquí la cantidad de residuos significa la cantidad de generación pronosticada en el 2010.

Cuadro K-51: Cantidad de Residuos y Centro Ponderado de los Municipios

Municipio	Coordenada		Cantidad de residuos ton/día
	X	Y	
011SS	14.5	6.0	195
012SS	12.0	6.5	166
013SS	9.5	5.5	79
014SS	11.0	3.0	72
015SS	14.0	3.5	209
02MJ	13.5	8.5	98
03CD	17.0	10.0	42
04CT	15.5	11.5	36
05AY	13.5	9.5	14
06SM	15.5	0.5	43
07ST	4.5	3.0	119
08AC	8.5	2.5	64
09SY	20.0	6.5	205
10IL	23.0	5.5	61
11SMT	29.0	10.0	34
12AP	16.0	17.0	64
13NJ	9.0	18.0	7
14TN	22.0	14.0	29

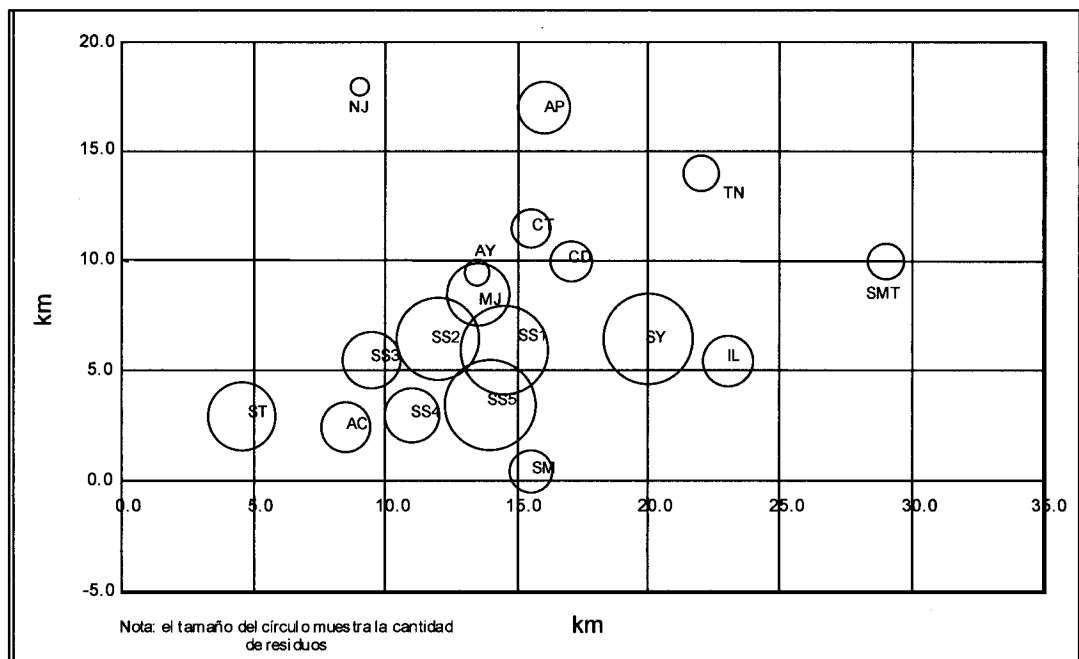


Figura K-4: Cantidad de Residuos y Centro Ponderado de los Municipios

v. Sistemas Potenciales de Transporte de Transferencia

Con base en la cantidad de residuos, el centro ponderado de cada municipio y la magnitud rentable de la estación de transferencia (es decir, más de 300 ton/día tal y como se trató en la sección anterior), se consideraron tres casos como alternativas potencialmente apropiadas.

Caso 1

Una estación de transferencia grande que cubra 11 municipios: SS, MJ, CD, CT, AY, SM, ST, AC, SY, IL, SMT. El centro ponderado del área cubierta por esta estación de transferencia tiene las coordenadas (x, y) de (14.1, 5.6), las cuales son casi el centro de SS. El pronóstico de la cantidad generada de residuos en el año 2010 por los 11 municipios es de 1,437 ton/día. Se aplica para este análisis una estación de transferencia de 1200ton/día.

Caso 2

Se asumen **tres estaciones de transferencia**. La primera estación, E/T 2-1, cubre el distrito 3 y 4 de SS, ST y AC. Las coordenadas (x, y) del centro ponderado del área es (7.9, 3.5). El pronóstico de la cantidad generada de residuos es de 334 ton/día. Se aplica para el análisis de esta área una estación de transferencia de 300ton/día.

La segunda estación de transferencia, E/T 2-2, cubre el distrito 1, 2 y 5 de SS, MJ, CD, CT, AY y SM. Las coordenadas del centro ponderado del área son (13.9, 6.0). El pronóstico de la cantidad generada de residuos es de 803 ton/día. Se aplica para el análisis de esta área una estación de transferencia de 600ton/día.

La última estación de transferencia, E/T 2-3, cubre SY, IL y SMT. Las coordenadas del centro ponderado del área son (21.6, 6.7). El pronóstico de la cantidad total generada de residuos es de 300 ton/día. Se aplica para el análisis de esta área una estación de transferencia de 300ton/día.

Caso 3

Se asumen **dos estaciones de transferencia**. La primera, E/T 3-1, cubre el distrito 2, 3 y 4 de SS, ST y AC. Las coordenadas (x, y) del centro ponderado son (9.2, 4.5). El pronóstico de la cantidad total de generación es de 500 ton/día. Se aplica para el análisis una estación de transferencia de 300ton/día.

La segunda estación de transferencia cubre el distrito 1 y 5 de SS, MJ, CD, CT, AY, SM, SY, IL y SMT. Las coordenadas (x, y) del centro ponderado son (16.7, 6.1). El pronóstico de la cantidad total generada es de 937 ton/día. Se aplica para el análisis una estación de transferencia de 900ton/día.

Cuadro K-52: Cálculo del Centro Ponderado (Caso 1)

E/T 1-1

Municipio	x	y	w (t/d)	w,x	w,y	Centro ponderado	
011SS	14.5	6.0	195	2827.5	1170.0	X	y
012SS	12.0	6.5	166	1992.0	1079.0		
013SS	9.5	5.5	79	750.5	434.5		
014SS	11.0	3.0	72	792.0	216.0		
015SS	14.0	3.5	209	2926.0	731.5		
02MJ	13.5	8.5	98	1323.0	833.0		
03CD	17.0	10.0	42	714.0	420.0		
04CT	15.5	11.5	36	558.0	414.0		
05AY	13.5	9.5	14	189.0	133.0		
06SM	15.5	0.5	43	666.5	21.5		
07ST	4.5	3.0	119	535.5	357.0		
08AC	8.5	2.5	64	544.0	160.0		
09SY	20.0	6.5	205	4100.0	1332.5		
10IL	23.0	5.5	61	1403.0	335.5		
11SMT	29.0	10.0	34	986.0	340.0		
Total	221.0	92.0	1437	20307.0	7977.5	14.1	5.6

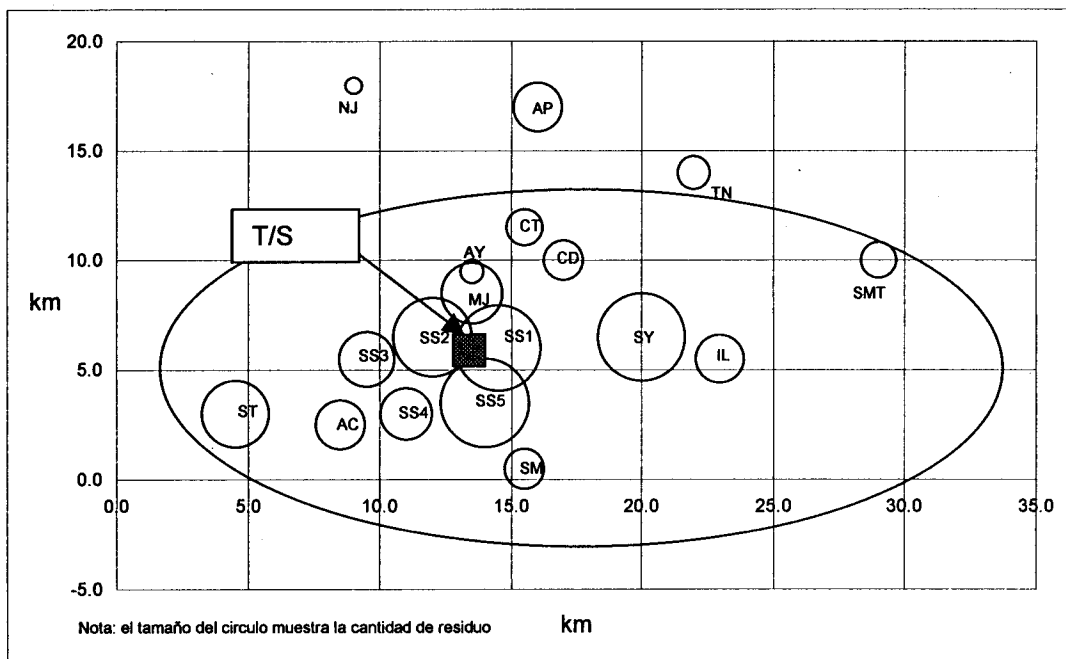


Figura K-5: Estación de Transferencia y su Área de Cobertura (Caso 1)

Cuadro K-53: Cálculo del Centro Ponderado (Caso 2)

E/T 2-1

Municipio	x	y	w (t/d)	w,x	w,y	Centro ponderado	
013SS	9.5	5.5	79	750.5	434.5	X	y
014SS	11.0	3.0	72	792.0	216.0		
07ST	4.5	3.0	119	535.5	357.0	7.9	3.5
08AC	8.5	2.5	64	544.0	160.0		
Total	33.5	14.0	334	2622.0	1167.5		

E/T 2-2

Municipio	x	y	w (t/d)	w,x	w,y	Centro ponderado	
011SS	14.5	6.0	195	2827.5	1170.0	x	Y
012SS	12.0	6.5	166	1992.0	1079.0		
015SS	14.0	3.5	209	2926.0	731.5	13.9	6.0
02MJ	13.5	8.5	98	1323.0	833.0		
03CD	17.0	10.0	42	714.0	420.0		
04CT	15.5	11.5	36	558.0	414.0		
05AY	13.5	9.5	14	189.0	133.0		
06SM	15.5	0.5	43	666.5	21.5		
Total	115.5	56.0	803	11196.0	4802.0		

E/T 2-3

Municipio	x	y	w (t/d)	w,x	w,y	Centro ponderado	
09SY	20.0	6.5	205	4100.0	1332.5	x	Y
10IL	23.0	5.5	61	1403.0	335.5		
11SMT	29.0	10.0	34	986.0	340.0	21.6	6.7
Total	72.0	22.0	300	6489.0	2008.0		

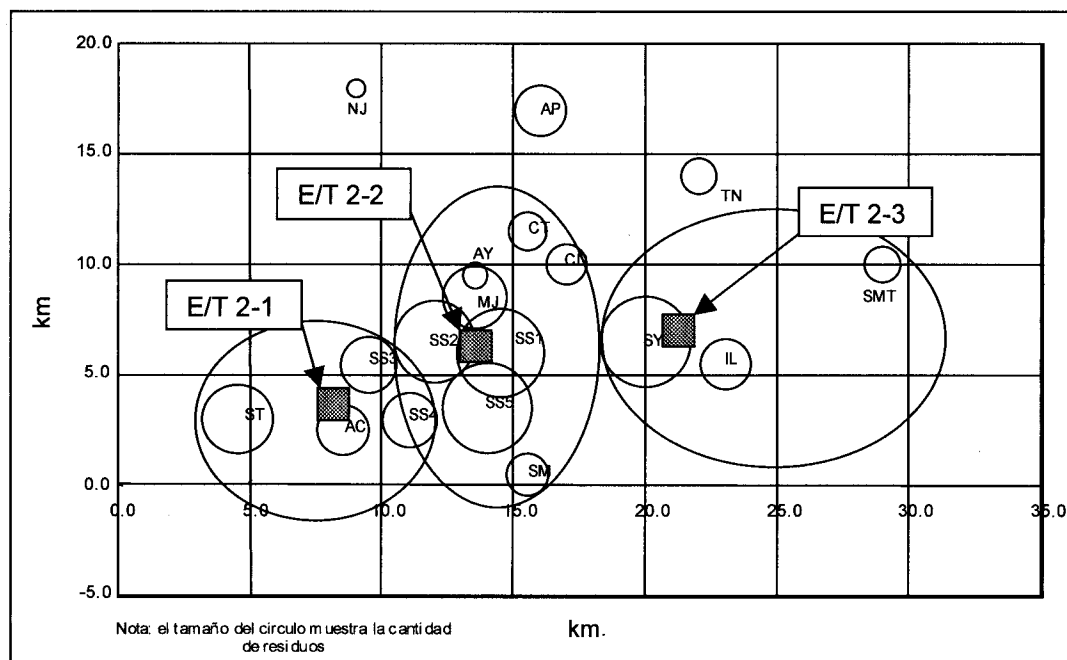


Figura K-6: Estación de Transferencia y su Área de Cobertura (Caso 2)

Cuadro K-54: Cálculo del Centro Ponderado (Caso 3)

E/T 3-1

Municipio	x	y	w (t/d)	w,x	w,y	Centro ponderado	
012SS	12.0	6.5	166	1992.0	1079.0	x	Y
013SS	9.5	5.5	79	750.5	434.5		
014SS	11.0	3.0	72	792.0	216.0		
07ST	4.5	3.0	119	535.5	357.0		
08AC	8.5	2.5	64	544.0	160.0		
Total	45.5	20.5	500.0	4614.0	2246.5	9.2	4.5

E/T 3-2

Municipio	x	y	w (t/d)	w,x	w,y	Centro ponderado	
011SS	14.5	6.0	195	2827.5	1170.0	x	y
015SS	14.0	3.5	209	2926.0	731.5		
02MJ	13.5	8.5	98	1323.0	833.0		
03CD	17.0	10.0	42	714.0	420.0		
04CT	15.5	11.5	36	558.0	414.0		
05AY	13.5	9.5	14	189.0	133.0		
06SM	15.5	0.5	43	666.5	21.5		
09SY	20.0	6.5	205	4100.0	1332.5		
10IL	23.0	5.5	61	1403.0	335.5		
11SMT	29.0	10.0	34	986.0	340.0		
Total	175.5	71.5	937.0	15693.0	5731.0		

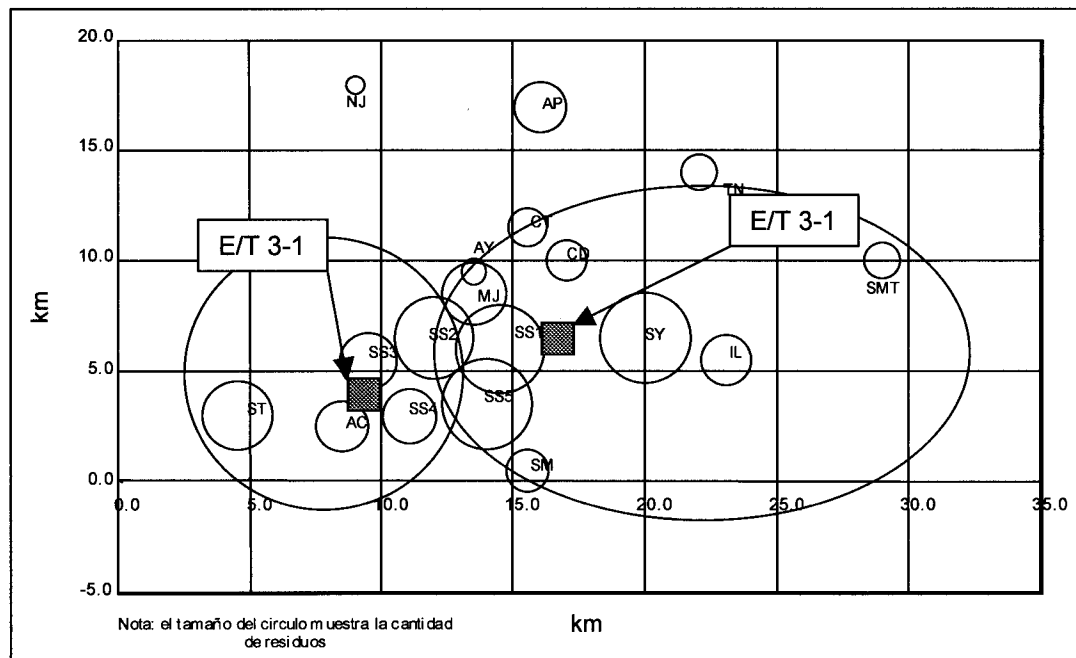


Figura K-7: Estación de Transferencia y su Área de Cobertura (Caso 3)

vi. Comparación del Costo de Transporte

Se analizaron para cada caso los costos del transporte directo y el de transferencia. Para el costo del transporte directo se consideró lo siguiente:

- Los costos de transporte desde el centro ponderado de cada municipio/distrito al sitio de disposición de Nejapa (S/D) mediante el camión compactador de 18yd³.

Los costos del transporte de transferencia consisten en los siguientes:

- Los costos de transporte desde el centro ponderado de cada municipio/distrito a la estación de transferencia mediante el camión compactador de 18yd³,
- Los costos para la estación de transferencia y
- Los costos de transporte desde la estación de transferencia al relleno de Nejapa.

Se analiza, desde una perspectiva de costos, que el transporte de transferencia sea benéfico o no (es decir, si dicha transferencia en total es más barata que el transporte directo o no). Los resultados muestran que el Caso 1 tiene la reducción más grande en costos, en segundo lugar el Caso 2 y en tercero es el Caso 3, pero el Caso 2 y el 3 son casi iguales.

Caso 1

Cuadro K-55: Reducción de Costos mediante Estación de Transferencia
(Caso 1; E/T 1-1, 1200t)

Municipio	Directo	Transferencia	Directo - Transferencia	
	US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton	%
E/T 1-1 (1200t)				
011SS	5.20	3.35	1.85	35.6
012SS	4.94	3.88	1.06	21.5
013SS	5.29	4.54	0.75	14.2
014SS	6.00	4.36	1.64	27.3
015SS	5.91	3.79	2.12	35.9
02MJ	4.41	4.05	0.36	8.2
03CD	4.28	4.76	-0.48	-11.2
04CT	3.70	5.02	-1.32	-35.7
05AY	4.10	4.32	-0.22	-5.4
06SM	6.88	4.76	2.12	30.8
07ST	6.31	6.12	0.19	3.0
08AC	6.22	5.11	1.11	17.8
09SY	5.64	4.98	0.66	11.7
10IL	6.35	5.82	0.53	8.3
11SMT	6.66	7.84	-1.18	-17.7
Promedio	5.46	4.85	0.61	9.6

Caso 2

Cuadro K-56: Reducción de Costo mediante Estación de Transferencia (Caso 2; E/T 2-1, 300t; E/T 2-2, 600t; E/T 2-3, 300t)

Municipio	Directo	Transferencia	Directo - Transferencia	
	US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton	%
E/T 2-1 (300t)				
013SS	5.29	5.56	-0.27	-5.1
014SS	6.00	5.70	0.30	5.0
07ST	6.31	5.78	0.53	8.4
08AC	6.22	5.12	1.10	17.7
Promedio	5.96	5.54	0.42	6.5
E/T 2-2 (600t)				
011SS	5.20	3.78	1.42	27.3
012SS	4.94	4.22	0.72	14.6
015SS	5.91	4.35	1.56	26.4
02MJ	4.41	4.35	0.06	1.4
03CD	4.28	5.14	-0.86	-20.1
04CT	3.70	5.32	-1.62	-43.8
05AY	4.10	4.66	-0.56	-13.7
06SM	6.88	5.32	1.56	22.7
Promedio	4.93	4.64	0.29	1.9
E/T 2-3 (300t)				
09SY	5.64	5.23	0.41	7.3
10IL	6.35	5.27	1.08	17.0
11SMT	6.66	7.17	-0.51	-7.7
Promedio	6.22	5.89	0.33	5.5
Promedio	5.70	5.36	0.35	4.6

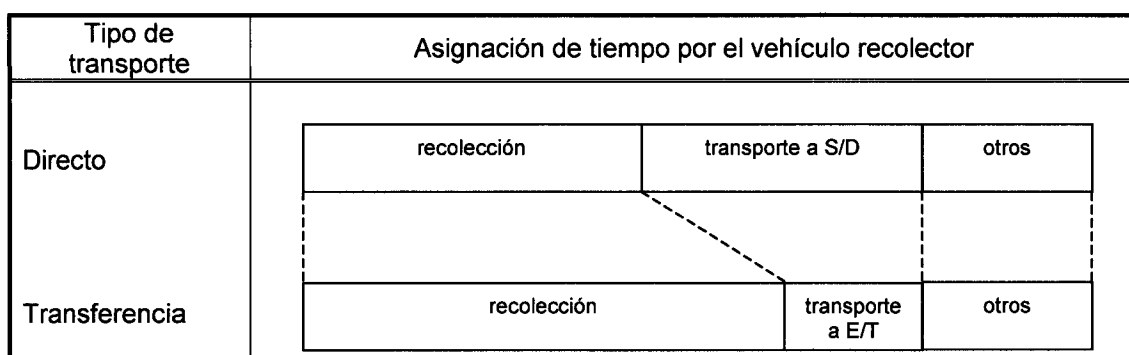
Caso 3

Cuadro K-57: Reducción de Costo de Transporte mediante Estación de Transferencia (Caso 3; E/T 3-1, 300t; E/T 3-2 900T)

Municipio	Directo	Transferencia	Directo - Transferencia	
	US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton	%
E/T 3-1 (300t)				
012SS	4.94	5.66	-0.72	-14.6
013SS	5.29	4.96	0.33	6.2
014SS	6.00	5.36	0.64	10.7
07ST	6.31	6.11	0.20	3.2
08AC	6.22	5.27	0.95	15.3
Promedio	5.75	5.47	0.28	4.2
E/T 3-2 (900)				
011SS	5.20	4.00	1.20	23.1
015SS	5.91	4.44	1.47	24.9
02MJ	4.41	4.53	-0.12	-2.7
03CD	4.28	4.49	-0.21	-4.9
04CT	3.70	5.02	-1.32	-35.7
05AY	4.10	4.75	-0.65	-15.9
06SM	6.88	5.06	1.82	26.5
09SY	5.64	4.31	1.33	23.6
10IL	6.35	5.24	1.11	17.5
11SMT	6.66	7.22	-0.56	-8.4
Promedio	5.31	4.91	0.41	4.8
Promedio	5.53	5.19	0.35	4.5

vii. Efecto sobre la Recolección

En caso de que se adopte el transporte de transferencia, los vehículos de recolección pueden ganar más tiempo para la actividad de recolección de los residuos, ya que se reduce el tiempo requerido para transporte. La siguiente figura muestra esquemáticamente la diferencia del tiempo dedicado por el vehículo recolector para el transporte directo y para la transferencia.



Ya que adquiere más tiempo para la actividad de recolección, un vehículo recolector puede recoger más residuos en un día. El Cuadro K-58 muestra el incremento de la cantidad recolectada mediante el uso del transporte de transferencia en el caso del compactador de 18yd³. El Caso 1 muestra un aumento de 41% en la cantidad recolectada, mientras que el Caso 2 y el Caso 3 tienen 53% y 48% respectivamente.

Cuadro K-58: Comparación de la Cantidad Recolectada mediante Transporte Directo o de Transferencia

Caso	Directo ton/día/vehículo	Transferencia Ton/día/vehículo	Incremento
Caso 1	9.0	12.7	41%
Caso 2	8.8	13.5	53%
Caso 3	9.0	13.3	48%

viii. Comparación Entre el Costo de Recolección y Transporte

La comparación del costo de transporte se concentró en los costos de transporte, y no tomó en cuenta los efectos sobre la recolección; es decir, hay más tiempo disponible para la actividad de recolección y el camión recolector puede recoger más residuos en un día. En esta sección, tomando en cuenta lo anterior, se comparan los “costos de recolección más costos de transporte” para los casos de transporte directo y transporte de transferencia; es decir, cuánto se puede reducir en total en el costo de recolección y transporte si se adopta el transporte de transferencia (ver Cuadro K-59 a Cuadro K-61).

En el Caso 1, 3 municipios: CD, CT y AY no obtienen beneficio de emplear el transporte de transferencia. En el Caso 2, los mismos municipios (CD, CT y AY) no se benefician. En el Caso 3, el distrito 2 de SS se les une al no obtener beneficios.

Los resultados de la comparación de “costos de recolección más costos de transporte”

fueron casi los mismos que los de la comparación de costos de transporte de la sección anterior. 8 municipios: SS, MJ, SM, ST, AC, SY, IL y SMT obtienen beneficios del transporte de transferencia. Sin embargo, no se encontraron en este análisis las razones para justificar el uso del transporte de transferencia para CD, CT y AY, que están relativamente cerca del sitio de disposición de Nejapa.

Cuadro K-59: Reducción del Costo de Recolección y Transporte mediante Transferencia (Caso 1; E/T 1-1, 1200t)

Municipio	Directo	Transferencia	Directo – Transferencia	
	US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton	%
E/T 1-1				
011SS	13.53	11.50	2.03	15.0
012SS	13.20	11.86	1.34	10.2
013SS	13.69	12.33	1.36	9.9
014SS	14.95	12.24	2.71	18.1
015SS	14.76	11.79	2.97	20.1
02MJ	12.46	12.01	0.45	3.6
03CD	12.20	12.57	-0.37	-3.0
04CT	11.55	12.75	-1.20	-10.4
05AY	11.94	12.17	-0.23	-1.9
06SM	16.89	12.57	4.32	25.6
07ST	15.55	13.82	1.73	11.1
08AC	15.35	12.84	2.51	16.4
09SY	14.38	12.75	1.63	11.3
10IL	15.75	13.51	2.24	14.2
11SMT	16.42	15.93	0.49	3.0
promedio	14.17	12.71	1.47	9.5

Cuadro K-60: Reducción del Costo de Recolección y Transporte Mediante Transferencia (Caso 2; E/T 2-1, 300t; E/T 2-2 600t; E/T 2-3, 300t)

Municipio	Directo	Transferencia	Directo – Transferencia	
	US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton	%
E/T 2-1				
013SS	13.69	13.53	0.16	1.2
014SS	14.95	13.61	1.34	9.0
07ST	15.55	13.69	1.86	12.0
08AC	15.35	13.17	2.18	14.2
Promedio	14.89	13.50	1.39	9.1
E/T 2-2				
011SS	13.53	11.93	1.60	11.8
012SS	13.20	12.22	0.98	7.4
015SS	14.76	12.29	2.47	16.7
02MJ	12.46	12.29	0.17	1.4
03CD	12.20	12.92	-0.72	-5.9
04CT	11.55	13.09	-1.54	-13.3
05AY	11.94	12.52	-0.58	-4.9
06SM	16.89	13.09	3.80	22.5
Promedio	13.32	12.54	0.77	4.5
E/T 2-3				
09SY	14.38	13.28	1.10	7.6
10IL	15.75	13.28	2.47	15.7
11SMT	16.42	14.88	1.54	9.4
Promedio	15.52	13.81	1.70	10.9
Promedio	14.58	13.28	1.29	8.2

Cuadro K-61: Reducción del Costo de Recolección y Transporte Mediante
Transferencia (Caso 3; E/T 3-1, 300t; E/T 3-2 900t)

Municipio	Directo	Transferencia	Directo – Transferencia	
	US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton	%
E/T 3-1				
012SS	13.20	13.57	-0.37	-2.8
013SS	13.69	13.05	0.64	4.7
014SS	14.95	13.34	1.61	10.8
07ST	15.55	13.89	1.66	10.7
08AC	15.35	13.27	2.08	13.6
Promedio	14.55	13.42	1.12	7.4
E/T 3-2				
011SS	13.53	11.96	1.57	11.6
015SS	14.76	12.33	2.43	16.5
02MJ	12.46	12.41	0.05	0.4
03CD	12.20	12.34	-0.14	-1.1
04CT	11.55	12.75	-1.20	-10.4
05AY	11.94	12.58	-0.64	-5.4
06SM	16.89	12.83	4.06	24.0
09SY	14.38	12.19	2.19	15.2
10IL	15.75	13.01	2.74	17.4
11SMT	16.42	15.02	1.40	8.5
Promedio	13.99	12.74	1.25	7.7
promedio	14.27	13.08	1.19	7.6

ix. Consideración de la Magnitud de la Estación de Transferencia

Entre mayor sea el tamaño de las estaciones de transferencia menores serán los costos. Sin embargo, la construcción de una planta grande tiene un gran impacto sobre el tráfico, el ambiente, etc. El Cuadro K-62 resume las consideraciones de tales impactos.

Cuadro K-62: Análisis Comparativo de las Estaciones de Transferencia por Magnitud

Aspecto de evaluación comparativa	E/T pequeña (hasta 300 ton/día)	E/T mediana (de 300 a 900 ton/día)	E/T grande (más de 900 ton/día)
1. Adquisición de terreno	Fácil	← →	Difícil
2. Consenso con vecinos	Fácil	← →	Difícil Se necesita también consenso con residentes a lo largo de camino de acceso
3. Compatibilidad con plan de desarrollo y permiso de construcción	Fácil Posiblemente aceptable en muchos sitios candidatos	← →	Difícil Muy limitado el número y ubicación de sitios candidatos
4. Impacto ambiental (Aceptación)			
impactos por ruido, olores molestos	Pocos	← →	Muchos Medidas preventivas inevitable, como zona de amortiguamiento
Congestionamientos de tráfico	Muy pocos	← →	Muchos Se necesitarán medidas preventivas o la ubicación es indispensable (acceso suficiente al entronque vial).
Impacto estético visual	Pocas medidas de mitigación	← →	Grandes medidas de mitigación
Otros impactos	Pocos	← →	Muchos

Aspecto de evaluación comparativa	E/T pequeña (hasta 300 ton/día)	E/T mediana (de 300 a 900 ton/día)	E/T grande (más de 900 ton/día)
5. Factibilidad económica			
Área del terreno requerido y Costo de adquisición	Menor	← →	Mayor (incluyendo zona de amortiguamiento), grande
Costo de mejoras al camino de acceso	Menor	← →	Mayor
Distancia de transporte de vehículos de recolección y su beneficio	Menor, varios	← →	Mayor, Pocos
Beneficio de la "economía de escala"	Pocos	← →	Muchos

x. Análisis de los Casos y Recomendaciones del Sistema Óptimo de Transporte de Transferencia

Tal y como lo muestra la comparación de costos de los tres casos, el Caso 1 es el más benéfico en virtud de los costos. Sin embargo, la construcción y operación de la E/T de 1200t es muy difícil en el centro densamente poblado de SS. La adquisición de un terreno tan grande y lograr el consenso con los vecinos enfrentará una severa oposición por parte de los ciudadanos. De hecho, se necesita una investigación completa sobre los impactos en el tráfico, ya que la ciudad enfrenta actualmente pesados congestionamientos de tráfico.

El Caso 2 es la segunda opción en comparación de costos, aunque casi es igual al Caso 3. La construcción y operación de una E/T de 300ton/día al oriente y occidente del Área de Estudio no presentaría impactos adversos en y alrededor de los sitios seleccionados debido a su reducido tamaño. El centro ponderado del occidente es AC, y el de oriente es SY. Una E/T de 600ton/día en el centro de SS enfrentaría problemas; sin embargo, no serían tan serios como los de la E/T de 1200ton/día.

El Caso 3 es el de menos beneficios. La construcción y operación de una E/T de 300t en el occidente no enfrentaría serios problemas como los del párrafo anterior. La E/T de 900ton/día en el oriente tiene impactos adversos más serios que las E/T de 300 ó 600ton/día por su gran tamaño. Sin embargo, estos impactos deben ser menores a los de la E/T de 1200ton/día en la parte central de SS.

Respecto a cada municipio, CD, CT y AY nunca se beneficiarían del uso del transporte de transferencia en ninguno de los tres casos anteriores, si el destino final fuera el sitio de disposición de Nejapa. Para CT, su destino actual es el sitio de disposición de la ESPIGA. Si el destino final fuera la ESPIGA, CT obtendría beneficios de la transferencia de transporte, ya que la E/T propuesta estaría en ruta al sur de la ESPIGA. Sin embargo, en el supuesto caso que el destino fuera Nejapa, los vehículos de recolección de CT tendrían que ir del sur a la E/T y un vehículo de transferencia viajaría al norte desde dicha E/T a Nejapa, y quizás por el mismo camino.

En consecuencia, el Caso 3 es el recomendable para el sistema óptimo de transporte de transferencia para el AMSS.

El análisis realizado aquí se basa en varias hipótesis. Lo ideal es que la ubicación y magnitud de las E/T estén determinadas por los centros ponderados de las áreas generadoras de residuos y la cantidad de residuos que se manejan. Sin embargo, la

realidad difiere de lo ideal. La ubicación y magnitud de las E/T dependen de los terrenos disponibles actualmente y sus circunstancias. Por ello, sería necesario y recomendable que, después de seleccionar sitios candidatos a partir de varios terrenos disponibles, se ejecute una investigación más concreta (como un estudio de factibilidad) sobre éstos.

c.2 Tipo de Estación de Transferencia

Por lo general las estaciones de transferencia se clasifican en dos tipos: los de carga directa y los de almacenamiento-carga. Las estaciones de transferencia de carga directa significa que los residuos llevados por los vehículos de recolección como los camiones compactadores son descargados directamente en vehículos transportadores como tractocamiones. Por otra parte, la transferencia de almacenamiento-carga tienen una cierta capacidad para almacenar residuos, por ejemplo de uno a tres días.

Cuadro K-63: Evaluación Comparativa de Estaciones de Transferencia por Tipo

Aspecto	Carga directa	Almacenamiento-carga
Tamaño del terreno requerido	Pequeño No es necesario espacio para almacenar residuos.	Grande Se necesita un espacio necesario para almacenar residuos
Equipo requerido	Poco No es necesario para cargar los residuos en los vehículos de transporte	Mucho Se necesita un cargador frontal o equipo similar para cargar los residuos en los vehículos de transporte
Medidas de prevención requeridas para el ambiente	Pocos Los impactos negativos sobre el ambiente como olores o esparcimiento de residuos serían pocos, ya que los residuos son transbordados directamente a los vehículos de transporte	Muchas Serían varios los impactos ambientales negativos si los residuos se dejan en fosas de almacenamiento antes de ser transferidos a vehículos de transporte; serían necesarias medidas par los olores, esparcimiento de residuos, etc., y se tendría que dar tratamiento a las aguas residuales (lixiviado a partir de los residuos).
Confiabilidad, Flexibilidad	Poca Si el sistema de transporte se detiene, el sistema de recolección se detiene inmediatamente	Mucha Aún si el sistema de transporte se detuviera, el sistema de recolección puede seguir funcionando hasta que se llene la capacidad de las fosas de almacenamiento

Utilidad

La construcción y operación de la carga directa sería menos costosa que la de almacenamiento-carga, pero menos confiable al sistema de recolección. En el Área de Estudio, los tiempos del viaje ida y vuelta de todas las rutas actuales nunca excedieron 3 horas bajo el supuesto de que el destino final es el sitio de disposición de Nejapa. Esto significa que cuando se detiene el sistema de transporte de transferencia, por lo menos se pueden realizar uno o dos viajes de recolección en un turno laboral, que es de 6 a 8 horas, regresando al transporte directo. Por ello, aún si el sistema de transporte de transferencia se detiene uno o dos días, el impacto

negativo en el sistema de recolección no sería serio. En consecuencia, se recomienda la carga directa para el Área de Estudio.

Sin embargo, si se utiliza la estación de transferencia junto con una IRM, los residuos que van a ser llevados al proceso de recuperación de materiales deben ser colocados en la fosa de almacenamiento, en donde se requerirán inevitablemente medidas ambientales preventivas suficientes.

c.3 Tipo de Vehículo de Transferencia

Básicamente se determina el tipo de vehículo de transferencia desde un punto de vista económico. Los residuos deben ser transportados al menor costo. Entre mayor sea la capacidad del vehículo, por lo general resulta en menores costos unitarios. Sin embargo, el peso bruto del vehículo (PBV), la carga útil máxima, las dimensiones de la carrocería, etc. deben cumplir con regulaciones que controlen los vehículos y el tránsito.

El decreto No.86 “Reglamento para el Control de Pesos, Carga y Medidas de Vehículos Automotores que Circulan por las Carreteras de la República” del Ministerio de Obras Públicas) estipula que:

- El ancho máximo es de 2.50m,
- La altura máxima es de 3.80m,
- La longitud máxima es de 18.30m, y
- El peso del vehículo más la carga no debe exceder 33,800kg. Si el peso total excede esta cifra, es necesario obtener un certificado de la Dirección General de Caminos.

Vehículo propuesto

EL vehículo de transporte propuesto es un tractocamión con capacidad de carga de 20 ton de residuos y más. El contenedor (remolque) debe ser abierto de la parte superior, ya que se recomienda la estación de transferencia de carga directa.

f. Conclusión

El uso de una estación de transferencia o no depende del tamaño de la E/T que se utilice. Los costos unitarios de una E/T pequeña tienden a ser altos; por el contrario, los de una E/T grande no son altos debido a la economía de escala. En el análisis de la distancia de equilibrio y el tiempo de viaje al sitio de disposición de Nejapa, un sistema de transporte de transferencia de 100ton/día nunca será benéfico para el Área de Estudio, mientras que el sistema de transporte de transferencia de 300ton/día o más tuvo mas ventajas en comparación con el transporte directo.

Para poder encontrar el lugar óptimo de las E/T y su tamaño, se consideran tres casos.

- El Caso 1 es utilizar una E/T grande, 1200 ton/día, en la parte central de SS,
- El Caso 2 es utilizar dos E/T pequeñas, de 300 ton/día, en el oriente y occidente del Área de Estudio y una de tamaño medio de 600 ton/día, en la parte central de SS, y
- El Caso 3 es usar una E/T pequeña, 300 ton/día en el occidente y una grande, 900 ton/día, en el oriente.

El Caso 1 tiene la mayor reducción de costos, 9.6% en el costo de transporte y 9.5% en el costo de recolección y transporte. El Caso 2 (4.6%, 8.2%) y el Caso 3 (4.5%, 7.6%) fueron casi iguales, pero el Caso 2 redujo el costo un poco más que el Caso 3. Sin embargo, se consideró que el Caso 1 sería el menos realista debido a su magnitud y ubicación. El Caso 2 sería más factible que el Caso 1, pero seguiría siendo difícil construir y operar el sistema de transporte de transferencia de 600t en la parte central de SS. El Caso 3 sería el más práctico ya que ambas E/T estarían fuera del área densamente poblada del Área de Estudio.

El análisis incluyó a 11 municipios con excepción de AP, NJ y TN. Ningún caso encontró las razones justificables para utilizar el transporte de transferencia para CD, CT y AY.

Respecto al tipo de E/T, se recomienda el de carga directa debido a su menor costo y menos impactos ambientales en el sitio y sus alrededores. Aunque el tipo de carga directa es menos confiable que el tipo de almacenamiento-carga para continuar con el sistema de recolección, esto no sería un problema muy serio porque las tareas de recolección de residuos podrían retornar temporalmente al sistema de transporte directo que se practica en la actualidad.

Se recomiendan tractocamiones de 20 ton o más como vehículos de transporte. No se recomiendan de menor capacidad que éstos porque un vehículo de menor tamaño para el transporte de transferencia eleva el costo de transporte.

El análisis que se realizó aquí se basó en varias hipótesis. Se necesita una investigación más concreta, como un estudio de factibilidad, para decidirse por el uso de un transporte de transferencia óptimo para el AMSS.

K.4.3 Sistema de Procesamiento Intermedio

K.4.3.1 Concepto de Introducción del Procesamiento Intermedio

El siguiente cuadro resume los objetivos y métodos del sistema de procesamiento intermedio en un MRS municipal. Como se puede deducir del siguiente cuadro, el objetivo primario en el procesamiento intermedio es la reducción de volumen en general. Los objetivos subsecuentes pudieran ser en el siguiente orden: mejoramiento del manejo de residuos; estabilización de los residuos (como evitar la descomposición de los residuos); recuperación de recursos y de energía.

Cuadro K-64: Objetivos y Métodos del Sistema de Tratamiento Intermedio

	Mejoramiento del manejo de residuos	Reducción de volumen	Estabilización de los residuos	Recuperación de recursos	Recuperación de energía
Separación		X		X	
Empacado	X	X			
Compostaje	X	X	X	X	(X)
Incineración	X	X	X		X

Elegir qué método de procesamiento intermedio en el MRS municipal dependerá principalmente de las condiciones intrínsecas locales (como las condiciones geográficas, sociales y económicas).

En Japón, ya que la incineración es el método más común y principal de procesamiento intermedio en el MRS municipal, el procesamiento intermedio es percibido casi como un sinónimo de incineración. Las razones son las siguientes.

- El verano japonés es húmedo y caluroso, por lo que los residuos orgánicos se descomponen y proliferan los vectores en un corto tiempo. Para enfrentar este problema, los residuos municipales frecuentemente se recolectan (especialmente los perecederos) y están sujetos a un proceso de “estabilización”.
- Aunque el estándar nacional de la economía es alto, 130 millones de personas viven en un territorio estrecho. En consecuencia, los precios de los terrenos son extremadamente altos, por ello se requiere limitar los terrenos destinados a rellenos sanitarios como sea posible.

Por ello, los objetivos principales del proceso de incineración en el MRS municipal de Japón son los siguientes: “estabilización de los residuos” de una manera sanitaria y la “reducción de volumen” para economizar el uso de sitios para relleno.

Por ejemplo, en los Estados Unidos de América, ya que en comparación el clima es más seco, los riesgos por proliferación de vectores sobre residuos descompuestos son menores. Por otro lado, existen territorios disponibles para relleno. Sin duda, el proceso de incineración para los RS municipales aquí tiene el objetivo principal de recuperar energía como generación de electricidad en vez de los objetivos de estabilización de los residuos o reducción del volumen.

En países pequeños de Europa como Dinamarca y Suiza se utilizan ampliamente los procesos de incineración. El clima de estos países es relativamente seco y en el invierno es muy frío. Por ello, los objetivos de incineración son principalmente la reducción de volumen y la recuperación de energía calorífica que el propósito japonés de estabilizar los residuos.

Por otro lado, se están construyendo y operando en muchos países industrializados las instalaciones de procesamiento intermedio para la “recuperación de recursos”, con el propósito de “conservación de los recursos”.

Como se explicó anteriormente, para introducir una instalación de procesamiento intermedio, se necesita analizar el siguiente aspecto:

- Las condiciones locales (como las geográficas, sociales y económicas).

La modernidad y novedad de una instalación, su desempeño y funcionamiento en países industrializados ajenos al propio y este tipo de propaganda comercial no permitirá analizar soluciones apropiadas. Por el contrario, pueden confundir al análisis acerca de qué procesos intermedios responden a los objetivos que se buscan.

Se debe poner atención especial al hecho de que las instalaciones de procesamiento intermedio requieren normalmente de costos de inversión considerables para la construcción, así como costos de O&M significativos que representan una carga financiera continua.

Por ello, es esencial introducir un procesamiento intermedio óptimo en un tiempo óptimo; es decir, se debe dar la introducción cuando realmente se requiera.

K.4.3.2 Evaluación de un Sistema de Procesamiento Intermedio

a. Separación

El siguiente cuadro resume los objetivos de la planta de selección (P/S). La lista de materiales enfocados para recuperación variará un poco dependiendo de los objetivos de la P/S. Sin embargo, la estructura de la planta no cambia en lo básico aún si cambia la lista de materiales enfocados para recuperación. Por otro lado, pudiera cambiar la lista de materiales enfocados para recuperación debido a la fluctuación en los precios de mercado de tales materiales. Por ello, los planes para la P/S deben ser tales que dicha planta pueda enfrentar los cambios en los materiales enfocados para recuperación.

Cuadro K-65: Objetivos y Actividades de la Planta de Selección (P/S)

	Objetivos	Materiales enfocados para recuperación	Actividades
Caso 1	Recuperación de material reciclable a partir de residuos mezclados	<ul style="list-style-type: none"> Material voluminoso, cartón, papel plástico (PET, HDPE, etc.), vidrio, latas de aluminio, de estaño, otros materiales ferrosos 	<ul style="list-style-type: none"> Separación manual de material voluminoso, cartón, plásticos, vidrios por color, latas de aluminio y materiales ferrosos grandes
Caso 2	Recuperación de material reciclable a partir de residuos mezclados y materiales separados en la fuente	<ul style="list-style-type: none"> Material voluminoso, cartón, papel plástico (PET, HDPE, etc.), vidrio, latas de aluminio, de estaño, otros materiales ferrosos Materiales separados en la fuente 	<ul style="list-style-type: none"> Separación mediante imán de materiales con propiedades magnéticas (lata de estaño, etc.)
Caso 3	Preparación de RS municipales para utilizarlos como materia prima para compostaje	<ul style="list-style-type: none"> Material voluminoso, cartón, plásticos, vidrio, latas de aluminio, latas de estaño y otros materiales ferrosos 	<ul style="list-style-type: none"> Empacado de materiales separados para su embarque. Almacenamiento de materiales empacados

Si se introdujera una P/S para el AMSS, sería en este momento del Caso 1 y se transformaría en Caso 2 al ir aumentando la recolección separada de materiales segregados en la fuente.

b. Empacado

El proceso de empacado se explota normalmente como parte del proceso de la P/S. Existen ciertas excepciones en las que se implementa el empacado sin un tratamiento previo, en la corriente superior del flujo de los RS municipales, para poder lograr la reducción en el volumen de disposición final y se den cortes a los costos de transporte. Sin embargo, si se olvida en tales casos el análisis de cuestiones como el tratamiento de los líquidos que rezuman al comprimir los residuos o las especificaciones del alambre utilizado para amarrar los residuos, no se cumplirán los objetivos originales

Durante la década de los 70 se intentó utilizar el empacado directo de los RS municipales en Japón. Tales residuos empacados eran cubiertos con una capa de asfalto para formar un bloque, cuyo propósito era ser utilizado como material de construcción. Sin embargo, rezumaba lixiviado del bloque, con lo que el alambre se oxidaba y se quebraba. En consecuencia, dichos bloques no funcionaron como material de construcción y contaminaban el ambiente. Se abandonó esta técnica. Actualmente las técnicas de empacado en Japón se utilizan principalmente para empacar materiales recuperados en las P/S; con el objetivo de “mejorar su manejo”.

Tal y como explica el caso anterior, el empacado directo de los RS municipales tiene problemas. Se sugiere utilizar este empacado como parte de las funciones de la P/S en el AMSS.

c. Compostaje

Existen dos tipos básicos de procesos de compostaje para los residuos sólidos municipales: el “proceso aeróbico” y el “proceso anaeróbico”. El siguiente cuadro muestra la comparación entre los dos procesos.

Cuadro K-66: Comparación de Fermentación Aeróbica y Anaeróbica para el Material Orgánico Fino de los RS Municipales

Características	Proceso aeróbico	Proceso anaeróbico
Uso de energía	Consumidor neto de energía	Productor neto de energía
Producto final	Humus, CO ₂ , H ₂ O	Lodo, CO ₂ , CH ₄
Reducción en volumen	Hasta 50%	Hasta 50%
Tiempo de procesamiento	20 a 30 días	20 a 40 días
Tiempo de maduración	30 a 90 días	30 a 90 días
Objetivo principal	Reducción de volumen	Producción de energía
Segundo objetivo	Producción de composta	Reducción de volumen, estabilización de residuos

Fuente : Integrated Solid Waste Management, McGraw-Hill

El cuadro explica que el proceso aeróbico tiene la meta principal de reducir el volumen, mientras que el anaeróbico requiere un mayor costo por los digestores y otros instrumentos para recuperar el biogas. Por ello, cuando se lleva a cabo un análisis sobre la introducción de composta, se recomienda adoptar y/o mantener el proceso aeróbico para el AMSS, para que la reducción en volumen pueda enfocarse a un costo relativamente bajo.

El Cuadro K-67 y la Figura K-8 delimitan la comparación entre los métodos de compostaje.

Cuadro K-67: Comparación de Métodos de Compostaje

	Pila con tecnología mínima	Pila de alto desempeño	Pila estática	Dentro de digestor
Bosquejo	El enfoque de este método consiste en formar pilas largas (aprox. 3.5m de altura por 7.3m de ancho) que son volteadas una sola vez al año con un cargador frontal.	Este sistema emplea pilas con una sección transversal más pequeña, generalmente de 1.5 a 2.0 m de altura por 4 a 5m de ancho. Las dimensiones de las pilas dependen del tipo de equipo que se utilizará para voltear los residuos para fermentación. Los residuos se voltean dos veces por semana y la temperatura se mantiene a unos 55 grados centígrados.	Este sistema de pilas estáticas aireadas consiste en una rejilla de aireación o tubería de escape sobre la cual se colocan los residuos finos orgánicos procesados. La altura común de las pilas es de 2 a 2.5 m. Generalmente se coloca una capa de composta cribada sobre las filas recién formadas para controlar la insolación y los olores.	Esta fermentación está formada por un digestor cerrado. Este sistema puede sub - dividirse en dos categorías: flujo tipo pistón y dinámico (capa con agitación). En el primero, la proporción entre las partículas en la masa de fermentación permanece igual durante todo el proceso, y el sistema opera con base en el principio primeras entradas - primeras salidas. En el sistema dinámico se mezcla el material para fermentación de manera mecánica durante el proceso.

	Pila con tecnología mínima	Pila de alto desempeño	Pila estática	Dentro de digestor
Olores	Probablemente se despidan olores desagradables	Generalmente se despiden olores penetrantes (al voltearlos)	Controlable	Menos que los de pilas estáticas y controlables
Período para descomposición	Tres a cinco años	Tres a cuatro semanas (fermentación) Tres a cuatro meses (maduración)	Tres a cuatro semanas (fermentación) Tres a cuatro meses (maduración)	Una a dos semanas (fermentación) Cuatro a doce semanas (maduración)
Espacio requerido	Muy grande	Grande	Grande	Pequeño
Costo de construcción	Muy barato	Barato	Mediano	Alto
Costo de O & M	Muy barato	Barato	Mediano	Alto

Fuente: Integrated Solid Waste Management, McGraw-Hill.

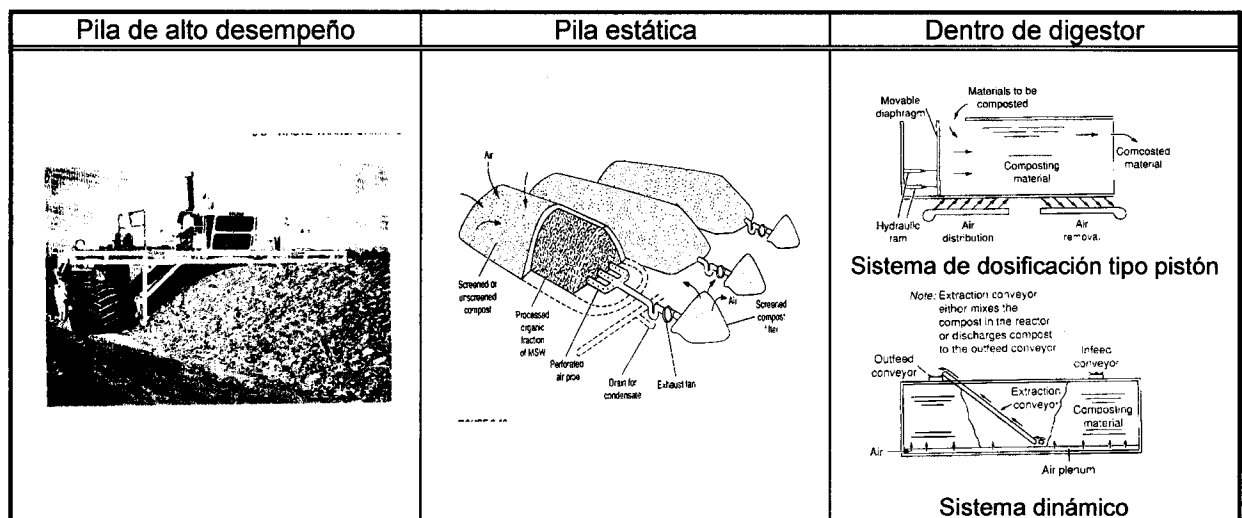


Figura K-8: Sistemas Principales para Fermentación

d. Incineración

El tratamiento mediante incineración puede reducir la cantidad hasta un 15% del peso, pero sus costos de construcción y de operación y mantenimiento son enormes.

En términos generales, las instalaciones para incineración de RS municipales requieren de lo siguiente y que es bastante costoso:

- El costo de inversión para su construcción, que tiene un rango de US\$ 100,000 a 150,000/ton² dependiendo de la capacidad de la planta; y
- El costo de O&M varía de US\$ 25 a 38/ton.

Las plantas de incineración además requieren de una substancial capacidad técnica

² Capacidad de tratamiento diaria (por ejemplo, el costo de un incinerador con capacidad de 100ton/día es de US\$ 15,000,000)

por parte de los operadores. Por ello, se estima que la introducción de un proceso de incineración para los residuos municipales en el AMSS es muy prematuro, en virtud de que realmente no se necesita la incineración y de la capacidad económica de las municipalidades en la situación presente.

K.4.4 Sistema de Disposición Final

K.4.4.1 Estructura del Relleno

Con motivo de prevenir la contaminación del agua subterránea y del suelo, se requiere que los sitios de disposición final estén provistos de una membrana impermeable o que se encuentren en lugares en donde el suelo es impermeable. En esos casos, es necesario drenar y dar tratamiento a los lixiviados generados en los sitios de disposición final. Este tratamiento a los lixiviados puede realizarse dentro o fuera del relleno.

Proveer una membrana impermeable y dar tratamiento a los lixiviados necesita de una cantidad considerable de recursos financieros y conocimientos técnicos adecuados para su operación y mantenimiento. Por lo común esto genera una carga crucial sobre el MRS municipal en los países y ciudades de ingreso bajo y medio.

De igual manera, existen pocos casos en el pasado y a la fecha en países en vías de desarrollo en los que los sitios de disposición final municipal cuentan con membranas impermeables. La mayor parte de éstos permiten la infiltración de los lixiviados al suelo.

Permitir la infiltración de lixiviados hacia el suelo no es recomendable para evitar la contaminación del agua subterránea y del suelo; sin embargo, en lugares en donde el agua subterránea no tiene un uso debido a que ya fue contaminada hace tiempo o es muy salina, la localización de un sitio de disposición final sin una membrana impermeable enfrenta pocos problemas.

De cualquier manera, desde un punto de vista ambiental, es recomendable proveer a los sitios de disposición final con una membrana impermeable. Por otro lado, respecto a la legislación ambiental, el 6 de octubre de 1999 se decretó el “Decreto Transitorio sobre Desechos Sólidos”, que se convirtió en el “Reglamento Especial sobre el Manejo Integral de los Desechos Sólidos” el 1o. de junio del 2000. El siguiente cuadro resume los requisitos técnicos para los sitios de disposición final.

**Cuadro K-68: Delineamiento de los Estándares Técnicos de un Relleno para
RS Municipales**

		Decreto transitorio (octubre 6 de 1999)	Reglamento Especial (junio 1o. del 2000)	
Nivel a partir del inicio del agua subterránea		Más de 10 m	Debe asegurarse la conservación de los acuíferos existentes en la zona.	
Distancia a partir de área de inundación		Más de 500m	A una distancia que evite daños en zonas de inundación, pantanos, marismas, cuerpos de agua y zonas de drenaje natural.	
Distancia a partir de un área de recurso acuático		Más de 1km	A una distancia que asegure que las zonas de recarga de acuíferos o de fuentes de agua potable estén libres de contaminación. Dicha distancia se fijará dentro de las normas técnicas nacionales.	
Características del suelo y permeabilidad		Arcilloso, 10^{-5} a 10^{-7} cm/seg	10^{-7} cm/seg	
Uso de suelo		No de vocación agrícola	-	
Distancia a partir de la marca de falla		-	Más de 60 metros desde las fallas con desplazamientos recientes.	
Área de relleno/área total del sitio		Menos de 30 %	-	
Ubicación	Distancia de un área urbana	Más de 1km	Más de 500 metros	
	Área prohibida	Área de protección natural, área de influencia de un aeropuerto, área de ductos, gaseoductos, acueductos, área de almacenamiento de hidrocarburos, área de vientos	Áreas naturales protegidas o ecosistemas frágiles, zonas de amortiguamiento dedicadas para el paso de acueductos, canales de riego, alcantarillados y líneas de tendido eléctrico.	
Operación	Cantidad diaria de disposición	Menos de 20ton/día	Relleno manual	- lo mismo -
		20 a 40ton/día	Relleno combinado (forma manual y maquinaria pesada)	- lo mismo -
		Más de 40ton/día	Relleno con maquinaria pesada	- lo mismo -

La legislación actual (Reglamento Especial) exige características del suelo con un coeficiente máximo de permeabilidad de 10^{-7} cm/seg., y que la profundidad hasta el nivel del agua subterránea garantice la conservación del acuífero existente.

Aunque el Decreto Transitorio estipuló la profundidad mínima hasta el agua subterránea en 10 metros, la legislación que la sustituye no estipula la profundidad que garantice la conservación del acuífero existente. Como un cálculo de ejemplo, cuando se estima el tiempo que tarda el lixiviado en alcanzar el acuífero bajo las condiciones de permeabilidad de 10^{-7} cm/seg y un grosor de 10 metros, el tiempo de recorrido es de 320 años.

Si se asume que el requerimiento legislativo de “garantizar la conservación del acuífero” se refiere al tiempo de recorrido del lixiviado y que es del orden de los 320 años, será muy difícil encontrar en El Salvador sitios geológicos apropiados para ubicar un relleno sin equiparlo con una membrana artificial impermeable. Esto se debe a que el requisito geológico para cumplir con esta norma es un estrato de tierra

con un grosor mayor a 10 metros y con un coeficiente menor a 10^{-7} cm/seg., y sitios intermitentes con ese grosor y amplitud suficientes difícilmente se encuentran en una geología volcánica.

Por ello, para cumplir con este requisito ambiental, es necesario crear de manera artificial la impermeabilidad para satisfacer estos requisitos técnicos. Se pueden considerar las siguientes alternativas:

- Crear la impermeabilidad colocando y compactando materiales impermeables arcillosos; o
- Crear la impermeabilidad mediante una membrana sintética (como una membrana de polietileno de alta densidad).

La primer alternativa tiene importantes restricciones geológicas, en el sentido que el lugar candidato para el relleno debe estar cerca de depósitos de arcilla abundantes y de alta calidad (impermeable). Por otro lado, ya que la segunda opción no depende de características geológicas, se puede elegir el sitio de relleno a partir de múltiples opciones sin restricciones geográficas.

En este P/M se recomienda seleccionar la segunda alternativa (membrana sintética) para el sistema de disposición final, ya que aún no se ha determinado la ubicación exacta de los sitios candidatos en el P/M, y aquellos cuyas características hidrogeológicas no sean suficientes.

Cuando en un futuro se determine la ubicación exacta del sitio de disposición final junto con la implementación del P/M, se realizará una investigación detallada de las condiciones hidrogeológicas, e igualmente se investigarán las especificaciones de la membrana impermeable.

K.4.4.2 Tratamiento de Lixiviados

Bajo condiciones climáticas en las que la precipitación sea de aproximadamente 500 mm/año y la evapotranspiración sea mayor en tres veces a la precipitación, se generarán pocos lixiviados o en cantidad mínima y se podrán manejar y tratar fácilmente (por ejemplo, almacenarlos y circularlos temporalmente, etc.). Sin embargo, en las condiciones del AMSS en las que la precipitación es de más de 1,700 mm/año, los lixiviados deben ser tratados de manera apropiada.

Existen diversas maneras de dar tratamiento a los lixiviados y que varían en integridad de diseño, costos de inversión y de operación y mantenimiento.

Ya que en Japón se requieren niveles bastante altos de tratamiento de lixiviados, los costos de tratamiento (sólo de operación y mantenimiento) varían de US\$20 a 50 por 1m^3 de lixiviado tratado. Respecto al costo de inversión para la planta de tratamiento, el rango es de US\$300,000 hasta 500,000 por $\text{m}^3/\text{día}$ de la capacidad nominal de la planta.

No está definido en la legislación ambiental actual el nivel permisible de calidad de los efluentes tratados. Por otro lado, el relleno de MIDES en Nejapa realiza actualmente el tratamiento de lixiviados. Por ello, al planificar un nuevo sitio de disposición final, se considera necesario establecer como premisa que el nivel de tratamiento de lixiviados sea igual que el del relleno de MIDES en Nejapa.

Por ello, el Estudio recomienda la laguna aireada de evaporación como tratamiento de

lixiviados en la planificación de un nuevo relleno, que es el mismo que el tratamiento del relleno de MIDES en Nejapa.

K.4.4.3 Estimación Conceptual de Costos

Para poder comparar alternativas en el sistema de disposición final, se necesita tener la estimación conceptual de costos.

10 de 14 municipios en el AMSS ya están ejecutando el Paso III en el sistema de disposición final (es decir, el relleno sanitario). Por otra parte, dos municipalidades se encuentran en el Paso I (botadero abierto) y otras 2 alcaldías en el Paso II (relleno controlado).

En vista de la situación en las cuatro municipalidades, a continuación se realiza la estimación conceptual de costos sobre los siguientes puntos:

Costos del relleno sanitario

Costos adicionales incurridos con una mayor distancia de transporte.

a. Costos del Relleno Sanitario

La siguiente figura muestra la relación entre la “capacidad” y “costo³ conceptual unitario (por tonelada)” del relleno sanitario.

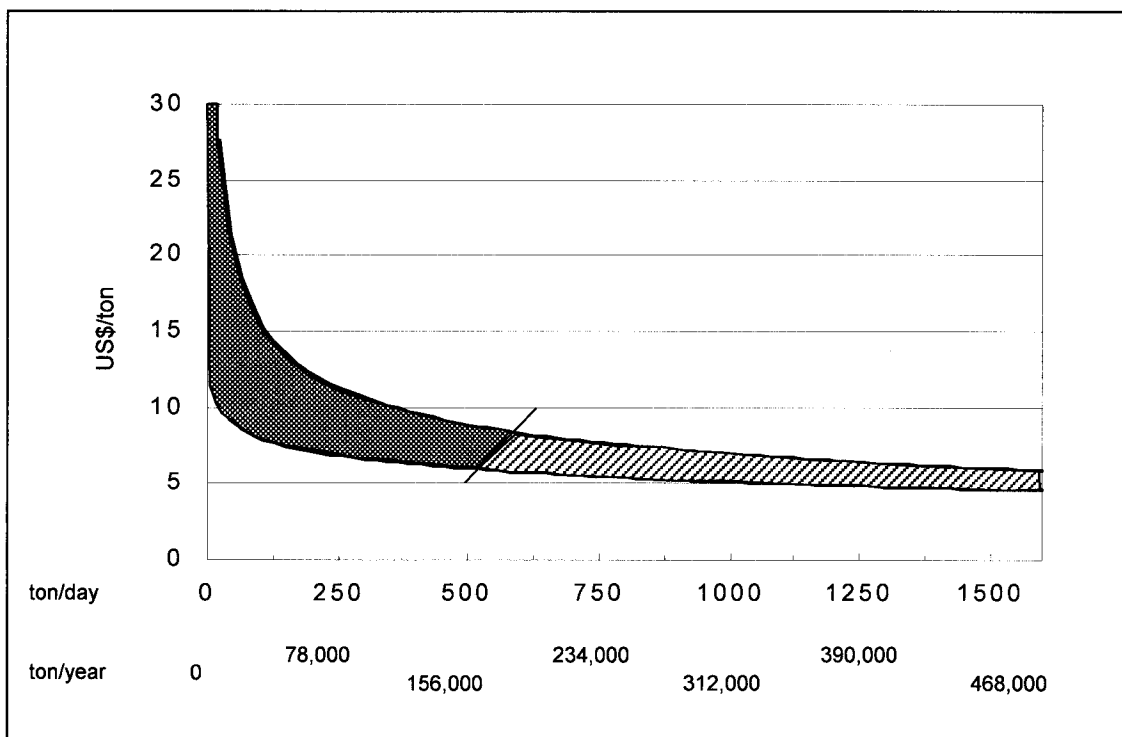


Figura K-9: Relación entre la Capacidad y el Costo Unitario del Relleno Sanitario

La figura anterior implica un posible costo unitario del relleno sanitario dependiendo de las capacidades que ofrecen varias alternativas. El siguiente cuadro resume el rango de posibles costos unitarios para disposición final.

³ Fuente: Adoptado de “Technology, Prevalence and Economics of Landfill Disposal of Solid Waste”, EPA, Washington D.C. 1980

Cuadro K-69: Relación entre la Capacidad y el Costo Unitario del Relleno Sanitario

Capacidad (ton/día)	Rango del posible costo unitario	Valor medio del posible costo unitario	Observaciones	Hipótesis (alternativa aplicable)
30	US\$23.5/ton a US\$9.5/ton	US\$ 16.5/ton		Para uso propio de TN Para uso propio de SMT
60	US\$21.5/ton a US\$8.5/ton	US\$ 15/ton		TN y SMT juntos
100	US\$ 20/ton a US\$7.5/ton	US\$ 13.7/ton	Posible uso compartido del relleno por varias alcaldías (relleno de uso regional)	
150	US\$ 18/ton a US\$7.0/ton	US\$ 12.5/ton		Uno nuevo del tamaño de la ESPIGA (hipótesis)
200	US\$ 13/ton a US\$6.4/ton	US\$ 9.7/ton		
320	US\$ 9.8/ton a US\$5.6/ton	US\$ 7.7/ton		
640	US\$ 7.2/ton a US\$5.0/ton	US\$ 6.1/ton		
960	US\$ 6.8/ton a US\$ 4.6/ton	US\$ 5.7/ton		
1280	US\$ 6.5/ton a US\$4.5/ton	US\$ 5.5/ton		

b. Costos Adicionales Incurridos con Una Mayor Distancia de Transporte

La siguiente figura muestra el costo de recolección y transporte representativo de un vehículo de recolección (por ejemplo, camión compactador de 18yd³) con el parámetro de distancia de transportación (distancia de ida). El cálculo da un resultado de alrededor de **US\$0.4/km/ton**.

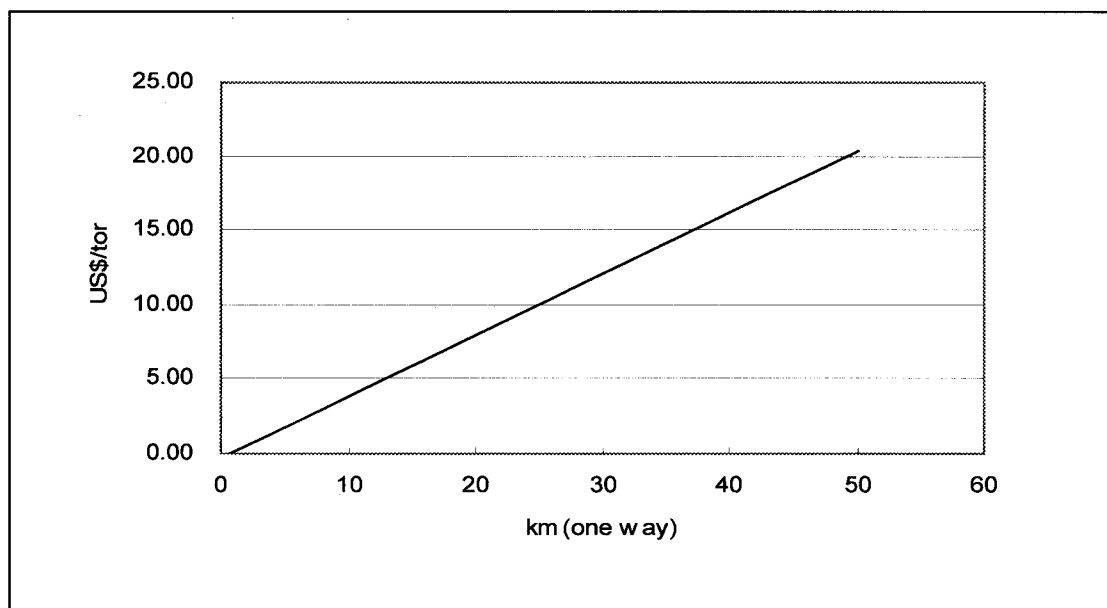


Figura K-10: Costo de Recolección y Transporte Representativo (Compactador de 18yd³)