

## Resumen

El PIGARS de la ciudad de Desaguadero es un instrumento técnico para consolidar una serie de acciones de mejoramiento del servicio de limpieza pública, que se viene desarrollando en el proceso de implementación de las actividades de la Municipalidad para el Manejo Sostenible de los Residuos Sólidos. Permitirá contrarrestar los impactos negativos en la salud y el ambiente, primordialmente en el recurso agua del Desaguadero, Lago Titicaca, que se vienen generando por el inadecuado manejo de residuos sólidos.

Las acciones que se proponen en el PIGARS inicialmente se ejecutarán considerando aspectos coyunturales, sin embargo no se perderá de vista la perspectiva del mediano y largo plazo. Por este motivo, las estrategias de operativización del PIGARS se irán ajustando conforme se vayan desarrollando las actividades y el escenario local vaya cambiando.

Una de las aplicaciones más importantes del PIGARS es que este se constituya en un instrumento de gestión financiera, negociación y concertación entre los diferentes actores involucrados en el manejo de residuos sólidos. El PIGARS servirá para consolidar la participación activa de la población organizada, los comercios, los centros educativos, los trabajadores del área de limpieza pública, entre otros, para hacer que el manejo sostenible de los residuos sólidos de la ciudad se vuelva una realidad.

Una de las áreas de mayor interés y preocupación de las autoridades municipales, respecto al manejo de residuos sólidos, se tienen sobre los temas de:

- Participación de la Población y
- Educación Ambiental,

ya que un adecuado comportamiento de la población contribuirá a mejorar la limpieza de la ciudad.

Asimismo, es importante señalar que Desaguadero posee un gran potencial para el desarrollo turístico - comercial, lo cual ofrece una valiosa oportunidad para mejorar ampliamente la calidad ambiental de la ciudad.

Cabe señalar que este documento incluye las propuestas técnicas en:

- Sistema de separación Domestica de los Residuos Sólidos Urbanos.
- Sistema de recolección de los Residuos Sólidos Urbanos
- Sistema de reciclaje de los residuos sólidos inorgánicos
- Sistema de compostaje de los residuos sólidos orgánicos
- Sistema de Incineración de los RSU Peligrosos
- Disposición Final de los RSU Inútiles
- Sistema Adicionales

# Índice del Contenido

Resumen .....	1
Índice del Contenido .....	2
1 Premisas y Datos Básicos .....	4
1.1 Vida Útil.....	4
1.2 Población Actual y Futura .....	4
1.3 Cantidad y Composición de los RSU.....	5
2 Sistema de Separación Doméstica de los RSU .....	6
2.1 Tipos de RSU para Separar.....	6
2.2 Recipientes para la Separación.....	6
2.2.1 Recipientes Domiciliarios .....	6
2.2.2 Recipientes de Edificios, Instituciones y Empresas .....	7
2.3 Presentación de los Desechos para La Recolección .....	7
2.3.1 Horario y Lugar de Presentación de los Desechos .....	7
2.3.2 Tipo de Embalaje.....	7
2.3.3 Desechos Institucional, Empresarial y de Mercados y Ferias .....	8
2.4 Colaboración Ciudadana y Control Social.....	8
3 Sistema de Recolección de los RSU .....	9
3.1 Premisas y Datos Básicos.....	9
3.1.1 Sistema Logístico .....	9
3.1.2 Capacidad de un Triciclo de Desechos .....	9
3.1.3 Capacidad de un Terminal de Desechos.....	10
3.1.4 Vida Útil Limitada.....	11
3.2 Cálculo del Número de Triciclos.....	11
3.2.1 Basado en la Población y la Producción de Desechos .....	11
3.2.2 Basado en la Superficie Urbana y la Longitud de las Calles .....	11
3.2.3 Necesidad de Triciclos .....	12
3.2.4 Delimitación de los Subsectores.....	12
3.3 Cálculo de los Terminales de Desechos .....	13
3.3.1 Delimitación de los Sectores y Ubicación de los Terminales .....	13
3.3.2 Dimensiones de los Terminales.....	13
3.4 Cálculo del Transporte Hacia el RSRS .....	14
3.5 Protección de la Gestión .....	14
4 Sistema de Reciclaje de los RSU Inorgánicos .....	16
4.1 Plataforma de Separación.....	16
4.1.1 Funcionamiento.....	16
4.1.2 Dimensiones.....	16
4.1.3 Constructivo .....	17
4.2 Almacenes de Reciclaje.....	17
4.2.1 Funcionamiento.....	17
4.2.2 Dimensiones.....	17
4.2.3 Constructivo .....	18
5 Sistema de Compostaje de los RSU Orgánicos.....	19
5.1 Ventajas del Proceso de Compostaje .....	19
5.1.1 Disminuir los Volúmenes de la Disposición Final de los RSU.....	19
5.1.2 Generar Ingresos y Empleo .....	19
5.1.3 Aprender de la Naturaleza .....	19
5.1.4 Cerrar un Ciclo Natural de Nutrientes.....	19
5.2 Exigencias del Proceso de Compostaje .....	19
5.3 Condiciones Altiplánicas Adversas.....	20
5.4 Solución Innovadora.....	20

5.5	Proyecto Piloto de Compostaje .....	21
5.6	Alcance para la Zona Andina .....	21
5.7	Integración del Proyecto Piloto en la Ejecución del PIGARSD .....	21
6	Sistema de Incineración de los RSU Peligrosos .....	22
6.1	Tipos de RSU Peligrosos .....	22
6.2	Cobertizo de Almacenamiento con Horno de Incineración .....	22
6.2.1	Funcionamiento .....	22
6.2.2	Construcción del Cobertizo de Almacenamiento .....	23
6.2.3	Construcción del Horno de Incineración .....	23
6.3	Disposición de las Cenizas .....	23
7	Disposición Final de los RSU Inútiles .....	24
7.1	Principios de un Vertedero Sanitario.....	24
7.2	Dimensión Necesaria del Vertedero.....	24
7.3	Terraplenes .....	25
7.3.1	Geología del Terreno .....	25
7.3.2	Construcción de los Terraplenes .....	25
7.4	Manejo de los Lixiviados .....	25
7.4.1	¿Qué son los Lixiviados? .....	25
7.4.2	Principios de Manejo de los Lixiviados.....	25
7.4.3	Piscina de Evaporación de los Lixiviados .....	26
7.5	Drenaje Perimetral.....	26
7.6	Manejo de los Gases.....	26
7.7	Cierre del RSRS.....	26
7.8	Posibilidades de Ampliación del RSRS .....	26
8	Sistemas Adicionales.....	27
8.1	Camino de Acceso .....	27
8.2	Báscula Puente .....	27
8.3	Plaza de Entrada .....	27
8.4	Cerco del RSRS .....	27
8.5	Abastecimiento de Agua .....	27
8.6	Alcantarillado y Tratamiento de las Aguas Servidas .....	28
8.7	Conexión Eléctrica .....	28
8.8	Empleados .....	28
8.8.1	Número de Empleados .....	28
8.8.2	Edificación de Alojamiento .....	29
8.8.3	Vestido Protectora .....	29
8.8.4	Herramientas .....	29
	Conclusiones .....	30
	Anexos .....	33
	Dibujos .....	35

# 1 Premisas y Datos Básicos

## 1.1 Vida Útil

Aun no existen normas que definan la vida útil de un RSRS. Tomando como directriz las normas aplicables a otros tipos de infraestructura de saneamiento básico, se colige que una vida útil de 10 a 20 años es comúnmente aceptada.

El PIGARSD preliminar de 2005 asume una vida útil de 10 años. Sin embargo, en vista de la construcción de las edificaciones e instalaciones permanentes de separación y reciclaje, una vida útil relativamente corta no es muy favorable económicamente.

Por esas razones fue determinada una vida útil de 20 años. Suponiendo que el sistema pueda ser puesto en operación el año 2010, el RSRS funcionará hasta el año 2030.

## 1.2 Población Actual y Futura

El PIGARSD preliminar de 2005, menciona una población urbana de 4737 habitantes el año 2003 (lo que fue del censo de 1993), creciendo hasta 13.779 habitantes el año 2016. Menciona una tasa anual de crecimiento (TAC) de 2,17%, pero parece calculado con 8,21%.

De todos modos, desde el PIGARSD preliminar de 2005 había dos censos en el Perú: los años 2005 y 2007. Según avisos de la Alcaldía de Desaguadero-Perú, el censo de 2005 no fue fiable, entonces no se lo tomaba en cuenta. Según el censo de 2007 la población urbana ha crecido hasta 14.365. Relativo al censo de 1993 (4737) significa una TAC de 7,92%:

Desaguadero-Perú	Población				TAC		
	1981	1993	2007	2030	81/93	93/07	07/30
<b>Urbano</b>	2.619	4.737	14.365	45.000	4,94%	7,92%	4,96%
<b>Rural</b>	3.491	2.545	5.644	¿?	-2,63%	5,69%	¿?
<b>Total</b>	6.110	7.282	20.009	¿?	1,46%	7,22%	¿?

Suponiendo la misma TAC para los años futuros, resultaría en una población de casi 90.000 habitantes el año 2030. Pero no es muy realista esperar tal crecimiento desenfrenado durante 20 años más. Tampoco se puede ignorar el hecho de un crecimiento fuerte durante los últimos 14 años. Al final de la cuenta nadie puede adivinar el crecimiento de Desaguadero de los próximos 20 años, pues la población de 2030 fue estimado a tres veces lo actual (43.100) redondeado a un múltiplo de 5000: 45.000. Eso ya significa una TAC alta de casi 5%:

Población Urbana de Desaguadero-Perú							
Tasa Anual de Crecimiento Urbano							4,96%
Año	Hab.	Año	Hab.	Año	Hab.	Año	Hab.
		2001	8.929	2011	17.521	2021	28.785
		2002	9.666	2012	18.412	2022	30.250
<b>1993</b>	<b>4.737</b>	2003	10.463	2013	19.350	2023	31.790
1994	5.128	2004	11.326	2014	20.335	2024	33.408
1995	5.551	2005	12.260	2015	21.370	2025	35.108
1996	6.008	2006	13.271	2016	22.457	2026	36.895
1997	6.504	<b>2007</b>	<b>14.365</b>	2017	23.600	2027	38.773
1998	7.040	2008	15.096	2018	24.802	2028	40.746
1999	7.621	2009	15.865	2019	26.064	2029	42.820
2000	8.249	2010	16.672	2020	27.391	<b>2030</b>	<b>45.000</b>

### 1.3 Cantidad y Composición de los RSU

En complemento del PIGARSD preliminar de 2005 fue ejecutado un estudio de la cantidad y la composición de los RSU de Desaguadero (Perú y Bolivia). Asimismo el Ing. Walter Sarmiento de Puno, Perú hizo un análisis de las cantidades y la composición de los RSU de Desaguadero-Perú el julio de 2008 en el marco de un tesis para su estudio. Ambos estudios incluyen los RSU de la población flotante y de las actividades económicas y ambos estudios lograron a los resultados casi iguales, lo que aumenta simultáneamente a la credibilidad de los mismos. El diseño final presente está basado en el promedio de esos dos análisis:

Composición de los RSU de Desaguadero						
Tipo de RSU	PIGARS Preliminar		Ing. W. Sarmiento		Promedio	
	Kg/hab/día	%	Kg/hab/día	%	Kg/hab/día	%
Orgánico:	0,085	38,8%	0,092	36,8%	0,089	37,3%
Papel & Cartón:	0,031	14,0%	0,037	14,9%	0,034	14,3%
Plásticos & Botellas PET:	0,048	21,7%	0,064	25,5%	0,056	23,5%
Metálicos:	0,007	3,2%	0,013	5,3%	0,010	4,3%
Vidrio & Cerámica:	0,001	0,6%	0,001	0,4%	0,001	0,5%
Tierra & Cenizas:	0,047	21,3%	0,039	15,4%	0,043	18,0%
Textiles:			0,004	1,7%	0,004	1,8%
Químicos (pilas):	0,001	0,4%			0,001	0,4%
<b>Total:</b>	<b>0,220</b>	<b>100%</b>	<b>0,251</b>	<b>100%</b>	<b>0,238</b>	<b>100%</b>

Sin embargo las cantidades de los RSU per cápita parecen algo menos que se puede esperar en los países latinoamericanos de bajos ingresos<sup>1</sup>: 0,300 a 0,600 Kg/hab/día. Por eso se da por supuesto que las cantidades de RSU crecerán gradualmente de 0,238 Kg/hab/día en el año 2010 hasta 0,300 Kg/hab/día en el año 2030. El **anexo 1** demuestra las toneladas métricas por año de los componentes de RSU y sus acumulativas hasta 2030.

El Ing. Walter Sarmiento concluyó que la densidad promedio de los RSU compactados manualmente es de 459 Kg/m<sup>3</sup>. Corresponde bastante bien con los datos de Jorge Jaramillo:

- RSU sueltos en los recipientes: 200 – 300 Kg/m<sup>3</sup>
- RSU compactados de mano en el RSRS: 400 – 500 Kg/m<sup>3</sup>
- RSU estabilizados al cierre del RSRS: 500 – 600 Kg/m<sup>3</sup>

Sin embargo se trata de las densidades de los RSU sin separar nada. Hay que tomar en cuenta que cada tipo de RSU tiene su propia densidad volumétrica<sup>2</sup>:

- Latas y objetos de fierro: 2000 – 3000 Kg/m<sup>3</sup>
- Pedazos de vidrio: 1250 – 1750 Kg/m<sup>3</sup>
- Papel y cartón: 450 – 650 Kg/m<sup>3</sup>
- Pedazos de botellas PET: 350 – 550 Kg/m<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Jorge Jaramillo (2002): "Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales"; OPS/CEPIS/PUB/02.93

<sup>2</sup> Densidades calculadas en base a las densidades físicas de materiales y una estimación de los porcentajes de poros vacíos.

## 2 Sistema de Separación Doméstica de los RSU

### 2.1 Tipos de RSU para Separar

Los tipos de RSU que se puede separar y reciclar en Desaguadero-Bolivia son los siguientes:

- Desechos orgánicos para compostar: Son todos los restantes de la comida y cocina, restantes vegetales de los mercados, recortes de jardines y parques y los fecales animales o humanos. Algunos restantes animales de las cocinas no importa tanto, pero los desechos de mataderos no son muy aptos para compostar.
- Papel & cartón para vender: Son todo el papel de los periódicos, cartón de embalaje
- Plástico reciclable para vender: Ya se puede separar y vender las botellas de gaseosa, pero no se puede separar y vender todos tipos de plástico todavía. Los ciudadanos tienen que aplicar las instrucciones de la entidad de gestión de los RSU.
- Metálico: Son latas de conserva y cualquier objeto metálico como alambre, pernos, perfiles, piezas rotas de vehículos o maquinas, etc.
- Vidrio: Son frascos, botellas, cristales rotos de ventanas, etc.
- No-reciclable: Es toda la basura que no pertenece a unos de los anteriores o que constituyen de varios tipos de materiales que no se puede separar.
- Industrial: Son restantes de aceites y grasas (vegetales, animales o minerales), pinturas y otros materiales químicos, tóxicos o peligrosos. Deben ser separados y recogidos separadamente para ser incinerados o enterrados de manera aislada.

**Médico:** Los centros de salud, médicos, dentistas, farmacias y otras instituciones y profesionales médicos deben separar sus residuos médicos para ser incinerados.

### 2.2 Recipientes para la Separación

Aplicando el principio de que nadie tiene el derecho imponer lo que se hace en su casa propia, el siguiente párrafo solo pretende dar algunos consejos sobre cómo separar y almacenar los desechos dentro de las casas.

#### 2.2.1 Recipientes Domiciliarios

La separación de los desechos domiciliarios no requiere un esfuerzo grande. Sobre todo es una actitud, una costumbre. Lo único necesario es una fila de recipientes en los cuales se tira cada pedazo de basura en su propio recipiente.

Los recipientes pueden ser más pequeños, porque solo contienen una parte de todos los desechos. Se puede arreglar los recipientes domiciliarios de manera sencilla y barata: no se necesita más que unos baldes. Sería más cómodo poner una bolsa de plástico en el balde, para sacar la basura y presentarla en la calle. Los baldes ni se mueven.



Se necesita los siguientes recipientes en la vivienda:

- Orgánico: Un balde con una tapa de tal manera que los animales no pueden sacar nada comestible.
- Papel & cartón: Una caja de cartón. Es importante guardar en un lugar seco por razones obvias.
- Botellas y otros de plástico: Una caja de cartón. Para disminuir el volumen de las botellas se puede aplastarlas y luego cerrar la tapa. Cuando no puede entrar aire en la botella, se mantiene aplastado y no se infla de nuevo.

- Metálico: Para las latas un balde. Para disminuir el volumen de las latas, se puede sacar los fondos igual que las tapas y luego aplastarlas.
- Vidrio: Una caja de cartón.
- No-reciclable: Un balde o caja de cartón

## 2.2.2 Recipientes de Edificios, Instituciones y Empresas

Edificios multifamiliares pueden organizar la separación de los desechos entre sí por compartir recipientes más grandes en el patio. Así se puede economizar espacio y mantener más limpio el patio.

Las instituciones y empresas van a tener tipos de desechos similares a los desechos domésticos y posiblemente algunos tipos de desechos industriales según qué tipo de actividad productiva. Los desechos comunes se pueden guardar en recipientes similares a los domiciliarios. Los desechos industriales hay que guardar de tal manera que no pueden escaparse escurriendo, por evaporación, por el viento o por los animales, según qué características de los materiales.

Los centros de salud, médicos, dentistas, farmacias y otras instituciones y profesionales médicos deben guardar sus desechos médicos de tal manera que se mantengan separados y aislados según las características de los mismos.

## 2.3 Presentación de los Desechos para La Recolección

Al contrario de los consejos sobre el manejo doméstico de los desechos, las prescripciones de presentación de los desechos para su recolección en la calle sí poseen normas obligatorias.

### 2.3.1 Horario y Lugar de Presentación de los Desechos

La recolección de los desechos será organizado de tal manera que se recolección un cierto tipo de desechos cada día:

Lunes:	Papel y cartón y desechos médicos
Martes:	Feria menor (no hay recolección domiciliario)
Miércoles:	Plástico
Jueves:	Orgánico
Viernes:	Feria mayor (no hay recolección domiciliario)
Sábado:	Metálico y no-reciclable

Es clave que los ciudadanos colaboren con este sistema de recolección y que solamente presenten el tipo de desechos que corresponde al día de la semana. Otros tipos de desechos tienen que quedarse dentro de su vivienda, empresa o institución hasta el día oportuno.

La hora de presentar los desechos es muy importante también. La basura que se queda en las calles toda la noche será devorada y dispersada por los animales callejeros. Por eso hay que presentar los desechos en la mañana después del amanecer.

El lugar de presentación es importante también, para que los desechos no causen molestia, contaminación o peligro. El lugar adecuado es frente de la casa, en el borde de la acera o al lado de la calle de tal manera que no se obstruye el paso.

Hay que presentar los desechos fuera de las ranuras de drenaje pluvial de las calles, porque no son un lugar adecuado. Cuando llueve, la basura puede ser arrastrada por las aguas escurriendo hacia Lago Titicaca o Río Desaguadero y contaminarlos.

### 2.3.2 Tipo de Embalaje

Para su recolección en las calles, los desechos deben ser envueltos adecuadamente:

- Orgánico: Se envuelve en una bolsa de plástica. Para poder separar más fácilmente las bolsas de los desechos orgánicos, se debe usar una bolsa blanca o coloreada.
- Papel y cartón: Se encajona en una caja de cartón o se une por una pita. Las cajas de cartón se aplasta, usando una caja para encajonar las demás.
- Botellas y otros plásticos: Se envuelve en una bolsa de plástico.
- Metálico: Se envuelve en una bolsa de plástico. Para poder separar más fácilmente las bolsas de los metálicos, se debe usar una bolsa blanca o coloreada.
- Vidrio: Se envuelve en una bolsa de plástico. Para poder separar más fácilmente las bolsas de los vidrios, se debe usar una bolsa negra.
- No-reciclable: Se envuelve en una bolsa de plástico.

Todo el mundo recibe bolsas de plástico cada día cuando compran sus cosas en las tiendas y los mercados y ferias. Se puede guardar esas bolsas para embalar los desechos.

### **2.3.3 Desechos Institucional, Empresarial y de Mercados y Ferias**

En Desaguadero no se trata de grandes cantidades de desechos industriales o peligrosos. Excepto varios talleres mecánicos casi no hay industria. Lo mejor es para organizar un horario de presentación y recolección en mutuo acuerdo.

Mayor parte de los desechos de los mercados y ferias (sobre todo las ferias de los martes y viernes) consiste de los materiales de embalaje: cartón, papel y plásticos. Además los mercados de alimentos producen muchos desechos orgánicos. Los comerciantes deben colaborar por realizar una separación básica al final de los mercados y ferias:

- Papel y cartón: Juntar los papeles en una caja de cartón, aplastar las demás y amontonar todo junto.
- Plásticos: Juntar todos los plásticos de embalaje en una bolsa grande de plástico.
- Desechos orgánicos: Los comerciantes de frutas y verduras tienen que juntar sus residuos vegetales en una caja de cartón.

## **2.4 Colaboración Ciudadana y Control Social**

Para posibilitar el compostaje y reciclaje de los RSU la colaboración de los ciudadanos es imprescindible. Deben separar su RSU en su propia vivienda por los componentes distintos y deben colaborar por entregarlos según las indicaciones de la entidad de gestión de los RSU.

Para realizar esas exigencias los talleres de concientización, capacitación y participación de los ciudadanos serán de importancia determinante.

Aunque no es complicado separar y presentar los desechos correctamente, sí exige un cambio de costumbres, una motivación y una disciplina.

Es aconsejable elaborar mecanismos de control social participativo de las organizaciones de base para hacer cumplir todos los vecinos.

A fin de cuentas, si los ciudadanos no quieren colaborar, el sistema de separación y reciclaje de los desechos está condenado al fracaso.

## 3 Sistema de Recolección de los RSU

### 3.1 Premisas y Datos Básicos

#### 3.1.1 Sistema Logístico

Los camiones o compactadores de basura no son suficientemente maniobrables en las calles angostas y concurridas de Desaguadero. Menos aún en los días de las ferias: mientras que hay aún más desechos para recolección, menos espacio de maniobra tendrá un camión grande en la aglomeración de los puestos, vehículos y gente.

Los triciclos para transportar gente y mercancía son una característica llamativa en Desaguadero. La ventaja de un triciclo de basura es que puede pasar por cualquier calle más angosta y congestionada por los mercados y ferias.



Así el punto de partida de la logística es que los triciclos de basura son mucho más eficientes para la recolección de los desechos del centro, Los camiones o compactadores se dedican exclusivamente al transporte de la zona urbanizada hasta el RSRS y a la recolección de desechos más lejanos..

Eso también implica la necesidad de un eslabón intermediario: los terminales de desechos. Son pequeños depósitos temporales en la periferia donde los triciclos juntan los desechos del centro y los barrios. Los camiones o compactadores recolección los desechos de los terminales para transportarlos al RSRS. Los terminales de desechos deben ser situados en lugares estratégicos: bien accesibles para los camiones y a poca distancia del centro y los barrios para los triciclos.

Para una logística racional y económica, la ciudad debe ser parcelada:

- Cada sector debe tener su terminal de desechos
- Cada triciclo de un terminal tiene su sub-sector para recolección los desechos.

#### 3.1.2 Capacidad de un Triciclo de Desechos

El contenedor de un triciclo mide aproximadamente 1,50 x 1,10 x 0,90 m (L x B x H), entonces tiene un volumen de 1,50 m<sup>3</sup>. Dado una densidad de 250 Kg/m<sup>3</sup>, una carga de desechos pesará alrededor de 375 Kg.

La capacidad de recolección de un triciclo depende de muchos factores pocos conocidos:

- Cantidades de desechos que se puede recolectar por día
- Kilómetros de calles que se puede recorrer por día.
- Otros factores son aún más difícil para cuantificar: como la topografía del sector de recolección, el tráfico, la condición de las calles, la manera de presentación de los desechos por los ciudadanos, los pendientes del terreno, etc.

Cuando hay muchos desechos en las calles, el volumen de los mismos será el límite determinante del proceso de recolección, pero en barrios con pocos desechos hay que recorrer muchos kilómetros para llenar un triciclo, entonces la distancia del recorrido será el factor límite. Reflexionando las interacciones entre esos dos factores, se estimaba los criterios siguientes para determinar el número de triciclos requerido:

- El conductor de un triciclo puede recolectar como máximo dos cargas por día. Es decir 3,00 m<sup>3</sup>/día o 750 Kg/día.
- El conductor de un triciclo puede recorrer a una velocidad de 1,0 Km/h, recolectando los desechos y llevándolos al terminal de desechos. Es decir que puede recorrer 8,0 Km de calles por día laboral como máximo.

Con esos dos criterios se puede hacer dos cálculos del número de triciclos requerido: el número más alto será normativo para cumplir con ambos criterios.

### 3.1.3 Capacidad de un Terminal de Desechos

Para facilitar el sistema de separación y reciclaje de los desechos, los terminales deben tener la capacidad de almacenar temporalmente los 6 tipos de desechos separados al mismo tiempo: orgánico, papel, plástico, fierro, vidrio y no-separable.

Porque sean recogidas dos cargas de un triciclo cada día durante 6 días por semana, un terminal debe tener una capacidad de almacenamiento de:

$$V_{terminal} = 1,50 \text{ m}^3 / \text{carga} * 2 \text{ carga} / (\text{triciclo} * \text{día}) * 6 \text{ día} / \text{sem} = 18,0 \text{ m}^3 / \text{triciclo}$$

Porque los distintos tipos de desechos no tienen volúmenes iguales, los compartimentos también tienen volúmenes distintos adaptados:

$$V_{terminal} = 2 * (5,0 \text{ m}^3 + 3,0 \text{ m}^3 + 1,0 \text{ m}^3) = 18,0 \text{ m}^3$$

Se puede organizar el uso de los compartimentos según las necesidades.

18,0 m<sup>3</sup> es el tamaño de un terminal para un solo triciclo. Cuando hay, por ejemplo, dos triciclos trayendo los desechos al mismo terminal, lo debe tener un volumen de:

$$V_{terminal} = 2 \text{ triciclos} * 18,0 \text{ m}^3 / \text{triciclo} = 36,0 \text{ m}^3$$

Transportando un solo tipo de desechos separado cada día se puede almacenar los otros tipos durante una semana, ya realizando pre-selecciones de los desechos mal separados por los ciudadanos y dejar aumentando cada tipo de desecho hasta que se llenó un compartimento. En coordinación con los terminales demás se puede economizar los recorridos del camión transportador hacia el RSRS.

La altura de las losas de los compartimentos está en el mismo nivel que el contenedor de los triciclos para facilitar un transborde más liviano. Igualmente los desechos ya están elevados medio metro para hacer más liviano el transborde al camión.

### 3.1.4 Vida Útil Limitada

Todavía no es conveniente construir todos los terminales y conseguir todos los triciclos necesarios hasta el año 2030: significaría construir terminales en áreas todavía rurales y conseguir triciclos que no se necesitará antes del 2025.

Tomando en cuenta que un triciclo tiene una vida útil de unos 5 años, se aplica ésta vida útil para el sistema de recolección. Entonces la capacidad de este sistema de recolección está basada en una población y una producción de desechos que corresponde al 2015.

Luego de 2015 se debe contar con la sustitución de los triciclos viejos, la compra de algunos triciclos adicionales y posiblemente la construcción de uno o más terminales extras, según la expansión urbana.

## 3.2 Cálculo del Número de Triciclos

### 3.2.1 Basado en la Población y la Producción de Desechos

Como demuestra el anexo 2, se espera una población de 21.370 habitantes y una producción de desechos de 0,254 Kg/hab/día el año 2015. Eso resulta en una producción de desechos de:

$$\frac{7 \text{ día/sem} * 0,254 \text{ Kg/hab/día} * 21.370 \text{ hab}}{1000 \text{ Kg/TM}} = 38,0 \text{ TM/sem}$$

Contando con 6 días laborales por semana, resulta en 6,33 TM/día o bien 6330 Kg/día.

Dado la capacidad de recolección de un triciclo de 750 Kg/día, se necesitaría:

$$\frac{6330 \text{ Kg/día}}{750 \text{ Kg/día/triciclo}} = 8,4 \rightarrow 9 \text{ triciclos}$$

### 3.2.2 Basado en la Superficie Urbana y la Longitud de las Calles



Google-Earth demuestra una foto satelital de Desaguadero del viernes 7 de noviembre de 2003. En base a esta foto fue determinada la superficie urbanizada: 92,6 Ha.

La tabla del párrafo §1.2 menciona la población de 2003: 10.463 habitantes. Con eso se puede calcular una densidad promedio de la urbanización:

$$\frac{10.463 \text{ hab}}{92,6 \text{ Ha}} = 113 \text{ hab/Ha}$$

Con eso y la población futura se puede estimar la superficie futura de Desaguadero:

$$\frac{21.370 \text{ hab}}{113 \text{ hab/Ha}} = 189 \text{ Ha}$$

Sin embargo, la planificación municipal de Desaguadero-Perú demuestra una superficie esperada de 2013: 299 Ha. Aparentemente se espera una disminución de la densidad poblacional.

Luego fue medida la longitud total de las calles dentro del perímetro urbanizado: 20.300 m (20,3 Km). Entonces la relación entre metros de calles y superficie urbana de Desaguadero-Perú es:

$$\frac{20.300 \text{ m}_{\text{calle}}}{92,6 \text{ Ha}} = 219 \text{ m/Ha}$$

Con eso y la superficie futura se puede calcular la longitud de las calles futuras:

$$189 \text{ Ha} * 219 \text{ m/Ha} = 41.400 \text{ m} = 41,4 \text{ Km}$$

En este caso el número de triciclos necesarios sería:

$$\frac{41,4 \text{ Km}}{8,0 \text{ Km/triciclo}} = 5,2 \rightarrow 6 \text{ triciclos}$$

Sin embargo, según la superficie futura de la planificación municipal las calles futuras tendrían:

$$299 \text{ Ha} * 219 \text{ m/Ha} = 65.500 \text{ m} = 65,5 \text{ Km}$$

En este caso se necesitaría:

$$\frac{65,5 \text{ Km}}{8,0 \text{ Km/triciclo}} = 8,2 \rightarrow 9 \text{ triciclos}$$

### 3.2.3 Necesidad de Triciclos

No es necesario deliberar en vano sobre el número de triciclos necesarios (6 o 9) en base a la superficie futura, porque en base a la cantidad de basura por la población futura se necesitará 9 triciclos de todos modos.

### 3.2.4 Delimitación de los Subsectores

La determinación de superficies y longitudes de calles de los subsectores está basada en un proceso iterativo y arbitrario de equilibrar las densidades de la población, los pesos y distancias máximos de los triciclos y las superficies de las ampliaciones planificadas por la municipalidad de Desaguadero.

Sin embargo hay que atender esas linderas con flexibilidad siempre, según el crecimiento gradual de la urbanización.

La manera de recorrer las calles de los subsectores debe ser solucionado según el criterio del empleado triciclista mismo. Generalmente se puede seguir la directriz de primero recorrer las

calles norte-sur de manera zigzag o eslabon y luego recorrer las calles este-oeste de misma manera.

El **dibujo ...** demuestra los subsectores de los triciclos, mientras que la tabla siguiente da los datos de esos subsectores:

<b>Datos de los Subsectores</b>							
<b>Subsector</b>	<b>Superficie</b>	<b>Población</b>		<b>Calles</b>		<b>Basura</b>	
	<b>(Ha)</b>	<b>(hab/Ha)</b>	<b>(hab)</b>	<b>(m/Ha)</b>	<b>(Km)</b>	<b>(Kg/hab/día)</b>	<b>(Kg/día)</b>
<b>Mediciones 2003:</b>	<b>92.6</b>	<b>113</b>	<b>10,463</b>	<b>220</b>	<b>20.3</b>	<b>0.296</b>	<b>3,101</b>
1 Centro Fronteriza	21.8	116	2,531	220	4.79	0.296	750
3 Centro Occidental	29.5	85.8	2,531	220	6.48	0.296	750
4 Centro Sur	29.8	85.0	2,531	220	6.54	0.296	750
2 Litoral Lago Titicaca	36.3	69.7	2,531	220	7.97	0.296	750
5 Ampliación Occidental	36.3	65.5	2,378	220	7.98	0.296	705
6 Ampliación Sur 1	36.4	61.0	2,222	220	8.00	0.296	659
7 Ampliación Sur 2	36.4	63.7	2,321	220	8.00	0.296	688
8 Ampliación Sur 3	36.4	60.6	2,207	220	8.00	0.296	654
9 Ampliación Sur 4	36.4	58.2	2,118	220	8.00	0.296	628
<b>Total 2015:</b>	<b>299</b>	<b>71.4</b>	<b>21,370</b>	<b>220</b>	<b>65.8</b>	<b>0.296</b>	<b>6,333</b>

### 3.3 Cálculo de los Terminales de Desechos

#### 3.3.1 Delimitación de los Sectores y Ubicación de los Terminales

Los subsectores son organizados en cuatro sectores de dos o tres subsectores cada uno. Los terminales están ubicados a lo largo o cerca de la Avenida Cultura por su mejor accesibilidad:

- Sector Norte: Consiste de los subsectores Litoral Lago Titicaca, Centro Occidental y Ampliación Occidental. El Terminal Norte se encuentra en la Avenida Cultura, esquina con Jirón Capitán Rojas Troche.
- Sector Centro: Consiste de los subsectores Centro Fronterizo y Centro Sur. El Terminal Centro está en la Avenida Ilo, esquina con Jirón Titicaca
- Sector Sur A: Consiste de los subsectores Ampliación Sur 1 y Ampliación Sur 2. El Terminal Sur A estará en la Avenida Cultura a medio camino entre el cementerio y el estadio.
- Sector Sur B: Consiste de los subsectores Ampliación Sur 3 y Ampliación Sur 4. El Terminal Sur B estará en la Avenida Cultura, una cuadra más hacia el suroeste del terminal de camiones.

Las direcciones de los terminales son indicativas todavía. En caso que los terrenos indicados resultan no disponibles, se debe conseguir alternativamente lo más cercanos a los mencionados.

#### 3.3.2 Dimensiones de los Terminales

El Terminal Norte para los tres subsectores Litoral Lago Titicaca, Centro Occidental y Ampliación Occidental debe tener una capacidad triple:  $6 \text{ compartimentos} * 9 \text{ m}^3/\text{comp.} = 54 \text{ m}^3$ .

El Terminal Centro para los dos subsectores Centro Fronterizo y Centro Sur debe tener una capacidad doble:  $6 \text{ compartimentos} * 6 \text{ m}^3/\text{comp.} = 36 \text{ m}^3$ .

El Terminal Sur A para los dos subsectores Ampliación Sur 1 y Ampliación Sur 2 debe tener una capacidad doble:  $6 \text{ compartimentos} * 6 \text{ m}^3/\text{comp.} = 36 \text{ m}^3$ .

El Terminal Sur B para los dos subsectores Ampliación Sur 3 y Ampliación Sur 4 debe tener una capacidad doble: 6 compartimentos \* 6 m<sup>3</sup>/comp. = 36 m<sup>3</sup>.

### 3.4 Cálculo del Transporte Hacia el RSRS

Tomando como punto de partido que el camión de los desechos saldrá de la Alcaldía y vuelve a la misma, se estima el tiempo del recorrido en la tabla siguiente:

Recorrido de Transporte de Desechos hacia el RSRS				
De	Hasta	Distancia (Km)	Velocidad (Km/h)	Tiempo (min)
Alcaldía	Terminal Norte	0.69	30	1.4
Cargar (terminal triple: 9 m3)				90
Terminal Norte	Terminal Centro	0.75	30	1.5
Cargar (terminal doble: 6 m3)				60
Terminal Centro	Terminal Sur A	1.05	30	2.1
Cargar (terminal doble: 6 m3)				60
Terminal Sur A	Terminal Sur B	0.90	30	1.8
Cargar (terminal doble: 6 m3)				60
Terminal Sur B	Lindera Urbana	0.75	30	1.5
Lindera Urbana	RSRS	3.00	60	3.0
Descargar (sin compactar: 27 m3)				15
RSRS	Lindera Urbana	3.00	60	3.0
Lindera Urbana	Alcaldía	3.32	30	6.6
<b>Recorrido Total</b>		<b>13.45</b>		<b>306</b>

El recorrido por los cuatro terminales e ir y volver al RSRS dura unos 300 minutos o bien 5 horas. Además se trata de una cantidad suelta de unos 27 m<sup>3</sup> lo que no entra en una volqueta común entonces exigiría dos viajes por día. Por eso la situación del transporte de los desechos de Desaguadero-Perú exige un camión compactador con un volumen compactado de 12-15 m<sup>3</sup>.

### 3.5 Protección de la Gestión

Una vez que la separación domiciliar funciona bien y la gente pone sus desechos separados en las calles, representarán un valor real para recoger. Es bien posible que vayan a aparecer otros comerciantes interesados a recogerlos para sus propios negocios. Eso puede tener consecuencias profundas: favorables o adversas.

La recolección de parte de los desechos por otros comerciantes puede disminuir los costos de la gestión municipal. Sin embargo es más probable que tendrá un efecto económico adverso por la pérdida de ingresos de esos materiales separados y reciclables. Se debe ser consciente de los esfuerzos e inversiones hechos para hacer funcionar este sistema de separación, recolección, reciclaje y compostaje. No sería justo si algunos individuos se apropien de los beneficios, dejando los gastos para la sociedad. Puede resultar en un costo mucho más elevado para la sociedad o la entidad encargada de la gestión, de tal manera que el sistema fracasa.

Por eso debe ser vigilada, protegida y defendida la totalidad de la gestión de los desechos sólidos. De acuerdo a los acuerdos hay que tomar las medidas adecuadas:

- Vigilancia policial contra la recolección por comerciantes ilegales.
- Coordinación de vigilancia entre personal de recolección, la policía, el gobierno local y las organizaciones de base.

- Denuncia de los comerciantes ilegales por los ciudadanos mismos.

Porque si la gestión de los residuos sólidos resulta demasiada deficitaria por la pérdida de ingresos de los materiales reciclables, todo el sistema puede colapsar.

## 4 Sistema de Reciclaje de los RSU Inorgánicos

Para compensar una posible separación doméstica incompleta de los RSU, el RSRS debe tener una plataforma de separación posterior con siete casetas para los materiales seleccionados: orgánico, papel y cartón, vidrios, metálicos, plásticos reciclables, RSU-peligrosos y RSU-inútiles.

Los RSU-Inorgánicos reciclables deben ser almacenados bajo techo. Cada tipo de material reciclable (papel y cartón, vidrios, metálicos y plásticos reciclables) debe tener su propio almacén. Los almacenes deben tener una capacidad equivalente a la carga de un camión grande. Así se puede acumular una cantidad de materiales reciclables hasta venderla rentablemente.

Lo cierto es que los ciudadanos no vayan a colaborar con la separación doméstica de los RSU por muchas razones imaginables. Por ello fue necesario tomar en cuenta esa situación posible y no dejar a fracasar por completo el principio de reciclaje.

### 4.1 Plataforma de Separación

#### 4.1.1 Funcionamiento

Para posibilitar la opción de separar ciertos tipos de RSU posteriormente todavía, fue incluida una plataforma de separación. Los RSU no separados que llegan al RSRS serán depositados y esparcidos en la plataforma. Alrededor de la plataforma hay 7 casetas para depositar temporalmente los distintos tipos de RSU separados. Las 6 casetas pequeñas por los costados son para los RSU orgánico, papel y cartón, plástico, metálico, vidrio y residuos peligrosos. La séptima grande al final es para los RSU inútiles que sobran de la separación.

Luego de la separación, los RSU inútiles serán enterrados en el vertedero y los RSU seleccionados serán transferidos de las casetas a la nave de compostaje, a los almacenes de reciclaje correspondientes o al horno de incineración.

Por supuesto, los RSU que sí fueron separados correctamente (en caso de una buena colaboración de los ciudadanos) no necesitan pasar por esta plataforma de separación. Pero van a venir recolectores con cargas de RSU no separados siempre, como los de los mercados y las calles.

#### 4.1.2 Dimensiones

La plataforma consiste de dos lados: el lado de la entrega de los vehículos recolectores de los RSU y el lado de esparcir rodeado por las casetas.

Al lado de la entrega la plataforma tiene un volumen de almacenamiento igual al volumen diario de los RSU sueltos (según el año 2030):

$$V_{RSU \text{ suelto}} = \frac{45.000 \text{ hab} * 0,300 \text{ Kg/hab/día}}{250 \text{ Kg/m}^3} = 54,0 \text{ m}^3/\text{día}$$

La anchura (B) de la plataforma es 9,00 m. La altura (H) del lado de la entrega está definido por las paredes alrededor: 1,15 m. Así se puede calcular la longitud (L) del lado de la entrega:

$$L_{entrega} = \frac{V_{RSU \text{ suelto}}}{B_{entrega} * H_{entrega}}$$
$$L_{entrega} = \frac{54,0 \text{ m}^3/\text{día}}{9,00 \text{ m} * 1,10 \text{ m}} = 5,45 \text{ m}$$

El lado para esparcir los RSU está determinado por el tamaño de las casetas alrededor. Los volúmenes del total de estas casetas equivalen el volumen diario de los RSU sueltos también, pero casi no reflejan las proporciones de cada componente de RSU por razones de uniformidad constructiva:

$$V_{casetas} = 6 * (3,00 \text{ m} * 2,50 \text{ m} * 0,80 \text{ m}) + 1 * (9,00 \text{ m} * 2,50 \text{ m} * 0,80 \text{ m}) = 54,0 \text{ m}^3$$

### 4.1.3 Constructivo

Por el tamaño de la plataforma (14,95 m \* 9,00 m) las vigas de cimentación están hechas de hormigón armado para que no se rompa la estructura. Las esquinas del lado de la entrega de la plataforma, están fortalecidas por columnas de hormigón armado para proteger los inicios de las paredes de ladrillos contra los choques de los camiones.

Las paredes de la plataforma y las casetas están hechas de ladrillos gambote con espesor igual al largo de los mismos (0,25 m).

Las losas de las casetas y la plataforma pueden ser hechas sin armazón, puesto que ya están encerrados por las vigas de cimentación de hormigón armado.

Las losas de las casetas tienen una inclinación de 2% para evacuar los líquidos eventuales hacia la plataforma de separación por los orificios en las paredes. Al igual la plataforma tiene una inclinación de 2% hacia el lado de la entrega de los RSU. En este lado más bajo de la plataforma está ubicado un canal de drenaje para evacuar los líquidos hacia el alcantarillado del RSRs. Así los RSU serán separados automáticamente de los líquidos durante el proceso de separación.

## 4.2 Almacenes de Reciclaje

### 4.2.1 Funcionamiento

Enfrente de la plataforma de separación están ubicados los almacenes para guardar los materiales reciclados: papel y cartón, plásticos y metálicos. Los tamaños de los almacenes se aproximan al cargo máximo de un camión grande. Cuando se llenó un almacén, se puede vender su contenido cargando por completo un camión grande. Así resultará lo más económico posible en cuanto de la venta de los materiales reciclables.

### 4.2.2 Dimensiones

En base de:

- Un camión con una capacidad de carga de 40 TM.
- Una anchura mínima de los almacenes de 3,00 m.
- Una anchura máxima de los almacenes de 6,00 m.
- Una altura máxima de almacenamiento de 2,00 m.

Los almacenes de papel y cartón y de plásticos (con una densidad promedio alrededor de 500 Kg/m<sup>3</sup>) deben tener una longitud de:

$$L_{papel} = \frac{40 \text{ TM} * 1000 \text{ Kg/TM}}{500 \text{ Kg/m}^3 * 6,00 \text{ m} * 2,00 \text{ m}} = 6,50 \text{ m}$$

Los almacenes de metálicos y vidrios (con una densidad promedio alrededor de 1700 Kg/m<sup>3</sup>) pueden ser más cortos:

$$L_{metal} = \frac{40 \text{ TM} * 1000 \text{ Kg/TM}}{1700 \text{ Kg/m}^3 * 3,00 \text{ m} * 2,00 \text{ m}} = 4,00 \text{ m}$$

Las cantidades de vidrio que se podría reciclar en Desaguadero-Perú no son grandes (véase el **anexo 1**: 288 TM por 20 años son 7 – 8 cargas grandes durante la vida útil del RSRS), pero vale justo construir un almacén para los vidrios.

Así se necesita cuatro almacenes:

- Papel y Cartón: 6,50 m \* 6,00 m \* 2,00 m
- Plásticos: 6,50 m \* 6,00 m \* 2,00 m
- Metálicos: 4,00 m \* 3,00 m \* 2,00 m
- Vidrio: 4,00 m \* 3,00 m \* 2,00 m

Adicionalmente se necesita un garaje para la maquinaria y herramientas del RSRS. Lo más práctico es agregarlo a los almacenes.

### **4.2.3 Constructivo**

Las vigas de cimentación están hechas de hormigón armado para tener un armazón de cimientos firme.

Las losas de los almacenes y el garaje pueden ser hechas sin armazón, puesto que ya están encerrados por las vigas de cimentación de hormigón armado.

Las paredes de los almacenes están hechas de ladrillos gambote con espesor igual al largo de los mismos (0,25 m). Con tal espesor no serán necesarias las columnas de hormigón armado en las esquinas de las paredes.

Los almacenes y el garaje deben estar bajo techo para cuidar la calidad de los materiales reciclables. Además el techo servirá para cosechar agua de lluvia, puesto que no hay otras fuentes de agua en la cercanía.

## **5 Sistema de Compostaje de los RSU Orgánicos**

### **5.1 Ventajas del Proceso de Compostaje**

#### **5.1.1 Disminuir los Volúmenes de la Disposición Final de los RSU**

La ambición de compostar los RSU (Residuos Sólidos Urbanos) orgánicos proviene del deseo de disminuir los volúmenes de los RSU que deben ser vertidos. Los RSU orgánicos constituyen una parte considerable de los RSU. En Desaguadero los RSU orgánicos forman casi los 40% de los RSU. Convertir estos 40% de RSU orgánicos en compost es una medida importante para no dejar a expandir desfrenadamente al RSRS (Relleno Sanitario de Residuos Sólidos).

#### **5.1.2 Generar Ingresos y Empleo**

Una buena calidad de compost exige un proceso de compostaje bien manejado, para lo cual se necesita empleados:

- Seleccionar los RSU orgánicos y quitar los RSU que no pertenecen al compost.
- Voltear los montones de materia orgánica con frecuencia.
- Monitorear la temperatura y la humedad de la materia orgánica.
- Almacenar, pesar y vender el compost.

Así el manejo de basura que solo cuesta dinero, se convierte en un proceso productivo que genera empleo e ingresos.

#### **5.1.3 Aprender de la Naturaleza**

La naturaleza nos enseña que la basura no existe realmente. En la naturaleza todo nace, crece, florece y muere en un ciclo eterno. Todo lo que muere sirve como alimentación para la vida nueva que nace en un ciclo de reciclaje igualmente eterno.

Podemos aprender de la naturaleza por aplicar sus principios. Con el proceso de compostaje se puede convertir casi los 40% de los RSU en un producto valioso.

#### **5.1.4 Cerrar un Ciclo Natural de Nutrientes**

Más allá de esas razones se puede considerar la importancia de cerrar un ciclo de nutrientes de las tierras de las cuales se depende por la alimentación. Según la situación actual (hablando generalmente) se está extrayendo los nutrientes de las tierras por los cultivos que se cosecha. Los cultivos se venden en las ciudades, pero los nutrientes de los mismos no vuelven de las ciudades a las tierras de cultivo.

Por el compostaje de los RSU orgánicos se puede cerrar este ciclo de nutrientes quebrado y devolver esos nutrientes a las tierras de cultivo de donde provienen.

### **5.2 Exigencias del Proceso de Compostaje**

El proceso de compostaje es un proceso microbiológico bajo condiciones aeróbicas y termófilas (45°C – 80°C). En otras palabras, es un proceso microbiológico de oxidación. Entonces, contrario a los procesos anaeróbicos y mesófilos (30°C – 40°C) no salen los gases metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido carbónico (CO<sub>2</sub>), sino agua (H<sub>2</sub>O) y dióxido carbónico (CO<sub>2</sub>). Además el proceso de compostaje, siendo un proceso de oxidación, necesita el abastecimiento de oxígeno (O<sub>2</sub>).

Las bacterias termófilas consumen alrededor de la mitad de la materia orgánica y producen su propio ambiente caliente. Si no hay suficiente ventilación (es decir oxigenación) el proceso termófilo no puede desarrollarse libremente y se convierte hacia un proceso anaeróbico y mesófilo. Este proceso se caracteriza por las temperaturas más bajas y los malos olores por la producción del hidrógeno sulfúrico (H<sub>2</sub>S).

Para garantizar la oxigenación del proceso, es costumbre amontar los RSU orgánicos al aire libre. Además se vuelcan los montones de compost frecuentemente.

Por las temperaturas elevadas hay bastante evaporación de humedad, aunque el proceso necesita un ambiente con 40% – 60% de humedad. Entonces se debe agregar agua adicional cuando se vuelcan los montones de compost.

### 5.3 Condiciones Altiplánicas Adversas

A pesar de las ventajas, el proceso de compostaje es casi desconocido en el Altiplano todavía. Hasta la fecha resultó casi imposible hacer funcionar este proceso, por el clima altiplánico adversa. La oxigenación de los montones de materia orgánica funciona sin problemas en los climas moderados o más calientes, pero el clima altiplánico es bastante frío como demuestran los datos siguientes:

Clima Altiplánico Indicativo		
Característica	Verano (Enero)	Invierno (Julio)
Temperatura Promedia Diurna:	+15°C	+15°C
Temperatura Promedia Nocturna:	+3°C	-7°C
Precipitación Promedia:	150 mm/mes	5 mm/mes
Humedad Relativa Promedia:	60%	40%

Se nota las temperaturas nocturnas bastante bajas, sobre todo en el invierno. Al igual es bastante baja la humedad relativa del aire y la precipitación. Son todas condiciones adversas al proceso de compostaje:

Las bacterias termófilas necesitan aire caliente y humedad para mantener su ambiente favorito, pero cuando se ventila el compost con aire glacial, esas bacterias mueren de frío. Por eso resultó casi imposible hasta la fecha de aplicar exitosamente el proceso de compostaje en el Altiplano.

### 5.4 Solución Innovadora

Aunque ya existen varios sistemas de compostaje mecanizados, con riego y ventilación artificial de alta tecnología, todavía no existe semejante sistema de compostaje manual o semi-mecanizado con ventilación artificial de baja tecnología<sup>3</sup>.

El sistema de compostaje presente es un sistema de funcionamiento sencillo y hecho de materiales locales. En principio se lo puede operar manualmente, aunque se puede añadir un cucharón-grúa para voltear el compost de un pozo al próximo.

Es una solución innovadora en el sentido de que presenta un sistema de compostaje de baja tecnología, al alcance de las ciudades altiplánicas medianas y menores, para superar las condiciones climáticas adversas del Altiplano:

- El proceso de compostaje sucede dentro de unos pozos cerrados que están ubicados dentro de una nave. Así el aire nocturno frío ya no puede afectar directamente al proceso de compostaje.

<sup>3</sup> Usando las tecnologías sencillas es una mejor manera de garantizar el funcionamiento sostenible, porque son más fáciles de entender y operar y son más baratas de mantener y reparar por la gente local de bajos recursos y formación.

- Los pozos cerrados están provistos de un sistema de ventilación artificial y el compost está puesto encima de una reja dentro de los pozos cerrados. Molinos de ventilación encima de las chimeneas de salida succionan el aire servido que sea remplazado por aire fresco.
- El aire fresco viene desde debajo del techo de la nave y entra por debajo de la reja del compost por una chimenea de ventilación.
- El techo de la nave está orientado hacia el sol (es decir hacia el norte). Por la radiación del sol el techo calienta el aire debajo del mismo y así el aire fresco succionado por el compost será precalentado por la radiación solar al techo de la nave.
- A noche se cierre el sistema de ventilación para no ventilar con el aire glacial nocturno. Este paro temporal de la ventilación no afecta significativamente al proceso de compostaje, puesto que hay reservas de oxígeno dentro de los pozos y del compost mismo.

## **5.5 Proyecto Piloto de Compostaje**

Sin embargo, es un sistema nuevo sin precedentes. No existen experiencias con tal sistema todavía, entonces es desconocido si funcionará tal como indica la teoría.

Por eso es necesario hacer un proyecto piloto para testar este método de compostaje, antes de diseñar las naves de compostaje para Desaguadero Bolivia y Perú.

## **5.6 Alcance para la Zona Andina**

Un proyecto piloto de compostaje para hacer posible el compostaje en la ciudad binacional de Desaguadero no es un incidente aislado. En principio el problema del clima adversa altiplánica toca a toda la Zona Andina desde Colombia hasta Argentina, mientras que las soluciones de alta tecnología existentes no son muy deseables.

Por eso vale invertir en este estudio del proceso de compostaje de baja tecnología para superar las condiciones climáticas adversas del Altiplano, porque es de importancia para todos los municipios andinos.

## **5.7 Integración del Proyecto Piloto en la Ejecución del PIGARSD**

En cuanto de la ejecución del PIGARSD sería posible repartirla en dos fases:

- 1) Se ejecuta todo el proyecto PIGARSD, excepto la nave de compostaje. Sin embargo ya se prepara el terreno donde se construirá la nave de compostaje. Mientras se ejecuta el proyecto piloto para testar y mejorar el sistema.
- 2) Una vez que el proyecto piloto estará concluido satisfactoriamente se elabora el diseño final de la nave de compostaje de Desaguadero y se lo ejecutará como segunda fase constructiva del PIGARSD.

## 6 Sistema de Incineración de los RSU Peligrosos

Los RSU de los centros de salud (vendajes con sangre, residuos de medicinas, agujas de inyección, etc.), los cadáveres de animales y los residuos de los mataderos forman un riesgo más elevado para la salud porque son vectores típicos para la proliferación de enfermedades. Además los residuos animales no son muy aptos para el compostaje y atraen los carroñeros como ratas, perros, chanchos, buitres y gaviotas.

Aunque generalmente la incineración de los RSU tiene sus propios riesgos por los humos tóxicos, en el caso de los RSU-peligrosos mencionados la incineración se considera la solución menos riesgosa. Las cenizas de la incineración pueden ser enterradas junto con los RSU-inútiles.

Para minimizar los riesgos de los humos tóxicos, el horno de incineración debe ser ubicado a sotavento de las instalaciones de reciclaje y compostaje del RSRS. Además debe formar parte de la capacitación de los empleados para no incinerar los RSU-peligrosos cuando la dirección del viento es desfavorable.

El presente cobertizo de almacenamiento con horno de incineración fue diseñado originalmente para un estudio sobre la contaminación del Lago Titicaca para el Banco Mundial<sup>4</sup>. El ingeniero que diseñó este cobertizo con horno es el mismo ingeniero que hizo este diseño final del PIGARSD. A la entrega el informe del estudio, el Banco Mundial daba permiso para el uso libre del contenido de ese estudio, entonces es permitido para usarlo.

### 6.1 Tipos de RSU Peligrosos

Hay varios tipos de RSU peligrosos:

- Desechos de hospitales y farmacias: vendajes con sangre, residuos de medicinas, agujas de inyección, etc.
- Desechos de industrias: aceite sucio de vehículos, restos de pinturas, disolventes, ácidos de baterías de vehículos, pilas, etc.
- Desechos animales: de mataderos y cadáveres de animales recogidos de las calles.

No todos esos son aptos para incinerar (como ácidos y pilas) pero los inflamables sí se pueden. Aunque generalmente la incineración de los RSU tiene sus propios riesgos por los humos tóxicos, en el caso de los RSU peligrosos la incineración se considera la solución menos riesgosa.

### 6.2 Cobertizo de Almacenamiento con Horno de Incineración

#### 6.2.1 Funcionamiento

Los RSU peligrosos e inflamables serán depositados en un cobertizo al lado del horno de incineración. Cuando está lleno el cobertizo, se incinera los RSU inflamables y peligrosos.

Para disminuir los riesgos de humos tóxicos, el horno está ubicado en un lugar a sotavento de las edificaciones del RSRS. Además los empleados tienen que elegir un momento oportuno para la incineración: es decir cuando el viento no sopla hacia las edificaciones o los partes del vertedero donde están trabajando sus colegas.

Es mejor dejar a apagar el horno de manera natural y sacar las cenizas el día siguiente. Las cenizas sacadas se pueden enterrar junto con los RSU inútiles.

---

<sup>4</sup> Banco Mundial (2008): "Priorización de Inversiones en Saneamiento Municipal Alrededor del Lago Titicaca"

### **6.2.2 Construcción del Cobertizo de Almacenamiento**

Los cimientos y las columnas del cobertizo están hechos de hormigón armado.

Las paredes de ladrillos Gambote tienen un espesor de 0,12 m y una altura de 0,90 m. El cobertizo tiene una superficie de 4 m<sup>2</sup> y un volumen de almacenamiento de 4 m<sup>3</sup>.

El techo de calaminas evita que los RSU peligrosos se mojen por la lluvia. Entre paredes y techo el cobertizo está cerrado por malla olímpica. Así, los RSU pueden secarse más por la ventilación y no pueden entrar los animales ni los pájaros.

### **6.2.3 Construcción del Horno de Incineración**

Los cimientos del horno de incineración están hechos de hormigón armado y las paredes de hormigón ciclópeo. El interior del horno tiene una superficie de 1,00 m<sup>2</sup>.

El horno tiene una reja desmontable de incineración. Debajo de la reja de incineración las paredes del horno tienen aperturas para el acceso de aire. La parte delantera del horno tiene un acceso de 1,00 m<sup>2</sup> con una puerta de hierro: una vez que el horno está cargado e encendido se lo debe cerrar para garantizar un buen tiro de aire y para evitar que los empleados inspiren los humos que pueden ser tóxicos.

Las paredes de la chimenea están hechas de ladrillos Gambote con espesor de 0,25 m. La chimenea debe sobresalir 1,00 m por encima del punto más alto del techo tener suficiente altura para un buen tiro y para evitar el tiro falso por las turbulencias del viento causadas por el techo.

## **6.3 Disposición de las Cenizas**

El día después de la incineración, se puede desmontar la reja del horno para sacar las cenizas que cayeron por abajo.

Por ser potencialmente tóxicas, las cenizas deben ser enterradas junto con los RSU inútiles y no pueden ser utilizadas para otro fin.

## 7 Disposición Final de los RSU Inútiles

Los RSU que no son reciclables (técnicamente o económicamente todavía), deben ser dispuestos de manera responsable, higiénica y sin perjudicar al medioambiente. Entonces es una manera casi opuesta a los basurales al aire libre de conocimiento general.

### 7.1 Principios de un Vertedero Sanitario

- El vertedero está cercado por un cerco firme para impedir la entrada de animales y humanos no autorizados.
- La base del vertedero está impermeabilizada por una capa de arcilla que los lixiviados no pueden contaminar las aguas subterráneas y los lixiviados deben ser evaporados o tratados.
- Para mitigar los lixiviados, el vertedero está protegido contra las aguas de lluvia que pueden entrar escurriendo. Se lo hace por un canal perimetral de desvío y otras medidas de drenaje.
- Luego de la disposición los RSU deben ser cubierto con 0,10 m – 0,20 m de tierra al final de cada día, para evitar que sean arrastrados por el viento o que animales y pájaros los pueden comer.
- Para evitar los riesgos de explosiones, se debe construir chimeneas para dejar a salir los gases de putrefacción.
- Al cierre del vertedero será recubierto por un revestimiento final de tierra de 0,60 m y será plantado con arbustos y pastos.

### 7.2 Dimensión Necesaria del Vertedero

Partiendo de la suposición de separar los RSU orgánicos, papel y cartón, plásticos y metálicos (con 100% de rendimiento), quedarían 44% o aún menos de los RSU para enterrar. Muy interesante por supuesto y justamente la razón mayor para intentarlo.

Sin embargo la separación doméstica implica un cambio riguroso de los actitudes y costumbres de los ciudadanos. Esos tipos de cambio son notorios por ser procesos lentos y difíciles y exigen un compromiso fuerte y de largo aliento de los ciudadanos.

No es realista esperar tanto éxito de los sistemas de separación y reciclaje. Más bien, a pesar de todos los esfuerzos de concientización y capacitación, podría resultar un fracaso completo todavía.

Por eso no se redujo la superficie del vertedero por la reducción de los RSU reciclables. La superficie fue calculada en base al volumen de todos los RSU. Así la vida útil de 20 años del RRSR está garantizada. Lo más se van a separar y reciclar, más larga resultará la vida útil.

El **anexo 2** demuestra la tabulación de toneladas, volúmenes y superficies, por año y por los años cumulativos. Entre 2010 y 2030 se estima que Desaguadero-Perú producirá 60.283 TM de RSU. Por una densidad de 459 Kg/m<sup>3</sup> de los RSU compactados, resultan en:

$$V_{RSU} = \frac{60.283 \text{ TM} * 1000 \text{ Kg/TM}}{459 \text{ Kg/m}^3} = 131.274 \text{ m}^3$$

Junto con 20% de cubierta de tierra para las celdas diarias y otro 20% de cubierta de tierra al cierre del vertedero, el vertedero debe tener un volumen de:

$$V_{vertedero} = 131.274 + 131.274 * (20\% + 20\%) = 183.784 \text{ m}^3$$

Suponiendo tres capas de RSU cubiertas de tierra, mas una cubierta final, la altura del vertedero será:

$$H_{vertedero} = 3 * H_{RSU} + 3 * H_{\text{cub día}} + H_{\text{cub final}}$$

$$H_{\text{vertedero}} = 3 * 1,10 \text{ m} + 3 * 0,20 \text{ m} + 0,60 = 4,50 \text{ m}$$

Entonces la superficie del vertedero debe ser:

$$A_{\text{vertedero}} = \frac{V_{\text{vertedero}}}{H_{\text{vertedero}}} = \frac{183.784 \text{ m}^3}{4,50 \text{ m}} = 40.840 \text{ m}^2$$

La superficie de los terraplenes del vertedero como está diseñada, mide 40.630 m<sup>2</sup>.

## 7.3 Terraplenes

### 7.3.1 Geología del Terreno

La geología del terreno constituye de una capa homogénea de limo-arenoso de algunos metros de espesor sobre un basamento de roca arenisca impermeable que tiene un buzamiento de 45° hacia el sureste. Al borde sureste del terreno se alzan otras colinas de roca arenisca. Por la ausencia de los hundimientos, levantamientos y deslizamientos, se puede suponer que la roca de basamento no tiene fisuras tampoco.

### 7.3.2 Construcción de los Terraplenes

Para evitar los escurrimientos de agua por el terreno del RSRS, están diseñado 9 terraplenes. Los niveles de los terraplenes fueron calculados de tal manera que sobrará de las excavaciones justamente la cantidad de tierra que se necesitará para enterrar diariamente los RSU y para el revestimiento final al cierre del vertedero el año 2030.

Los terraplenes tienen una inclinación de 2,0% opuesto a la inclinación general del terreno para retener los lixiviados dentro del RSRS.

## 7.4 Manejo de los Lixiviados

### 7.4.1 ¿Qué son los Lixiviados?

Los lixiviados son los líquidos que se encuentra en los fondos de los vertederos. Proviene mayormente de la percolación de las aguas de lluvia por los RSU. Son sumamente contaminados: la DBO<sup>5</sup> de los lixiviados de un vertedero varía entre 4000 y 40.000 mg/li con un promedio de alrededor de 13.000 mg/li. Comparado con las aguas residuales de los sistemas de alcantarillado de una ciudad, es una contaminación de 10 – 50 veces más alta. En vista de los rendimientos comunes de las PTAR-s<sup>6</sup>, los lixiviados tratados serían más contaminados todavía que las aguas servidas no-tratadas de un sistema de alcantarillado. Por eso se considera casi imposible tratar adecuadamente los lixiviados.

### 7.4.2 Principios de Manejo de los Lixiviados

Hay dos maneras todavía para tratar los lixiviados:

- 1) Si es posible los puede evacuar a una PTAR municipal: por la dilución con las aguas servidas urbanas, desaparece el problema. Pero la PTAR municipal debe ser dimensionada para tratarlos junto con las aguas servidas urbanas.
- 2) Se puede dejar a evaporarlos: por un sistema de evacuación y una laguna de evaporación fuera del vertedero; o por una red de zanjas de almacenamiento en el fondo del vertedero donde se deja a evaporar los lixiviados por el volumen y la superficie del vertedero mismo.

<sup>5</sup> La Demanda Bioquímica de Oxígeno: uno de los parámetros esenciales para la determinación del nivel de contaminación de las aguas.

<sup>6</sup> Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales: rendimientos de depuración de DBO por encima de 90% se considera muy bien.

### **7.4.3 Piscina de Evaporación de los Lixiviados**

En vista de la configuración geológica, los lixiviados resultarán casi atrapados entre la roca de basamento y las colinas de roca al borde sureste del terreno. La única salida posible es la bajada de la valle hacia el suroeste.

Esta salida es el lado más bajo del RSRS, se construye una piscina de evaporación para los lixiviados que florecen y con esa medida está solucionado suficientemente el tema de los lixiviados. No es necesario colocar un geotextil ni una capa especial de arcilla porque 'la geología ya lo hizo para nosotros'.

### **7.5 Drenaje Perimetral**

Una medida para mitigar las cantidades de lixiviados es evitar que los escurrimientos de lluvia no entren el vertedero sino que sean desviados.

Por eso se coloca un canal perimetral por el vertedero. Por las dimensiones limitadas de la cuenca no es muy grande: una sección transversal de 0,10 m<sup>2</sup> y una pendiente de 1:500 (0,20%).

### **7.6 Manejo de los Gases**

Dentro del vertedero siguen los procesos de putrefacción. Sobre todo son procesos anaeróbicos que generan gases metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros en cantidades menores. Sería peligroso si esos gases se acumulan, porque el metano puede causar explosiones. Por eso se necesita un sistema de chimeneas de drenaje de esos gases: una por cada 500 – 2500 m<sup>2</sup>.

Puesto que se intentará de separar y compostar los RSU orgánicos, los procesos de putrefacción no sean tan intensos, entonces no se necesita muchas chimeneas. Dos chimeneas por cada terraplén son cuatro chimeneas por 7230 m<sup>2</sup>: una chimenea cada 1800 m<sup>2</sup>.

Las chimeneas se hacen a medida que avance el relleno del vertedero, entonces no serán construidos durante la construcción del RSRS. En vez la manera de construir las será parte de los talleres de capacitación de los empleados locales de operación del RSRS.

### **7.7 Cierre del RSRS**

Cuando el vertedero estará lleno, será recubierto por un revestimiento final de tierra de 0,60 m y será plantado con arbustos y pastos. El recubrimiento final también es importante para disminuir la generación de los lixiviados.

### **7.8 Posibilidades de Ampliación del RSRS**

No existen espacios grandes para ampliar el RSRS después de 2030. Al lado sur del RSRS, al otro lado de una quebrada se encuentra un terreno apto de 1,5 Ha, pero casi no vale la pena.

La mejor opción sería al otro lado de la carretera, unos 550 m al oeste de la entrada del RSRS del diseño presente. Así se puede continuar a utilizar las edificaciones del diseño presente.

## 8 Sistemas Adicionales

### 8.1 Camino de Acceso

La entrada del RSRS está al lado de la carretera. Construyendo 25 metros de camino de acceso de 6 metros de anchura y una capa de 0,30 m de ripio será suficiente.

### 8.2 Báscula Puente

Es aconsejable instalar una báscula puente en la entrada para medir las cantidades de RSU que entran y las cantidades de materiales de reciclaje que salen del RSRS. Sobre todo ayudará vender los materiales reciclados por el peso correcto.

Para economizar se puede instalar una báscula puente pequeña de 10 TM para medir el peso de un camión eje por eje.

### 8.3 Plaza de Entrada

La plaza de la entrada será empedrada por los adoquines hexagonales de hormigón para poder resistir las maniobras de los camiones pesados.

### 8.4 Cerco del RSRS

La plaza de entrada constituye de las edificaciones de reciclaje con vehículos, maquinaria, herramientas, documentación administrativo, etc. Por eso será protegido contra los robos por un cerco de malla olímpica de 2,00 m de altura con alambre de púas encima y puertas de acero en las entradas.

### 8.5 Abastecimiento de Agua

Por la imposibilidad de una conexión a la red de agua potable urbana y la ausencia de vertientes naturales, el RSRS debe autoabastecerse de agua lo más posible. Hay dos maneras para conseguir agua sin traerla por camiones cisternas:

- 1) Por cosechar y almacenar la lluvia de los techos.
- 2) Por hacer condensar la humedad que sale por la ventilación del compost.

Después de esas dos medidas no es probable que falte agua todavía.

El abastecimiento de agua es muy vinculado con el proceso de compostaje, porque este proceso consume mucha agua.

La cosecha de lluvia de los techos de las edificaciones depende en gran parte del tamaño del techo de la nave de compostaje, pero eso no puede ser diseñado todavía en espera del proyecto piloto de compostaje.

Unos primeros cálculos indicativos resultan en los parámetros indicativos siguientes:

- Un consumo de agua por el proceso de compostaje de 3100 li/día.
- Un consumo de agua por los empleados de 800 li/día.
- Un consumo total de 3900 li/día.
- Una superficie total de los techos de las edificaciones de 910 m<sup>2</sup>.
- Un tanque de almacenamiento de 68 m<sup>3</sup>.

Por el alto consumo de agua por la nave de compostaje, la cosecha de lluvia suministraría apenas la mitad de la demanda. Vale anticiparse ya a un sistema de condensación de la humedad del sistema de ventilación del compost, en vez de un sistema de cosecha de lluvia.

Sin embargo puede resultar del proyecto piloto que el proceso de compostaje consume menos agua que anticipado. Entonces no es claro todavía qué sistema sería lo más adecuado y qué dimensiones debería tener, hasta que el proyecto piloto de compostaje da más claridad.

## 8.6 Alcantarillado y Tratamiento de las Aguas Servidas

Las edificaciones del RSRS deben ser conectadas a un sistema de alcantarillado adecuado y las aguas servidas deben ser tratadas por un tanque séptico de dos cámaras.

Las edificaciones e instalaciones que producen aguas servidas están conectadas a un sistema de alcantarillado:

- Los baños y duchas del alojamiento de los empleados
- Drenaje de la plataforma de separación.
- Drenaje de los pozos de compostaje.
- Drenaje del almacén de compost exterior.

La red de alcantarillado será de tubería PVC de Ø4", puesto por una inclinación mínima de 1:100 (1,00%) hacia el tanque séptico. La tubería tiene un recubrimiento mínimo de tierra de:

- Debajo de lugares transitables por vehículos motorizados: 1,00 m.
- Debajo de lugares no-transitables por vehículos motorizados: 0,60 m.

El tanque séptico debe tener dos cámaras con un volumen total de 10 m<sup>3</sup>. Los tamaños hidráulicos de las dos cámaras del tanque séptico son:

- Primera cámara (L\*B\*H): 3,00 m \* 1,50 m \* 1,50 m
- Segunda cámara (L\*B\*H): 1,50 m \* 1,50 m \* 1,50 m

El espacio libre entre el agua y el techo de las cámaras es de 0,30 m. Las entradas y salidas de las cámaras están sumergidas en el agua por 0,50 m.

## 8.7 Conexión Eléctrica

El RSRS necesita la energía eléctrica trifásica (380 V), sobre todo para la maquinaria de la nava de compostaje futura (grúa de compost y ventiladores). Además se necesita la energía eléctrica monofásica (220 V) para la cocina, las duchas, iluminación, etc.

La distancia del RSRS hasta Desaguadero-Perú es casi 6 Km, entonces puede ser más factible instalar un generador de corriente en vez de extender la red pública de electricidad por tantos kilómetros. A no ser que se pueda adelantar una extensión planificada a largo plazo para la electrificación del área rural.

## 8.8 Empleados

Los empleados del RSRS deben disponer de ropa protectora, herramientas y maquinarias adecuadas y condiciones de trabajo higiénicas y humanas. Eso incluye un alojamiento con luz y agua caliente que consiste de un vestuario con baños y duchas y una cantina con cocina.

No se puede ignorar la importancia de los recursos humanos: empleados mal tratados hacen su trabajo de mala calidad. Para tomar en serio la gestión de los RSU, se debe tomar en serio las necesidades y condiciones de trabajo de los empleados.

### 8.8.1 Número de Empleados

Según los indicadores de tiempos unitarios de trabajo de Jorge Jaramillo, el trabajo en el RSRS de Desaguadero-Perú en el año 2030 exige 10 jornales.

Sin embargo eso no incluye los trabajos suplementarios por la separación posterior de los RSU, ni por la operación del proceso de compostaje. De otro modo en el año 2010 las cantidades de RSU son menos todavía.

Por eso se aconseja empezar el manejo del RSRS con 4 peones para separar la basura posteriormente, manejar el proceso de compostaje y enterrar los RSU inútiles en el vertedero. Pero se debe monitorear la necesidad de aumento peones en el transcurso de los años.

Un supervisor es necesario siempre: como primer responsable, para indicar y supervisar los trabajos de los peones, para la recepción de los camiones llegando y saliendo y para la administración del RSRS en general.

Entonces al inicio trabajan 5 empleados en el RSRS: 1 supervisor y 4 peones. En el transcurso de los años los peones pueden ser ampliados hasta 10 o más. Por el tamaño puede resultar necesario tener un portero para estar presente siempre en la plaza de entrada.

### **8.8.2 Edificación de Alojamiento**

Los empleados necesitan un alojamiento en el terreno del RSRS para cambiarse de ropa, ducharse irse al baño, tomar una pausa de descanso, almorzar, refugiarse de las lluvias o granizadas y para llevar la administración del RSRS.

Por eso fue diseñado un alojamiento con:

- Un cuarto de recepción y administración (con mesa, asiento y archivador)
- Una cantina para 12 personas (con mesas, asientos, armario, vajilla y cubiertos)
- Una cocina (con armario, mesón, agua, cocina a gas, ollas, batería de cocina y utensilios de limpieza)
- Un vestuario (con 4 duchas calientes, 2 baños, un urinario, 4 bancos y 12 taquillas para las pertenencias personales)

### **8.8.3 Vestido Protectora**

Para poder trabajar de manera higiénica y segura, los empleados deben recibir un vestido protectora que consiste de:

- Botas de seguridad (1 par por año)
- Guantes (1 par por mes)
- Gorra o sombrero (2 por año)
- Mascarillas contra el polvo (4 por año)
- Overol (2 por año)

Es trabajo duro en un ambiente inhóspito, entonces el empleador debe entender y responder al desgaste rápido de los vestidos protectoras.

### **8.8.4 Herramientas**

Las herramientas necesarias para el RSRS de Desaguadero-Perú incluyen:

- Pala: 6 pza.
- Pala tijera 3 pza.
- Picote 6 pza.
- Barra 3 pza.
- Pisón de mano 4 pza.
- Horquilla o rastrillo 4 pza.
- Carretilla 4 pza.
- Rodillo compactador 2 pza.

Al final del día deben ser limpiadas y guardadas en el garaje. Daños deben ser reparados o sustituidos a la brevedad posible.

## Conclusiones

El análisis efectuado es calculado para un periodo de vida útil de 20 años, se calcula para las proyecciones efectuadas una cantidad de residuos producido de 0.300 Kg/hab/día para el año 2030 y con una composición de los RSU como la siguiente:

Tipo de RSU	Promedio	
	Kg/hab/día	%
Orgánico:	0,089	37,3%
Papel & Cartón:	0,034	14,3%
Plásticos & Botellas PET:	0,056	23,5%
Metálicos:	0,010	4,3%
Vidrio & Cerámica:	0,001	0,5%
Tierra & Cenizas:	0,043	18,0%
Textiles:	0,004	1,8%
Químicos (pilas):	0,001	0,4%
<b>Total:</b>	<b>0,238</b>	<b>100%</b>

El Sistema de Separación Doméstica de los RSU ; también efectúa la recomendación para identificar los tipos de RSU para Separar; los recipientes para la separación, definiendo también los tipos de Recipientes Domiciliarios como los de los Recipientes de Edificios, Instituciones y Empresas.

En cuanto a la Presentación de los Desechos para el sistema de Recolección sugiere Horario y Lugar de Presentación de los Desechos; Tipo de Embalaje para los Desechos Institucionales, Empresarial y de Mercados y Ferias; también es reconocido que este proceso requiere de la Colaboración Ciudadana y también la necesidad de efectuar un Control Social

Sistema de Recolección de los RSU; los cálculos demuestran que será necesario implementar un sistema de 09 triciclos equipados apropiadamente, el dimensionamiento de los Terminales de Desechos para una capacidad de 54m<sup>3</sup> y 36 m<sup>3</sup> ubicándose hasta la ciudad también fue producto de un análisis de Delimitación de los Sectores y Ubicación de los Terminales.

Sistema de Reciclaje de los RSU Inorgánicos; la propuesta incluye el diseño de una Plataforma de Separación; Almacenes de Reciclaje, según las siguientes especificaciones:

- Papel y Cartón: 6,50 m \* 6,00 m \* 2,00 m
- Plásticos: 6,50 m \* 6,00 m \* 2,00 m
- Metálicos: 4,00 m \* 3,00 m \* 2,00 m
- Vidrio: 4,00 m \* 3,00 m \* 2,00 m

Sistema de Compostaje de los RSU Orgánicos; debido a la composición de los RSU de desaguedero, es conveniente efectuar una propuesta en este sentido; se propone un proyecto en un nivel piloto, pero operativo.

Sistema de Incineración de los RSU Peligrosos; el diseño técnico propone una plataforma de almacenaje, o Cobertizo de Almacenamiento con Horno de Incineración un Horno de Incineración; así como la recomendación para la Disposición de las Cenizas.

Disposición Final de los RSU Inútiles el análisis hace una propuesta considerando los Principios de un Vertedero Sanitario estableciendo una Dimensión Necesaria del Vertedero de 40.630 m<sup>2</sup>, la conformación de los Terraplenes y el material para Enterrar los RSU, las consideraciones para mantener un Fondo Impermeable y el proceso de operación del relleno propone las medidas apropiadas para el Manejo de los Lixiviados las cuales incluye la instalación de Zanjias de Evaporación de los Lixiviados; para proteger la infraestructura se prevé la construcción de un Drenaje Perimetral provisiones para el Manejo de los Gases y también las Posibilidades de Ampliación del RSRS.

Sistemas Adicionales; la propuesta incluye la construcción del Camino de Acceso, instalación de una Báscula Puente, Plaza de Entrada, Cerco del RSRS, propuesta para el Abastecimiento de Agua el Alcantarillado y Tratamiento de las Aguas Servidas y las instalaciones eléctricas.

Por su parte también efectúa la propuesta del personal que opera el servicio (Empleados), las Edificaciones para Alojamiento, Vestido Protectora y el Kit de Herramientas necesarias.



## **Anexos**

Anexo 1: Producción de RSU de Desaguadero-Perú y sus Componentes

Anexo 2: Cálculo Cuantitativo de los RSU de Desaguadero-Perú



# Dibujos