

## Complejo de Tratamiento de Residuos sólidos en pequeñas poblaciones

Ninoska Medrano Flores\*

Programa de Doctorado de Ciencias Ambientales y Sostenibilidad - Universidad Técnica de Oruro. Oruro, Bolivia.

\*Autor de correspondencia: medraninos@yahoo.com

**Otros relacionados con desarrollo sustentable o energías renovables** (Proceso sustentable de gestión de residuos sólidos).

**Resumen:** El proyecto de conceptualización del Complejo de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos en la localidad de San Andrés de Machaca, ha sido diseñado para dar disposición final a los residuos sólidos urbanos y hospitalarios generados en el área urbana y parte del área rural, además de aprovechar los residuos orgánicos a través de la generación de compost, contempla adicionalmente la recuperación de parte de los materiales potencialmente reciclables, lo cual se realizará en una planta de reciclaje que se ubicará dentro del complejo. El diseño propuesto y solicitado está pensado no como un vertedero final, sino como un complejo que integra todas las unidades para aprovechar los residuos sólidos, de forma que a largo plazo la celda de residuos común reduzca los residuos que recibe. y así aumentar su vida útil

**Palabras clave:** Complejos, pequeñas poblaciones, residuos, CTR.

### Solid waste treatment complex in small villages

**Abstract:** The project to conceptualize the Urban Solid Waste Treatment Complex in the town of San Andrés de Machaca, has been designed to give final disposal to urban solid waste and hospital waste generated in the urban area and part of the rural area, in addition to taking advantage of organic waste through the generation of compost, additionally contemplates the recovery of part of the potentially recyclable materials, which will be carried out in a recycling plant that will be located inside the complex. The proposed and requested design is intended not as a final disposal site, but rather as a complex that integrates all the units in order to take advantage of solid waste, so that in the long term the common waste cell reduces the waste it receives. and thereby increase its useful life

**Keywords:** Complexes, small villages, waste, CTR.

### Introducción

En Bolivia la gestión y manejo de residuos sólidos municipales es competencia exclusiva de los Gobiernos Autónomos Municipales (GAM), así lo señala la Constitución Política del Estado, en el artículo 32: "Son competencias exclusivas de los gobiernos autónomos municipales, el aseo urbano, manejo y tratamiento de residuos sólidos en el marco de la política del Estado".

"Los botaderos y áreas contaminadas por residuos deben ingresar a procesos de clausura, cierre técnico y saneamiento ambiental, en cumplimiento con la normativa vigente y protección a la salud, en un plazo máximo de cinco (5) años, de acuerdo a la planificación que emita el Ministerio cabeza de sector." (Bolivia, 2015)

Hasta que se logre la clausura de botaderos y se implementen lugares autorizados, rellenos sanitarios, es necesario contar con un plan de adecuación del botadero, en el cual se establecerán medidas de mitigación y manejo, este documento debe ser aprobado y supervisado por el gobierno departamental de acuerdo a lo establecido en el artículo 40 de la Ley 755 de 2015.

Solo se cuenta con botaderos, los cuales no cuentan con ningún tipo de permiso o licencia ambiental, en el municipio se subsidia el servicio de aseo con recursos propios, se generan 40 ton/año, en San Andrés de Machaca que tiene cuatro sitios de eliminación no controlado que están cerca de la comunidad.

La conceptualización del Complejo de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos de la localidad de San Andrés de Machaca, considera: la morfología del terreno, las condiciones topográficas, la estructura y composición del suelo, el nivel freático, la disponibilidad de material de cobertura, caracterización o composición cuantificación de los residuos, vida útil planificada del relleno.

## Materiales y Métodos

### Área de Estudio

En la Cuenca Katari habita aproximadamente el 10% del total de la población nacional, constituyéndose así en una de las cuencas más pobladas del país, misma que en estas últimas décadas presenta una serie de problemas relacionados con la gestión de los recursos naturales, como el deterioro de la calidad del agua superficial y subterránea. Estos problemas, agravados por los efectos del cambio climático, han afectado al ecosistema, medios de vida y biodiversidad del Lago Titicaca.

El sector boliviano del Lago Titicaca corresponde a la zona del Lago Menor, y se encuentra conformado por 6 provincias, de las cuales 5 se ubican a las orillas del Lago y una no cuenta con costa sobre este, son varios los municipios bolivianos que resultan relevantes para efectuar su saneamiento San Andrés de Machaca es uno de ellos, que ha presentado un aumento poblacional en los últimos años, lo cual se ha visto marcado por el crecimiento en sus economías locales, dominadas por la agricultura, la pesca, la ganadería, la industria lechera y el turismo, todas con un impacto significativo en la cuenca del Lago Titicaca (UNESCO, 2013)

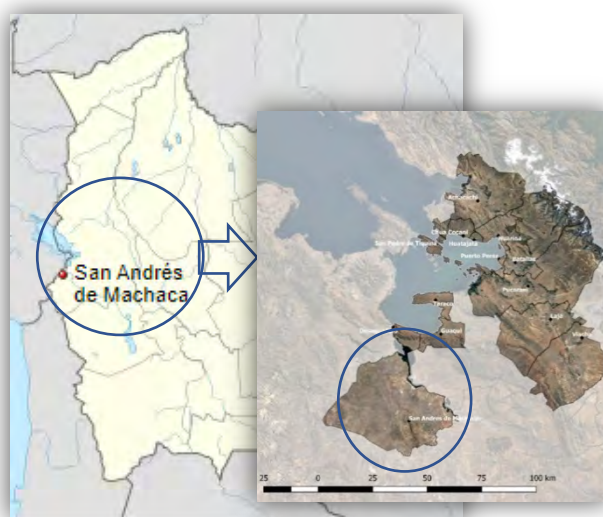


Figura 1. Ubicación geográfica de los municipios del estudio

San Andrés de Machaca, ubicado en la provincia de Ingavi del Departamento de La Paz, el municipio tiene una superficie de 1.575,91 km<sup>2</sup>, tiene una temperatura media anual de 8°C y la localidad se encuentra a 116 km al oeste de la ciudad de La Paz, sede de gobierno del país. (SENAHMI, 2012)

El municipio está formado fisiográficamente por un conjunto de montañas y colinas, por lo cual su altura varía desde los 3.810 msnm por el área del lago Titicaca hasta 4.381 msnm en el Cerro Pacocahua. La mayor parte de su territorio está conformado por la planicie del Altiplano boliviano.; San Andrés de Machaca es un municipio agrícola/comercial.

Los residuos ordinarios son llevados hasta uno de los botaderos oficiales del municipio que está ubicado a unos 300 metros

La quema de los residuos al aire libre es una práctica ancestral que permite reducir el riesgo sanitario de tipo infeccioso de los residuos, limitar la proliferación de vectores, moscas y mosquitos, además de perros, aves o conejos, limitar la dispersión de bolsas y reducir el volumen de los residuos, la cual ha sido promovida por Organizaciones No Gubernamentales (ONG's) en los municipios, en particular, el caso de San Andrés de Machaca. Sin embargo, esta práctica también tiene impactos negativos tales como la contaminación del aire y riesgos para la salud debido a la emisión de gases tóxicos durante la quema y la contaminación de fuentes hídricas y suelos

La fosa de quema es ampliamente utilizada por los municipios que producen pocos desechos. La retroexcavadora municipal cava una fosa cuyo volumen puede medir entre 5 y 20 m<sup>3</sup>.

En San Andrés de Machaca, donde se dedican principalmente a la ganadería, menos de 5% viven en el capital del municipio (población total aproximadamente 6.100), por lo cual la orientación del proyecto debe concentrarse en el sector rural. Así mismo, según el PTDI existe una fuerte influencia rural en la composición de autoridades municipales. En este sentido, el aporte rural y contribuciones al proceso de toma de decisiones en el municipio son importantes. (Machaca, 2016 - 2020)

El inadecuado manejo de residuos incrementa la presencia de plagas y animales vectores que causan enfermedades, como ratas, palomas, cucarachas, moscas

Muchos micro basurales y botaderos se encuentran muy cerca de terrenos de cultivo ocasionando que elementos volátiles sean arrastrados por el viento y contaminando cultivos. En varios casos animales llegan a comer bolsas plásticas causando problemas graves e incluso la muerte.

La composición física de los residuos obtenidos en las caracterizaciones realizadas en campo, se presenta en la siguiente tabla (Machaca, Estudio de Caracterización de Residuos de la San Andres de Machaca, 2016) .

Tabla 1. Composición física de los residuos obtenida a partir de información primaria

<b>Materiales</b>	<b>San Andrés de Machaca</b>
<i>Papel</i>	2.5%
<i>Cartón</i>	4.1%
<i>Vidrio</i>	0.1%
<i>Plástico</i>	13.2%
<i>Multicapa – Tetra Pak</i>	0.1%
<i>Chatarra ferrosa</i>	10.7%
<i>Chatarra NO ferrosa</i>	0.8%
<i>Residuos de comida y alimentos</i>	18.2%
<i>Residuos sanitarios (baños)</i>	7.9%
<i>Jardinería</i>	7.9%
<i>Barrido</i>	25.4%
<i>Textiles</i>	2.5%
<i>Madera</i>	2.0%
<i>Otros</i>	4.5%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

La materia orgánica predomina en la composición de los residuos, seguido de los residuos plásticos y otros. Los datos utilizados, fueron:

Crec. PPC Urbana	1%
Crec. PPC Rural	0%
Densidad residuos	0.55%
% barrido c/r RSM*	3%
% barrido c/r RSM**	2%

\*Se contempla una generación del año 1 a 5 de 3% c/r generación urbana,

\*\*Se contempla una generación a partir del año 6 de 2% c/r generación urbana, debido a que la cobertura de recolección llega al 100%

Cabe señalar que dentro de esta última categoría se encuentra residuos como Tetrapak, sanitarios, barrido, textiles, madera y residuos de construcción y demolición.

Tabla 2. Composición física de los residuos registrada a partir de información primaria y secundaria.

<b>Materiales</b>	<b>Materia Orgánica</b>	<b>Plásticos</b>	<b>Papel y Cartón</b>	<b>Metales</b>	<b>Vidrio</b>	<b>Otros</b>	<b>Total</b>
<i>San Andrés de Machaca</i>	26.1 %	13.2 %	6.6 %	11.5 %	0.1 %	42.4 %	100.0%

La siguiente tabla, detalla la composición general de residuos:

Tabla 3. Composición residuos

<b>Materiales</b>	<b>Materia Orgánica</b>	<b>Otros (Basura)</b>	<b>Reciclables</b>	<b>Total</b>
<i>San Andrés de Machaca</i>	26.10%	42.40%	31.40%	100%

Por su parte, la densidad de los residuos (o también llamado peso específico) guarda relación directa con la composición física de los residuos; evidenciando que los valores oscilan dentro del rango común para los residuos sólidos urbanos (RSU), entre 40 y 200 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 4. Producción Per Cápita y Densidad de residuos

<b>Municipio</b>	<b>PPC (kg/hab-día)</b>	<b>Peso específico (kg/m<sup>3</sup>)</b>
<i>San Andrés de Machaca</i>	0.38	127.00

Los datos de población:

Tabla 5. Población y producción per cápita

<b>Población</b>	<b>Tasa de crec. PPC</b>	<b>PPC Urbana</b>	<b>% Pob</b>
6.124	Urbana 0.92% Rural	0.38	Urbana 100% Rural 0.0%

La población de San Andrés de Machaca, alcanza un total de 6124 habitantes, considerando que la cobertura del servicio de aseo alcanzara el 50%, se considera para la disposición final el mismo porcentaje.

## 1. Generación

Tabla 6. Generación de residuos

<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>Urbana</b>	<b>Rural</b>	<b>PPC Urbana</b>	<b>PPC Rural</b>	<b>Urbana Ton/día</b>	<b>Rural Ton/día</b>	<b>Barrido Ton/día</b>	<b>Total Ton/día</b>	<b>Total Ton/año</b>
2019	3.062	3.062	0	0.380	-	1.05	0.00	0.03	1.08	394.20
2020	3.057	3.057	0	0.380	-	1.05	0.00	0.03	1.08	394.20
2021	3.037	3.037	0	0.384	-	1.05	0.00	0.03	1.08	394.20
2022	3.026	3.026	0	0.388	-	1.06	0.00	0.03	1.09	397.85
2023	3.015	3.015	0	0.392	-	1.06	0.00	0.03	1.09	397.85
2024	3.004	3.004	0	0.395	-	1.07	0.00	0.03	1.10	401.50
2025	2.993	2.993	0	0.399	-	1.20	0.00	0.02	1.22	445.30
2026	2.982	2.982	0	0.403	-	1.20	0.00	0.02	1.22	445.30
2027	2.971	2.971	0	0.407	-	1.21	0.00	0.02	1.23	448.95
2028	2.960	2.960	0	0.411	-	1.22	0.00	0.02	1.24	452.60
2029	2.949	2.949	0	0.416	-	1.23	0.00	0.02	1.25	456.25
2030	2.938	2.938	0	0.420	-	1.23	0.00	0.02	1.25	456.25
2031	2.927	2.927	0	0.424	-	1.24	0.00	0.02	1.26	459.90
2032	2.916	2.916	0	0.428	-	1.25	0.00	0.03	1.28	467.20
2033	2.905	2.905	0	0.432	-	1.26	0.00	0.03	1.29	470.85
2034	2.894	2.894	0	0.437	-	1.26	0.00	0.03	1.29	470.85
2035	2.883	2.883	0	0.441	-	1.27	0.00	0.03	1.30	474.50
2036	2.872	2.872	0	0.446	-	1.28	0.00	0.03	1.31	478.15

Continuación Tabla 7. Generación de residuos

Año	Población	Urbana	Rural	PPC Urbana	PPC Rural	Urbana Ton/día	Rural Ton/día	Barrido Ton/día	Total Ton/día	Total Ton/año
2037	2.850	2.850	0	0.450	-	1.28	0.00	0.03	1.31	478.15
2038	2.839	2.839	0	0.455	-	1.29	0.00	0.03	1.32	481.80
2039	2.828	2.828	0	0.459	-	1.30	0.00	0.03	1.33	485.45

## 2. Aprovechamiento

Tabla 8. Generación por tipología de residuos

Generador	Generación		
	Ton /día	Ton /día	%participación
Domiciliarios	1.05	1.05	100.00%
Barrido	0.03	0.00	0.00%
<b>Total</b>		1.05	100.00%

Tabla 9. % Participación Residuos por Tipología

Reciclables	Orgánico	Basura	Total
31.40%	26.10%	42.40%	99.90%
		100.00%	100.00%
31%	26%	42%	99.90%

Tabla 10. Residuos por Tipología Ton/día

	Reciclables	Orgánico	Basura	Total
Domiciliarios	0.33	0.27	0.45	1.05
Barrido	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Total (año 20)</b>	0.42	0.35	0.56	1.33

Cantidad a aprovechar S/PMR	1.00 ton/día
Cantidad Total residuos	2.00 ton/día
Meta Aprovechamiento	50% Con respecto Pob. Urbana
Cantidad a Aprovechar Proyecto	0.5 ton/día

Tabla 11. Metas Compostaje Año 1

SECTOR	Orgánicos	Meta	Residuos a
	ton/día	Aprovechamiento %	Compostaje ton/día
Domiciliarios	0.27	50%	0.135
Total Año 1			0.135

Tabla 12. Metas Reciclaje Año 1

SECTOR	Orgánicos	Meta	Residuos a
	ton/día	Aprovechamiento %	Compostaje ton/día
Domiciliarios	0.33	50%	0.165
<b>Total Año 1</b>			0.165
<b>Total compostaje + reciclaje = 0.135 + 0.165</b>			
<b>Total Aprovechamiento Año 1 (ton/día)</b>			0.300

### Metas propuestas

Con estas tasas de crecimiento se cumple la meta durante la vida útil del proyecto

Tasa crecimiento Compostaje	5.0% anual
Tasa Crecimiento Reciclaje	8.0% anual

Tabla 13. Porcentaje de residuos aprovechables

Año	Cantidad Residuos a Aprovechar		% Con Respecto a la Generación Urbana		
	Compostaje Ton/día	Reciclaje Ton/día	Compostaje %	Reciclaje %	Total
2019	0.14	0.17	12.9%	15.7%	28.6%
2020	0.14	0.18	13.5%	17.0%	30.5%
2021	0.15	0.19	14.2%	18.3%	32.5%
2022	0.16	0.21	14.7%	19.6%	34.4%
2023	0.16	0.22	15.5%	21.2%	36.7%
2024	0.17	0.24	16.1%	22.7%	38.8%
2025	0.18	0.26	15.1%	21.8%	36.9%
2026	0.19	0.28	15.8%	23.6%	39.4%
2027	0.20	0.31	16.5%	25.2%	41.7%
2028	0.21	0.33	17.2%	27.0%	44.2%
2029	0.22	0.36	17.9%	29.0%	46.8%
2030	0.23	0.38	18.8%	31.3%	50.1%
2031	0.24	0.42	19.6%	33.5%	53.1%
2032	0.25	0.45	20.4%	35.9%	56.3%
2033	0.27	0.48	21.2%	38.5%	59.7%
2034	0.28	0.52	22.3%	41.5%	63.8%
2035	0.29	0.57	23.2%	44.5%	67.7%
2036	0.31	0.61	24.2%	47.7%	71.9%
2037	0.32	0.66	25.4%	51.5%	76.9%
2038	0.34	0.71	26.4%	55.2%	81.6%
2039	0.36	0.77	27.6%	59.2%	86.7%

### 3. Flujo de residuos dentro del complejo

Material rechazo compostaje	5%
Material rechazo reciclaje	5%

Tabla 14. Flujo de residuos dentro del complejo

Año	Generación ton/día	Compostaje ton/día	Reciclaje ton/día	Rechazo ton/día	Relleno sanitario ton/día
0	1.08	0.14	0.17	0.02	0.80
1	1.08	0.14	0.18	0.02	0.78
2	1.08	0.15	0.19	0.02	0.76
3	1.09	0.16	0.21	0.02	0.75
4	1.09	0.16	0.22	0.02	0.72

Continuación Tabla 15. Flujo de residuos dentro del complejo

Año	Generación ton/día	Compostaje ton/día	Reciclaje ton/día	Rechazo ton/día	Relleno sanitario ton/día
5	1.10	0.17	0.24	0.02	0.71
6	1.22	0.18	0.26	0.02	0.80
7	1.22	0.19	0.28	0.02	0.77
8	1.23	0.20	0.31	0.03	0.76
9	1.24	0.21	0.33	0.03	0.73
10	1.25	0.22	0.36	0.03	0.70
11	1.25	0.23	0.38	0.03	0.66
12	1.26	0.24	0.42	0.03	0.63
13	1.28	0.25	0.45	0.04	0.62
14	1.29	0.27	0.48	0.04	0.58
15	1.29	0.28	0.52	0.04	0.53
16	1.30	0.29	0.57	0.04	0.48
17	1.31	0.31	0.61	0.05	0.44
18	1.31	0.32	0.66	0.05	0.38
19	1.32	0.34	0.71	0.05	0.32
20	1.33	0.36	0.77	0.06	0.26

## 4. Celda de residuos comunes

Tabla 16. Celda de residuos comunes

Año	Ingreso Residuos			Residuos compactados			Material Cobertura			Residuos + Cobertura	
	Diario	Anual	Acumulado	Diario	Anual	Acumulado	Diario	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado
	ton/día	ton/año	ton	m <sup>3</sup> /día	m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /día	m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup>
2019	0.80	292.0	292.0	1.45	530.9	530.9	0.22	79.6	79.6	610.5	610.5
2020	0.78	284.7	576.7	1.42	517.7	1.048.6	0.21	77.7	157.3	595.3	1.205.9
2021	0.76	276.9	853.6	1.38	503.5	1.552.1	0.21	75.5	232.8	579.0	1.784.9
2022	0.75	272.2	1.125.9	1.36	495.0	2.047.1	0.20	74.2	307.1	569.2	2.354.1
2023	0.72	263.3	1.389.2	1.31	478.8	2.525.8	0.20	71.8	378.9	550.6	2.904.7
2024	0.71	257.4	1.646.6	1.28	468.0	2.993.9	0.19	70.2	449.1	538.2	3.443.0
2025	0.80	291.0	1.937.6	1.45	529.1	3.523.0	0.22	79.4	528.4	608.4	4.051.4
2026	0.77	280.1	2.217.7	1.40	509.2	4.032.1	0.21	76.4	604.8	585.6	4.637.0
2027	0.76	275.6	2.493.3	1.37	501.1	4.533.3	0.21	75.2	680.0	576.3	5.213.3
2028	0.73	266.7	2.760.0	1.33	484.9	5.018.2	0.20	72.7	752.7	557.7	5.771.0
2029	0.70	256.9	3.016.9	1.28	467.1	5.485.3	0.19	70.1	822.8	537.2	6.308.1
2030	0.66	242.5	3.259.4	1.21	440.9	5.926.2	0.18	66.1	888.9	507.0	6.815.2
2031	0.63	230.7	3.490.1	1.15	419.5	6.345.7	0.17	62.9	951.9	482.4	7.297.6
2032	0.62	225.1	3.715.2	1.12	409.3	6.755.0	0.17	61.4	1.013.2	470.7	7.768.2
2033	0.58	211.0	3.926.2	1.05	383.6	7.138.6	0.16	57.5	1.070.8	441.2	8.209.4
2034	0.53	192.0	4.118.2	0.96	349.0	7.487.6	0.14	52.4	1.123.1	401.4	8.610.8
2035	0.48	175.2	4.293.4	0.87	318.6	7.806.2	0.13	47.8	1.170.9	366.4	8.977.1

Continuación Tabla 17. Celda de residuos comunes

Año	Ingreso Residuos			Residuos compactados			Material Cobertura			Residuos + Cobertura	
	Diario	Anual	Acumulado	Diario	Anual	Acumulado	Diario	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado
	ton/día	ton/año	ton	m <sup>3</sup> /día	m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /día	m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup>
<b>2036</b>	0.44	160.6	4.454.0	0.80	292.0	8.098.2	0.12	43.8	1.214.7	335.9	9.313.0
<b>2037</b>	0.38	137.2	4.591.2	0.68	249.4	8.347.6	0.10	37.4	1.252.1	286.8	9.599.8
<b>2038</b>	0.32	115.6	4.706.8	0.58	210.2	8.557.8	0.09	31.5	1.283.7	241.8	9.841.5
<b>2039</b>	0.26	95.9	4.802.7	0.48	174.4	8.732.2	0.07	26.2	1.309.8	200.5	10.042.0
	4.510.7			8.201.3			1.230.2			9.431.5	

Densidad Suelta kg/m <sup>3</sup>	0.25	ton/m <sup>3</sup>
Densidad Compactada kg/m <sup>3</sup>	0.45	ton/m <sup>3</sup>
Densidad Estabilizada kg/m <sup>3</sup>	0.55	ton/m <sup>3</sup>
Material de cobertura	15%	

### Balance Oferta – Demanda

De la comparación de la demanda y la oferta se estableció el déficit a futuro si se mantienen las condiciones actuales en el municipio

La proyección del déficit entre la oferta actual y la demanda se muestra gráficamente en la siguiente Ilustración, se puede evidenciar la carencia de un sitio de disposición final para los residuos sólidos. La generación de residuos sólidos en el municipio aumentará en un 37% hasta el 2040 suponiendo que la producción per cápita se mantenga igual y se proyecta que el porcentaje de la cobertura de recolección disminuirá del 100% a un 77% en ese lapso de tiempo. Teniendo en cuenta lo anterior descrito se hace evidente el déficit entre la demanda creciente y la oferta actual del municipio, en cuanto la gestión de residuos.

Según lo que se puede observar en la Ilustración, el sitio de disposición final del municipio de San Andrés de Machaca deberá tener una capacidad de alrededor de 1.042 toneladas para poder almacenar el total de los residuos que se generarán en el municipio. En el relleno se dispondrán en promedio 45 toneladas de residuos anuales.

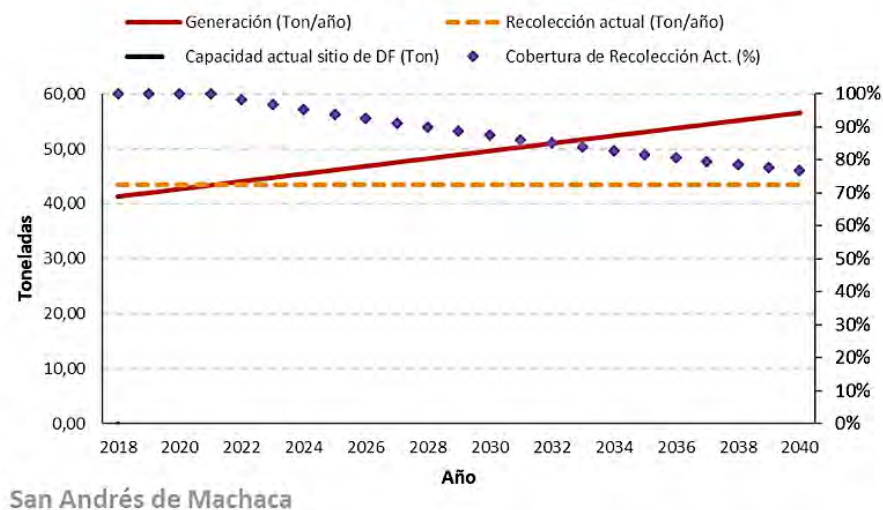
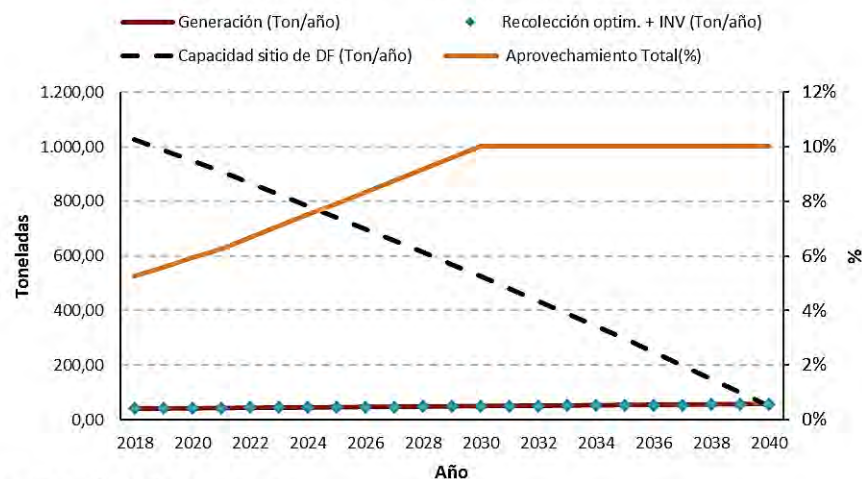


Figura 2. Oferta actual vs. Demanda proyectada

Se calcula que se aprovecharán cerca de 83 toneladas de residuos, según los porcentajes de aprovechamiento propuestos.

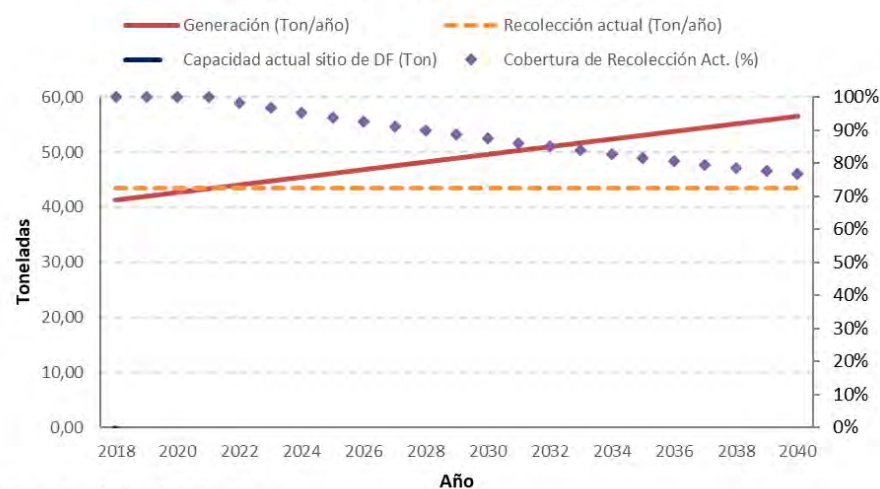


San Andrés de Machaca

Figura 3. Oferta con inversión vs. Demanda proyectada

La proyección del déficit entre la oferta actual y la demanda se muestra gráficamente en la siguiente ilustración. Según se observa en la gráfica, se puede evidenciar la carencia de un sitio de disposición final para los residuos sólidos. La generación de residuos sólidos en el municipio aumentará en un 37% hasta el 2040 suponiendo que la producción per cápita se mantenga igual y se proyecta que el porcentaje de la cobertura de recolección disminuirá del 100% a un 77% en ese lapso de tiempo.

Teniendo en cuenta lo anterior descrito se hace evidente el déficit entre la demanda creciente y la oferta actual del municipio, en cuanto la gestión de residuos.



San Andrés de Machaca

Figura 4. Oferta actual vs. Demanda proyectada

## Resultados y discusión

### Flujo de Residuos dentro del Complejo

Material rechazo compostaje	5%
Material rechazo reciclaje	5%

Tabla 18. Flujo de residuos dentro del complejo

Año	Generación ton/día	Compostaje ton/día	Reciclaje ton/día	Rechazo ton/día	Relleno sanitario ton/día
0	1.08	0.14	0.17	0.02	0.80
1	1.08	0.14	0.18	0.02	0.78
2	1.08	0.15	0.19	0.02	0.76
3	1.09	0.16	0.21	0.02	0.75
4	1.09	0.16	0.22	0.02	0.72
5	1.10	0.17	0.24	0.02	0.71
6	1.22	0.18	0.26	0.02	0.80
7	1.22	0.19	0.28	0.02	0.77
8	1.23	0.20	0.31	0.03	0.76
9	1.24	0.21	0.33	0.03	0.73
10	1.25	0.22	0.36	0.03	0.70
11	1.25	0.23	0.38	0.03	0.66
12	1.26	0.24	0.42	0.03	0.63
13	1.28	0.25	0.45	0.04	0.62
14	1.29	0.27	0.48	0.04	0.58
15	1.29	0.28	0.52	0.04	0.53
16	1.30	0.29	0.57	0.04	0.48
17	1.31	0.31	0.61	0.05	0.44
18	1.31	0.32	0.66	0.05	0.38
19	1.32	0.34	0.71	0.05	0.32
20	1.33	0.36	0.77	0.06	0.26

El Diagrama de Flujo del Complejo, se lo muestra en la Ilustración

El complejo de tratamiento y disposición final de residuos sólidos, consta de celda de residuos comunes, celda de emergencia y seguridad (bioinfecciosos), cada una de las cuales contempla las obras de adecuación como excavaciones, rellenos, vías, sistema de drenaje de lixiviados, chimeneas para el manejo de gases y cunetas para manejo de aguas de lluvia

El Complejo de Disposición final y Tratamiento de Residuos de San Andrés de Machaca (CTR), contempla ocho procesos claves que son:

- Registro e inspección de residuos;
- Compostaje de residuos orgánicos;
- Reciclaje en área de selección
- Disposición final de residuos sólidos domiciliarios y asimilables en celda residuos comunes;
- Disposición final de residuos sólidos domiciliarios y asimilables en celda de emergencia
- Disposición final de residuos hospitalarios en celda de seguridad;
- Almacenamiento de residuos peligrosos
- Almacenamiento de líquidos lixiviados 895 l/día, el tanque da una capacidad de 12 días
- Tratamiento de lixiviados (piscina de evaporación)

Las principales actividades que se desarrollarán dentro del Complejo corresponden a:

- Recepción, inspección y registro de residuos que ingresan al centro
- Descarga de residuos según su tipología y manejo
- Disposición final de residuos sólidos domiciliarios y asimilables en celda de residuos comunes
- Disposición final de residuos sólidos hospitalarios en celda de seguridad
- Disposición transitoria de residuos sólidos domiciliarios y asimilables en celda de emergencia
- Captación, conducción y tratamiento de lixiviados
- Venteo de biogás en relleno sanitario
- Aprovechamiento de residuos orgánicos a través de compostaje

La siguiente Figura 6 se muestra el Layout (disposición de las unidades del Complejo de Residuos Sólidos)

La vida útil es de 20 años, periodo para la cual se han diseñado todas las instalaciones. Tanto el diseño del Complejo como todas las actividades u obras relacionadas con su construcción, operación y cierre se ha realizado de acuerdo con lo establecido en la normativa boliviana vigente. (Agua, 2012)

Para llevar a cabo las distintas actividades, el Complejo contará con las siguientes instalaciones:

- Acceso principal y caseta de vigilancia;
- Oficinas de administración;
- Estacionamientos de vehículos;
- Instalaciones sanitarias para el personal;
- Galpón de mantenimiento y estacionamiento de maquinaria y vehículos;
- Galpón de almacenamiento temporal de residuos sólidos peligrosos;
- Área de tratamiento residuos orgánicos (Compostaje);
- Área de reciclaje (selección)
- Celda para residuos sólidos domiciliarios y asimilables;
- Celda de seguridad para residuos hospitalarios;
- Celda de emergencia para residuos sólidos domiciliarios y asimilables;
- Laguna de estabilización y piscina de evaporación de lixiviados;
- Canales intercepción de escorrentías superficiales;
- Caminos de acceso e interiores;
- Cerramiento perimetral y portón de acceso;
- Franja arborizada;
- Sistema de suministro y abastecimiento (agua, energía)

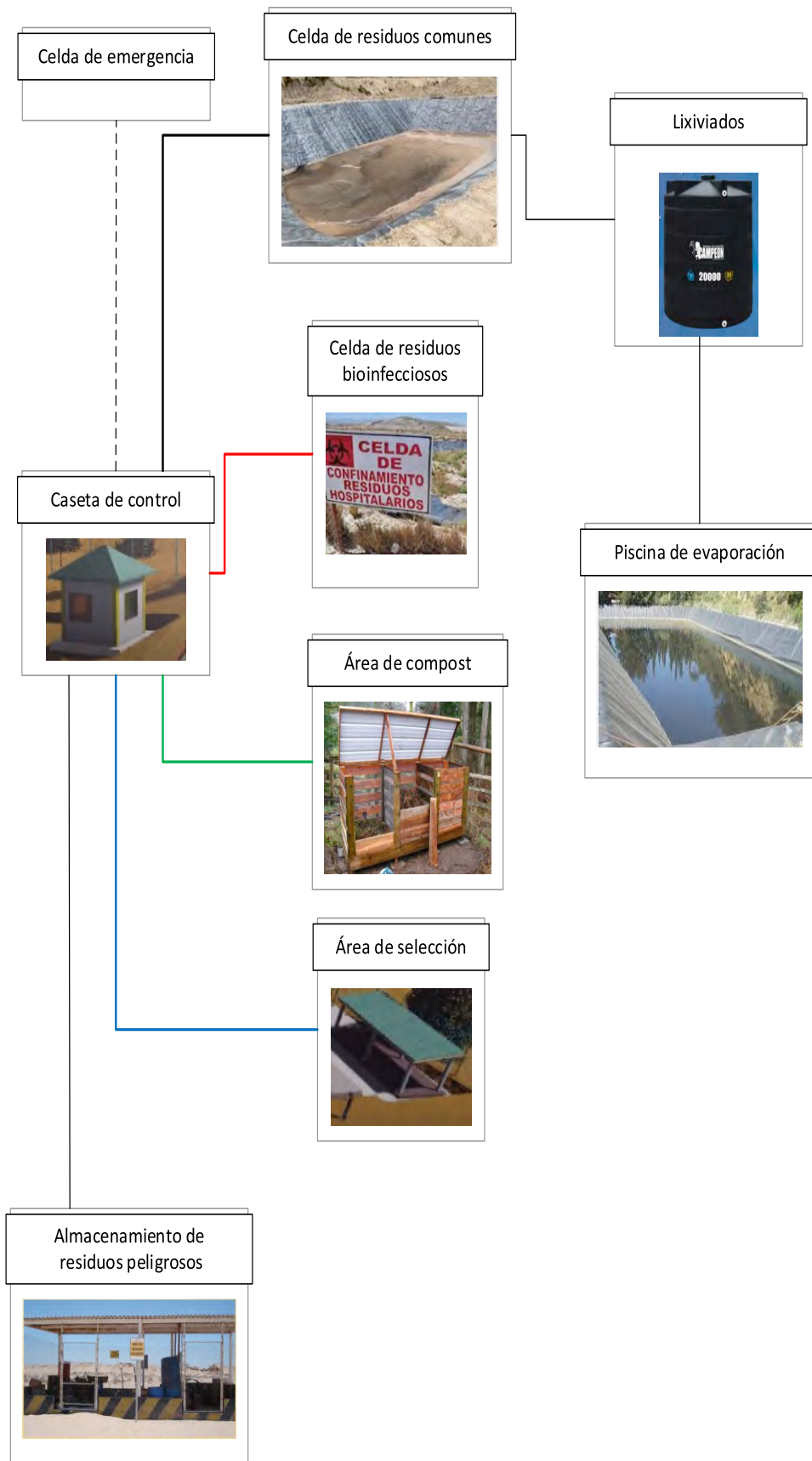


Figura 5. Diagrama de Flujo del Complejo

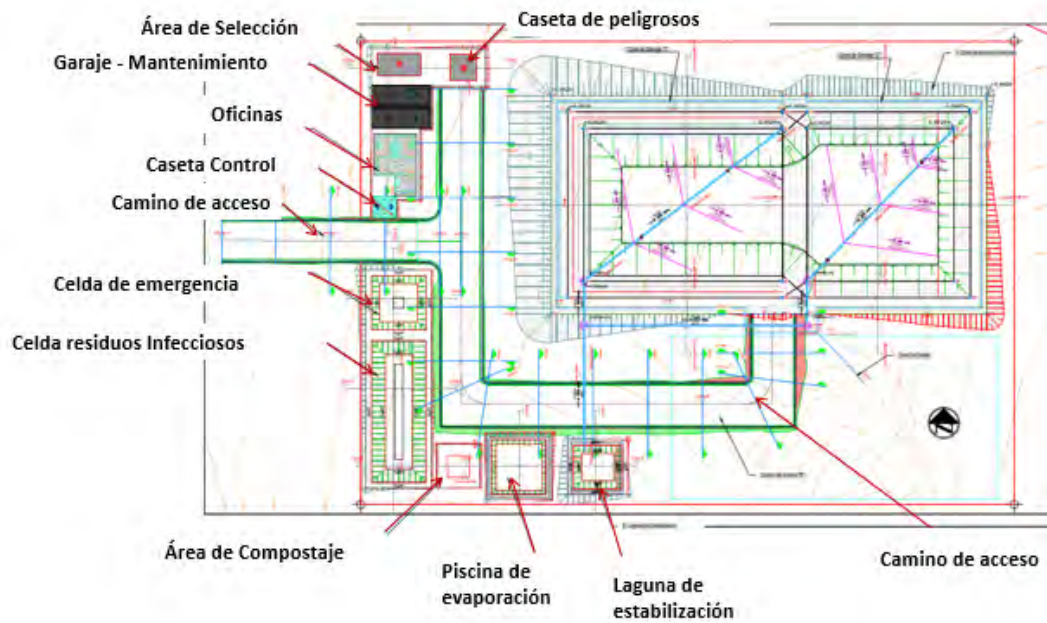


Figura 6. Layout Disposición de las unidades del Complejo de Residuos Sólidos

A continuación, el detalle de superficies de las áreas citadas

Tabla 7. Ubicación Superficies del Proyecto

Sector	Superficie	Unidad
Superficie total del predio	1.02	ha
Superficie del Complejo	1.02	ha
Oficina administrativa. instalaciones sanitarias personal. comedor	75.0	m <sup>2</sup>
Galpón mantenimiento y maquinaria	128.0	m <sup>2</sup>
Caseta de control	7.5	m <sup>2</sup>
Relleno Sanitario	1904.0	m <sup>2</sup>
Celda seguridad residuos hospitalarios	105.0	m <sup>2</sup>
Celda emergencia	49.0	m <sup>2</sup>
Laguna de estabilización	30.0	m <sup>2</sup>
Piscina de evaporación	72.30	m <sup>2</sup>
Caseta de residuos peligrosos	16.0	m <sup>2</sup>
Área de compostaje	25.0	m <sup>2</sup>
Área de reciclaje	32.0	m <sup>2</sup>

El Complejo de Disposición final y Tratamiento de Residuos de Taraco. contempla ocho procesos claves que son:

- Registro e inspección de residuos;
- Compostaje de residuos orgánicos;
- Reciclaje en área de selección
- Disposición final de residuos sólidos domiciliarios y asimilables en celda residuos comunes;
- Disposición final de residuos sólidos domiciliarios y asimilables en celda de emergencia
- Disposición final de residuos hospitalarios en celda de seguridad;

- Almacenamiento de residuos peligrosos
- Tratamiento de lixiviados (laguna de estabilización y piscina de evaporación)

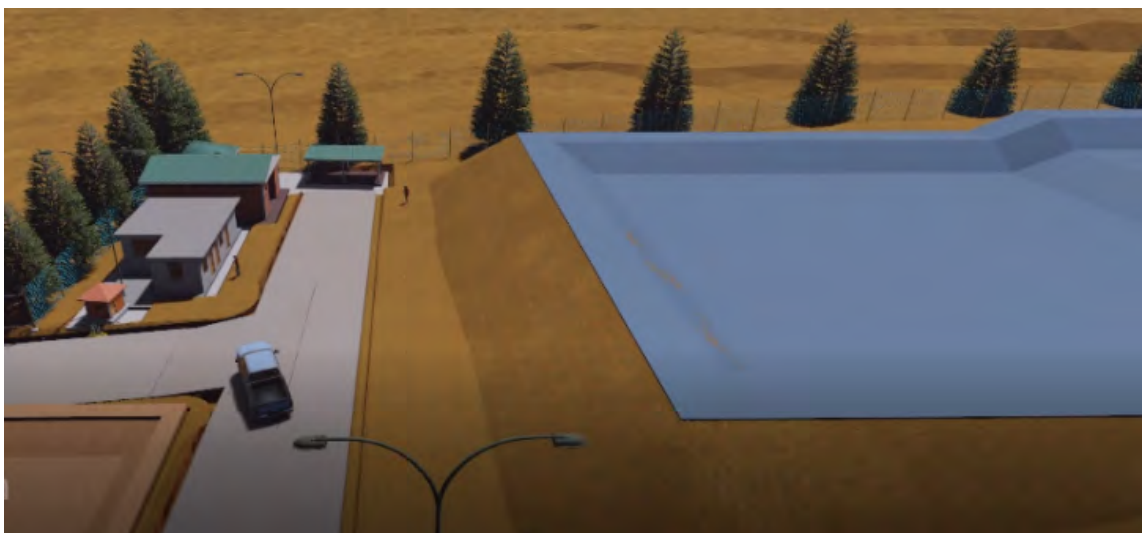


Figura 7. Maqueta virtual CTR San Andrés de Machaca

### Los datos del área requerida. para el primer año de operación son:

Tabla 19. Cálculo del área requerida para el primer año de operación

ITEM	Valor	Unidad
<u>Porcentaje de cobertura</u> : 15 % del volumen de residuos dispuestos	15.00	%
Peso específico de residuos compactados en el sitio	0.55	ton/m <sup>3</sup>
Profundidad media diaria de residuos compactados	0.9	m
Espesor capa de cobertura	0.1	m
Altura celda diaria cobertura = Profundidad media de residuos compactados + Material de cobertura	1.1	m
Población total año de inicio del proyecto (2017)	3.062	hab.
Producción per cápita de residuos sólidos promedio (PPC)	0.38	Kg./hab.-día
Tasa de generación (neta)	1.16	ton/día
Tasa de generación (con aprovechamiento)	0.80	ton/día
<u>Volumen diario de residuos</u> = Tasa de generación / Peso específico de residuos	1.45	m <sup>3</sup>
<u>Área diaria de residuos requerida</u> = Volumen diario de residuos / Altura media de residuos compactados	1.32	m <sup>2</sup>
<u>Volumen diario de cobertura</u> = Volumen diario de residuos * Porcentaje de cobertura	0.22	m <sup>3</sup>
<u>Volumen diario total</u> = Volumen diario de residuos + Volumen diario de cobertura	1.67	m <sup>3</sup>

### Conclusiones

El Complejo de Tratamiento de Residuos – CTR, tiene un costo de 350.000,00 \$us, con una vida útil de 20 años.

El complejo de tratamiento y disposición final de residuos sólidos consta de celda de residuos comunes, celda de emergencia y seguridad (bioinfecciosos), cada una de las cuales contempla las obras de adecuación como excavaciones,

rellenos, vías, sistema de drenaje de lixiviados, chimeneas para el manejo de gases y cunetas para manejo de aguas de lluvia

El diseño planteado está pensado no como un sitio de disposición final, sino más bien como un complejo que integra todas las unidades en procura de un aprovechamiento de los residuos sólidos, que en el largo plazo la celda de residuos comunes disminuya los residuos que reciba y con ello incremente su vida útil

Los requerimientos volumétricos para el diseño del Relleno Sanitario, fueron estimados para 20 años, mediante los volúmenes totales anuales y acumulados, tanto de los residuos sólidos como para el material de cobertura; empleando para ello la proyección de generación de residuos y los pesos volumétricos de los residuos confinados.

Es importante mencionar que la proyección de residuos a disponer en el Complejo de Residuos Sólidos, se realizó considerando que el municipio adoptará los programas de aprovechamiento planteados en el presente estudio, y sin tener en cuenta las pérdidas de volumen por descomposición de la materia orgánica y pérdida de humedad natural

El proyecto conceptualizar el Complejo de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos de la localidad de San Andrés de Machaca, ha sido diseñado para dar disposición final a los residuos sólidos urbanos y residuos hospitalarios que se generan en el área urbana y parte del área rural, además aprovechar los residuos orgánicos mediante la generación de compost, adicionalmente contempla la recuperación de parte de los materiales potencialmente reciclables, en la que se realizará una planta de reciclaje.

## Bibliografía

- Agua, M. d. (2012). Guía para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Relleno Sanitario. Bolivia: MMAyA.
- Bolivia, E. P. (28 de octubre de 2015). Ley 755 de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Ley. La Paz, Bolivia: Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia.
- Machaca, G. M. (2016 - 2020). Plan de Territorial de Desarrollo Integral.
- Machaca, G. M. (2016). Estudio de Caracterización de Residuos de la San Andrés de Machaca. GMSAM.
- SENAHMI. (2012). Información climatológica, San Andrés de Machaca.
- UNESCO. (2013). Programa Mundial de Evaluación de Recursos Hídricos.