

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE
VALPARAÍSO**

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería en Construcción

**Metodología de Caracterización de Residuos Sólidos
Urbanos y Bases Para el Desarrollo de un Laboratorio**

Tesis Para Optar al Grado de Ingeniero Constructor.

Por :

Jaime Muñoz Jofré

Profesor Guía : Marcel Szanto Narea

Septiembre 1999

RESUMEN

El objetivo general planteado es generar datos sobre las características reales de los residuos sólidos urbanos para que la toma de decisiones que realizan los municipios sea más precisa y contenga las fases de separación en origen, recolección y disposición final y viabilidad económica, además de consideraciones ambientales que protejan la salud de la población y el patrimonio natural.

Por otro lado, los principales objetivos específicos fueron:

- Desarrollar una metodología para caracterizar los residuos sólidos domiciliarios con grados de confiabilidad y precisión predeterminados.
- Definir las bases para la instalación de un laboratorio de residuos sólidos.

La presente tesis se subdivide en cinco etapas que conducen, en una secuencia lógica, hacia los objetivos planteados. Los capítulos en donde se desarrollan dichas etapas son:

INTRODUCCION A LA PROBLEMÁTICA DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS

SÓLIDOS URBANOS. En este capítulo se enfoca el problema sanitario que implica el mal manejo de los residuos sólidos urbanos, entregando un marco general para comprender mejor la importancia que tiene el diseño de una metodología de caracterización de estos en la gestión integral y en especial la vida cotidiana de cada ciudadano.

SITUACION EN IBEROAMERICA DEL MANEJO DE RSU.

En este capítulo se analiza cada una de las etapas de la gestión integral de los RSU, a fin de evaluar el impacto que tiene un buen diagnóstico, y enfocar cuales son las variables importantes de analizar, con el fin de que la metodología y análisis de los datos que entregue cada estudio de caracterización proporcionen información relevante. Este análisis, a diferencia de la bibliografía común, proporciona antecedentes de los estudios de RSU en iberoamérica en cada etapa. Se concluye en la importancia de estos estudios, que son una primera aproximación a la problemática, y además que resulta imposible comparar datos entre sus caracterizaciones, ya que muchos carecen de exactitud, precisión y niveles de confiabilidad estadística que respalden los datos mostrados.

HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS.

En este capítulo se entregan las herramientas estadísticas necesarias para el desarrollo de la metodología de caracterización. Su importancia radica en que se hace un análisis de las caracterizaciones realizadas a través de 14 años de investigación de RSU en la ciudad de Madrid, y basándose en estos se determinan factores de comportamiento estadístico de los residuos que pueden ser adaptados a la realidad de Chile y en general de América Latina.

METODOLOGIA DE CARACTERIZACION.

En este capítulo se entrega directamente la metodología que debe ser adoptada al momento de enfrentar un estudio de caracterización de RSU. Se presenta un nuevo concepto de caracterización estrella, que además de entregar los datos de composición de RSU y sus características

esenciales, sirve como herramienta de trabajo para un planificador urbano, ya que analiza el comportamiento de la población de acuerdo a su calidad de vida enfocada desde el punto de vista de los residuos que generen.

LABORATORIO DE RESIDUOS SOLIDOS DOMICILIARIOS. Finalmente en este capítulo se entregan los elementos necesarios para el conocimiento de las características de los residuos mostrando los equipos, procedimientos y metodologías normalmente usadas para dichos fines.

INTRODUCCION.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos ha ocasionado un problema sanitario importante en zonas de alta densidad de población. Una de las causas de mayor importancia de este problema, es la desinformación existente. Por ello, esta tesis propone como objetivo general el generar datos sobre las características reales de los residuos sólidos urbanos para la toma de decisiones que realizan los municipios que comprenda separación en origen, recolección y disposición final, viabilidad económica y consideraciones ambientales que protejan la salud de la población y el patrimonio natural del área territorial de ambas comunas.

Es así, como en lo más específico, esta tesis se centra en dos objetivos. Primero, el desarrollar una metodología para caracterizar los residuos sólidos domiciliarios con grados de confiabilidad y precisión predeterminados, y segundo, definir las bases para la instalación de un laboratorio de residuos sólidos, con el cual se puedan analizar las características definidas como importantes.

La gestión de residuos sólidos la podemos definir como una disciplina asociada al proceso de control de producción, almacenamiento, recolección, transporte transferencia, tratamiento y disposición final de estos, en tal forma que de acuerdo con los principios básicos de la Ingeniería están involucradas las funciones tanto administrativas como legales, técnicas y financieras, incidentes en el problema de manejo de Residuos Sólidos que afecta a los habitantes de la comunidad.

Si bien es cierto en nuestro país se conoce el tema de gestión de residuos sólidos ancestralmente como *problema*, no parece demasiado insólita esta formulación si nos detenemos a pensar que desde tiempos en que Chile se comenzaba a organizar en municipios hasta hoy en día, y aún cuando se ha definido que una de las funciones fundamentales de estos era la solución de dicho inconveniente, y observamos siempre la misma preocupación pero sin una clara política de gestión integral ni forma ordenada e informada de tomar las decisiones.

También podemos apreciar en la literatura mundial que ya a principios de 1900 se trataba el manejo de residuos desde un punto de vista más técnico. Hoy en día

conocemos prácticamente los mismos métodos de ese entonces, donde ha sido reemplazada la carreta tirada por caballos por camiones cerrados, con compactación y de mayor capacidad. Pero se debe insistir en que los métodos básicos de recolección siguen siendo los mismos y en especial en nuestro país que por algún tiempo más tendrán que ser esencialmente intensivos en mano de obra.

En breves palabras, antes de esbozar la forma de enfrentar lo que se ha definido como un *problema* de gestión, es necesario indicar que incide en él, la falta de profesionales especializados enfrentando estas tareas, como también la inexistencia de metodologías claras de actuación y de datos que nos permitan una mejor toma de decisiones.

Frente a esta situación se hacen comunes y de hecho se plantean a nivel de municipalidades y entidades encargadas algunas interrogantes.

- ¿Es el sistema actualmente utilizado para la eliminación de residuos el más adecuado?
 - ¿Qué tipo de solución de tratamiento o eliminación se debe elegir?
 - Dentro de las tecnologías existentes en el mercado ¿cuál es la más conveniente a nuestras necesidades y realidad?
 - ¿Es fundamental plantear el reciclaje de residuos en estos momentos?
 - ¿Es posible implementar las mismas tecnologías extranjeras en nuestras comunas?
- ¿Cómo deben ser dispuestos nuestros residuos?
- ¿Cómo debo financiar la gestión adecuada de residuos?

Todas estas preguntas y muchas más son las que deben enfrentar los técnicos municipales a la hora de tomar decisiones acerca del tema. Sin embargo resulta complejo responder puesto que son temas difíciles de enfrentar ya que las soluciones no son simples, únicas y fáciles de llevar a la práctica.

En el desarrollo se enfoca el problema sanitario que implica el mal manejo de los residuos sólidos urbanos, entregando un marco general para comprender mejor la importancia que tiene el diseño de una metodología de caracterización de estos en la gestión integral y en especial la vida cotidiana de cada ciudadano.

También se analiza cada una de las etapas de la gestión integral de los RSU, a fin de evaluar el impacto que tiene un buen diagnóstico, y enfocar cuales son las variables importantes de analizar, con el fin de que la metodología y análisis de los datos que entregue cada estudio de caracterización entregue información relevante. Además se revisan los anteriores trabajos de diagnóstico de residuos sólidos urbanos en América Latina y en especial el caso de Chile, concluyendo que la importancia de estos es que son una primera aproximación a la problemática y resulta imposible comparar datos entre caracterizaciones ya que carecen de exactitud, precisión y niveles de confiabilidad estadística que respalden los datos mostrados.

Por otro lado, se entregan las herramientas estadísticas necesarias para el desarrollo de la metodología de caracterización. Su importancia radica en que se hace un análisis de las caracterizaciones realizadas a través de 14 años de investigación de RSU en la ciudad de Madrid, y basándose en estos se determinan factores de comportamiento estadístico de los residuos que pueden ser adaptados a la realidad de Chile y en general de América Latina.

Además, entrega directamente la metodología que debe ser adoptada al momento de enfrentar un estudio de caracterización de RSU. Se presenta un nuevo concepto de caracterización estrella, que además de entregar los datos de composición de RSU y sus características esenciales, sirve como herramienta de trabajo para un planificador urbano, ya que analiza el comportamiento de la población de acuerdo a su calidad de vida enfocada desde el punto de vista de los residuos que generen.

Finalmente, se entregan los elementos necesarios para el conocimiento de las características de los residuos mostrando los equipos, procedimientos y metodologías normalmente usadas para dichos fines.

1. INTRODUCCIÓN A LA PROBLEMÁTICA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.

1.1 PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL DE LOS RSU.

Los problemas de la evacuación de residuos pueden ser observados desde los tiempos en los que los seres humanos comenzaron a congregarse en tribus, aldeas y comunidades y la acumulación de residuos llegó a ser una consecuencia de la vida. El hecho de arrojar comida y otros residuos sólidos en las ciudades medievales -la práctica de tirar los residuos a las calles sin pavimento, carreteras, y terrenos vacíos- llevó a la reproducción de ratas, propiciando plagas como la peste bubónica.

La falta de planes para la gestión de los residuos sólidos colocó al mundo bajo riesgo de epidemias. Un claro ejemplo es la peste denominada *muerte negra*, que mató a la mitad de los europeos del siglo XIV, causando muchas epidemias subsiguientes con altos índices de mortalidad. No fue hasta el siglo XIX, cuando las medidas de control de la salud pública llegaron a ser de una consideración vital para los funcionarios públicos, quienes empezaron a darse cuenta que los residuos de comida tenían que ser recogidos y evacuados de una forma sanitaria para controlar la proliferación de forma nociva.

La relación entre la salud pública y el almacenamiento, recolección y evacuación inapropiados de residuos sólidos, está muy clara. Las autoridades de la salud pública han demostrado que las ratas, moscas, y otros transmisores de enfermedades, proliferan en vertederos incontrolados, tanto como en viviendas mal construidas o mal mantenidas, en instalaciones de almacenamiento de comida, y en muchos otros lugares donde hay comida y cobijo para las ratas, y los insectos asociados a ellas. El Servicio de Salud Pública de los EE.UU. (USPHS) ha publicado los resultados de un estudio, relacionando 22 enfermedades humanas con la gestión incorrecta de residuos sólidos.

A través de los años, el medio ambiente (agua, aire, suelo) ha sido el recipiente de todos los productos de desechos resultantes de las actividades humanas.

Mientras estos desechos fueron depositados en el medio ambiente en pequeñas cantidades y en forma dispersa, el medio receptor fue capaz de asimilarlos sin sufrir

daños o cambios irreversibles, mientras tuvo la capacidad y el tiempo suficientes para inactivarlos, absorberlos, dispersarlos o estabilizarlos. Como consecuencia, el daño causado resultó relativamente limitado y, en general, los recursos afectados fueron capaces de recobrar la mayoría de sus características originales.

Durante las últimas décadas, la población rural ha venido emigrando en número creciente a los centros urbanos, sumándose a esa migración el incremento vegetativo de la población urbana en sí, lo que ha dado como resultado una concentración demográfica en áreas relativamente reducidas y, en consecuencia, una sobreproducción de residuos. Tanto debido a la cantidad, como a la manera en que los desechos han sido depositados en el medio ambiente de las áreas urbanas, éste no ha podido absorber el impacto de la sobrecarga, generándose un deterioro paulatino, irreversible en algunos casos. Los daños sociales y económicos a consecuencia de esta producción y eliminación indiscriminada de desechos ha llegado a tener tal magnitud, que actualmente son considerados como problemas de primer orden que requieren atención y medidas inmediatas para su control y su solución a corto, mediano y largo plazo.

Así es como en las grandes urbes, los problemas relativos a la contaminación y deterioro generalizado del medio ambiente son ya considerados, tanto o más apremiantes que los del aprovisionamiento de agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, transporte y vías de comunicación, ya que la ausencia de un medio ambiente adecuado conduce a que los servicios mencionados se conviertan en actividades irrelevantes para una comunidad con problemas de supervivencia.

En áreas de desarrollo económico reciente -lo que incluye a gran parte de Latinoamérica- los centros urbanos han debido enfrentar los problemas derivados del crecimiento acelerado de la población, agudizado particularmente por una desproporcionada afluencia de la población rural hacia las ciudades.

El vertido, como simple acumulación o abandono de los residuos en espacios destinados a tal efecto, ha sido y es la forma más utilizada para apartar las basuras de los núcleos de población.

Inicialmente el sistema quizá haya partido del principio de que dichos residuos, situados en espacios alejados de los centros urbanos, puedan experimentar de forma primaria un reciclaje natural. Aquí cabría hacer la diferenciación entre materiales residuales que

proviene del consumo doméstico (que son recogidos y reciclados a través de la actividad agraria) y otros productos cuya naturaleza los hace impropios para ser aprovechados por los agricultores. Fueron estos últimos productos, precisamente, los que dieron origen a los vertederos.

Esta forma de eliminación es origen de graves atentados contra el entorno, no sólo entendidos como degradación del medio en las proximidades de los vertederos, sino como causa de grave impacto ambiental a mayores distancias.

A esta forma de tratamiento de los residuos, la denominaremos vertido incontrolado, en contraposición al controlado. El crecimiento de las aglomeraciones urbanas ha ocasionado la subsiguiente dificultad: disponer de terrenos hábiles para ese vertido incontrolado de los residuos. El incremento de la tasa de producción de basuras por habitante y día, así como la disminución de la densidad de las mismas, han generado mayores cantidades y volúmenes de materiales residuales a eliminar.

Este efecto condiciona todavía más la disponibilidad de espacios aptos para el vertido, a la par que contribuye a agotar los existentes. Por otro lado, el crecimiento industrial ha generado nuevas e importantes masas de residuos que también es preciso evacuar.

Residuos que, bien sea por la limitación volumétrica de los centros de vertido, o por la peligrosidad manifiesta de algunos de ellos, se han visto sistemáticamente rechazados en los vertederos.

Este hecho y la inexistencia de áreas de vertido habilitadas para la entrega organizada de este tipo de residuos, han extendido la malsana práctica de lo que se viene denominando vertidos salvajes, entendidos como la simple deposición de los residuos, sólidos o no, (gran parte de las veces de procedencia industrial o asimilables) en cualquier espacio y de cualquier forma.

Esta situación se ha visto favorecida por otras circunstancias que parece conveniente señalar, entre ellas la inexistencia de áreas de vertido habilitadas -ortodoxamente o no- para la entrega organizada de estos tipos de residuos.

En muchas ocasiones este tipo de vertido disperso e incontrolado da origen al denominado microvertedero incontrolado.

En muchos países, existe un grave vacío legal en materia de protección ambiental. Nótese la laguna legal que implica la arbitraria figura de la responsabilidad sobre los efectos de los residuos que queda trasladada al transportista, una vez que éste ha efectuado la operación de recogida y carga de su vehículo, con lo que el industrial puede desentenderse de las consecuencias últimas que puedan generar los residuos por él producidos.

Esta práctica sirve además de amparo para el vertido también salvaje de restos de la construcción y derribos, detritus de fosas sépticas, desechos agro-ganaderos y también de las propias basuras domiciliarias.

La consecuencia es el grave deterioro ambiental del entorno, estético y también sanitario, que no es tan poco frecuente contemplar en los alrededores de los núcleos de población.

Uno de los posibles efectos del vertido no controlado de residuos es la contaminación de aguas subterráneas, como consecuencia de su contacto con líquidos producidos en el vertido. Esta puede ocasionarse porque los propios líquidos de lixiviación de la masa vertida alcancen a las aguas subterráneas o por la percolación producida por las aguas superficiales -generalmente de lluvia- que, una vez han atravesado el vertido, entran en contacto con corrientes subterráneas. También puede deberse a la elevación del nivel freático, que hace que las aguas subterráneas se contaminen por contacto directo con los residuos o con los lixiviados. Este tipo de daños puede ser especialmente importante en aquellas aglomeraciones urbanas que se surten de captaciones profundas de agua, o zonas agrícolas que emplean para riego aguas de pozo. La contaminación de aguas superficiales ordinariamente es más ocasional y se ve disminuida por su mayor volumen de dilución.

El gas metano producido como consecuencia de la fermentación anaerobia de la materia orgánica contenida en las basuras, con una buena práctica de vertido, debe emigrar al exterior, pero puede acumularse en bolsas, lo cual supone un peligro potencial tanto para el vertedero (riesgo de incendio o de explosión) como para las edificaciones situadas en su proximidad.

A este riesgo de incendio debe añadirse la práctica habitual de encender las basuras para reducir su volumen y aprovechar así intensivamente los espacios disponibles para el vertido.

La cremación, sea cual fuere su origen, comporta ordinariamente la emisión de humos y gases tóxicos, cuando no irritantes y malolientes, cuya extensión en la atmósfera produce impacto hasta distancias considerables.

El problema es especialmente serio si las materias en combustión contienen metales pesados y caucho. Además, en condiciones de inversión térmica, la inmisión de humos en la atmósfera, puede contribuir a la formación de nieblas que se acumulen sobre las vías de comunicación.

Desde el punto de vista estético cabe tener en cuenta la observación de un comité de expertos de la OMS: "La riqueza material no basta para asegurar un bienestar mental y social del hombre. Le hace falta también un medio físico donde pueda llevar una vida agradable y tranquila. Los detritus de que están alfombradas las ciudades y los campos, constituyen uno de los más flagrantes atentados a la belleza del ambiente".

En síntesis, los principales problemas medioambientales de los RSU son la proliferación de vectores (roedores, insectos, gusanos, etc.), agentes portadores de enfermedades; la emanación de olores, como resultado de la descomposición de materia orgánica; la contaminación de aguas superficiales y subterráneas por líquidos provenientes de la descomposición de los residuos; y el deterioro estético, como resultado de la presencia y/o acumulación de residuos en lugares inadecuados.

Todos estos problemas constituyen costos para la sociedad, que de una manera u otra afectan a cada uno de los ciudadanos de un país.

1.2 PROBLEMÁTICA ECONÓMICA DE LOS RSU.

Varios estudios a nivel mundial indican que la generación de RSU está positivamente relacionada con el ingreso per cápita, lo que seguramente refleja el impacto neto de varias relaciones implícitas, tales como los efectos del ingreso sobre el consumo, sobre

la distribución de consumo entre bienes y servicios, y sobre la demanda por calidad ambiental.

“La calidad ambiental es probablemente como muchos de los bienes: los hogares de altos ingresos probablemente exijan más que los hogares de bajos ingresos y estén dispuestos a pagar más por ello. Además, la complejidad y distancia (en tiempo o espacio) de la salud y las implicaciones estéticas del aire, tierra, y la agua de baja calidad hacen probable que los hogares con mayor educación tengan más fuertes preferencias por la calidad ambiental. Esto refuerza el efecto del ingreso sobre la demanda por calidad ambiental porque los ingresos más altos se encuentran asociados con niveles más altos de educación (Baumol y Oates 1988).”

“La asociación positiva entre ingreso y generación de RSU puede reflejar también el efecto neto de los salarios más altos sobre la cantidad de desechos producidos por las actividades hogareñas. Los salarios más altos se asocian normalmente con una valorización más alta de tiempo y por lo tanto con compras mayores de alimentos preparados, que generan más desechos de empaque y menos derroche de trozos alimentarios, menos uso de carbón o madera para calentar y cocinar (que generan cenizas) y mayor confianza en la electricidad o el metano, y menos esfuerzo dedicado a reciclaje de residuos para ganancia pecuniaria personal. Así, los salarios más altos afectan no solamente la cantidad de RSU que se genera, sino también su composición y el grado en el que los hogares procesan los residuos antes de desecharlos.

Una cantidad de variables de precio también influyen los comportamientos que afectan la generación, composición, y gestión de RSU. Estando todo lo demás igual, los mayores precios de mercado ofrecidos por reciclables crean los incentivos para hogares y firmas para reunir, limpiar, y transportar los materiales extraídos desde la basura para la venta y reutilización.

El precio que debe pagarse para la eliminación de la basura también afecta las acciones de hogares y firmas. Por ejemplo, los residentes de Seattle, Wash., pagan una tarifa por cada tarro de basura normalizado que ellos presentan para la recolección. Esto ha conducido al "pisoteo Seattle", ya que los residentes tratan de comprimir tanta basura como sea posible en un tarro para minimizar sus costos de recolección (Richards 1993). En los países en vías de desarrollo, las opciones menos costosas para la eliminación de

basura -tirarlas en espacios públicos o quemarlas en espacios abiertos- son frecuentemente las más populares (Bartone y Bernstein 1993). Aunque baratos desde el punto de vista de desembolso y de efectos ambientales para aquellos que queman o arrojan la basura, estos actos pueden imponer grandes costos sobre la sociedad. Pueden ocasionarse problemas estéticos, ambientales y de salud, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas.

La contaminación del abastecimiento de agua ocasionada por la descarga de basuras en fosas no demarcadas ni selladas y la contaminación del aire producida por la quema de basuras en los sitios de descarga o en toscos incineradores pueden ocasionar también problemas urgentes de limpieza y salud, particularmente si los RSU contienen materiales peligrosos. Sin un reembolso, los hogares individuales no tienen incentivos para escoger una forma de disposición de basuras más costosa pero menos dañina para la sociedad.

Es muy difícil recolectar pagos voluntarios desde otros hogares que se benefician de los mejores métodos de eliminación, porque la regulación privada del uso de propiedad común es dura para controlar e imponer. Además, aún cuando el mercado para la gestión de servicios reflejase la disponibilidad de personas que viven hoy para pagar por la calidad ambiental, esto no reflejaría las preferencias de las futuras generaciones que serán forzadas a sostener los costos de prácticas actuales de gestión.

Los hogares y las firmas a las que se deje usar dispositivos o recursos propios pueden cosechar los beneficios de evitar inversión en una eliminación de residuos medioambientalmente sana, pero ellos dejan un legado de daño mucho mayor a las futuras generaciones.” David N. Beede y David E. Bloom, “The Economics of Solid Waste” (“The World Bank Research Observer”, volumen 10, número 2, agosto 1995).

La vida en comunidad conduce a que las personas o las familias no tengan plena libertad para decidir cómo manejar los residuos que generan, ya que un manejo beneficioso para algunos puede implicar costos a otros miembros de la comunidad (externalidades negativas).

A pesar de que sería posible una cierta concertación entre las distintas familias que conforman una comunidad para manejar en conjunto sus residuos, no se espera que de tales decisiones se alcance el mínimo costo social. Además, los residuos sólidos

urbanos no son sólo domiciliarios. De ahí que lo habitual es que el Estado asuma la responsabilidad de la gestión de residuos sólidos urbanos, sea por cuenta propia o mediante servicios de terceros

Además, los recursos de propiedad común y las externalidades intergeneracionales crean los incentivos para hogares y firmas a subconsumir servicios en el mercado privado para la gestión de RSU. Debido a que los beneficios de algunos tipos de gestión de RSU a hogares y firmas son inferiores a los beneficios para la sociedad, las intervenciones óptimas de gobierno son aquellas que logran acoplar lo más estrechamente posible los incentivos privados y sociales para la eliminación de RSU.

En general, las entidades estatales más directamente involucradas con la gestión de los RSU son los Ministerios o Secretarías de Salud y Medio Ambiente, a través del organismo respectivo y las autoridades locales.

Estos organismos gubernamentales deben cooperar con la función legislativa en la dictación de normas sanitarias relacionadas con la recolección, transporte y tratamiento de los RSU y debe constituirse en el principal elemento fiscalizador de su cumplimiento e -idealmente- actuando además como un organismo de apoyo a la gestión que realizan las autoridades locales en estos aspectos.

Las autoridades locales, específicamente los municipios deben ocuparse de la gestión operativa de los residuos sólidos en sus fases de recolección-transporte y tratamiento, sin perjuicio de que puedan entregar la totalidad o parte de ellas en concesión a particulares, o bien, realizarlas en conjunto con otros municipios.

Con el objeto de financiar los costos de recolección y tratamiento de los residuos, los municipios cobran generalmente una tarifa o tasa a las familias y a los locales comerciales/industriales, la cual se percibe simultáneamente con determinados impuestos. Además, los municipios fijan un canon especial por concepto de recolección y eliminación de los residuos de origen comercial o industrial que excedan un determinado volumen mínimo.

1.3 EL ESTUDIO DEL PROBLEMA.

Entonces la labor de los técnicos será tratar de acercarnos a un diagnóstico a través de una generalización de la gestión en el manejo de residuos. La gestión básicamente contempla y utiliza una serie de técnicas en su totalidad, desde el momento en que el generador ha colocado los desechos en la puerta de su hogar para su recolección hasta su disposición final.

A continuación se indican los límites de las etapas de gestión de residuos sólidos en forma ordenada según su estudio para llegar a una solución final del problema.

1.3.1 Factores a considerar.

- Estudios cuantitativos. Su objeto es saber cual es la cantidad de residuos que se producen en la zona y cual es su distribución espacial y temporal.

- Estudios prospectivos. Esto es una predicción del comportamiento de los residuos a través del tiempo.

- Estudios cualitativos. Para un correcto enfoque de soluciones necesitamos conocer las cualidades y propiedades de los residuos.

1.3.2 Estudio de viabilidad.

- Factibilidad de implementación.

| |
|------------------------|
| Estudios Urbanísticos. |
|------------------------|

| |
|----------------------|
| Estudios ecológicos. |
|----------------------|

| |
|-------------------------|
| Estudios de transporte. |
|-------------------------|

- Determinación de la factibilidad teórica elemental.

- Determinación de la solución óptima.

Evidentemente que se requerirá una metodología a partir de la recogida de la información necesaria y de la realización de los estudios correspondientes. Para este efecto se debe haber elaborado un plan generalizado, que pueda ser aplicado por cualquier equipo técnico.

La realización de este plan, contempla seis factores, considerando en ellas los residuos generados urbanos, industriales o agrícolas, dependiendo del área a estudiar.

- Fase 1. Situación actual.
- Fase 2. Análisis de la situación.
- Fase 3. Estudio de soluciones.
- Fase 4. Presentación de soluciones.
- Fase 5. Aspectos Administrativos y legales.
- Fase 6. Redacción del proyecto.

Metodología de actuación:

Fase 1. Situación actual.

En esta fase se efectúa un inventario y recogida de todos los datos locales del ámbito del estudio y necesarios para el desarrollo de la totalidad del mismo.

Para este cometido se deberán cumplir las siguientes sub-fases:

- Inventario de información existente. Se procederá a recopilar y examinar en detalle la información que directa o indirectamente esté relacionada con los residuos sólidos.

En concreto se gestionará principalmente el examen de dicha información en los siguientes organismos:

- Municipalidades.
- Empresas de servicios.

- Universidades.
- Gobierno Regional.
- Servicio de Salud Pública.
- Cámara de Comercio.
- Instituto Geográfico de la Armada.
- Ministerio de Planificación.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- Otros.

- **Inventario de la legislación existente.** Se reunirá la información legal que exista y que deberá considerar los niveles nacional y local. Además se debe complementar con el aporte de la legislación y acuerdos internacionales.

- **Evaluación de datos.** La información obtenida permitirá componer un informe de síntesis de los datos existentes. Este recogerá la información respecto a los siguientes factores.

Para residuos sólidos urbanos:

- Distribuciones de población
- Evaluación demográfica
- Generación
- Análisis cuantitativo
- Características físicas
- Presentación de los residuos en la pre-recogida
- Metodología de recogida
- Metodología de transporte

- Metodología de tratamiento/eliminación
- Ubicación de puntos de tratamiento/eliminación
- Costos.

- **Recogida de información complementaria.** Teniendo presente la evaluación de datos existentes en esta sub-fase, se actualizarán y definirán en concreto los estudios analíticos y de inventario a realizar para complementar la Fase 1. Esto es, definir la situación actual.

- **Plan de actuación para residuos sólidos urbanos.**

Trabajos encaminados al conocimiento de cuatro parámetros.

- Producción de residuos por habitantes en forma diaria (kg/hab/día).
- Características físicas y químicas.
- Variaciones estacionales.
- Evolución.

- **Situación actual.** La recopilación de todos los datos obtenidos permitirá conocer la situación actual en cuanto a magnitud del problema y medios empleados en su solución.

Figura 1.1. Diagrama de actuación en estudios de RSU.



1.4. EL CONCEPTO DE RESIDUO SÓLIDO URBANO.

La Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), en su directiva 75/442 especifica que se entiende por residuo "cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor tenga la obligación de desprenderse en virtud de las disposiciones nacionales vigentes".

La "Environment Protection Agency (EPA)" de los Estados Unidos (1989) define textualmente: "se entiende como residuo sólido cualquier basura, desperdicio, lodo y otros materiales sólidos de desechos resultantes de las actividades industriales, comerciales y de la comunidad. No incluye sólidos o materiales disueltos en las aguas de los canales de descarga de la irrigación, ni otros contaminantes comunes en el agua". En esta definición está implícita una clasificación de los residuos, de acuerdo a su origen o fuente generadora. Por su parte, en la legislación brasileña, se ha agregado a esa definición una clasificación de residuos en peligrosos, inertes y no inertes.

Otras organizaciones, definen a los residuos como aquellas materias generadas en la actividad de producción y consumo que no alcanzan en el contexto en que son producidos ningún valor económico, lo que puede deberse tanto a la falta de una tecnología adecuada para su aprovechamiento como a la inexistencia de un mercado para los productos recuperados.

En síntesis, puede definirse un *residuo* como todo resto o material resultante de un proceso de producción, transformación o utilización que resulte abandonado o que su poseedor o productor decida abandonar.

Sin embargo, tal definición sólo identifica al residuo como un resto (parte de un bien), no incluyendo la posibilidad de que un bien completo sea un residuo, tampoco profundiza en la razón por la cual el poseedor está interesado en abandonarlo.

Complementando la definición anterior, se puede definir un *residuo sólido* como parte o totalidad de un bien que representa una desutilidad a quien lo posee.

Un *residuo sólido urbano* (RSU) no es más que un residuo sólido generado por cualquier actividad en los núcleos urbanos, incluyendo tanto los de carácter doméstico como los provenientes de cualquier otra actividad generadora de residuos dentro del ámbito urbano.

La definición anterior se centra en la desutilidad o utilidad negativa inherente al residuo sólido, que es lo que conduce a que el poseedor o productor del bien esté interesado en abandonarlo parcial o totalmente.

De acuerdo a lo expresado, para que un bien o parte de él sea considerado -individual o socialmente- como un residuo, basta que la cantidad demandada para su aprovechamiento sea nula o negativa.

Nótense a lo menos dos diferencias importantes entre el residuo sólido urbano y el residuo sólido rural:

- El residuo sólido rural puede ser recuperado naturalmente (alimentación del ganado, abono de la tierra, etc.), o bien eliminado mediante su simple abandono en el campo. El RSU no puede ser eliminado o recuperado naturalmente, debido al lugar en que se genera y a su composición (alta incidencia de materiales no orgánicos).

- Ligado a lo anterior, los residuos orgánicos o combustibles le proporcionan al agricultor una utilidad positiva, prácticamente sin costos adicionales, lo que al menos en

parte permite cerrar un ciclo de actividad económica. En cambio, el ciudadano considera al residuo como una molestia y se requiere de una organización social de servicio, con un importante costo adicional, para que los residuos puedan ser manejados.

Dados los conocimientos tecnológicos de la sociedad actual, sólo un número reducido de bienes son irrecuperables tanto individual como socialmente. Todos los demás bienes presentan una cierta utilidad, ya sea directamente (por ejemplo, una vieja prenda de vestir) o potencialmente como inputs de un proceso de transformación (por ejemplo, los papeles y cartones usados que pueden ser reciclados).

De ahí que la definición de residuo sólido deba ser entendida en un conjunto dado de condiciones, puesto que un bien o parte de él puede significar -por ejemplo- un residuo para los individuos y en cambio ser aprovechado por un grupo social.

Hasta épocas muy recientes -y aún en la época actual- los residuos sólidos urbanos (RSU) han sido considerados como algo que debe ser eliminado, salvo por la acción de grupos sociales marginados o de pequeñas empresas de recolección manual que han recuperado parte de los residuos para su posterior venta.

El problema del tratamiento de los RSU implica en primera instancia conocer en qué condiciones un residuo merece el calificativo de tal, ya que -de no tenerlo claro- se podría desaprovechar posibilidades de reutilización, o bien, crear procesos de transformación para los que no existe demanda y cuyo producto sería -por lo tanto- un residuo. De ahí la importancia de haber precisado claramente el concepto, antes de continuar.

Una vez realizadas estas consideraciones sobre el concepto de RSU, se puede completar esa visión con una clasificación de los distintos grupos de RSU:

- residuos propiamente domiciliarios;
- residuos de mercados y mataderos;
- residuos de establecimientos de salud;
- residuos que provienen de la limpieza y barrido de calles;

- residuos producidos por la limpieza y mantenimiento de playas, zonas recreativas y otros lugares de uso público;
- residuos resultantes de los trabajos de obras en construcción;
- lodos y fangos producidos en la depuración de aguas residuales urbanas;
- residuos procedentes de la limpieza de pozos negros, alcantarillas y similares;
- residuos comerciales y de oficinas;
- residuos urbanos voluminosos;
- residuos resultantes del abandono de vehículos;
- restos de podas, mantenimiento y conservación de zonas verdes;
- residuos correspondientes a la recogida de animales muertos y
- residuos específicos tóxicos y peligrosos procedentes de laboratorios, centros de investigación, centros docentes y otros.

Se podría elaborar un listado mucho más extenso, si se piensa que, por ejemplo, no se ha incluido los residuos procedentes de mezclas de distintas actividades (agraria, minera, industrial) y que se generan dentro del núcleo urbano. Como se analizará posteriormente, la diferenciación en la recogida de los distintos tipos de RSU es un factor preponderante a la hora de analizar las posibilidades de reutilización de determinados residuos.

A fin de alcanzar un mayor grado de síntesis en la clasificación antes expuesta y una mejor comprensión de sus diferentes características, *los RSU se pueden agrupar de acuerdo a la fuente de generación* de éstos en el núcleo urbano, de la siguiente manera:

1.4.1. Residuos domiciliarios.

Proceden de las distintas actividades de la vida en comunidad. Se presentan en dimensiones manejables y generalmente en recipientes más o menos normalizados (bolsas, contenedores, etc.).

Comprenden los residuos procedentes de las viviendas, de la limpieza de calles y veredas, de zonas verdes y de los establecimientos industriales y comerciales cuando son asimilables a los residuos domiciliarios (por ejemplo: material de oficina, restos de comedores de empresas, etc.).

1.4.2. Residuos voluminosos.

Son materiales de desecho de origen doméstico que por su forma, tamaño, volumen o peso son difíciles de ser recogidos y/o transportados por los servicios de recogida convencionales. Tal es el caso de muebles, colchones, electrodomésticos, etc.

Dado que cada vez será más frecuente el abandono clandestino de estos desechos, es necesario conocer la naturaleza, composición y cantidad de éstos, con el fin de disponer de los medios adecuados para su recogida, tratamiento y posible recuperación.

1.4.3. Residuos comerciales.

Están constituidos por los residuos de la actividad de los diferentes circuitos de distribución de bienes de consumo (por ejemplo, embalajes, residuos orgánicos de mercados y ferias, etc.).

1.4.4. Residuos sanitarios o de establecimientos de salud.

Son los derivados de actividades sanitarias procedentes de hospitales, clínicas, laboratorios de análisis clínicos, laboratorios de investigaciones biológicas y establecimientos similares, como -por ejemplo- determinadas industrias farmacéuticas. Estos residuos se caracterizan por la presencia tanto de gérmenes patógenos como de restos de diversos medicamentos.

1.4.5. Residuos de construcciones y demoliciones.

Proceden de obras de construcción. Por ello, se componen de escombros, ladrillos, maderas, vidrios, etc.

1.4.6. Residuos industriales.

Son los generados en cualquier actividad industrial y han de recogerse o depositarse en recipientes adecuados, debido a que, en general, se encuentra prohibido su vertido en las redes de alcantarillado público, en el suelo, en el subsuelo, en los cauces públicos o en el mar litoral. Ejemplos típicos de estos residuos son los aceites y los disolventes químicos, entre muchos otros.

2. SITUACION EN IBEROAMERICA DEL MANEJO DE RSU.

Se denomina manejo integral de los residuos sólidos urbanos al conjunto de operaciones encaminadas a dar a los residuos producidos en una zona, el destino global más adecuado desde el punto de vista ambiental, especialmente en lo concerniente a los aspectos de carácter sanitario, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costo de tratamiento, posibilidades de recuperación y de comercialización y directrices administrativas en este campo.

2.1. CADENA DE ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.

La *cadena de eliminación de los residuos* comprende las siguientes actividades:

- **Pre-recogida.**

La acumulación de los residuos en uno o varios recipientes apropiados está a cargo de los usuarios, así como la colocación de los cubos de basura u otros depósitos delante de las viviendas o en los puntos de recolección, en la fecha y hora establecidas.

- **Recogida.**

Mediante vehículos especializados se realiza la operación de recogida y vaciado de todos los recipientes mencionados.

- **Limpieza viaria.**

Barrido de calles, aceras y mercados, lavado de documentos y sitios especiales, recogida de desperdicios y desechos peatonales (papeles, botellas, eyecciones animales, etc.), limpieza de parques, jardines, playas y otras áreas públicas

- Transporte y transferencia.

Centralización de los residuos en estaciones de transferencia, cuando el centro de tratamiento se encuentra lejos de los puntos de recogida.

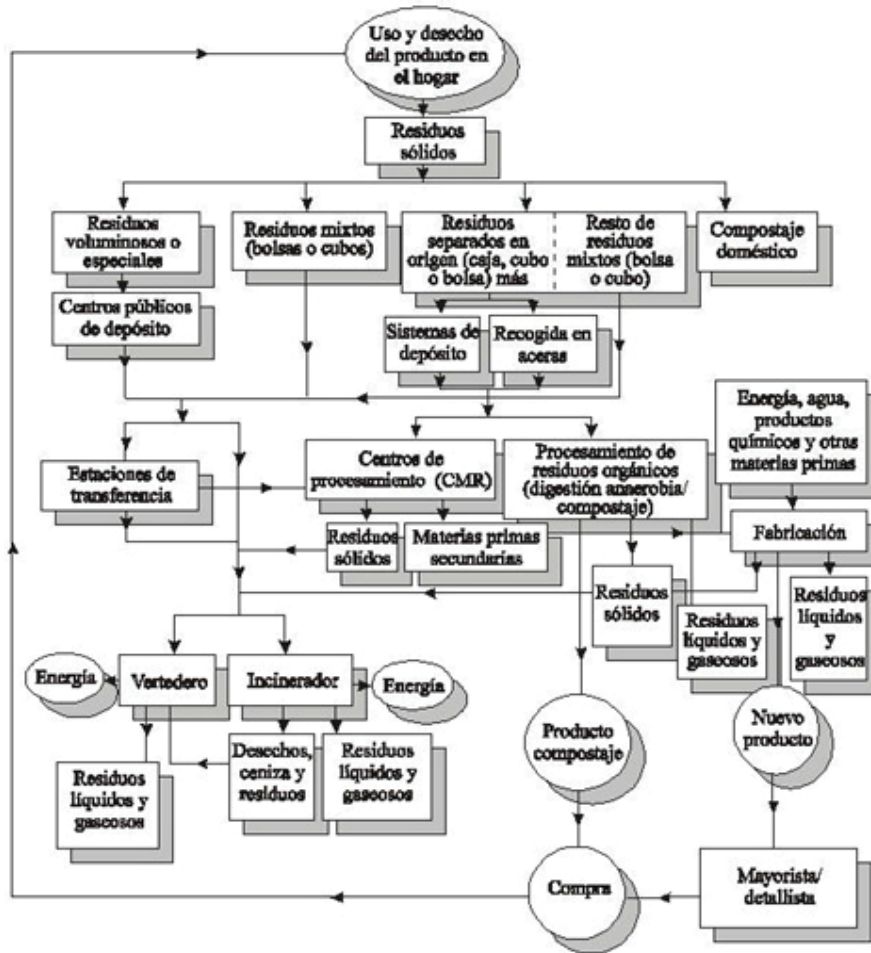
- Tratamiento y valorización.

Estas operaciones están destinadas a realizar la transformación de los residuos en las mejores condiciones de higiene y de protección del medio ambiente. Los diversos procedimientos de valorización contribuyen a la mejora de los suelos agrícolas, a la producción de energía y a la recuperación de materias primas.

- Disposición final.

Se refiere a los métodos de ingeniería para la disposición de residuos sólidos en el suelo, de manera que se le dé protección al ambiente mediante el esparcido de los residuos en pequeñas capas compactándolas al menor volumen práctico y cubriéndolas con tierra al final del día de trabajo.

Figura 2.1: Cadena de eliminación de residuos.



2.1.1. Fase de pre-recogida.

Esta fase comprende desde el momento de generación de los residuos al interior de una vivienda o local comercial/industrial hasta su presentación al personal de recolección, fase que también recibe la denominación de *manejo en origen*.

El manejo intraedificacional o en la fuente corresponde al almacenamiento y tratamiento al interior de la unidad habitacional o comercial/industrial. Por su parte, el manejo periedificacional corresponde al almacenamiento o forma de presentación de los residuos al exterior de las respectivas unidades, a la espera de ser recolectados por los servicios de aseo.

A pesar de que esta fase no es de la absoluta responsabilidad de los servicios de aseo y escapa en alguna medida a su control, presenta problemas tanto de carácter sanitario

como de eficacia y eficiencia para el sistema de recolección y transporte. De ahí que no deba soslayarse su importancia dentro de una visión integral de la gestión de residuos sólidos urbanos.

Al interior de las unidades habitacionales o comerciales/industriales, un mal manejo puede acarrear serios problemas sanitarios a quienes están en contacto directo o indirecto con los residuos. Las campañas de educación medioambiental con énfasis en el manejo intraedificacional de los residuos pueden cooperar a una minimización de tales problemas e incluso a que se realice una cierta recuperación y/o separación de residuos en origen.

En cuanto a la recolección de los residuos, uno de los problemas es el desorden que se observa por parte de los ciudadanos a la hora de entregar sus residuos para que los servicios municipales puedan retirarlos. Es por ello que cada municipio debe establecer Ordenanzas que contengan las prescripciones técnicas mínimas que obliguen a presentar los residuos en las condiciones higiénicas más idóneas, y en las horas y lugares previamente establecidos.

2.1.2 Fase de recogida-transporte.

Esta fase comprende el conjunto de operaciones de carga-transporte-descarga desde que los residuos son presentados periedificacionalmente hasta que son descargados por los vehículos recolectores en un punto de tratamiento, en una estación de transferencia o en el sitio de disposición final.

Lo normal es que la recolección sea realizada en camiones especialmente acondicionados para tal efecto. No obstante, en el medio rural es posible observar el uso de camiones no especializados, o bien, otros tipos de vehículos, tales como los carros y remolques, que son movidos por tracción animal o tractores.

La fase de recogida-transporte representa entre un 60 y un 80% de los costos globales del manejo de RSU. Por su importancia económica debe ser planificada y administrada cuidadosamente, a lo menos en los siguientes aspectos:

- Diseño de rutas de recolección

- Frecuencia de la recolección
- Horarios de recolección
- Equipos
- Personal

2.1.3 Fase de transferencia.

En ocasiones, las exigencias económicas y medioambientales que obligan a transportar las basuras a distancias importantes, no hacen aconsejable que los vehículos de recogida convencionales realicen esta fase del servicio en forma completa. Su alto costo y especialización, así como el hecho de que requieran 3 o 4 personas para su operación obliga a reducir al máximo los tiempos improductivos. La solución habitual consiste en separar la función de recogida de la función de transporte, vaciando los camiones de recogida sobre camiones más grandes y más adecuados para el transporte a distancia de grandes volúmenes de residuos. Esta ruptura del sistema de recogida se efectúa en las denominadas *plantas de transferencia*.

La estructura más simple de una planta de transferencia se compone de una plataforma elevada en unos tres metros en relación con el nivel del suelo. Esta plataforma es accesible a los vehículos de recolección por medio de una rampa de acceso y sus dimensiones deben permitir la evolución de un vehículo de recolección. Los camiones de recogida vacían directamente sobre unas tolvas que por gravedad descargan los residuos sobre los contenedores de gran capacidad (25 a 50 m³).

Los compactadores fijos, ubicados en la base de la tolva, compactan la basura que cae en los contenedores, reduciendo el volumen de los residuos y aumentando la capacidad de carga de los contenedores.

Según se van llenando los contenedores, son evacuados por camiones provistos de dispositivos especiales para su manejo, y luego transportados al lugar de tratamiento.

El número de camiones necesarios es función de la distancia al lugar de tratamiento y del número de toneladas a evacuar.

En general, se estima necesaria la instalación de plantas de transferencia cuando se genera una cantidad de residuos importantes y la distancia de transporte de los residuos al lugar de tratamiento es superior a 15-20 km.

2.1.4 Fase de tratamiento.

Se entiende por tratamiento y disposición de residuos el conjunto de operaciones encaminadas a su eliminación o al aprovechamiento de los recursos contenidos en ellos. Los sistemas actualmente más utilizados son: el relleno sanitario, la incineración, el reciclado y el compostaje. Si bien aún es muy utilizado el vertido o vaciadero incontrolado para eliminar las basuras, éste no puede ser considerado un sistema de tratamiento, sino un simple abandono de las mismas.

El relleno sanitario consiste en la colocación de los residuos sobre el terreno, extendiéndolos en capas de poco espesor y compactándolos para disminuir su volumen. Asimismo, se realiza la cobertura diaria con material adecuado para minimizar los riesgos de contaminación ambiental y para favorecer la transformación biológica de los materiales degradables.

En cualquier caso, hay que considerar que el relleno es un sistema complementario de cualquier otro tipo de tratamiento, puesto que todas las formas de tratamiento producen restos que hay que eliminar finalmente.

La incineración es un proceso de combustión controlada que transforma la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en materiales inertes (cenizas) y gases. No es un sistema de eliminación total, pues genera cenizas, escorias y gases, pero determina una importante reducción de peso y volumen de las basuras originales.

La reducción de peso es aproximadamente del 70% y el volumen del 80 al 90% dependiendo fundamentalmente del contenido de fracciones de combustibles e inertes.

El reciclado es un proceso que tiene por objeto la recuperación de forma directa o indirecta de los componentes que contienen los residuos urbanos.

Este sistema de tratamiento viene impuesto por el nuevo concepto de gestión de los residuos sólidos que debe tender a lograr los objetivos siguientes:

- conservación o ahorro de energía;
- conservación o ahorro de recursos naturales;
- disminución del volumen de residuos que hay que eliminar; y
- protección del medio ambiente.

El reciclado puede efectuarse de dos formas. La primera consiste en la separación de los componentes presentes en las basuras, para su recuperación directa, dando así origen a lo que se conoce como *recolección selectiva*. La segunda forma de efectuar el reciclado es partiendo de las basuras brutas, o sea efectuando un tratamiento global de los residuos sólidos urbanos mediante técnicas comunales de la industria minera y metalúrgica, tales como la trituración, cribado y clasificación neumática para lo concerniente a la preparación del residuo y separación de las fracciones ligeras; y sistemas de clasificación por vía húmeda, electromagnética, electrostáticos, ópticos y flotación por espumas para la obtención y depuración de metales y vidrio.

Figura 2.2: Datos sobre reciclaje en algunas ciudades de América Latina y el Caribe.

| LOCALIDAD O CIUDAD (AÑO) | RECICLAJE ⁽¹⁾ (%) | COSTO T BASURA ⁽²⁾ | COSTO REC. T RECIC, ⁽³⁾ | TIPO DE RECICLAJE | VALOR T RECIC ⁽⁴⁾ | COMENTARIOS |
|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------------|--------------|
| SAO PAULO (94) | 0.4 | 26 | 460 | DOM. SEPARADA | 50 | PROG. PILOTO |
| BUENOS AIRES (94) | - | 24 | 200-500 | CONTEN. DE ACOPIO | 55 | PROG. PILOTO |

| | | | | | | |
|---------------------------|-----|----|-----|----------------------|----|-----------------|
| CALI (94) | 4 | 25 | 70 | DOM. SEPARAD A | 50 | PROG. PILOTO |
| LIMA (96) | 7.0 | | | INFORMA L | | |
| SANTIAGO DE CHILE (96) | 4.0 | | | SEPARAD A | | |
| MÉXICO (7 CIUDADES) | 0.5 | - | - | INFORMA L | 90 | PROG. PILOTO |
| CIUDAD JUAREZ (84) | 2.4 | - | - | - | - | - |
| BELLO HORIZONTE (94) | 5.0 | - | 200 | DOM. SEPARAD A | - | - |

(1) Residuos recuperados relación residuos generados (%)

(2) Costo por t. de RSM recolectado en US\$

(3) Costo de recuperación por t reciclable en US\$

(4) Valor en el mercado por t reciclable en US\$

FUENTE: OPS. El manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. 1995. Serie Ambiental N° 15.

El compostaje es un proceso de descomposición biológica, por vía aerobia o anaerobia de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos en condiciones controladas. Las bacterias actuantes son termofílicas, desarrollándose el proceso a

temperaturas comprendidas entre 50 y 70°C, lo que produce la eliminación de los gérmenes patógenos y la inocuidad del producto.

El proceso lleva consigo la separación manual o mecanizada de la mayor parte de los metales, vidrio y plásticos. La descomposición puede ser natural (al aire libre) o acelerada (en digestores).

Como resultado del proceso de compostaje, el volumen de los desechos orgánicos puede verse reducido entre 50 a 85%. El producto terminado es una sustancia de color café oscuro denominado compost o en algunos lugares humus.

Puede considerarse el compostaje como un proceso de reciclaje en el que se recupera la fracción orgánica de los desechos, utilizándola en su condición de compost (acondicionador orgánico) en labores agrícolas.

- Tendencias actuales en el tratamiento de los residuos sólidos urbanos. Los tres sistemas actualmente más utilizados para el tratamiento y la eliminación de las basuras son la incineración, el reciclaje y el relleno sanitario. Dada su incidencia sobre la organización del servicio y sobre los costos resultantes, se señalan algunas de sus principales características.

Una de las principales variables a tener en cuenta en la selección es la correspondiente a la composición de las basuras. Tal como se ha señalado en secciones anteriores, la producción y la composición de los RSU es consecuencia de los hábitos de consumo, a la vez que el nivel de desarrollo económico y el ingreso “per cápita” tiene una clara influencia sobre la calidad y cantidad de su producción total.

A ese respecto, debe destacarse la relativa estabilidad de una parte de los residuos resultantes -los orgánicos- tanto en volumen por habitante como en su propia composición, porque proceden de determinadas estructuras en la producción agraria que son muy difícilmente modificables: las condiciones climatológicas y edafológicas de un país son casi constantes.

Figura 2.3.: Tendencias mundiales del tratamiento y disposición final.

| PORCENTAJES DE TRATAMIENTO O DISPOSICIÓN FINAL (90) | | | |
|---|--|------------|---------|
| PAÍS O REGIÓN | RELLENO SANITARIO (O BASURERO) | COMBUSTIÓN | COMPOST |
| ESTADOS UNIDOS | 80 | 19 | <1 |
| JAPÓN | 30 | 70 | 2 |
| ALEMANIA | 70 | 30 | 3 |
| FRANCIA | 55 | 40 | 9 |
| SUIZA | 20 | 80 | - |
| SUECIA | 40 | 55 | 5 |
| ESPAÑA | 80 | 15 | 5 |
| AMÉRICA LATINA | 98 | <1 | <1 |

FUENTE: OPS. El manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. 1995. Serie Ambiental N° 15.

Figura 2.4.: Tratamiento de los RSM en algunas ciudades.

| CIUDAD | RELLENO SANITARIO O (*) | INCINER A-CIÓN | COMPOSTAJ E | RECICLAJ E EN PLANTA | OTROS TRATA M. | FINANCIACI ÓN DEL TRATAMIEN TO |
|--------|-------------------------------|-------------------|----------------|----------------------------|----------------------|---|
|--------|-------------------------------|-------------------|----------------|----------------------------|----------------------|---|

| | | | | | | |
|----------------|------|----------|---|-------|---|--|
| SAO PAULO | 94 % | 1,1 % | 4,5 % (500 T/DÍA) PRECIO: \$0.50/T | 0,4 % | - | SUBSIDIAD A |
| RÍO DE JANEIRO | 81 % | - | 900 T/DIA PRECIO: \$8.00/T | 4 % | - | SUBSIDIAD A |
| BRASILIA | 73 % | 1 % | 13% | 3 % | - | SUBSIDIAD A |
| MÉXICO | 92 % | INACTIVA | PRODUCÍA 200 T/DIA SIN PRECIO, NO SE VENDÍA | 7% | - | SUBSIDIAD A (ANTIGUA PLANTA COMPOST DE 750 T/DÍA FUE CERRADA) |
| MONTEVIDEO | 99 % | < 1% | - | - | - | SUBSIDIAD A |
| CALI | 90 % | - | 70 T/DÍA US\$ 24/T | - | - | SUBSIDIAD A |

| | | | | | | |
|-------------------|-------|---|---|--|--|-----------------|
| LA HABANA | 100 % | - | - | | PLANTAS PARA PROCESAR ALIMENTO PARA CERDOS | SIN INFORMACIÓN |
| ASUNCIÓN | 100 % | - | - | | - | SUBSIDIADA |
| SANTIAGO DE CHILE | 100 % | - | - | | RECUPERAR EL BIOGAS | |

(*) Algunos son sólo rellenos controlados.

FUENTES: OPS. El manejo de residuos sólidos municipales en América latina y el Caribe. 1995. Serie Ambiental N° 15.

OPS. Sistema de Monitoreo de Residuos Urbanos. SIMRU. 1996.

2.1.5 Relleno sanitario o vertedero sanitariamente controlado.

Tal como se mencionó en la sección anterior, el relleno sanitario consiste en la disposición de las basuras en terrenos idóneos para ello, generalmente alejados de los núcleos urbanos, mediante su cobertura diaria con materia inerte y teniendo en cuenta un conjunto de medidas operativas de control y cuidados necesarios a tal fin. Exige superficies considerables generalmente alejadas de los núcleos urbanos, y su deficiente gestión puede ocasionar un impacto ambiental adverso.

Se define como relleno sanitario el método de ingeniería para la disposición de residuos sólidos en el suelo, de manera que se le dé protección al ambiente mediante el esparcido de los residuos en pequeñas capas compactándolas al menor volumen práctico y

cubriéndolas con tierra al final del día de trabajo. Los factores que controlan los procesos son: oxígeno, agua y temperatura.

A su favor presenta la facilidad de su puesta en operación, costos económicos reducidos y la posibilidad de absorber cantidades variables de residuos a tratar. La vida de la planta es función de su capacidad total y no de la duración del equipo industrial, como sucede en las otras técnicas. Además la disposición final es la última etapa del ciclo de los residuos sólidos, la cual no puede ser evitada ya que, independientemente del manejo y tratamiento que se les de, siempre existirá una parte por disponer, siendo el relleno sanitario el método adecuado para realizar dicha disposición.

2.2 EXPERIENCIAS EN CHILE SOBRE EL ANÁLISIS DE RESIDUOS SÓLIDOS.

En este apartado se pretende dar una visión general sobre los resultados de los últimos estudios nacionales realizados en ciudades que tengan más de cien mil habitantes. Dichos estudios fueron encargados a consultoras privadas por el Ministerio de Planificación de la República de Chile.

Si bien es cierto los estudios fueron solicitados por el mismo mandante, y se les solicitó a las empresas consultoras que identificasen las características de los residuos, también es cierto que dichas empresas utilizaron metodologías distintas en cuanto a los trabajos de terreno. Por otro lado, cabe señalar que estos estudios tienen un gran valor desde el momento en que fueron ideados, ya que son una primera aproximación, y bastante precisa, a la realidad del manejo integral de los residuos sólidos en Chile. Entonces en una segunda etapa, se recomienda que las metodologías utilizadas fuesen, en lo particular, las mismas a fin de mantener la certeza que los datos son comparables en un 100% entre si, y que fuesen además comparables con otros estudios públicos o privados.

Figura 2.5.: Datos sobre los rellenos sanitarios en algunas ciudades.

| CIUDAD | CALIDAD DEL RELLENO (MÉTODO) | PROPORCIÓN RELLENADA DE LO RECOLECTADO | T/DÍA RELLENO | NÚMERO RELLENO | VENTILACIÓN BIOGAS | UTILIZACIÓN BIOGAS | COSTO RELLENO \$/T |
|------------------------|------------------------------|--|---------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| MÉXICO, D.F. | BUENO (ÁREA) | 50 % | 5.000 | 1 | SI | NO | 4.00 (op.) |
| LIMA, PERÚ | BUENO (ÁREA) | 30 % | 1.500 | 2 | SI | NO | 4.00 (op.) |
| RÍO DE JANEIRO, BRASIL | BUENO (ÁREA) | 81 % | 5.500 | 3 | SI | SI | 12.00 |
| SAO PAULO, BRASIL | BUENO (ÁREA) | 94 % | 11.800 | 3 | SI | NO | 6.00 |
| SANTIAGO, CHILE | BUENO (ÁREA) | 100 % | 4.600 | 2 | SI | SI | 6.00 |
| LA HABANA, CUBA | BUENO (AREA) | 80 % | 1.500 | 2 | NO | NO | - |

| | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------|-------|-------|---|----|----|-------|
| CARACAS, VENEZUELA | BUENO (ÁREA) | 100 % | 3.400 | 2 | SI | NO | - |
| SAN JOSÉ, COSTA RICA | BUENO (ÁREA) | 100 % | 500 | 1 | - | NO | 2.90 |
| BOGOTÁ, COLOMBIA | BUENO (ÁREA) | 100 % | 4.200 | 1 | SI | NO | 2.70 |
| BUENOS AIRES, ARGENTINA | BUENO | 100 % | 9.600 | 5 | SI | NO | 10.00 |
| LA PAZ, BOLIVIA | BUENO | 100 % | 350 | 1 | SI | NO | - |
| MEDELLÍN, COLOMBIA | BUENO | 100 % | 750 | 1 | SI | NO | - |
| GUAYAQUIL, ECUADOR | BUENO | 100 % | 1.400 | 1 | SI | NO | 2.20 |
| ROSARIO, ARGENTINA | REGULAR | 100 % | 700 | 1 | - | NO | - |

| | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|-------|-------|---|----|----|------|
| BRASILIA , BRASIL | REGULA R | 75% | 1.100 | 1 | - | NO | - |
| CURITIBA , BRASIL | BUENO | 100 % | 1.300 | 1 | - | - | - |
| MONTER REY, MÉXICO | REGULA R | 100 % | 2.400 | 1 | NI | NO | - |
| TRINIDA D Y TOBAGO | REGULA R | 100 % | 1.200 | 3 | SI | NO | 5.40 |

FUENTE: OPS. El manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. 1995. Serie Ambiental N°15.

OPS. Sistema de Monitoreo de Residuos Urbanos, SIMRU. 1996.

Exposiciones del XXV Congreso de AIDIS en México. 1996.

NOTA: op. = Costos de operación sin amortización

Tot = costos de operación con amortización

Figura 2.6.: Información sobre rellenos sanitarios en algunos países de América Latina y el Caribe a nivel nacional.

| PAÍS | INFORMACIÓN SOBRE RELLENOS SANITARIOS |
|-----------|---|
| ARGENTINA | Existen 5 rellenos sanitarios ubicados en el área metropolitana de buenos aires y uno en córdoba. |
| BRASIL | Se estima que apenas 3% de 40 mil toneladas recolectadas diariamente tienen una disposición final adecuada. |

| | | |
|--------------------|---|--|
| CHILE | | El 83% de lo recolectado en 184 ciudades del país se dispone en rellenos sanitarios. |
| COLOMBIA | | Con excepción de medellín y bogotá no hay rellenos sanitarios en el país. |
| COSTA RICA | | No hay rellenos sanitarios en el país. |
| ECUADOR | | Hay un relleno sanitario en guayaquil y rellenos controlados en quito. |
| GUATEMALA | | No hay rellenos sanitarios en el país. |
| MÉXICO | | Se estima que solo hay 10 a 15 rellenos sanitarios en el país, incluidos 2 rellenos en el distrito federal. |
| PERÚ | | No hay rellenos sanitarios en el país. |
| TRINIDAD TOBAGO | Y | En trinidad hay 3 rellenos controlados y en tobago hay un relleno controlado. |
| URUGUAY | | No hay rellenos sanitarios en el país. |
| VENEZUELA | | En 11 zonas de estudio, que abarcan 38 municipios servidos incluida el área metropolitana de caracas, no hay ningun relleno sanitario. |

FUENTE: “Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe” (Guido Acurio, Antonio Rossin, Paulo Fernando Teixeira, Francisco Zepeda; BID/OPS; 1997).

Figura 2.7.: Métodos de manejo de desechos en instalaciones de atención de salud en ciertos países de la región.

| PAÍS | ZONA | HOSPITALES PÚBLICOS | HOSPITALES PRIVADOS | OTROS SERVICIOS DE SALUD |
|------|------|------------------------|------------------------|--------------------------------|
| | | | | |

| | | | | |
|-----------|----------------|---|--------------------|--------|
| ARGENTINA | NACIONAL | IN (20%), AL (38%), OT (42%) | | |
| BOLIVIA | LA PAZ | RS | RS | RS |
| | COCHABAMBA | RS | RS | RS |
| | SANTA CRUZ | IN, RS | RS | ND |
| BRASIL | SAO PAULO | IN + RS (59%), OT (41%) | | |
| | BAHÍA | RS | - | - |
| | RÍO DE JANEIRO | IN, RS | - | IN |
| COLOMBIA | BOGOTÁ | IN, RS | IN, RS | - |
| CUBA | CIENFUEGOS | IN, RS, AL ¹ | - | - |
| CHILE | METROPOLITANA | IN ² (41%), OT (59%) | IN (38%), OT (62%) | |
| ECUADOR | NACIONAL | ND | ND | ND |
| GUATEMALA | METROPOLITANA | OT | OT | OT |
| GUAYANA | NACIONAL | IN (10%), RS (90%) ³ | IN | - |
| JAMAICA | KINGSTON | IN ⁴ (25%) ³ . RS, AL | IN (50%), RS, AL | RS, AL |
| MÉXICO | ZMCC | RS, OT | RS, OT | RS, OT |
| | MONTERREY | IN, RS | IN, RS | IN, RS |

| | | | | |
|----------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------------------|--------|
| | GUADALAJAR A | IN (5%), RS | ND | - |
| NICARAGUA | MANAGUA | IN, RS, AL | IN, RS, AL | RS |
| PARAGUAY | ASUNCIÓN | IN | IN | RS, OT |
| PERÚ | NACIONAL | IN (3%) ³ . RS, OT | IN (3%) ³ . RS, OT | RS, OT |
| TRINIDAD Y TOBAGO | NACIONAL | IN ⁴ , RS | IN ⁴ , RS | - |
| URUGUAY | NACIONAL | IN | IN | - |
| VENEZUELA | CARACAS | IN (40%) ³ , RS | IN (31%) ³ , RS | - |

AL : Eliminación al aire libre

OT : Otro (no especificado)

IN : Incineración

ND : No existen datos

RS : Relleno Sanitario

- : No existe

NOTAS

1. El tratamiento o eliminación se basa en la clasificación de los desechos.

IN: materiales clínicos y objetos punzocortantes;

RS: desechos anatomopatológicos;

OA: desechos comunes.

2. En forma similar a Cuba, el tratamiento se lleva a cabo tomando como base la clasificación de desechos:

IN: Residuos infecciosos, en promedio 40% de los desechos;

OT: los desechos restantes se llevan a la caldera del crematorio o al tranque digestor del cementerio.

3. Calculado sobre la base del número de hospitales.

4. Inclinación a temperatura baja.

FUENTE: OPS. Desechos peligrosos y salud en América Latina y el Caribe. 1994. Serie Ambiental N° 14.

2.2.1 Diagnóstico de situación en las ciudades de Coyhaique, Puerto Aysén Y Puerto Chacabuco.

- Antecedentes Generales.

Las comunas de Coyhaique y Aysén se encuentra ubicada en la XI Región, del General Carlos Ibáñez del Campo, la cual está entre los paralelos 43°38' y 49°16' latitud Sur, y desde el meridiano 71°06' longitud Oeste hasta el Océano Pacífico. Su ciudad principal es Puerto Aysén.

Figura 2.8.: Principales antecedentes generales de la XI región y principales comunas.

| ITEM | XI REGION | COMUNA DE COYHAIQUE | COMUNA DE AYSEN |
|--|-----------|---------------------|-----------------|
| Superficie (km ²) | 109.444 | 7.755 | 34.772 |
| Superficie Productiva (km ²) | 56.615 | 6.209 | 18.364 |
| Población (1996) | 80.501 | 43.297 | 19.090 |
| Población Urbana (1996) | 57.794 | 36.376 | 15.276 |

| | | | |
|------------------------|--------|-------|-------|
| Población Rural (1996) | 22.707 | 6.921 | 3.814 |
| Población Pobre (1994) | 38.820 | 8.270 | 9.492 |

Fuente: MIDEPLAN.

La comuna de Aysén se compone de la ciudad de Puerto Aysén y los centros poblados de Puerto Chacabuco, Puerto Aguirre, Caleta Andrade, y Villa Mañihuales. Por su parte, la comuna de Coyhaique incluye la ciudad de Coyhaique y los centros poblados de Balmaceda, El Blanco, Villa Frei, Valle Simpson, Villa Ortega y Ñirehuao.

- Antecedentes demográficos.

Para lograr comprender mejor la evolución de la población, se presenta un conjunto de antecedentes demográficos, que mayormente se sitúan en un contexto regional. La siguiente tabla presenta la población estimada en los años censales a partir de 1970.

Figura 2.9.: Población regional, comunal y por ciudad estimada en años censales.

| AÑO | XI REGION | COMUNA DE COYHAIQUE | COMUNA DE AYSEN | CIUDAD DE COYHAIQUE | CIUDAD DE PUERTO AYSEN |
|------|-----------|---------------------|-----------------|---------------------|------------------------|
| 1970 | 50.300 | 23.695 | 13.525 | 16.069 | 7.140 |
| 1982 | 66.361 | 37.305 | 13.538 | 29.163 | 9.176 |
| 1992 | 80.501 | 43.297 | 19.090 | 36.376 | 12.762 |

Fuente: INE, Censos 1960, 1970, 1982, 1992 a nivel comunal y de ciudad para años previos a 1992.

Para Puerto Aysén, según los antecedentes de las autoridades regionales, las principales fuentes son, aproximadamente: 600 establecimientos de comercio general y de alimentación, 4 aserraderos y empresas forestales, 8 pesqueras, un matadero, y una empresa constructora.

- Clima, vegetación y flora.

El clima de esta zona se define en términos generales como templado, frío y lluvioso, con fuerte influencia marítima. De acuerdo con esto la vegetación natural de esta zona corresponde mayoritariamente a bosques templados dominados por especies siempreverdes y coníferas en la zona costera y de canales, y bosques caducifolios de nothofagus en la parte continental. Actualmente se observa grandes superficies cubiertas con praderas con restos de bosques quemados. No obstante, en los sectores montañosos abunda una cubierta vegetal densa, formando extensos bosques y matorrales.

- Tasas de generación per cápita de residuos.

Las tasas de generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios (kg/día-persona) corresponden a los valores indicados en las siguientes tablas.

Figura 2.10.: Generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Coyhaique (1997).

| NIVEL SOCIOECONOMICO | CAMPAÑAS DE MUESTREO (kg/día-persona) | | |
|----------------------|---------------------------------------|----------|----------|
| | VERANO | INVIERNO | PROMEDIO |
| Alto | 0,836 | 0,632 | 0,717 |
| Medio | 0,764 | 0,571 | 0,652 |

| | | | |
|--------------|-------|-------|-------|
| Bajo | 0,494 | 0,382 | 0,430 |
| PROMEDIO (1) | 0,580 | 0,442 | 0,500 |

Figura 2.11.: Generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Puerto Aysén (1997).

| NIVEL SOCIOECONOMICO | CAMPAÑAS DE MUESTREO (kg/día-persona) | | |
|----------------------|---------------------------------------|----------|----------|
| | VERANO | INVIERNO | PROMEDIO |
| Alto | 0,592 | 0,459 | 0,514 |
| Medio | 0,563 | 0,474 | 0,511 |
| Bajo | 0,300 | 0,316 | 0,309 |
| PROMEDIO (1) | 0,379 | 0,363 | 0,370 |

El estudio visualiza una menor producción per cápita de RSU en los estratos bajos en comparación con otras ciudades del sector. Las causas están, en algunas ocasiones, en un deficiente sistema de recolección y por lo cual, los usuarios del sistema proceden principalmente a:

- La quema de las basuras; y/o
- Depósito de las basuras en sitios eriazos.

- Composición de los residuos domiciliarios de la ciudad de Puerto Aysén.

A continuación se presenta un cuadro resumen con los valores de las caracterizaciones hechas en las ciudades de Puerto Aysén y Coyhaique.

Figura 2.12.: Composición de los residuos sólidos domiciliarios en Puerto Aysén (% en Peso).

| COMPONENTE | CAMPAÑAS DE MUESTREO | | PROMEDIO |
|------------------------------|----------------------|----------|------------|
| | VERANO | INVIERNO | ARITMETICO |
| 1. Materia Orgánica | 39,72 | 41,41 | 40,56 |
| 2. Cartones | 4,64 | 5,86 | 5,25 |
| 3. Papeles | 4,70 | 4,52 | 4,61 |
| 4. Vidrios | 5,92 | 6,59 | 6,26 |
| 5. Metales | 4,99 | 6,35 | 5,67 |
| 6. Textiles | 6,46 | 7,26 | 6,86 |
| 7. Gomas y neumáticos | 2,25 | 1,24 | 1,74 |
| 8. Plásticos | 11,84 | 11,53 | 11,68 |
| 9. Maderas y material leñoso | 3,89 | 1,03 | 2,46 |
| 10. Residuos Peligrosos | 0,83 | 0,42 | 0,63 |
| 11. Otros tipo de residuos | 14,77 | 13,79 | 14,28 |
| TOTAL | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Figura 2.13.: Composición de los residuos sólidos domiciliarios de Coyhaique (% en peso).

| COMPONENTE | CAMPAÑAS DE MUESTREO | | PROMEDIO |
|------------------------------|----------------------|----------|------------|
| | VERANO | INVIERNO | ARITMETICO |
| 1. Materia Orgánica | 47,94 | 54,00 | 50,97 |
| 2. Cartones | 2,93 | 3,85 | 3,39 |
| 3. Papeles | 2,41 | 2,72 | 2,56 |
| 4. Vidrios | 3,62 | 3,17 | 3,39 |
| 5. Metales | 4,13 | 2,94 | 3,53 |
| 6. Textiles | 3,66 | 3,36 | 3,51 |
| 7. Gomas y neumáticos | 0,99 | 0,37 | 0,68 |
| 8. Plásticos | 8,89 | 6,82 | 7,85 |
| 9. Maderas y material leñoso | 8,37 | 3,02 | 5,69 |
| 10. Residuos Peligrosos | 0,58 | 0,53 | 0,56 |
| 11. Otros tipo de residuos | 16,49 | 19,24 | 17,87 |
| TOTAL | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

- Generación total de residuos sólidos domiciliarios en las ciudades de Puerto Aysén y Puerto Chacabuco.

En la siguiente tabla se entregan los resultados de la estimación de generación total de residuos sólidos para las ciudades de Puerto Aysén y Puerto Chacabuco.

Figura 2.14: Estimación de la generación de residuos sólidos domiciliarios en las ciudades de Puerto Aysén y Puerto Chacabuco (1997).

| NIVEL SOCIOECONOMICO | POBLACION URBANA (habitantes) | PRODUCCION PER CAPITA PROMEDIO (kg/día-persona) | GENERACION TOTAL ESTIMADA ⁽¹⁾ (t/a) |
|----------------------|-------------------------------|---|--|
| Alto | 178 | 0,525 | 33 |
| Medio | 5.233 | 0,519 | 976 |
| Bajo | 12.573 | 0,308 | 1.420 |
| TOTAL | 17.984 | 0,371 | 2.429 |

Nota: (1) Generación calculada en base al promedio ponderado por población.

Figura 2.15.: Estimación de la generación de residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Coyhaique (1997).

| NIVEL SOCIOECONOMICO | POBLACION URBANA (habitantes) | PRODUCCION PER CAPITA PROMEDIO (kg/día-persona) | GENERACION TOTAL ESTIMADA ⁽¹⁾ (t/a) |
|----------------------|-------------------------------|---|--|
| Alto | 387 | 0,717 | 101 |
| Medio | 11.846 | 0,652 | 2.818 |
| Bajo | 26.479 | 0,430 | 4.151 |
| TOTAL | 38.712 | 0,500 | 7.070 |

Nota: (1) Generación calculada en base al promedio ponderado por población.

- Residuos sólidos comerciales.

La Municipalidad de Coyhaique manifestó que la actividad de recolección y transporte era imposible de llevar a cabo dado que la empresa a cargo de dicho servicio cuenta con un sólo camión recolector.

Figura 2.16.: Composición de los residuos sólidos comerciales de Coyhaique.

| COMPONENTE | CAMPAÑAS DE MUESTREO | | PROMEDIO ARITMETICO |
|------------------------------|----------------------|---------------|---------------------|
| | VERANO | INVIERNO | |
| 1. Materia Orgánica | 25,82 | 19,40 | 22,61 |
| 2. Cartones | 27,35 | 33,21 | 30,28 |
| 3. Papeles | 12,40 | 17,27 | 14,83 |
| 4. Vidrios | 4,28 | 5,37 | 4,82 |
| 5. Metales | 2,95 | 2,62 | 2,79 |
| 6. Textiles | 1,63 | 0,86 | 1,24 |
| 7. Gomas y neumáticos | 0,12 | 0,28 | 0,20 |
| 8. Plásticos | 13,07 | 11,64 | 12,36 |
| 9. Maderas y material leñoso | 3,08 | 2,08 | 2,58 |
| 10. Residuos Peligrosos | 1,45 | 0,98 | 1,21 |
| 11. Otros tipo de residuos | 7,85 | 6,29 | 7,07 |
| TOTAL | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Hay que tener presente, que muchas veces la lejanía de estas ciudades de lugares más céntricos y poblados interfiere con la evolución en el uso y consumo de algunos

materiales. Este es el caso del vidrio, que aunque es más riesgoso en el transporte de elementos (como los envases de bebidas) aún no se sustituye por envases plásticos.

- Generación total de residuos sólidos comerciales.

Se estima que la generación total anual estimada del sector comercial de la ciudad para el año 1997 es aproximadamente de 68 toneladas.

- Residuos sólidos viarios.

La Municipalidad no dispone de información acerca de la cantidad de residuos sólidos viarios generados en la comuna. En Puerto Aysén, la cobertura del servicio alcanza, de acuerdo a lo observado en terreno, sólo al centro de la ciudad, y sólo está definida para los sectores pavimentados. Por lo tanto se estima 24 toneladas para 1997, suponiéndolo como el 1% de la generación de residuos domiciliarios.

2.2.2 Diagnóstico de la situación en San Vicente, Peumo, Pichidegua y las Cabras.

- Antecedentes generales.

Las comunas de San Vicente, Peumo, Pichidegua y Las Cabras ubican en la provincia de Cachapoal en la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. La VI región se extiende entre 33° 51' y 35° 01' de latitud Sur y desde 70° 02' de longitud Oeste hasta el Océano Pacífico (aproximadamente 72° 00'). Las cuatro comunas están situadas al sur poniente de Rancagua, la capital de la Provincia de Cachapoal y de la Región.

- Antecedentes demográficos.

Para lograr comprender mejor la evolución de la población, se presenta un conjunto de antecedentes demográficos, que mayormente se sitúan en un contexto regional. La siguiente tabla presenta la población estimada en los años censales a partir de 1990.

Figura 2.17.: Población regional, comunal y por ciudad estimada en años censales.

| Comuna | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| San Vicente | 34.812 | 36.477 | 37.781 | 38.764 |
| Peumo | 12.897 | 13.278 | 13.515 | 13.620 |
| Pichidegua | 16.464 | 17.025 | 17.425 | 17.685 |
| Las Cabras | 17.383 | 18.760 | 20.036 | 21.191 |

Fuente: INE, Población estimada 1990–2005, a nivel comunal.

- Diagnóstico de generación de RSU.

Para determinar la cantidad de los residuos en el área de estudio, se analizaron los datos entregados por las municipalidades sobre la frecuencia de recolección de la basura y el grado de llenado de los camiones recolectores correspondiente. Adicionalmente se conversó con el personal de recolección para determinar posibles variaciones anuales y se efectuó pesajes de los camiones.

Como base de cálculo, para el año 1997 y como promedio de las cuatro comunas, la empresa encargada del estudio definió los siguientes valores teóricos principales:

- cantidad per capita de residuos domiciliarios y comerciales:

0,65 kg/hab./día

- peso específico de los desechos en vertedero:

0,5 ton/m³

- Proyecciones de la generación de RSU.

Aunque un pronóstico se basa en una variedad de suposiciones y diferentes variables que suelen no ser muy confiables, el conocimiento de la tasa de crecimiento poblacional y el análisis de los crecientes cambios en los hábitos de consumo, permiten dar una tendencia del desarrollo futuro de las cantidades y la composición de los residuos sólidos en el área. Por lo anterior, se considera, que el aumento anual de las cantidades y de la composición de los residuos se mueve en el rango de 1% hasta un 2%. En forma resumida se obtiene los siguientes resultados:

Figura 2.19.: Generación anual de residuos per cápita (escenario optimista - pesimista).

| AÑO | 1997 | 2002 | 2007 | 2017 |
|------------|------|-------------|-------------|-------------|
| Kg/hab/día | 0,65 | 0,68 - 0,72 | 0,72 - 0,79 | 0,79 - 0,97 |

Figura 2.20.: Generación diaria y anual de residuos (escenario optimista - pesimista).

| AÑO | 1997 | 2002 | 2007 | 2017 |
|---------|--------|---------------|---------------|---------------|
| Ton/año | 20.710 | 23.080-24.245 | 25.721-28.385 | 31.946-38.904 |
| Ton/día | 57 | 63-66 | 71-78 | 88-107 |

- Caracterización y composición de los R.S.U.

Figura 2.18.: Resumen de la composición de los residuos sólidos. Muestreo de verano (10-14.02.1997) en invierno (9-12.06.1997).

| COMPONENTE | LOCALIDAD | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| | SAN VICENTE | | LAS CABRAS | | PICHIDEGUA | | PEUMO |
| | %, VERANO | %, INVIERNO | %, VERANO | %, INVIERNO | %, VERANO | %, INVIERNO | %, VERANO |
| PAPEL Y CARTON * ¹ | 6,64 | 11,93 | 4,85 | 8,07 | 2,32 | 6,96 | 5,57 |
| VIDRIO | 1,97 | 0,48 | 1,14 | 1,56 | 0,36 | 1,03 | 2,89 |
| METAL | 1,70 | 2,03 | 1,55 | 2,88 | 0,72 | 1,27 | 1,78 |
| PLASTICO | 6,14 | 5,97 | 7,23 | 7,08 | 5,15 | 5,38 | 7,37 |
| TEXTIL | 2,47 | 1,01 | 2,13 | 3,79 | 1,70 | 5,54 | 2,03 |
| MATERIAL COMBINADO | 0,81 | 0,84 | 0,45 | 0,74 | 0,43 | 0,32 | 0,86 |
| ORGANICO | 71,24 | 69,34 | 73,31 | 61,98 | 80,65 | 68,10 | 71,46 |
| INORGANICO | 0,15 | 0,42 | 1,96 | 0,99 | 0,14 | 0,00 | 0,65 |
| ESCOMBROS | 0,54 | 0,24 | 0,57 | 3,87 | 1,49 | 0,00 | 0,00 |
| CERAMICA | 0,09 | 0,18 | 0,16 | 0,38 | 0,26 | 0,08 | 0,10 |
| PAÑALES | 4,21 | 5,01 | 2,91 | 5,93 | 2,01 | 5,38 | 3,88 |
| PAPEL HIGIENICO | 2,73 | 1,55 | 2,39 | 1,73 | 1,44 | 2,69 | 1,73 |
| MADERA | 0,13 | 0,36 | 0,14 | 0,17 | 0,41 | 0,95 | 0,23 |
| OTROS | 0,36 | 0,36 | 0,65 | 0,58 | 0,15 | 1,74 | 0,47 |
| DESECHOS TOXICOS | 0,67 | 0,24 | 0,56 | 0,19 | 0,04 | 0,03 | 0,20 |
| DESECHOS HOSP. | 0,13 | 0,05 | 0,00 | 0,08 | 2,71 | 0,55 | 0,78 |

| | | | | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| TOTAL | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|

*¹ Por la lluvia se mojó la fracción de papel y cartón, resultando en un mayor peso.

*² En este recorrido de muestreo se detectaron 37,5 kg. de desechos hospitalarios. No obstante, éstos no corresponden.

2.2.3 Estudio de diagnóstico y disposición final de los residuos sólidos de la ciudad de Tome.

- Diagnóstico de la situación actual.

La ciudad de Tome se encuentra en la Provincia de Concepción (VIII^a Región). Dentro de sus características climáticas posee una alta precipitación (aprox. 1.175 mm.). El sector urbano de la comuna de Tomé se encuentra concentrado en su mayoría en Tomé (37.357 habitantes). En cuanto a las industrias, en su mayoría son fábricas de alimentos (24 industrias), aunque existe un número importante de industrias de confección (12) y muebles (12).

- Inventario y caracterización de los residuos sólidos.

Específicamente para la caracterización de los RSU de la comuna de Tome se realizaron la estratificaciones de la zona basándose en características locales (clima, hábitos de consumo, calidad de suelo, escolaridad, etc.). Basado en estos antecedentes se determinaron los estratos sociales: alto, medio, bajo y comerciales. La metodología propuesta ha determinado, la composición y porcentajes de los componentes de los residuos (metales, vidrio, papel, etc.), la humedad, el poder calorífico, así como la densidad en origen.

Una vez recogidas las muestras se efectuaron los análisis físicos correspondientes para determinar las características mencionadas previamente. Posteriormente, se realizó la separación de los componentes (fracciones de residuos sólidos). Los resultados obtenidos se llevaron a gráficos y tablas con lo cual se obtienen los datos de producción para el futuro diseño de un sistema de manejo integral de los residuos sólidos en la comuna.

Las caracterizaciones se efectuaron en puntos que son representativos de los estratos socioeconómicos Bajo (Rb); Medio (Rm); Medio Alto (Ra), definidos de acuerdo a estudios preliminares de estratificación social. A continuación, se presenta un resumen de los resultados de la caracterización realizada en la ciudad de Tomé, la que describe la generación de residuos sólidos urbanos de la ciudad.

A continuación se presentan los datos de la composición típica, la cual fue corregida por peso y ponderada por el segmento de población que corresponde a cada estrato socioeconómico.

Figura 2.21.: Resultados medios de análisis físico de los residuos por sector en la comuna de Tomé.

| SECTOR | ALIMENT O | PAPEL Y CARTO N | TEXTIL, CUERO, GOMA | PLASTIC O | VIDRIO | METAL | OTROS |
|----------------------|--------------|--------------------------|---------------------------|--------------|--------|-------|-------|
| RESIDENCIAL BAJO | 29,4 | 3,2 | 2,0 | 2,5 | 0,7 | 0,9 | 3,2 |
| RESIDENCIAL MEDIO | 36,7 | 8,1 | 1,0 | 5,4 | 1,6 | 1,4 | 2,9 |
| RESIDENCIAL ALTO | 0,6 | 0,1 | 0 | 0,1 | 0 | 0,1 | 0,1 |
| MUESTRA | 66,7 | 11,4 | 3,0 | 8,0 | 2,3 | 2,4 | 6,2 |

| | | | | | | | |
|--------|--|--|--|--|--|--|--|
| TÍPICA | | | | | | | |
|--------|--|--|--|--|--|--|--|

Fuente: Estudio y plan de manejo de residuos sólidos en la ciudad de Tomé.
Estudios Mideplan-Bid.

Finalmente, la tabla siguiente compara los resultados obtenidos en Santiago y Tomé con la composición típica de países de bajo, mediano y alto ingreso per-cápita.

Figura 2.22.: Distribución típica de los componentes no reciclados en los RSU de Tomé y Santiago.

| COMPONENTES (% BASE HUMEDA) | BAJO INGRESO | MEDIAN O INGRESO | ALTO INGRESO | STGO* | TOME |
|--------------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|--------------------|-------------------|
| Orgánico | 40-85 | 20-65 | 6-30 | 48-56 | 66,8 |
| Papel | 1-10 | 8-30 | 20-45 | 12-20 ¹ | 11,5 ¹ |
| Cartón | - | - | 5-15 | - | - |
| Plástico | 1-05 | 2-06 | 2-08 | 8-12 | 8,0 |
| Textil | 1-05 | 2-10 | 2-06 | 2-06 | 2,9 ² |
| Goma | - | - | 0-02 | - | - |
| Vidrio | 1-10 | 1-10 | 4-12 | 1-3 | 2,3 |
| Metal | 1-10 | 1-10 | 1-04 | 1-3 | 2,3 |

¹: Papel y Cartón;

²: Textil, cuero y goma

Fuentes: Estudio de composición y proyección de residuos sólidos domiciliarios en la provincia de Santiago y estudio del mercado de reciclaje. José Arrellano y Otros,

Sección Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas U. Chile 1992. ** Estudio de diagnóstico de los residuos sólidos de la ciudad de Tomé. 1998. Marcel Szanto N.

En la tabla anterior se puede observar un alto predominio de la fracción media de alimento. En esta generación de residuos orgánicos se encuentra presente la influencia del tratamiento dado al producto entregado al consumidor, o el tipo y el mercado predominante en función del clima de la zona. En función de esta fracción, Tomé se encontraría en el rango asimilable a zonas (países) de bajo ingreso. La muestra de papel y cartón de la ciudad de Tomé, responde a la banda de ingreso medio. La fracción plástico muestra contenido de peso asimilable a zonas (países) de alto ingreso. Esto es relativamente obvio, pues este tipo de residuo ingresa a disposición final casi en un 100%, conformado principalmente por envases, que son elementos de un solo uso.

Luego Tomé presenta residuos de alto contenido orgánico, pero con una aceptable generación de papel, cartón y plástico. Con los antecedentes de esta muestra, los residuos de la ciudad de Tomé pueden ser calificados como de calidad baja a media. La humedad de estos residuos oscila entre el 52% del sector medio bajo al 53% del sector bajo.

- Estimación de producción de los residuos sólidos urbanos.

La estimación de producción de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Tomé, se basó en distintos antecedentes estadísticos entregados por el Departamento de Aseo de la I. Municipalidad. Uno de ellos es que en el año de este estudio, fueron transportados al vertedero una media de aproximadamente 31,5 toneladas por día de residuos urbanos

La ciudad de Tomé efectúa una recogida de aproximadamente 31,5 ton/día, provenientes de una población de 50.688 habitantes, lo que implica 0.62 kg./hab/día como producción per-cápita.

2.2.4. Diagnóstico de situación en las ciudades de Punta Arenas, Puerto Natales y Porvenir.

- Antecedentes generales sobre las comunas.

La ciudad de Punta Arenas ocupa una superficie de 23,7 Km², por su parte, Puerto Natales ocupa 4,7 Km² de superficie y en Porvenir 2,2 Km². El clima es frío, con una temperatura media de 7 °C.

Las comunas de Punta Arenas, Puerto Natales y Porvenir se encuentran en la XIIª Región, región de Magallanes. La Región presenta suelos porosos, de tipo arcilloso-arenoso y húmedos, típicos de zonas de Estepas, su vegetación corresponde a la denominada Estepa Patagónica de Magallanes.

- Inventario y caracterización de los residuos sólidos urbanos.

El inventario y caracterización de los residuos se realizó utilizando los datos obtenidos en los muestreos realizados, en dos estaciones climáticas diferentes. Esta caracterización realizada aproxima al diagnóstico detallado de la situación actual y la posibilidad de plantear alternativas de manejo integral de los residuos, con el objetivo de mejorar la gestión de los mismos en la Región.

Tanto en Punta Arenas como en Porvenir y Puerto Natales las campañas de muestreo fueron realizadas el año 1996 y 1997. Los muestreos realizados consideraron una estratificación socioeconómica del universo, y luego se realizó la definición estadística del número de domicilios a muestrear en cada uno de los niveles o estratos socioeconómicos identificados.

La estratificación socioeconómica considerada en el presente estudio clasifica a la población en tres estratos alto, medio y bajo, obteniéndose los siguientes resultados en lo que respecta a la generación per cápita por día, (ppc).

Figura 2.23.: Generación per cápita de residuos promedio(kg/día-persona), según estratos socio económico.

| Nivel socio-económico | Punta Arenas | Puerto Natales | Porvenir |
|-----------------------|--------------|----------------|----------|
| Alto | 0,51 | - | 0,3 |
| Medio | 0,46 | 0,46 | 0,5 |
| Bajo | 0,4 | 0,45 | 0,35 |
| Promedio | 0,43 | 0,45 | 0,44 |
| Población ciudad | 122.988 h. | 17.428 h. | 5.104 h. |

Fuente: Estudio y Plan de Manejo de Residuos Sólidos en la XIIª Región.
Mideplan

- Composición de los residuos domiciliarios.

La composición de los residuos sólidos varía según sea el estrato socioeconómico e incluso el tipo de ciudad en estudio. El conocimiento de esta composición facilita la selección de opciones de mejora en su almacenamiento, recogida, tratamiento y disposición final. De los estudios realizados se obtienen los siguientes resultados:

Figura 2.24.: Composición de los residuos sólidos domiciliarios En Punta Arenas, Puerto Natales y Porvenir (% del peso total).

| COMPONENTES (%) | PUNTA ARENAS | PUERTO NATALES | PORVENIR | SANTIAGO |
|---------------------|--------------|----------------|----------|----------|
| 1. Materia orgánica | 43 | 39,11 | 38,74 | 48-56 |
| 2. Cartones | 6,65 | 6,75 | 7,81 | 12-20* |
| 3. Papeles | 11,33 | 8,26 | 9,77 | |
| 4. Vidrios | 6,65 | 5,16 | 6,99 | 1-3 |

| | | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|------|
| 5. Metales | 4,15 | 5,25 | 4,41 | 1-3 |
| 6. Textiles | 1,89 | 3,89 | 4,48 | 2-6 |
| 7. Neumáticos | 0,5 | 1,4 | 0,74 | - |
| 8. Plásticos | 12,04 | 8,75 | 8,89 | 8-12 |
| 9. Madera | 1,09 | 2 | 1,33 | - |
| 10. Residuos Peligrosos. | 1,18 | 1,3 | 0,76 | - |
| 11. Otros | 11,52 | 18,13 | 16,08 | - |

*corresponde al valor conjunto de papeles y cartones

Fuente: Estudio y Plan de Manejo de Residuos Sólidos en la XIIª Región, MIDEPLAN 1997. Residuos Sólidos: Estudio y Planes de Manejo, MIDEPLAN, 1997.

Figura 2.25.: Características físicas de los residuos sólidos (medidos en origen).

| CIUDAD | VERANO | | INVIERNO | |
|----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| | DENSIDAD | HUMEDAD | DENSIDAD | HUMEDAD |
| | (Kg/m ³) | (% Base húmeda) | (Kg/m ³) | (% Base húmeda) |
| Punta Arenas | 226,6 | 48,6 | 236,6 | 57,4 |
| Puerto Natales | 156 | 52,5 | 183 | 67,1 |
| Porvenir | 147 | 22 | 166 | 47,6 |

Fuente: Estudio y Plan de Manejo de Residuos Sólidos en la XIIª Región, MIDEPLAN 1997.

Según los resultados obtenidos en las campañas de muestreo la "Materia Orgánica" (conformado por restos de alimentos y desechos de jardín) constituye el principal

componente de los residuos sólidos domiciliarios. Los porcentajes de este ítem, para estas comunas son similares a los encontrados en otras ciudades del país, siendo del orden del 41% (promedio de las dos campañas), disminuyendo de verano a invierno en menos del 10 %, Este porcentaje de materia orgánica es menor que en otras regiones del país, debido a que la escasa aportación de los desechos de (en Santiago, por ejemplo, el porcentaje de materia orgánica se encuentra entre 48 y 56 % en peso). Según estudios de la OPS; BID de 1996, la composición de componente orgánico promedio del país es del 49,3%.

A continuación, se entrega un breve análisis sobre la composición porcentual encontrada en los diferentes estratos socioeconómicos para cada una de las categorías de residuos.

- **Materia orgánica.** Se puede apreciar que el sector considerado como Alto es quien genera, en ambas campañas y como promedio, el mayor porcentaje de materia orgánica. Adicionalmente, se observa una tendencia a disminuir el consumo de alimentos frescos durante el invierno, generando con ello una menor cantidad de desechos de comidas y como era de esperar, la cantidad de desechos de jardín (en todos los sectores socioeconómicos) es más importante en verano que en invierno.

- **Cartones.** Tanto en verano como en invierno, el sector socioeconómico Bajo es quien presentó una mayor cantidad de residuos de este tipo en la comuna de Punta Arenas, siendo en verano este ítem bastante superior que en invierno (3,14 y 1,54 % respectivamente). En Porvenir sigue siendo el sector Bajo el de mayor producción, predominando la cantidad generada en verano con un 8,29%, mientras que en la de Puerto Natales es en invierno cuando se produce el mayor porcentaje con un 9,51%, producido por el sector Medio, porcentaje superior al presentado en otros sectores.

- **Papeles.** Con respecto al porcentaje de papeles encontrado, tanto en verano como en invierno, el sector, socioeconómico Medio-Alto fue quien presentó la mayor cantidad en Punta Arenas y Puerto Natales destacando un aumento en la campaña de verano. Sin embargo en Porvenir el sector Bajo es el de mayor producción en verano. El mayor porcentaje de papel corresponde a Punta Arenas con un 11,33 % en peso. Si a este ítem le sumamos el de cartones nos encontramos con un sector de alto porcentaje (18%), respecto al resto de las regiones del país.

- **Vidrios.** Son similares las producciones por estratos, Punta Arenas posee una ligera diferencia entre estratos, siendo el Alto el que más porcentaje de vidrio arroja a los desechos, también es notable el porcentaje en vidrio producido por esta Región respecto a otras del país. Porvenir es con un 6,99 % la que mayor porcentaje posee, aunque es muy similar al 6,65 % de Punta Arenas.

- **Metales.** En Punta Arenas y Puerto Natales, tanto en verano como en invierno, la mayor cantidad de estos residuos son generados por el estrato Medio, mientras que en Porvenir es el Alto. Manteniéndose el ítem de la media hacia arriba del porcentaje promedio del país.

- **Plásticos.** Se observa que todos los sectores socioeconómicos presentan una disminución durante el verano (del promedio de la generación de residuos de este tipo). La ciudad de mayor porcentaje de plásticos se produce en Punta Arenas con un 12,04%, porcentaje que es elevado.

- **Madera y material leñoso.** Tanto en verano es elevado el porcentaje en Punta Arenas con un 1,8%. Cabe destacar la tendencia al aumento en la generación en la época de verano, ya que en invierno son utilizados para calefacción por la mayoría de los sectores.

- **Residuos peligrosos:** Es el estrato Medio el que mayor porcentaje de este ítem desprende, existiendo una mayor cantidad en las campañas realizadas en verano. Si a la generación de los residuos sólidos domiciliarios, se agregan los residuos comerciales y ferias libres, los viarios y los hospitalarios, se obtiene la generación total de los **residuos sólidos urbanos**, que se presenta en la siguiente tabla:

Figura 2.26.: Generación de residuos urbanos en la XIIª región.

| TIPO DE RESIDUOS | GENERACION (t/año) | | |
|------------------|--------------------|----------------|----------|
| | PUNTA ARENAS | PUERTO NATALES | PORVENIR |
| Domiciliarios | 19.120,5 | 2.897,4 | 788,4 |

| | | | |
|----------------------------|----------|---------|-------|
| Comerciales | 3.824,1 | 579,5 | 7,9 |
| Varios ¹ | 191,2 | 29,0 | 5,5 |
| Hospitalarios ² | 434,0 | 36,5 | - |
| Total R.S.U (t/año) | 23.569,8 | 3.542,4 | 801,8 |
| P.P.C (kg/día-persona) | 0,53 | 0,56 | 0,45 |

(1): Se ha considerado un 1% de residuos sólidos domiciliarios

(2): Según información estadística ofrecida por centros hospitalarios.

Fuente: Estudio y Plan de Manejo de RS en la XIIª Región.

- Proyecciones en la generación de residuos sólidos urbanos.

El conocimiento de las proyecciones y pronósticos de las cantidades de los residuos producidos, nos garantiza validez del estudio en un espacio de tiempo mayor, realizando así planes más completos y concretos para el manejo de los residuos sólidos. El pronóstico sobre la composición futura de los residuos se elabora en función del comportamiento histórico y las predicciones de comportamiento futuro, elementos que son difíciles de evaluar y donde entra en juego un gran componente sociológico, además de cierta subjetividad.

Podemos aventurarnos a decir que para los componentes más relevantes, habrá un aumento sostenido de materiales de embalajes como plástico, papeles y cartones y un descenso en la composición de la materia orgánica.

Las proyecciones realizadas por las comunas en estudio se muestran a continuación, y son empleadas como sustento de los planes de manejo propuesto.

Figura 2.27.: Proyección de generación de residuos sólidos en la comuna de Punta Arenas. Periodo 1996-2006.

| AÑO | RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (Ton / año) | | | |
|------|--------------------------------------|-------------|---------|--------|
| | Domiciliarios | Comerciales | Viarios | Total |
| 1996 | 19.121 | 3.824 | 191 | 23.136 |
| 1997 | 20.014 | 4.003 | 200 | 24.217 |
| 1998 | 20.208 | 4.054 | 203 | 24.465 |
| 1999 | 20.520 | 4.104 | 205 | 24.829 |
| 2000 | 20.773 | 4.155 | 208 | 25.136 |
| 2001 | 21.001 | 4.200 | 210 | 25.411 |
| 2002 | 21.229 | 4.246 | 212 | 25.687 |
| 2003 | 21.457 | 4.291 | 215 | 25.963 |
| 2004 | 21.683 | 4.337 | 217 | 26.237 |
| 2005 | 21.914 | 4.383 | 219 | 26.516 |
| 2006 | 22.148 | 4.430 | 221 | 26.799 |

Fuente: Estudio y Plan de Manejo de Residuos Sólidos en la XIIª Región.

Figura 2.28.: Proyección de la generación de los residuos sólidos en la comuna de Puerto Natales. Periodo 1996-2006.

| AÑO | RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (Ton/año) | | | |
|------|------------------------------------|-------------|---------|-------|
| | Domiciliarios | Comerciales | Viarios | Total |
| 1996 | 2.897 | 579 | 29 | 3.505 |
| 1997 | 3.033 | 601 | 30 | 3.664 |

| | | | | |
|------|-------|-----|----|-------|
| 1998 | 3.017 | 603 | 30 | 3.650 |
| 1999 | 3.029 | 606 | 30 | 3.665 |
| 2000 | 3.043 | 609 | 30 | 3.682 |
| 2001 | 3.058 | 612 | 31 | 3.701 |
| 2002 | 3.073 | 615 | 31 | 3.719 |
| 2003 | 3.089 | 618 | 31 | 3.738 |
| 2004 | 3.105 | 621 | 31 | 3.757 |
| 2005 | 3.121 | 624 | 31 | 3.776 |
| 2006 | 3.136 | 627 | 31 | 3.794 |

Fuente: Estudio y Plan de Manejo de Residuos Sólidos en la XIIª Región.

Figura 2.29.: Proyección de generación de residuos sólidos en la comuna de Porvenir.
Periodo 1996-2006.

| Año | RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (Ton/año) | | |
|------|------------------------------------|--------|-------|
| | Domiciliarios | Varios | Total |
| 1996 | 788 | 7,9 | 795,8 |
| 1997 | 840 | 8,4 | 848,4 |
| 1998 | 842 | 8,4 | 850,4 |
| 1999 | 844 | 8,4 | 852,4 |
| 2000 | 846 | 8,4 | 854,4 |

| | | | |
|------|-----|-----|-------|
| 2001 | 848 | 8,5 | 856,5 |
| 2002 | 850 | 8,5 | 858,5 |
| 2003 | 852 | 8,5 | 860,5 |
| 2004 | 854 | 8,5 | 862,5 |
| 2005 | 856 | 8,6 | 864,6 |
| 2006 | 858 | 8,6 | 866,6 |

Fuente: Estudio y Plan de Manejo de Residuos Sólidos en la XIIª Región

Es importante enfatizar que estas cifras ofrecidas son susceptibles de modificación, en función de la aplicación de futuras políticas orientadas a variar los hábitos de consumo, la reducción en origen, el reciclaje, u otras variables que incidan sobre las mismas, es más, se debe suponer que en las comunas estudiadas se realizarán programas de reducción de residuos, ya que no debemos olvidar la tendencia de minimización y reciclaje, siendo este el reto de los próximos años.

2.3 RESUMEN DE LOS RESULTADOS ARROJADOS EN DIFERENTES ESTUDIOS.

Como ya se ha planteado y se ha podido revisar en el presente capítulo, los estudios de diagnóstico que se han realizado respecto a la situación del manejo de residuos sólidos comienzan fallando en su metodología de acercamiento al problema. Si bien es cierto los niveles de precisión y confiabilidad están determinados por quien promueve el estudio de dicha problemática, también es cierto que nos encontramos frente a un desorden absoluto de datos que son incomparables entre si. Entonces el valor de estos estudios de diagnóstico radica en que son la primera aproximación técnica al problema. Pero uno de los objetivos de esta tesis es ir más allá de lo que se ha hecho en los últimos 20 años y promover una metodología que unifique los criterios ya empleados y que

haga comparables los nuevos datos que arrojen los estudios y se fijen políticas más claras para atacar los problemas.

Resumiendo los diferentes estudios realizados, es que a continuación se entrega un resumen de la composición de residuos en Chile, con información de la presente década. Las categorías presentadas son sólo seis. Esto ya que de otra forma es imposible comparar las diversas categorías elaboradas con distintos criterios. Se aprecia claramente que el ítem *otros* es muy alto, ya que cada categoría que en algún estudio no calzaba en esta *clasificación común denominadora* se acumulaba en dicho ítem.

Figura 2.30.: Proyección de la generación de los residuos sólidos en la comuna de Porvenir. Periodo 1996-2006.

| COMPONENTE | 1 ARICA | 2 ANTOFAGAST A | 3 LA SERENA | 4 COQUIMBO |
|--------------------------|------------|----------------------|----------------|---------------|
| Materia orgánica. | 61,7 | 32,97 | 61,04 | 63,02 |
| Papeles y cartones. | 9,83 | 20,18 | 14,05 | 11,05 |
| Plásticos y gomas (*). | 7,41 | 12,00 | 11,10 | 9,10 |
| Vidrios. | 1,91 | 9,18 | 2,03 | 4,02 |
| Metales. | 3,39 | 8,70 | 1,06 | 2,06 |
| Otros tipos de residuos. | 15,76 | 16,97 | 10,72 | 10,75 |
| | | | | |
| Producción per capita. | 0,71 | 0,66 | 0,75 | 0,61 |
| Generación anual. | 120.314 | 150.749 | 90.612 | 74.887 |
| Población. | 169.456 | 228.408 | 120.816 | 122.766 |

| | | | | |
|--------------------------|----------------------|------------------|------------------|---------------------|
| Porcentaje del total. | 2,43% | 3,27% | 1,73% | 1,76% |
| COMPONENTE | 5 VIÑA DEL MAR | 6 VALPARAISO | 7 SANTIAGO | 8 SAN VICENTE |
| Materia orgánica. | 62,50 | 62,50 | 49,50 | 70,29 |
| Papeles y cartones. | 17,60 | 15,90 | 18,80 | 9,29 |
| Plásticos y gomas (*). | 7,49 | 5,89 | 10,20 | 10,67 |
| Vidrios. | 3,70 | 2,90 | 1,60 | 1,23 |
| Metales. | 2,70 | 2,90 | 2,20 | 1,87 |
| Otros tipos de residuos. | 6,01 | 9,91 | 17,70 | 6,65 |
| Producción per capita. | 0,95 | 0,7 | 0,82 | 0,65 |
| Generación anual. | 288.993 | 197.988 | 3.535.129 | 24.383 |
| Población. | 304.203 | 282.840 | 4.311.133 | 37.513 |
| Porcentaje del total. | 4,36% | 4,05% | 61,79% | 0,54% |
| COMPONENTE | 9 PEUMO | 10 PICHIDEGUA | 11 LAS CABRAS | 12 CURICO |
| Materia orgánica. | 67,66 | 74,38 | 67,65 | 54,30 |
| Papeles y cartones. | 9,23 | 4,64 | 6,46 | 13,34 |
| Plásticos y gomas (*). | 10,81 | 8,96 | 11,58 | 6,24 |
| Vidrios. | 4,22 | 0,70 | 1,35 | 1,38 |

| | | | | |
|--------------------------|-------------|---------------|---------------------|------------------|
| Metales. | 1,37 | 1,00 | 2,22 | 2,20 |
| Otros tipos de residuos. | 6,71 | 10,32 | 10,74 | 22,54 |
| | | | | |
| Producción per capita. | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,48 |
| Generación anual. | 8.474 | 11.336 | 11.530 | 49.974 |
| Población. | 13.037 | 17.440 | 17.738 | 104.113 |
| Porcentaje del total. | 0,19% | 0,25% | 0,25% | 1,49% |
| COMPONENTE | 13 TALCA | 14 LINARES | 15 CAUQUENE S | 16 CONCEPCION |
| Materia orgánica. | 58,61 | 53,45 | 61,29 | 65,00 |
| Papeles y cartones. | 10,97 | 12,41 | 10,74 | 11,25 |
| Plásticos y gomas (*). | 6,96 | 7,91 | 6,41 | 5,80 |
| Vidrios. | 1,52 | 1,76 | 1,00 | 2,05 |
| Metales. | 1,61 | 1,92 | 1,69 | 4,30 |
| Otros tipos de residuos. | 20,33 | 22,55 | 18,87 | 11,60 |
| | | | | |
| Producción per capita. | 0,49 | 0,44 | 0,46 | 0,592 |
| Generación anual. | 84.584 | 34.019 | 18.528 | 195.968 |
| Población. | 172.620 | 77.316 | 40.279 | 331.027 |
| Porcentaje del total. | 2,47% | 1,11% | 0,58% | 4,74% |

| COMPONENTE | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------------|--------|------------|--------------|-------------|
| | PENCO | TALCAHUANO | PTO. MONTE | COYHAIQUE |
| Materia orgánica. | 69,59 | 66,15 | 57,80 | 50,97 |
| Papeles y cartones. | 7,65 | 11,30 | 6,00 | 5,95 |
| Plásticos y gomas (*). | 4,80 | 5,95 | 4,40 | 8,53 |
| Vidrios. | 2,25 | 1,45 | 3,10 | 3,39 |
| Metales. | 2,00 | 3,20 | 2,30 | 3,53 |
| Otros tipos de residuos. | 13,71 | 11,95 | 26,40 | 27,63 |
| | | | | |
| Producción per capita. | 0,623 | 0,548 | 0,89 | 0,5 |
| Generación anual. | 25.144 | 136.202 | 115.673 | 21.649 |
| Población. | 40.359 | 248.543 | 129.970 | 43.297 |
| Porcentaje del total. | 0,58% | 3,56% | 1,86% | 0,62% |
| | | | | |
| COMPONENTE | 21 | 22 | 23 | 24 |
| | AISEN | PORVENIR | PTO. NATALES | PTA. ARENAS |
| Materia orgánica. | 40,56 | 38,74 | 39,11 | 43,00 |
| Papeles y cartones. | 9,86 | 17,58 | 15,01 | 18,18 |
| Plásticos y gomas (*). | 13,42 | 9,63 | 10,15 | 12,54 |
| Vidrios. | 6,26 | 6,99 | 5,16 | 6,65 |
| Metales. | 5,67 | 4,41 | 5,25 | 4,15 |

| | | | | |
|--------------------------|--------|-------|--------|---------|
| Otros tipos de residuos. | 24,23 | 22,65 | 25,32 | 15,48 |
| | | | | |
| Producción per capita. | 0,371 | 0,44 | 0,45 | 0,43 |
| Generación anual. | 7.082 | 2.246 | 7.843 | 52.885 |
| Población. | 19.090 | 5.104 | 17.428 | 122.988 |
| Porcentaje del total. | 0,27% | 0,07% | 0,25% | 1,76% |

(*): incluye restos de neumáticos.

- **Ponderación nacional.**

Figura 2.37.: Ponderación nacional de datos de composición de residuos en Chile.

| PONDERACIONES | % |
|----------------------------------|-------|
| Materia orgánica. | 52,88 |
| Papeles y cartones. | 16,66 |
| Plásticos, gomas y neumáticos. | 9,25 |
| Vidrios. | 2,22 |
| Metales. | 2,64 |
| Otros tipos de residuos. | 16,35 |
| | |
| Producción per cápita ponderada. | 0,75 |
| | |

| | |
|--------------------------------|-----------|
| Cantidad de residuos estimada. | 5.266.191 |
| | |
| Total población estudiada. | 6.977.484 |

2.4 ANÁLISIS DE CARACTERIZACIONES DE MADRID.

En 1985 la Universidad Politécnica de Madrid, a través del laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, y a petición del ayuntamiento de Madrid, comenzó un análisis de la composición físico química de los residuos sólidos urbanos del término municipal de Madrid.

Este tipo de caracterización hoy en día es imprescindible para la toma de decisiones por parte del ayuntamiento de Madrid. Esto, motivado por los grandes gastos económicos en los cuales todos los municipios han debido incurrir. La forma de enfrentar el problema por dicho ayuntamiento es ejemplar, al recurrir a los técnicos para decidir mejor las inversiones que debían realizar para mejorar por un lado el aspecto sanitario relacionado con el manejo de los residuos, y por otro optimizar la gestión.

El funcionamiento de dicho estudio es simple. Se hacen tres campañas de 33 muestras cada una en diferentes barrios de Madrid (con metodología de muestreo estratificado) y se ejecutan en el transcurso del año, para incluir como variable importante el clima. Luego, a principios de cada año se analizan las muestras y se envían al ayuntamiento junto con las recomendaciones y observaciones. Este es un indicador muy importante para quien toma las decisiones en cuanto a residuos se refiere, ya que puede observar el impacto que producen las campañas de reciclaje en la población, los indicadores acerca de cuando el residuo tiene un mayor poder calorífico y conviene incinerarlo, donde y cómo se deben abordar los temas más urgentes, etc.

Figura 2.39.: Muestras típicas (ponderadas por estratos sociales) de los RSU de Madrid. Período 1985-1998. Porcentaje en peso.

| Año | Categorías | | | | | | | | | | |
|------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------------|--------------|
| | Metal (%) | Vidrio (%) | Tierra (%) | Alim. (%) | Papel (%) | Cartón (%) | Plást. (%) | Madera (%) | Goma (%) | Textil (%) | Otros (%) |
| 1985 | 3,56 | 5,57 | 4,85 | 57,74 | 11,14 | 4,52 | 6,00 | 2,36 | 1,51 | 2,74 | 0,00 |
| 1986 | 3,91 | 6,30 | 3,57 | 54,82 | 11,78 | 4,80 | 6,96 | 2,07 | 1,36 | 2,78 | 0,66 |
| 1987 | 3,73 | 6,02 | 1,70 | 57,13 | 13,30 | 5,14 | 8,34 | 1,55 | 0,43 | 2,29 | 0,32 |
| 1988 | 2,87 | 4,58 | 0,67 | 56,80 | 15,54 | 7,35 | 8,82 | 1,40 | 0,20 | 1,68 | 0,05 |
| 1989 | 3,21 | 4,50 | 0,83 | 46,80 | 12,75 | 9,01 | 17,15 | 2,15 | 0,39 | 3,20 | 0,04 |
| 1990 | 3,89 | 4,46 | 0,58 | 47,59 | 12,81 | 9,28 | 16,17 | 1,58 | 0,98 | 2,35 | 0,32 |
| 1991 | 3,21 | 6,06 | 0,18 | 46,37 | 14,03 | 7,34 | 12,83 | 1,23 | 0,65 | 4,84 | 3,25 |
| 1992 | 3,26 | 6,43 | 0,15 | 51,71 | 12,22 | 6,11 | 11,74 | 1,27 | 0,47 | 2,81 | 3,82 |
| 1993 | 3,50 | 5,72 | 0,22 | 47,41 | 14,19 | 6,91 | 13,51 | 1,43 | 0,65 | 2,39 | 4,07 |
| 1994 | 3,76 | 6,81 | 0,38 | 48,33 | 14,16 | 6,17 | 12,15 | 1,46 | 0,66 | 3,26 | 2,87 |
| 1995 | 3,70 | 6,63 | 0,20 | 48,41 | 14,02 | 5,73 | 13,24 | 0,49 | 0,99 | 3,28 | 3,31 |
| 1996 | 3,73 | 6,60 | 0,25 | 49,36 | 14,58 | 5,69 | 12,90 | 0,07 | 0,42 | 3,55 | 2,86 |
| 1997 | 3,41 | 5,66 | 0,00 | 52,48 | 14,17 | 5,69 | 10,03 | 0,39 | 0,70 | 3,28 | 4,19 |
| 1998 | 3,32 | 5,63 | 0,09 | 53,27 | 14,55 | 5,51 | 9,06 | 0,39 | 0,81 | 3,82 | 3,55 |

Una vez que podemos generar una tabla como la anterior, donde todos los datos son comparables entre si ya que fueron hechos con la misma metodología, podemos ir concluir que:

- La fracción de restos de alimentos de los residuos nos muestra como varía la calidad de vida de la población. A menor cantidad de estos la calidad de vida de las personas va en aumento, ya que se requiere más procesamiento de los alimentos para que este fenómeno ocurra. Se debe señalar que los datos expuestos deben ser cuidadosamente observados, ya que al implementarse políticas de reciclaje de residuos, los residuos plásticos tienden a ir en descenso, y por lo tanto las demás fracciones, por ser expresadas en porcentaje del total, tienden a subir, variación que no necesariamente nos hará concluir que la calidad de vida de la población ha disminuído. Por lo tanto, los datos se deben separar antes y después de 1992.

- Las fracciones muy pequeñas presentan mucha variación, por lo que es aconsejable no proyectar sino las fracciones más importantes, tales como restos de alimentos, papel, cartón, vidrio, etc.

- Los datos que se generan pueden ser comparados con indicadores económicos. Si se encuentra la relación entre estas variables se puede proyectar la composición de los RSU en el tiempo dependiendo de las condiciones esperadas para cada país o zona específica. El procedimiento sería algo similar a la proyección económica de los flujos de caja de las empresas cuando analizan la factibilidad de emprender un negocio basándose en los indicadores VAN y TIR. Este dato es de suma importancia para los municipio que pretendan tener dentro de su planificación estratégica el manejo de los RSU. Por otro lado, también este tipo de información favorece la industria del reciclaje, ya que sabría hacia donde enfocar sus procesos.

- La cantidad de información que se desprende del análisis de los RSU puede ser una variable relevante en un futuro en que se busque optimizar los recursos destinados hacia la gestión integral de estos.

No es objetivo de esta tesis el analizar estadísticamente y de manera profunda los datos arrojados por las caracterizaciones de Madrid, pero además de los comentarios antes expresados, en los anexos se presenta la información rescatada de archivos casi perdidos. Entoces, esta información, propiedad del Ayuntamiento de Madrid y generada por los laboratorios de ingeniería sanitaria de la Universidad Politécnica de Madrid, quedará como aporte al conocimiento y para el análisis que se le deba y pueda

hacer por especialistas de la ingeniería sanitaria, estadística, economistas, en fin quienes que puedan generar más información relevante a partir de estos datos.

3. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS.

Como ya se podía apreciar en el capítulo anterior, la metodología utilizada para muestrear la población y obtener las características de los residuos sólidos municipales, carece muchas veces de base estadística. Es por esto, que antes de ingresar al capítulo de propuesta de una metodología de caracterización, es conveniente analizar brevemente las herramientas que utilizaremos.

3.1 DEFINICIONES.

- Población.

Es cualquier colección, ya sea de un número finito de mediciones o una colección grande, virtualmente infinita, de datos que se convertirán en información que caracterice un fenómeno.

- Medias o promedios sencillos.

La media de las observaciones x_1, x_2, \dots, x_n es el promedio aritmético de éstas y se denota por:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n X_i / n$$

La media es una medida apropiada de tendencia central para muchos conjuntos de datos. Sin embargo, dado que cualquier observación en el conjunto se emplea para su cálculo, el valor de la media puede afectarse de manera desproporcionada por la existencia de algunos valores extremos.

Varianza.

La varianza de las observaciones x_1, x_2, \dots, x_n es, en esencia, el promedio del cuadrado de las distancias entre cada observación y la media del conjunto de observaciones. La varianza se denota por:

$$s^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \right]$$

La varianza es una medida razonablemente buena de la variabilidad debido a que si muchas de las diferencias son grandes (o pequeñas) entonces el valor de la varianza s^2 será grande (o pequeño). El valor de la varianza puede sufrir un cambio muy desproporcionado, aún más que la media, por la existencia de algunos valores extremos en el conjunto.

- **Desviación estándar.**

Es la raíz cuadrada positiva de la varianza y se denota por:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \right]}$$

La varianza y la desviación estándar no son medidas de variabilidad distintas, debido a que la última no puede determinarse a menos que se conozca la primera. A menudo se prefiere la desviación estándar en relación con la varianza, porque se expresa en las mismas unidades físicas de las observaciones.

- Error estándar.

Las fórmulas para los errores estándar del estimador de una media y total de la población son usadas principalmente para tres propósitos: (1) para comparar la precisión obtenida por el muestreo simple aleatorio con otros métodos de muestreo, (2) para estimar el tamaño de la muestra que se necesita en una encuesta que esté siendo planeada, (3) para estimar la precisión realmente obtenida en una encuesta que se haya terminado. Las fórmulas involucran a s^2 , la varianza de la población. Esta no será conocida en la práctica pero puede ser estimada de los datos de la muestra.

- Intervalos de confianza para las medias.

Si el estadístico S es la media ζ de la muestra, entonces los límites de confianza 95% y 99% para estimar la media μ de la población vienen dados por $\zeta \pm 1.96 \sigma_\zeta$ y $\zeta \pm 2.58 \sigma_\zeta$, respectivamente. Más en general, los límites de confianza para estimar la media de la población μ vienen dados por $\zeta \pm Z_c \sigma_\zeta$ donde Z_c (que depende del nivel particular de confianza deseado) se puede leer en la tabla XX. Usando los valores de σ_ζ calculados, vemos que los límites de confianza para la media de la población están dados por:

$$\bar{x} \pm Z_c * \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

si el muestreo es de una población infinita o de una finita con reposición, y vienen dados por:

$$\bar{x} \pm Z_c * \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{Np - N}{Np - 1}}$$

si el muestreo es sin reposición de una población finita de tamaño N_p .

- Muestreo simple aleatorio.

Es un método de selección de n unidades sacadas de N (número finito de unidades de la población), de tal manera que cada una de las muestras ${}_N C_n$, tienen la misma oportunidad de ser escogidas. Este tipo es llamado algunas veces muestreo aleatorio. La palabra aleatorio es usada en literatura en muchos sentidos diferentes; es aconsejable un adjetivo calificativo extra, como el que utilizaremos: muestreo simple aleatorio.

- Sesgo estadístico.

En la teoría de encuestas por muestreo es necesario considerar los estimadores insesgados por dos razones:

- En algunos casos de los problemas más comunes, particularmente en la estimación de razones, los estimadores que son convenientes y apropiados se encuentra que son sesgados.

- Aún con los estimadores que son insesgados en muestreo probabilístico, los errores de medición y las no respuestas pueden producir sesgos en los números que calculamos a partir de los datos. Esto sucede, por ejemplo, si las personas que se niegan a ser entrevistadas son casi todas las personas que se oponen a cierto cambio en el manejo de los residuos de su comuna, mientras que aquellas que han sido entrevistadas se dividen proporcionalmente en pro o en contra.

Como una regla de trabajo, el efecto del sesgo en la exactitud de un estimador es despreciable si el sesgo estimado es menor de un décimo de la desviación estándar del estimador.

3.2 VENTAJAS DEL MÉTODO DE MUESTREO.

Nuestro conocimiento, nuestras actitudes y nuestras acciones están basadas, en gran parte en muestras. Esto es igualmente cierto en la vida cotidiana y en la investigación científica. La opinión de una persona sobre la gestión de los RSU que se hace en un vertedero con cientos toneladas de residuos depositados en forma diaria, con frecuencia está determinada por uno o dos encuentros que esta persona ha tenido con dicho lugar, en el curso de varios años. El inexperto que pasa 10 días en los lugares que mejor gestionan sus residuos a nivel mundial y que entonces procede a escribir un libro relatando a su comunidad como manejar mejor sus residuos reformando sistemas y procedimientos es una clásica figura cómica. Pero en un sentido real, se diferencia de los especialistas que vivieron muchos años más estudiando la problemática y basando sus conclusiones sobre una experiencia mucho más pequeña y siendo menos consciente del grado de su ignorancia. En la ciencia faltan recursos para estudiar sólo un fragmento del tema que posiblemente aumente nuestro conocimiento acerca de los residuos.

Hasta hace unos 50 años se había prestado muy poca atención a los problemas de cómo obtener una muestra y de cómo sacar conclusiones satisfactorias de sus resultados. Esto no importa tanto mientras sea uniforme el material de donde estemos muestreando, de tal manera que cualquier tipo de muestra entregue resultados similares. Los diagnósticos de laboratorio sobre el estado de nuestra salud son realizados basándose en unas cuantas gotas de sangre. Este procedimiento está basado en la suposición de que, en el torrente sanguíneo, la sangre esté bien mezclada y que una gota “cuenta” la misma “historia” que otra, pero cuando el material está muy lejos de ser uniforme, como sucede con los residuos sólidos urbanos en especial los domiciliarios, es crítico el método mediante el cual fue tomada la muestra y, el estudio de las técnicas que aseguren la confiabilidad de la muestra se vuelve importante.

Este capítulo contiene una descripción de los métodos de muestreo estadístico que deben ser definidos por el experto para su aplicación, dependiendo de las siguientes variables:

- Costo.

Si los datos se obtienen únicamente de una pequeña fracción del total, los gastos son menores que los que se realizan si se lleva a cabo un censo completo. En poblaciones muy grandes se pueden obtener resultados lo suficientemente exactos cuando se analizan muestras que representan sólo una pequeña fracción de la población.

- Mayor rapidez.

Por la misma razón, los datos pueden ser recolectados y resumizados más rápidamente con una muestra que con una enumeración completa. Esta es una consideración vital cuando se necesita la información con cierta rapidez.

- Mayores posibilidades.

En ciertos tipos de encuestas se utilizan los servicios de personal altamente especializado o equipo especializado, de disponibilidad limitada, para obtener la información. Un censo completo es impracticable: la elección cae entre la obtención de la información por muestreo y el no obtenerla. Aquellas encuestas que están basadas en el método de muestreo tienen un mayor alcance y flexibilidad de acuerdo al tipo de información que pueda ser obtenida. Por otro lado, si se quiere una información exacta para muchas subdivisiones de la población, la extensión de la muestra que se necesita para hacer este trabajo es tan grande que una enumeración completa ofrece la mejor solución.

- Mayor exactitud.

Debido a que cuando el volumen de trabajo es reducido se puede emplear personal capacitado al cual se le puede someter a entrenamiento intensivo, y debido a que en estas condiciones se puede realizar una supervisión cuidadosa del trabajo de campo y del procesamiento de los resultados, una muestra, en realidad, puede producir resultados más exactos que la enumeración completa.

3.3 PRINCIPALES ETAPAS DE UNA ENCUESTA POR MUESTREO.

Como introducción a una discusión sobre el papel que juega la teoría en una encuesta por muestreo, es útil describir brevemente los pasos involucrados en la planeación y la ejecución de una encuesta. Las encuestas varían considerablemente en su complejidad. Es una tarea fácil el tomar una muestra de 5000 tarjetas cuidadosamente arregladas y enumeradas en un archivo. Pero la situación es otra si se desea tomar una muestra de los residuos generados por los residentes de una región en donde el transporte es por largas escaleras con grandes pendientes a través de los cerros, donde los mapas no precisan las calles que los pobladores hacen, donde existen casas de difícil acceso y que tampoco se encuentran no es preciso. Problemas que en una encuesta son desconcertantes pueden ser triviales o inexistentes en otra. Los pasos principales en una encuesta están agrupados en más o menos arbitrariamente 11 encabezados.

- Objetivos de la encuesta.

Una exposición clara de los objetivos es lo más útil. Sin esto, es fácil, en una encuesta compleja, olvidar los objetivos principales absortos en los detalles de la planeación y tomar decisiones que varían con los objetivos.

- Población bajo muestreo.

La palabra *población* se emplea para denominar el conjunto del que se elige la muestra. La definición de población puede no presentar problema, como cuando se está muestreando un grupo de la población a fin de estimar la generación de residuos promedio de cada persona. Por otra parte, en el muestreo de una población rural, se deben fijar reglas para definir lo que es una parcela o una hacienda, y surgen casos dudosos al tratar de hacer una delimitación exacta. Estas reglas deben ser aplicables a la práctica: el encuestador debe ser capaz de decidir en terreno, sin mayores complicaciones, si un caso dudoso pertenece o no a la población.

La población que va a ser muestreada (“población muestreada”) debe coincidir con la población acerca de la cual se desea hacer inferencia (“población objeto”). Algunas veces, por razones prácticas, o de conveniencia, la población muestreada es más restringida que la población objeto. Si es así, se debe recordar que las conclusiones

sacadas de la muestra se aplican a la población muestreada. El juicio acerca de si el alcance de estas conclusiones se aplicará también a la población objeto debe depender de otras fuentes de información. Puede ser de utilidad cualquier información suplementaria que se tenga acerca de la naturaleza de las diferencias entre la población muestreada y objeto.

- Datos que deben ser colectados.

Es bueno rectificar que todos los datos obtenidos son relevantes para los propósitos de la encuesta y que no ha sido omitido ningún dato esencial. A menudo existe una tendencia, particularmente con las poblaciones humanas, de preguntar demasiadas cosas, algunas de las cuales nunca serán analizadas posteriormente. Un cuestionario demasiado largo baja la calidad de las respuestas tanto a las preguntas importantes como a las de poca importancia.

- Nivel de precisión requerido.

Los resultados de las encuestas por muestreo siempre están sujetos a cierta incertidumbre debido a que sólo una parte de la población ha sido investigada y debido a los errores de medición. Esta incertidumbre puede ser reducida, tomando muestras más grandes y usando métodos de medición adecuados. Desgraciadamente esto, por lo general, cuesta tiempo y dinero; en consecuencia, es un paso importante la especificación del nivel de precisión deseado. Este paso es la responsabilidad de la persona que va a usar los datos. Se pueden presentar dificultades, ya que muchos administradores no están acostumbrados a pensar en términos de la cantidad de error que puede ser tolerada en los estimadores, compatible con la toma de buenas decisiones. Con frecuencia, el estadístico puede ayudar considerablemente en esta etapa.

- Métodos de medición.

Puede existir la posibilidad de escoger el método de medición y el método de inspección de la población. Los datos acerca de la composición de la basura pueden ser obtenidos de las declaraciones que los generadores hagan o a través de ensayos de laboratorio. La encuesta puede emplear un cuestionario autoadministrado, o un proceso de entrevistas que permita emplear la forma y el orden de las preguntas.

Una parte importante del trabajo preliminar es la construcción de las formas de registro en las cuales se van a colocar las preguntas y las respuestas. Con cuestionarios sencillos, algunas veces las respuestas pueden ser precodificadas, es decir colocadas de tal manera, que puedan ser rutinariamente transferidas a un equipo mecánico. De hecho, para la construcción de buenas formas de registro es necesario visualizar la estructura de las tablas de resúmenes finales que va a ser usada para obtener las conclusiones.

- El marco.

Antes de la selección de la muestra, la población debe ser dividida en partes que son llamadas *unidades de muestreo* o *unidades*. Estas unidades deben cubrir la totalidad de la población y no se deben sobreponer, en el sentido de que todo elemento en la población pertenezca a una, y sólo a una unidad. Algunas veces, la unidad apropiada es obvia como en la población constituida por botellas, en donde la unidad es una botella. En otras ocasiones existe la posibilidad de escoger lo que será la unidad de muestreo. En el muestreo de los residentes de una ciudad, la unidad puede ser una persona, los miembros de una familia o todas las personas que viven en la misma cuadra de la ciudad.

La construcción de esta lista de unidades de muestreo, llamada marco, es con frecuencia uno de los mayores problemas prácticos. Debido a experiencias amargas, los técnicos tienen una actitud crítica de listas que han sido recolectadas rutinariamente para algún propósito. A pesar de que se asegura lo contrario, tales listas con frecuencia se encuentran incompletas, parcialmente ilegibles o contienen una cantidad desconocida de duplicación. Un buen marco puede ser difícil de obtener cuando la población es especializada, pero en nuestro caso observamos que todos los habitantes de la ciudad genera residuos sólidos domiciliarios.

- Selección de la muestra.

Existe actualmente una gran variación de planes para seleccionar una muestra. Por cada plan que es considerado, se pueden hacer estimaciones del tamaño de la muestra, partiendo de un conocimiento del nivel de precisión deseado. Los costos relativos y el tiempo involucrado para cada plan son también comparados antes de tomar una decisión.

- La encuesta piloto.

Se ha encontrado de gran utilidad el probar el cuestionario y los métodos de trabajo en terreno en pequeña escala. Esto casi siempre da por resultado mejoras en el cuestionario y puede revelar otros problemas que serían serios en escala mayor, por ejemplo, que el costo fuera mucho mayor que el esperado.

- Organización del trabajo de campo.

En encuestas extensas se encuentran muchos problemas de orden administrativo. El personal debe recibir un entrenamiento en relación al propósito de la encuesta y de los métodos de medición que se emplearán. Debe además ser adecuadamente supervisado en su trabajo. Un procedimiento de verificación anticipado sobre la calidad de las respuestas es invaluable. Se deben hacer planes para manejar las no-respuestas, es decir, la falla del encuestador para obtener la información de ciertas unidades de la muestra.

- Resumen y análisis de los datos.

El primer paso después de realizar la encuesta es de editar los cuestionarios obtenidos, con la esperanza de corregir errores o cuando menos desechar los datos que obviamente están equivocados. Se necesita tomar decisiones acerca del procedimiento de tabulación, en los casos en donde los datos requeridos fueron omitidos por algún problema de terreno o fueron desechadas en el proceso de edición. De ahí en adelante se hacen las tabulaciones que conducirán a los estimadores. Hay diferentes métodos disponibles de estimación para la misma información.

- Información ganada para futuras campañas de muestreo.

Mientras más información se tenga inicialmente acerca de una población, más fácil será proyectar una muestra que entregue estimadores exactos. Cualquier muestra terminada es potencialmente una guía para mejorar el futuro muestreo, por medio de los datos que proporciona sobre medias, desviaciones estándar y naturaleza de la variabilidad de las mediciones principales, así como sobre los costos involucrados en la obtención de los datos. La práctica del muestreo avanza más rápidamente cuando se han hecho las previsiones para coleccionar y registrar la información de este tipo.

Hay otro aspecto importante con el cual cualquier muestra terminada facilita las muestras futuras. El trabajo práctico en una encuesta compleja nunca se realiza exactamente como se ha planeado. El buen encuestador aprende a reconocer los errores de ejecución y a ver que éstos no ocurran en encuestas futuras.

3.4 MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO.

En el muestreo aleatorio estratificado la población de N unidades es primero dividida en subpoblaciones de N_1, N_2, \dots, N_L unidades, respectivamente. Estas subpoblaciones no se sobreponen y juntas forman la totalidad de la población, por lo que:

$$N_1 + N_2 + \dots + N_L = N$$

Las subpoblaciones son llamados estratos. Para obtener un beneficio completo de la estratificación, deben ser conocidos los valores de N_h . Una vez que han sido determinados los estratos, se saca una muestra de cada uno, la obtención se realiza independientemente en estratos diferentes. Los tamaños de muestra dentro de los estratos son representados por n_1, n_2, \dots, n_L respectivamente.

Si se toma una muestra simple aleatoria de cada estrato, el procedimiento completo es conocido como muestreo aleatorio estratificado.

La estratificación es una técnica común, y existen muchas razones para realizarla. Las principales son las siguientes:

- Si se desea información con cierta precisión en algunas subdivisiones de la población, es aconsejable tratar cada subdivisión como una población por sí sola.
- Por conveniencias de tipo administrativo se puede utilizar la estratificación, por ejemplo, si el laboratorio de residuos posea diferentes oficinas en una ciudad cada una de las cuales puede supervisar la encuesta en una parte de la población.
- Los problemas de muestreo pueden diferir marcadamente en diferentes partes de la población. Con poblaciones humanas, considerando personas que viven en instituciones (por ejemplo hospitales, hoteles o en la cárcel) con frecuencia son colocadas en estratos diferentes al de las personas que viven en viviendas comunes,

porque es adecuado un enfoque diferente del tipo de muestreo para las dos situaciones. En el trabajo de muestreo podemos contar con una lista de compañías grandes, las cuales son colocadas en un estrato separado. Para las empresas pequeñas se puede utilizar un tipo de muestreo por área.

- La estratificación puede dar lugar a una ganancia de precisión en los estimadores de las características de toda la población.. Es posible subdividir una población heterogénea en subpoblaciones, cada una de las cuales es internamente homogénea. Esto es sugerido por el nombre de estrato, con su implicación de una división en capas. Si cada uno de los estratos es homogéneo, en el sentido de que las medias varían muy poco de una unidad a otra, se puede obtener un estimador muy preciso de cualquiera de las medias de los estratos derivados de una muestra pequeña en ese estrato. Estos estimadores pueden ser combinados en un estimador preciso de toda la población.

La teoría de muestreo estratificado trata con las propiedades de los estimadores de una muestra estratificada y con la mejor elección de los tamaños de muestra n_h para obtener una máxima precisión.

4. METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN.

En cualquier ciudad, sea grande o pequeña, es esencial conocer la cantidad de basura a recoger y disponer, y sus características tales como densidad, composición, humedad y poder calorífico, con el objetivo de diseñar técnicamente los sistemas de recolección, transporte y disposición final de la misma.

Este capítulo tiene por finalidad ofrecer una metodología para el análisis de los residuos sólidos domiciliarios de manera que facilite el conocimiento de las cantidades y características de la basura a manejar por los encargados del servicio de aseo en ciudades, especialmente las que no destinan tantos recursos como las de países industrializados.

4.1 DEFINICIÓN DE CARACTERIZACIÓN.

Se define caracterizar como la acción de "determinar con precisión a alguien o algo por sus cualidades distintivas o peculiares".

A pesar de esto, la palabra caracterización para este trabajo equivale a poder determinar las principales cualidades y características de los residuos sólidos. Esto se efectúa en base a porcentajes de los principales elementos que los constituyen, para así establecer las cantidades y variaciones de sus elementos a través del tiempo, además de obtener valores de humedad y poder calorífico.

Lo importante de una caracterización es que esta es una herramienta de trabajo que permite conocer el elemento con el cual se trabaja, en este caso los residuos sólidos, y con este conocimiento se está en condiciones de establecer una mejor disposición final en cuanto a su manejo, logrando a su vez una optimización de los recursos disponibles para tales efectos.

Lo anterior es un estudio básico a realizar antes de poder extraer conclusiones o fijar caminos de acción en el manejo integral de los residuos, porque cualquiera que sea la decisión que se quiera tomar en este sentido, de no haber un proceso investigativo como

una caracterización que lo avale, produce un fracaso en el sistema de manejo elegido haciendolo ineficaz y carente de sentido y realismo, es por eso que dentro de esta Evaluación de impacto Ambiental se realiza un estudio de estas características, el cuál permitirá adoptar las medidas correctoras más eficientes, en cuanto al problema de los microvertederos.

4.2 FACTORES A CONSIDERAR EN UNA CARACTERIZACIÓN.

Una vez que se ha definido la palabra caracterización, se esta en condiciones de establecer algunos factores que se deben tener en cuenta en este proceso de caracterización de los residuos sólidos y que podrían tener incidencia al momento de planificar el trabajo.

Se deben tener presente factores sociales, económicos, políticos, ambientales, estacionales, etc., los cuales en un momento determinado pueden variar el proceso de toma de muestras y en definitiva todo el sistema de investigación, ante lo cual nos obliga a mantenernos cautelosos frente a estos factores, a fin de asegurar la representatividad de los resultados y el éxito de los objetivos de esta caracterización.

- **Factores sociales.** Este es un factor que juega un papel preponderante dentro de una caracterización, ya que nuestra sociedad está compuesta basicamente por tres sectores sociales, el alto, el medio y el sector bajo, teniendo cada uno de ellos sistemas de vida diferentes los cuáles están asociados con factores cómo:

- El nivel educacional alcanzado.
- El nivel económico
- Otros.

Lo que conlleva que cada sector tenga una producción de residuos distinta que en definitiva afectará los resultados de la caracterización.

- **Factores económicos.** Estos poseen una gran influencia en el proceso de caracterización dado que es el que determina en definitiva el nivel o calidad de vida y su

ubicación geográfica dentro de una misma ciudad. Este factor es claramente el que influye en el tipo de basura que se extrae de cada uno de los sectores que señalábamos en el párrafo anterior y esto se traduce en que aquellos sectores económicamente altos consuman más productos envasados, mientras que en otros no ocurre lo mismo.

- **Factores políticos.** De la misma forma el factor político influye en este tipo de proceso debido a que las sociedades que viven en democracia son arte y parte en el gobierno, dado que ese es su origen, y por lo tanto cualquier decisión política que se tome, podría influir en forma directa en la ciudadanía en cuanto a su forma de vivir, sus hábitos y costumbres. Por lo tanto, cualquier cambio no previsto se puede detectar en un proceso tan sensible como el de una caracterización de residuos en una ciudad.

- **Factores ambientales.** Son determinantes en la vida de las comunidades enmarcándolas y llevando a determinar el nivel y formas de vida de sus habitantes, debido principalmente a que una comunidad que se preocupa de la preservación y cuidado de su medio ambiente es una comunidad que se preocupa de su futuro y de sus hijos.

La comunidad que se encuentra enmarcada dentro de un pensamiento ecologista se supone que tendrá un cuidado especial en el tipo de residuo que entrega al medio ambiente, lo cual vendrá a influir en forma directa a la caracterización.

- **Factores estacionales.** Son muy importantes en el proceso de caracterización debido principalmente a la aparición y salida del mercado de frutas de las diferentes estaciones que conforman el año, así como también de algunos elementos no comestibles que predominan en otras, lo que origina las variaciones de los porcentajes de los diferentes elementos en que se componen los residuos sólidos y también de su humedad.

Es por esta razón que los residuos sólidos son elementos que no permanecen constante en el tiempo, al contrario, están en continuo cambio y evolución de sus características y es así que estas varían considerablemente de una estación del año a otra. De acuerdo a esto, es que lo ideal fuese realizar un seguimiento de los residuos en el transcurso de un año y en rigor en forma ininterrumpida para determinar a ciencia cierta las fluctuaciones y comportamiento que experimentan a lo largo de este periodo de tiempo.

- **Otros factores.** Como una realización de esta magnitud involucra una serie de factores que entran en juego haciendo difícil su realización, especialmente en lo económico, es que debemos buscar un óptimo dentro de las posibilidades y recursos disponibles. Esto nos lleva a buscar un mínimo de veces a tomar muestras, pero suficientes, que nos permita establecer una base de datos para extraer de ellas algunas conclusiones al respecto.

A su vez otro punto a tener en consideración está relacionado con el sistema de recogida municipal, ya que una investigación de este tipo debe estar, necesariamente, relacionada con el día y hora de recolección en el sector donde se procederá a tomar la muestra para su posterior caracterización dentro del proceso.

También hay que tener presente que existen algunos sectores que son de difícil toma de muestra, a diferencia de otros, en los cuales llegamos al sector y nos encontramos con canastillos, contruidos especialmente para ello, que poseen en su interior la basura en espera del camión, lo cual facilita enormemente la toma de muestras, ya que solo se debe dar una recorrida por el lugar capturando y conformando la muestra. No así con otros sectores en los cuales el sistema de recogida es domiciliario y se debe esperar, a veces por horas, la llegada del camión al sector, ya que este último ha tenido retrasos en su labor ya sea por tránsito vehicular o simplemente por el trabajo desarrollado, el cual se ha llevado en forma lenta.

4.3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS PARA UNA CARACTERIZACIÓN.

4.3.1 Características físicas.

Los residuos sólidos urbanos son una mezcla muy heterogénea de elementos, extremadamente difícil de separar después de su recogida. Esta mezcla está compuesta por distintas fracciones de materiales los cuales se pueden dividir como sigue:

- Grupo de Materias Inertes:

Metales.

Vidrios.

Tierras y Cenizas.

Restos de reparaciones domiciliarias.

- Grupo de Materias Fermentables:

Materia Orgánica.

- Grupo de Materias Combustibles:

Papel

Cartón

Plásticos

Madera

Gomas, Cueros y Textiles

- Otros.

Es muy importante saber cual es el reparto en peso y porcentual de dichos componentes en una muestra que sea representativa de R.S.U. de una ciudad o una determinada zona, con el fin de tomarlos como datos básicos para el diseño de sistemas de eliminación o disposición final.

4.3.2 Características bioquímicas.

Otra de las características que poseen los residuos sólidos, es que estos se descomponen a través del tiempo y la rapidez de la descomposición va a depender de la naturaleza de

sus componentes y del contenido de humedad. Por ejemplo la materia orgánica se descompone en corto tiempo, mientras que materiales como el plástico siguen inalterables a través de los años.

La acción disolvente del agua es un líquido altamente contaminado (lixiviado) cuando el agua se filtra por los desperdicios sólidos. Los contaminantes en la basura pasan al agua a través de la acción disolvente físico-química y descomposición biológica. La acción disolvente del agua, tanto física como química, se encuentra principalmente en la disolución de la materia por medio de la corriente de agua a través de la basura. La descomposición biológica es el resultado de la degradación de la basura en una acción disolvente de agua o en una materia sólida o gaseosa.

La descomposición y proceso disolvente están interrelacionados y se hallan afectados primordialmente por la disponibilidad de humedad, temperatura, existencia de oxígeno, composición, tamaño de las partículas y humedad propia de los desperdicios sólidos.

La mayor parte de los contaminantes, sean minerales y orgánicos, dejados en libertad en la basura, son disueltos durante el período de la descomposición biológica. Luego de haber terminado la descomposición biológica, pueden darse algunas pequeñas cantidades de minerales disueltos. No obstante, la cantidad de materia dejada en libertad en el agua aumenta con la proporción del aumento de la descomposición.

Debido a que la fuerza de disolución está tan íntimamente relacionada con la descomposición, a continuación se dará una breve descripción de la clase de descomposición que puede darse en los desperdicios sólidos. La descomposición es casi biológica por entero y puede ser de tipo aeróbica o anaeróbica.

La descomposición aeróbica está referida generalmente a la producción del compost, que es un tipo de abono. Para que se efectúe requiere la presencia de oxígeno y gran circulación de aire. La humedad óptima para un porcentaje de descomposición aeróbica es de un 40% a 65% de su peso total. Este proceso crea temperaturas altas, hasta 200^a F, en condiciones adecuadas la temperatura fluctúa entre 120 a 160^a F, pudiendo mantenerse durante períodos de 2 a 3 meses. La descomposición aeróbica es un proceso relativamente rápido ya que los desperdicios que pasan por la descomposición pueden tener una apariencia muy similar al humus después de 2 a 3 meses y será relativamente estable durante 4 o 6 meses. Este tipo de descomposición no

provoca generalmente malos olores, y las altas temperaturas son frecuentemente suficientes para eliminar los agentes patógenos y recuperar las semillas no productivas.

Por otra parte, la descomposición anaeróbica se produce con la ausencia de oxígeno. El contenido de humedad, que produce un alto grado de descomposición anaeróbica, en este caso varía desde el 60% hasta la saturación completa. La temperatura de descomposición es menor que la aeróbica generalmente en un 85^a F a 110^a F, siendo el máximo aproximadamente de unos 125^a F. La temperatura óptima para ocasionar el proceso anaeróbico es de más de 98^a F.

La descomposición anaeróbica sucede en dos fases. La primera es la fase no metánica. Este estado generalmente no tiene límite y prepara los desperdicios para una degradación posterior. Esta fase se caracteriza por la producción de ácidos con bajos valores de pH. La metagónica (producción de metano) se considera que es la que tiene más descomposición en condiciones anaeróbicas, puesto que la fase no metánica tiene poca vida. En esta fase se producen metano y dióxido de carbono. También puede producirse hidrógeno sulfúrico, reconocible por su mal olor. Las bacterias son delicadas en esta fase metagónica y el proceso de descomposición se estropeará si las condiciones antes mencionadas no se dan. La descomposición anaeróbica es mucho más lenta que la descomposición aeróbica.

- Terminología.

En el presente acápite se propone mantener un marco de referencia en cuanto a los términos más empleados en el ámbito de los residuos sólidos urbanos, incluyendo sus definiciones.

- 1) Absorción: Incorporación y fijación de una sustancia en el cuerpo de otra, cuando el fenómeno no se limita tan sólo a la superficie.
- 2) Acción microbiana: Proceso de degradación de la materia orgánica en los residuos sólidos debido principalmente a bacterias y hongos, los cuales la hidralizan y oxidan a través de encimas.

- 3) Adsorción: Es la operación en la que una determinada sustancia (adsorbato), se transfiere desde un fluido hasta la superficie de un sólido (adsorbente), cuyas paredes están en contacto con dicho fluido.
- 4) Agente activo tóxico: cualquier elemento, sustancia o mezcla de sustancias que al incorporarse a los ecosistemas les produce efectos adversos.
- 5) Aireación: Inclusión del oxígeno de la atmósfera, por medios naturales o mecánicos, para la degradación por vía aerobia de todos aquellos residuos biodegradables.
- 6) Almacenamiento: La acción de retener temporalmente los residuos sólidos en tanto se procesan para su aprovechamiento, se entregan al servicio de recolección o se disponen.
- 7) Biodegradables: cualidad que tiene toda materia de tipo orgánico para ser metabolizada por medios biológicos.
- 8) Características físicas: Propiedades que definen el estado de la materia que constituye a todo residuo sólido, así como aquellas que no alteran o modifican su naturaleza y composición. Los parámetros más empleados para determinarlas son: densidad, humedad y poder calorífico.
- 9) Características químicas: Propiedades que definen la potencialidad de la materia contenida en todo tipo de residuos sólidos para transformarse, cambiar su energía o alterar su estado. Los parámetros más empleados para determinarlas son: pH, contenido orgánico total, carbono total, fósforo total, nitrógeno total, relación carbono- nitrógeno, cenizas, demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.₅), demanda química de oxígeno (D.Q.O.₅), azufre, sales, ácidos, bases y metales pesados.
- 10) Cenizas: Producto final de la combustión de los residuos sólidos.
- 11) Compostaje: El proceso de estabilización biológica de la fracción orgánica de los residuos sólidos, bajo condiciones controladas, para obtener un mejorador orgánico de suelos.
- 12) Contaminante: Todo elemento, materia, sustancia, compuesto, así como toda forma de energía térmica, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido que al incorporarse o actuar en cualquier elemento del medio físico, alteran o modifican su estado y

composición, o bien, afecten la flora, la fauna o la salud humana. Debe entenderse como medio físico al suelo, aire y agua.

13) Contenedores: Recipientes metálicos o de cualquier otro material apropiado según las necesidades, utilizadas para el almacenamiento de los residuos sólidos generados en centros de gran concentración, lugares que presenten difícil acceso o bien en aquellas zonas donde se requieran.

14) Cuantificación: Proceso mediante el cual, se determina la composición en peso de cada uno de los subproductos contenidos en los residuos sólidos.

15) Degradable: Cualidad que presentan determinadas sustancias o compuestos, para descomponerse gradualmente por medios físicos o biológicos.

16) Densidad: Masa o cantidad de materia de un determinado residuo sólido, contenida en una unidad de volumen.

17) Disposición Final: El depósito permanente de los residuos en sitios y condiciones adecuados para evitar daños a los ecosistemas.

18) Ecosistemas: Unidad Básica de interacción de los organismos vivos entre si y sobre el ambiente, en un espacio determinado.

19) Espécimen: Es cada una de las porciones de material que se extraen de la muestra de residuos sólidos, suficientes para efectuar los análisis correspondientes.

20) Estación de transferencia: Obra de ingeniería, para transbordar los residuos sólidos de los vehículos de recolección, a los de transporte, para conducirlos a los sitios de tratamiento o disposición final.

21) Generación: Cantidad de residuos sólidos originados por una determinada fuente en un intervalo de tiempo.

22) Incineración: Proceso de combustión controlada, para tratar los residuos sólidos.

23) Lixiviado: Líquido contaminante que resulta del paso de agua a través de un estrato de residuos sólidos.

- 24) Monitoreo: Conjunto de actividades necesarias para conocer y evaluar la calidad de un determinado elemento del ambiente.
- 25) Muestra: Parte representativa de un universo o población finita, obtenida para conocer sus características
- 26) Peso Volumétrico: Peso de los residuos sólidos contenidos en una unidad de volumen.
- 27) Pirólisis: Descomposición físico- química del material degradable de los residuos sólidos, debido a la acción de la temperatura en una atmósfera deficiente en oxígeno.
- 28) Reciclaje: Proceso de transformación de los residuos sólidos para fines productivos.
- 29) Recolección: Acción de tomar los residuos sólidos de sus sitios de almacenamiento, para depositarlos en el equipo destinado a conducirlos a las estaciones de transferencia, instalaciones de tratamiento o sitios de disposición final.
- 30) Relleno Sanitario: Método de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos municipales, los cuales se depositan, se esparcen, compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con una capa de tierra, al término de las operaciones del día.
- 31) Residuo: cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumos, utilización o tratamiento, cuya calidad no permite incluirlo nuevamente en el proceso que lo generó.
- 32) Residuo Peligroso: Todo aquel que por sus características físicas, químicas y biológicas, represente desde su generación daño para el ambiente o la salud de las personas.
- 33) Residuo potencialmente peligroso: Todo aquel que por sus características físicas, químicas o biológicas pueda representar un daño para el ambiente o la salud de las personas.
- 34) Residuo sólido municipal: Aquellos que se generan en viviendas, parques, jardines, vía pública, oficinas, sitios de reunión, mercados, comercios, bienes muebles, demoliciones, construcciones, instituciones, establecimientos de servicio y en general

todos aquellos generados en actividades municipales que no requieran técnicas especiales para su control, excepto los peligrosos y potencialmente peligrosos de los hospitales, clínicas, laboratorios y centros de investigación.

25) Reuso: Acción de usar un residuo sólido, sin previo tratamiento.

36) Subproductos: Diferentes constituyentes de los residuos sólidos.

37) Selección: Método por el cual se separan los residuos sólidos con base en una clasificación previamente establecida.

38) Tolerancia: Nivel máximo permisible de agentes activos tóxicos en los residuos de acuerdo a lo establecido por las Normas correspondientes.

39) Tratamiento: El proceso que sufren los residuos para eliminar su peligrosidad o hacerlos reutilizables.

4.4 OBJETIVO DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS SÓLIDOS.

El análisis de la basura tiene como objetivo el permitir conocer en forma fidedigna dichas características, al objeto de contar con los antecedentes necesarios para dar correcta solución a los problemas que se plantean.

Los volúmenes de producción y características de residuos sólidos son muy variables, ciudad por ciudad, país por país, en función de los diferentes hábitos y costumbres de la población, de las actividades dominantes, del clima, de las estaciones y otras condiciones locales que se modifican con el transcurso de los años.

Estas variaciones influyen mucho en la búsqueda de la solución más apropiada a los problemas involucrados en las operaciones del servicio de aseo. Las operaciones básicas a las que es necesario dar solución son: el almacenamiento, la recolección y la disposición final.

En primer lugar es preciso, en el caso del almacenamiento, determinar las características que deben tener los receptáculos para almacenar los residuos sólidos en lo referente a su forma, tamaño y material, a fin de asegurar su fácil manejo y condiciones higiénicas. El

tamaño se debe determinar en base a la frecuencia de recolección y al volumen de producción de basura per cápita por día (PPC). En el caso de la basura húmeda, tal como la de américa latina, se debe reducir el uso de cajas de cartón como recipientes, ya que éstas se rompen fácilmente por el efecto de humedad causando problemas al derramarse la basura en las calles.

A continuación se debe determinar la frecuencia de recolección y seleccionar el tipo, capacidad, etc., de los vehículos recolectores a emplear. En la determinación de la frecuencia se necesita tener en cuenta los siguientes factores:

- Composición física de la basura (contenido de desperdicios y humedad).
- Condiciones climáticas.
- Consideración sanitaria (ciclo de la mosca, etc.).
- Recurso disponible para la recolección.

En el caso de la basura latinoamericana, se recomienda una frecuencia de recolección de por lo menos tres veces por semana para residuos con alto contenido de materia orgánica y porcentaje de humedad elevado y en zonas de climas calurosos, factores que aumentan la velocidad de descomposición del residuo imposibilitando el almacenaje intraedificacional por más de 3 días. Si las condiciones son extremas, se recomienda utilizar estas variables para diseñar la frecuencia de recolección.

En cuanto a la selección de los vehículos recolectores, es muy común en américa latina el uso de camiones compactadores ensamblados con especificaciones para países industrializados o fabricados en estos países. En este caso, la sobrecarga de los vehículos es muy probable por la alta densidad de la basura latinoamericana, lo cual provoca el desgaste prematuro de los sistemas de almacenamiento y compactación de los vehículos, sobre todo de los resortes y ejes traseros. Por lo tanto, es muy importante seleccionar la combinación oportuna de cajas y chasis teniendo en cuenta las características de la basura en cuestión.

Por otro lado, el diseño de plantas de transferencia debe ser acorde con la mayor densidad y humedad del residuo latinoamericano, lo que implica un mejor control de los componentes mecánicos y estructurales además de prevenir la corrosión de las partes. Además se debe tener en cuenta un mayor y mejor control de vectores sanitarios, factor importante dentro de la colocación de este tipo de plantas cuando el residuo tiene un alto contenido de restos de alimentos.

Finalmente, corresponde seleccionar el sistema de disposición final más conveniente. Esto debe hacerse desde el punto de vista sanitario y económico. De los distintos métodos de disposición final, el que parece ser el más adecuado a la realidad técnica y económica de América Latina es el relleno sanitario. Cuando se trata de seleccionar otros sistemas tales como compostaje, incineración y pirólisis, es indispensable analizar debidamente las características de la basura a manejar, a fin de identificar la factibilidad técnica y económica de estos sistemas en el medio.

En resumen, es indispensable que los funcionarios del servicio de aseo conozcan bien las características cuantitativas y cualitativas de los residuos sólidos actuales de su ciudad así como sus proyecciones futuras. Estos conocimientos deben ser precisos para un debido cumplimiento de las siguientes tareas (entre otras):

- Planeamiento adecuado del servicio de aseo a corto, mediano y largo plazo.
- Dimensionamiento del servicio de aseo.
- Selección de equipos y tecnologías apropiados.
- Implementación de políticas de recuperación de materiales.
- Evaluación de las políticas de reciclaje.

4.5 ESTRATIFICACIÓN SOCIAL PARA UNA CARACTERIZACIÓN.

Frente a la situación de tener que tomar muestras en distintos puntos de una determinada ciudad para conocer las características de los residuos sólidos, se espera

resolver una serie de interrogantes que surgen en el camino, que dicen relación con la forma de enfrentar el problema.

¿Dónde efectuarla?, ¿cómo establecer un sistema que permita conocer los lugares más apropiados para la toma de muestras?. Estas y otras interrogantes al respecto afloran al momento de establecer una adecuada planificación y conjuntamente una metodología de trabajo.

De la misma forma surge como una de las mejores opciones para abordar el problema, la posibilidad de enfrentarlo desde el punto de vista de la estratificación social, como metodología a aplicar en la determinación de los puntos en los cuales se procederá a tomar muestras y de esta forma asegurar que todo el proceso de toma de muestras esté bien fundamentado.

La estratificación social de la población en estudio es una herramienta importante y válida para agilizar el proceso fundamental de conocer las características de los residuos sólidos urbanos.

Las características de los residuos sólidos urbanos varían entre otros factores, debido al nivel de vida de la población. Entonces es recomendable, desde el punto de vista práctico de la investigación, diferenciar tres estratos socioeconómicos: residencial alto, residencial medio y residencial bajo. En Chile, la información recomendada para diferenciar estos estratos se encuentra en las oficinas de los Servicios Regionales de Planificación (SERPLAC), dependientes del Ministerio de Planificación.

Considerando todos aquellos factores socioeconómicos que determinan los diferentes niveles de vida de la comunidad, tales como número y calidad de las viviendas, instituciones de uso público, educación, nivel cultural, sector salud, saneamiento y urbanización, organización poblacional, servicios de resguardo policial e índices de delincuencia, alcoholismo y drogadicción e índices de extrema pobreza.

Conocida la forma de enfrentar la estratificación social, se procede a dividir la totalidad de la población en estudio en tres estratos sociales:

- Residencial Alto,
- Residencial Medio, y

- Residencial Bajo.

Se recomienda utilizar como base para efectuar la estratificación los datos de población y antecedentes de extrema pobreza (en Chile se puede utilizar la expresión de porcentaje de habitantes clasificados con índices 1, 2 y 3 por la encuesta CAS, en relación al total de habitantes de una unidad vecinal).

De manera práctica se recomienda aplicar criterio de expertez de un profesional competente para determinar los porcentajes entre los cuales fluctuarán los estratos a separar. Por lo tanto esta división se hace de acuerdo a los rangos de extrema pobreza (EP%) en que oscilan los distintos estratos sociales. A continuación se muestra una tabla que ejemplifica la estratificación buscada.

Figura 4.1.: Estratos sociales según porcentaje de extrema pobreza.

| ESTRATO | PORCENTAJE EXTREMA POBREZA (EP%) |
|-------------------|----------------------------------|
| RESIDENCIAL ALTO | 0-30 |
| RESIDENCIAL MEDIO | 31-40 |
| RESIDENCIAL BAJO | 41-100 |

Es importante señalar que los criterios utilizados para estratificar la población en estudio dependen del razonamiento utilizado por el experto, de esta forma, se puede utilizar cualquiera de las variables presentadas anteriormente tales como (índices de delincuencia, alcoholismo y drogadicción, etc., u otra de mejor representatividad) y que sirvan de mejor manera para diferenciar los estratos. Por otro lado se recomienda evitar el cambio de dicho criterio fundamental a través del tiempo, no así la actualización o adaptación de los porcentajes dependiendo de los que señale el experto.

4.6 TOMA DE MUESTRAS.

Generalmente, la cantidad, la composición y la densidad de la basura llevada al relleno son bastante diferentes que las de la basura generada debido a la activa recuperación de materiales tales como papeles, cartones, trapos, botellas y metales, y a la compactación y esponjamiento que se realizan en el transcurso del manejo de basura. Por ejemplo, la densidad de basura se altera a medida que se avanzan las etapas de su manejo como se muestra en el cuadro de continuación:

Figura 4.2.: Ejemplo de alteración de densidad de basura.

| ETAPA | DENSIDAD |
|---|-----------------------|
| Basura suelta en recipientes. | 150 kg/m ³ |
| Basura compactada en camiones compactadores. | 500 kg/m ³ |
| Basura suelta descargada en los rellenos. | 400 kg/m ³ |
| Basura recién rellena. | 600 kg/m ³ |
| Basura estabilizada en los rellenos (2 años después del relleno). | 900 kg/m ³ |

Por tanto, se necesita seleccionar una etapa mas apropiada para la toma de muestras teniendo en cuenta el motivo del análisis. Por ejemplo, para la determinación del volumen de recipientes se debe medir la densidad de basura en la etapa A mencionada y para la selección de camiones compactadores se necesita la densidad en la etapa B. En el caso del dimensionamiento de celdas de relleno, es fundamental la medición de la densidad en la etapa D, y se debe usar la densidad de la etapa E en el cálculo de la vida útil del relleno. Si se trata de identificar la factibilidad de industrialización de basura, sería preferible tomar la muestra en la etapa A.

4.7 DETERMINACIÓN DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS DOMICILIARIOS.

El objetivo será determinar la generación per cápita de residuos sólidos municipales a partir de observaciones de terreno. Para efectos de aplicación, los residuos sólidos municipales se subdividen en domiciliarios, que son los generados en viviendas, y en no-domiciliarios, cuando nos referimos a los generados en el comercio, mercado, etc., pero conservando una característica de ser asimilables a urbanos.

Para la operación de determinar la generación de los residuos sólidos domiciliarios se requerirán los siguientes elementos y equipos:

- Báscula con capacidad mínima de 100 Kg. y precisión de 50 gr. o superior.
- Recipientes adecuados.

4.7.1 Procedimiento.

Este parámetro se obtiene con base en la generación promedio de residuos sólidos por habitante, medido en Kg/hab/día a partir de la información obtenida de un muestreo aleatorio en terreno de cada uno de los estratos socioeconómicos de la población por analizar.

4.7.2 Selección del riesgo.

El riesgo (α) con que se realizará el muestreo se elige tomando en consideración los siguientes factores:

- Conocimiento de la localidad.
- Calidad técnica del personal participante.
- Facilidad para realizar el muestreo.
- Características de la localidad a muestrear.

- Exactitud de la báscula.

4.7.3 Tamaño de la muestra.

A partir del riesgo seleccionado (α) se adopta un tamaño de muestra por estrato, con base en la siguiente tabla:

Figura 4.3.: Tamaño muestral según riesgo.

| Riesgo (α) | Tamaño de la muestra (n) |
|---------------------|--------------------------|
| 0,05 | 115 |
| 0,10 | 80 |
| 0,20 | 50 |

4.7.4 Determinación de estratos de muestreo.

Se determina la zona a muestrear (procedimiento de estratificación social) y se calcula el universo de trabajo en un plano actualizado de la localidad. Luego se cuentan y enumeran en orden progresivo, los elementos del universo de trabajo, para conocer su magnitud.

Basándose en el tamaño teórico de la muestra y en el tamaño del universo de trabajo, se seleccionan aleatoriamente los elementos de dicho universo que formarán parte de la muestra. Para realizar lo anterior, se puede emplear una tabla de números aleatorios que se puede consultar en la mayoría de los libros de estadística para conocer su modo de empleo.

Luego se identifican físicamente los elementos de la muestra en el universo de trabajo, anotando el número aleatorio correspondiente al elemento, esta operación debe hacerse necesariamente en el plano de caracterización y se recomienda hacerlo en

terreno, en algún lugar visible de la calle donde se encuentra la vivienda o elemento por muestrear.

Después se deben recorrer los lugares a muestrear, visitando los habitantes de las viviendas seleccionadas para la premuestra con el fin de explicarles la razón del muestreo así como para captar la información general que a juicio del encargado del muestreo sea relevante.

También durante el recorrido, se les entrega una bolsa de polietileno, a los habitantes de cada una de las viviendas de la premuestra. Se recomienda que el recorrido antes descrito se realice la semana anterior a la semana elegida para llevar a cabo el muestreo.

El primer día del periodo de muestreo, preferentemente el lunes, se recorre el universo de trabajo para recoger en las viviendas de la premuestra, los residuos sólidos que hayan almacenado sus moradores en la bolsa proporcionada entre el sábado y domingo anteriores a la semana de muestreo. Es conveniente que el recorrido antes mencionado se haga lo mas temprano posible del día, recomendándose las 9:00 hrs. A.M., como la hora mas propicia para ello. Lo anterior, sirve únicamente como una operación de limpieza, con la cual se asegura que la basura generada después del recorrido antes descrito corresponderá únicamente al primer día de muestreo (Lunes). Simultáneamente, se entrega a los habitantes de las viviendas una nueva bolsa para que almacenen los residuos sólidos generados en el primer día de muestreo (Lunes).

Por último, la basura recogida de las viviendas el día Lunes, simplemente se transfiere al equipo de recolección municipal para su disposición o tratamiento, o bien se lleva al sitio de disposición final.

- A continuación, a partir del Martes y hasta el Domingo de la semana elegida para realizar el muestreo, se visitan las casas habitación seleccionadas para la premuestra, con el fin de recoger las bolsas de polietileno con los residuos sólidos generados el día anterior al día de la visita, y a la vez se les entrega una nueva bolsa para que almacenen los residuos sólidos que generarán el día de la visita. A la bolsa que entreguen los habitantes de las viviendas se les marca el número aleatorio correspondiente con el fin de evitar confusiones posteriores.

El Lunes siguiente al domingo de la semana de muestreo, únicamente se recogen las bolsas con la basura generada el día anterior sin entregar más bolsas, terminando así esta actividad de premuestreo y dejando que vuelva a funcionar normalmente el sistema de recolección municipal.

- Después de recoger diariamente los residuos sólidos generados el día anterior, se procede a pesarlos en básculas, anotando el peso de dichos residuos en la planilla de encuesta en la celda correspondiente al día en que fueron generados.

- El paso siguiente, es el de dividir el peso de los residuos sólidos entre el número de habitantes de la vivienda encuestada, para obtener la generación per-cápita de residuo sólidos en Kg/hab/día, correspondiente al día en que fueron generados. El valor de la generación se anota en planilla correspondiente.

Nota: Se puede decir que con el punto anterior se termina la fase de terreno; quedando por realizar la evaluación de la información captada, mediante la aplicación de ciertas técnicas y modelos estadísticos tal y como se describe a continuación.

Cabe aclarar que la información captada en terreno podrá evaluarse de distintas maneras de acuerdo con el criterio del encargado de la caracterización. La evaluación que a continuación se presenta, se considera la más adecuada para los fines que se persiguen con este tipo de estudios.

- Se calcula el promedio de la generación de basura per-cápita para cada una de las viviendas incluidas en la premuestra, empleando los 7 valores diarios obtenidos del muestreo. De acuerdo con lo anterior, se obtiene una serie de "n" valores promedio de generación de basura per-cápita, uno por cada vivienda incluida en la premuestra.

- A continuación se debe ordenar la información obtenida del punto anterior, como a continuación se ilustra:

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_i, \dots, X_{n-1}, X_n$$

Donde:

X_i = promedio por vivienda de los 7 valores diarios de la generación de basura per-cápita, obtenidos durante el periodo de muestreo.

Nota: Sólo en el caso en que el responsable lo considere conveniente, se le dará a la información, un tratamiento diferente a lo expuesto en los dos incisos anteriores. Para lo cual el responsable establecerá el procedimiento más adecuado en cuanto al tratamiento estadístico de la información de campo, en aquellos casos que así se requiera.

- El siguiente paso es el de realizar el análisis de rechazo de observaciones sospechosas, empleando cualquier método o procedimiento que el responsable considere confiable. En caso de aplicar el criterio de Dixon para el rechazo o aceptación de observaciones sospechosas, se debe realizar lo que a continuación se describe:

Se calculará el valor del estadístico (r), para las siguientes situaciones:

$$r = \frac{(X_n - X_{n-(j-1)})}{(X_n - X_1)}$$

Cuando se sospecha del elemento máximo de la premuestra.

$$r = \frac{(X_j - X_1)}{(X_{n-(j-1)} - X_1)}$$

Cuando se sospecha del elemento mínimo de la premuestra.

Donde:

J= Elemento del muestreo que define el límite superior del intervalo de sospecha, en la cola inferior de los datos ya ordenados.

El paso siguiente es el de calcular el valor del estadístico permisible correspondiente al percentil definido por el nivel de confianza establecido por el número de observaciones correspondientes al caso que se trate. Para lograr lo anterior, se emplea la tabla N° 2 del anexo C.

Con todo lo antes realizado, se debe comparar el valor del estadístico definido por el nivel de confianza establecido para el muestreo cuya función es: $r(1-\alpha/2)$; con el fin de rechazar o aceptar la observación sospechosa de acuerdo con el siguiente criterio:

Si $r > r(1 - \alpha/2)$: Se rechaza la observación sospechosa.

Si $r < r(1 - \alpha/2)$: Se acepta la observación sospechosa.

- Una vez rechazadas o aceptadas las observaciones dudosas, se procede a realizar un análisis estadístico de los "n" valores promedio, con el fin de obtener la generación per cápita de los valores promedio por vivienda, así como la desviación estándar de ellos como conjunto de valores, con respecto a la media.

- Habiendo realizado el análisis estadístico comentado en el punto anterior se debe verificar el tamaño de la premuestra, calculando el tamaño real de la muestra, con base en la desviación estándar muestral y empleando la distribución "t" de Student.

La determinación del tamaño real de la muestra, se realiza con la siguiente expresión:

$$n_1 = \left[\frac{t_s}{E} \right]^2$$

Donde:

n_1 = Tamaño real de la muestra.

$E =$ Error muestra en Kg/Hab/Día, recomendándose emplear un valor comprendido en el siguiente intervalo:

$$0.04 \text{ Kg/Hab/Día} < E < 0.07 \text{ Kg/Hab/Día}$$

$s =$ Desviación estándar muestral obtenida del análisis estadístico realizado en el punto anterior.

$t =$ Percentil de la distribución "t" de Student, correspondiente al nivel de confianza definido por el riesgo empleado en el muestreo.

Sabiendo que (n) es el valor de la premuestra, se pueden encontrar las siguientes situaciones:

- Si $n_1 > n$, entonces $n_2 = n_1 - n$, por lo tanto $n_2 > 0$

El tamaño de la muestra (n_1), resulta ser mayor que el tamaño de la premuestra (n); por lo que se deberán obtener en campo las (n_2) observaciones faltantes de la misma zona de estudio de donde se obtuvieron las (n_1) observaciones de la premuestra, para cumplir con la confiabilidad deseada para el muestreo.

Para este caso se deberá realizar un nuevo análisis estadístico, que tome en cuenta tanto a los (n_1) elementos de la premuestra, como a los (n_2) elementos faltantes para la muestra.

- Si $n = n_1$, entonces $n_2 = 0$

El tamaño de la muestra (n_1) es igual al tamaño de la premuestra (n_2), por lo cual no se requieren más elementos (n_2) para considerar válido el muestreo. Por ello se acepta el análisis estadístico realizado en el punto anterior.

- Si $n_1 < n$, entonces $n_2 < 0$

En este caso, el tamaño de la premuestra resulta mayor al de la muestra, tomándose dicho valor como el tamaño real de la muestra, por lo que no deben eliminarse los elementos sobrantes de la premuestra, ya que pueden ampliar en un momento dado el nivel de confianza del muestreo. De acuerdo con lo anterior, los estadísticos obtenidos

para la premuestra, se consideran válidos también para la muestra, por lo que no habrá necesidad de realizar un nuevo análisis estadístico.

- **Análisis de Confiabilidad.** Habiendo cumplido con lo anterior, se tiene que realizar un análisis de confiabilidad, con el fin de poder aceptar o rechazar los estadísticos de la muestra como los parámetros del universo de trabajo, para el nivel de confianza establecido. Esta fase del procedimiento estadístico consiste en realizar una prueba de hipótesis en dos colas, o bien, ya sea en la cola izquierda o en la cola derecha de la distribución empleada para este análisis; con el fin de definir si la media muestral (\bar{x}) es igual o difiere de la media poblacional (μ); pudiendo emplearse para este análisis, la tabla N°3 que aparece en el anexo C, correspondiente a la distribución normal.

Esta fase consiste, en el establecimiento de la hipótesis nula y de la hipótesis alternativa. La hipótesis nula a comprobar o rechazar es que la media muestral no difiera de la media poblacional.

$$H_0 : \bar{x} = \mu \text{ Hipótesis Nula}$$

La hipótesis alternativa, es lo contrario de la hipótesis nula, es decir:

$$H_1 : \bar{x} \leq \mu \text{ Hipótesis Alternativa}$$

En caso de aceptarse la hipótesis nula, se concluye que los estadísticos de la muestra, pueden ser tomados como los parámetros del universo de trabajo. Ahora bien, si la hipótesis alternativa se acepta, los estadísticos de la muestra no se toman como los parámetros del universo de trabajo por lo que será necesario realizar un nuevo muestreo y desechar el analizado.

- Prueba de la razón de varianza (P). Esta prueba se emplea para aceptar o rechazar la siguiente hipótesis.

La media poblacional estimada para un determinado estrato socioeconómico, es igual a las medias poblacionales estimadas de los demás estratos en que se subdividió la población muestreada.

Lo anterior es con el fin de poder concluir que en un momento dado se podrá emplear un valor promedio de la generación de basura per-cápita, para todos los estratos socioeconómicos de la población muestreada. Sólo en los casos en que el responsable lo considere pertinente, se realizará la prueba de la razón de varianzas (F); por lo tanto para un análisis de la información de tipo corriente, no se requiere realizar esta prueba.

La razón (F), se expresa entre dos varianzas poblacionales estimadas independientemente, como sigue:

$$F = \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2$$

Donde el subíndice, indica el número de la muestra y cada $(S)^2$, representa la estimación de la varianza poblacional basada en la muestra.

Cuando las dos varianzas poblacionales estimadas son iguales, la razón (F) debe ser la unidad.

Si (F) no es igual, la diferencia puede ser atribuida al azar, (no es significativa), o puede no ser atribuida al azar (es significativa, ya sea demasiado grande o demasiado pequeña). Para tomar tales decisiones, debemos confiar en la distribución del estadístico (F).

De acuerdo con lo anterior, la hipótesis para realizar esta prueba, es que las medias poblacionales normalmente distribuidas de los estratos socioeconómicos sean iguales.

Cuando combinamos las poblaciones de cada estrato en una única población grande, se espera que la media y la varianza de la población grande (μ, τ^2) , sean iguales a las de las poblaciones originales de los estratos.

Debe entenderse como población "grande", a la compuesta por las poblaciones de los estratos socioeconómicos muestreados.

$$\mu = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$\tau^2 = \tau_1^2 = \tau_2^2 = \tau_3^2$$

La población n°1 es el universo de trabajo compuesto por el estrato socioeconómico bajo; mientras que la población n°2, corresponderá al universo de trabajo definido por el estrato socioeconómico medio, y la población n°3, corresponderá al universo de trabajo definido por el estrato socioeconómico alto.

El procedimiento seguido para realizar esta prueba, se describe a continuación:

- Cálculo de varianzas entre clases o entre muestras.

$$(S_1)^2 = \frac{\sum_{i=1}^n n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{m - 1}$$

Donde:

m= Número de muestras.

i= Número de la muestra.

n_i= Tamaño de la muestra extraída de la población "i".

$\bar{x}_i =$ Media de los elementos de la muestra "i".

$\bar{x} =$ Media de todos los elementos de la muestra grande.

$(\bar{x}_i - \bar{x}) =$ Desviación entre la media de la muestra "i" y la media de la muestra grande.

$(\bar{x}_i - \bar{x})^2 =$ Cuadrado de la desviación (variación).

Cálculo de la varianza intra clases o dentro de las muestras individuales.

$$(S_2)^2 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{x}_j - \bar{x}_i)^2}{r - m}$$

Donde:

i = Número de la muestra.

j = Número del elemento.

$x_j =$ Elementos de la muestra

r = Número de elementos de la muestra grande.

$$r = \sum_{i=1}^m (n_i)$$

Los elementos (χ^2) de las muestras son los promedios por vivienda en Kg/Hab/Día de los 7 valores diarios obtenidos durante el periodo de muestreo.

Para realizar esta prueba, de podrá emplear la tabla 4 que aparece en el anexo C, la cual corresponde a la distribución "F" de Fisher.

Sólo en el caso que la diferencia se deba al azar, se trabaja con una generación per cápita promedio, para los estratos socioeconómicos analizados.

Una vez que hemos definido el número de muestras y su tamaño por estrato, es que ya podemos aplicar la metodología de muestreo aleatorio estratificado, esto es, que por cada estrato elegimos aleatoriamente los puntos que estudiaremos. Dichos puntos deben estar muy bien definidos con la finalidad de repetirlos en caso que queramos continuar estudiando las variaciones de residuos a través del tiempo. Si llegamos a generar dichos datos podremos además crear índices de composición de residuos y compararlos junto con índices económicos y sociales, a fin de ver su relación e proyección.

4.8 GENERACIÓN PER-CÁPITA DE RESIDUOS SÓLIDOS NO-DOMICILIARIOS.

- Procedimiento.

Esta generación se puede obtener siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente, siempre y cuando se pueda determinar confiablemente el tamaño de la premuestra con base a la siguiente expresión:

$$n = \left[\frac{\Gamma Z}{E} \right]^2$$

Donde:

n = Tamaño de la premuestra, (número de fuentes a muestrear).

E = Error muestral, en Kg/fuente/día.

Γ = Desviación estándar poblacional en Kg/fuente/día.

Z = Percentil de la distribución normal, correspondiente al nivel de confianza definido por el riesgo empleado en el muestreo.

Para aplicar la expresión anterior, se deben definir primero, los giros municipales excepto el doméstico, que se pretendan muestrear en la localidad.

Se deberá entender como "fuente" a cualquier establecimiento generador de residuos sólidos, incluido dentro de los giros municipales por muestrear.

En caso dado de no poder determinar la generación per-cápita de estos residuos conforme a lo descrito en el punto anterior, se obtendrá a partir de un balance de materia, del proceso del giro que se trate. Para tal situación se debe conocer lo siguiente:

- El espacio físico de las instalaciones y sus fronteras.
- Identificar todas las actividades que cruzan u ocurren dentro de sus fronteras.
- Identificar la tasa de generación de residuos sólidos asociados con estas actividades (estadísticas anteriores y/o investigaciones de CONAMA para el caso chileno).
- Determinar la cantidad de residuos sólidos por medio del balance de materiales.

Este tipo de residuos se relacionan con el número de clientes, monto de ventas, área de establecimiento o giro municipal.

4.9 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN FÍSICA DE LOS RESIDUOS.

Una vez que hemos determinado el tipo de residuo representativo de la población en estudio, es que podemos utilizar las mismas muestras que fueron tan solo pesadas para determinar la producción per-capita, en nuestro análisis de composición física. Es importante analizar los distintos niveles de desagregación que se deben buscar en los residuos con el fin de homogeneizar las metodologías de caracterización al máximo, y así evitar las confusiones existentes entre los distintos estudios.

- Niveles de desagregación:

Las categorías en que se pueden clasificar los residuos pueden variar de una caracterización a otra ya que los objetivos que la motivan pueden ser distintos. De esta

forma puede cambiar el criterio para seleccionar el mismo residuo. Tal es el caso del papel sucio, el cuál no puede ser reciclado. En un caso, el de caracterizar para determinar los volúmenes de materiales reciclables dentro de los residuos domésticos, este tipo de papel contaminado se clasificará dentro de la categoría “otros” ya que debe ser descartado del proceso de reciclaje. Por otro lado, si nuestro objetivo es determinar la tendencia de producción de basura de la población para analizar el comportamiento y la calidad de vida, el papel sucio podría entrar en la categoría de papeles tal como los papeles “limpios”, siempre y cuando la fracción de papel sea la preponderante dentro del residuo que fue generado.

Esta diferencia de criterios de caracterización deben ser enfocadas muy cuidadosamente, y se debe respetar al menos una clasificación general para comparar resultados generales de las caracterizaciones. Esto significa que las caracterizaciones pueden tener distintos objetivos, clasificar los residuos dentro de sus categorías de interés, pero siempre respetando una clasificación general de primer nivel, y promoviendo un segundo nivel de clasificación que contemple las categorías de fracciones descartables para los objetivos de cada caracterización.

De esta forma se estará evitando la confusión existente hasta el momento al comparar las diferentes datos de caracterización de residuos realizadas en diferentes países y que contemplan categorías disimiles. Por otro lado se cumplen los objetivos particulares de cada proyecto de caracterización.

Las categorías de primer nivel, sobre el cuál se pretende comparar los datos de caracterizaciones de residuos sólidos domiciliarios de cualquier ciudad, se proponen de la siguiente forma:

- Papel.
- Cartón.
- Plástico.
- Residuos de alimentos.
- Residuos de jardín.

- Madera.
- Pañales y celulosas sanitarias.
- Textiles.
- Gomas y cueros.
- Vidrios.
- Metales.
- Otros.

Las sub-categorías o categorías de segundo nivel (incluidas dentro de las de primer nivel), vienen dadas por los objetivos de cada proyecto, y pueden ser las propuestas en el siguiente listado:

Dentro de la categoría papel:

- Papel de rechazo.
- Papel de baja calidad.
- Papel blanco.
- Papel Kraft.
- Residuos tóxicos y peligrosos.

Dentro de la categoría Cartón:

- Cartón sucio.
- Cartoncillo.
- Cartón.

Dentro de la categoría plásticos:

- Polietileno tereftalato (PET-1).
- Polietileno de alta densidad (PE-AD-2).
- Policloruro de vinilo (PVC-3).
- Polipropileno (PP-5).
- Poliestireno (PS-6).
- Plásticos en lámina.
- Otros plásticos.
- Residuos tóxicos y peligrosos.

Dentro de la categoría pañales y celulosas sanitarias:

- Pañales pequeños.
- Pañales grandes.
- Higiene femenina.

Dentro de la categoría gomas y cueros:

- Gomas.
- Cueros.

Dentro de la categoría vidrios:

- Transparente.
- Topacio (marrón).
- Verde.
- Otros vidrios.
- Residuos tóxicos y peligrosos.

Dentro de la categoría metales:

- Hojalata.
- Aluminio.
- Latas de aluminio.
- Otros metales.
- Residuos tóxicos y peligrosos.

4.10 CARACTERIZACIÓN DE PLANIFICACIÓN ESTRELLA.

4.10.1 Introducción.

Como hemos apreciado en el punto anterior, la caracterización con base estadística y empleando la metodología de muestreo aleatorio estratificado, plantea un tamaño muestral y una cantidad de muestras que pueden estar ubicados en cualquier lugar dentro de cada estrato. Pero cuando queremos aplicar el análisis teórico al terreno nos encontramos con inconvenientes muy variados.

Tal es el caso que el punto de muestreo se ubique en lugares que no representan necesariamente el entorno (si bien es cierto la ciudad tiene unidades homogéneas, también es cierto que en algunos sectores podemos encontrar un almacén que genera muchos residuos de embalajes, ricos en papel, cartón y plásticos, pero en su entorno podríamos encontrar solamente viviendas que generan un tipo de residuos con menor cantidad de papeles, cartones y plásticos), o que son de difícil acceso, etc. Para ello esta metodología quiere dejar abierta la elección de los puntos al criterio del encargado de hacer la caracterización, siempre y cuando las cantidades definidas por la herramienta estadística, que anteriormente hemos visto, sean respetadas.

Considerando la caracterización como una herramienta de toma de decisiones y determinar el progreso de la ciudad, a continuación se plantea la caracterización de planificación estrella.

4.10.2 Planteamientos básicos.

La mayoría de las grandes ciudades latinoamericanas tienen en común haber sido construidas basándose en calles o avenidas que se interceptan en forma perpendicular, tal como si fuese un tablero de ajedrez. Además, es común que en el centro de dicho “tablero” encontremos la plaza principal de la ciudad, o un punto común de la población. Observando dicha distribución de la población, es que la ciudad ha ido creciendo alrededor de dicho centro. De esta manera, en épocas cercanas a la fundación de dichas ciudades nos encontramos con una clase social alta muy cercana a dicho centro, junto con edificios de servicios públicos, tales como municipalidades (ayuntamientos), servicios de correos, servicios financieros, etc. Fuera de este estrato tipo anillo que podríamos asimilarlo a un residencial alto, se mantenía el estrato residencial medio y un poco más alejado el estrato residencial bajo.

Al pasar de los años, los estratos sociales han ido modificando su ubicación dentro de la ciudad, es así como los estratos medio y bajo pretenden acercarse más al centro. Pero las edificaciones han ido variando a través del tiempo y la concentración de personas en los centros de las ciudades han ido en aumento. Este aumento de densidad poblacional, asociado a otro tipo de eventos sociales comunes en los centros de las ciudades latinoamericanas, ha modificado la estratificación social de la urbe. De esta manera el estrato social alto pretende alejarse del centro de la ciudad en busca de la mayor calidad de vida a la que puedan optar, mientras que los estratos medios y bajos, pretenden acercarse más al centro por las comodidades que ofrece (especialmente la cercanía de los servicios). Pero también se observa un crecimiento de la densidad de los servicios públicos y privados en el centro, con la aparición de edificios de oficinas, comercio, bancos, etc.

Si observamos estos fenómenos desde el punto de vista de la generación de residuos, apreciaremos que las características de ellos van modificándose de manera que encontraremos mayor cantidad de papeles y cartones (oficinas y embalajes) en los centros de la ciudad a medida que pasa el tiempo. Si bien es cierto esto debe ser probado para cada situación en particular, si podemos afirmar que la ciudad se mantiene en constante movimiento de sus estratos sociales. Entonces identificar dicho

fenómeno puede llegar a ser una herramienta muy importante en lo que a planificación urbana se refiere.

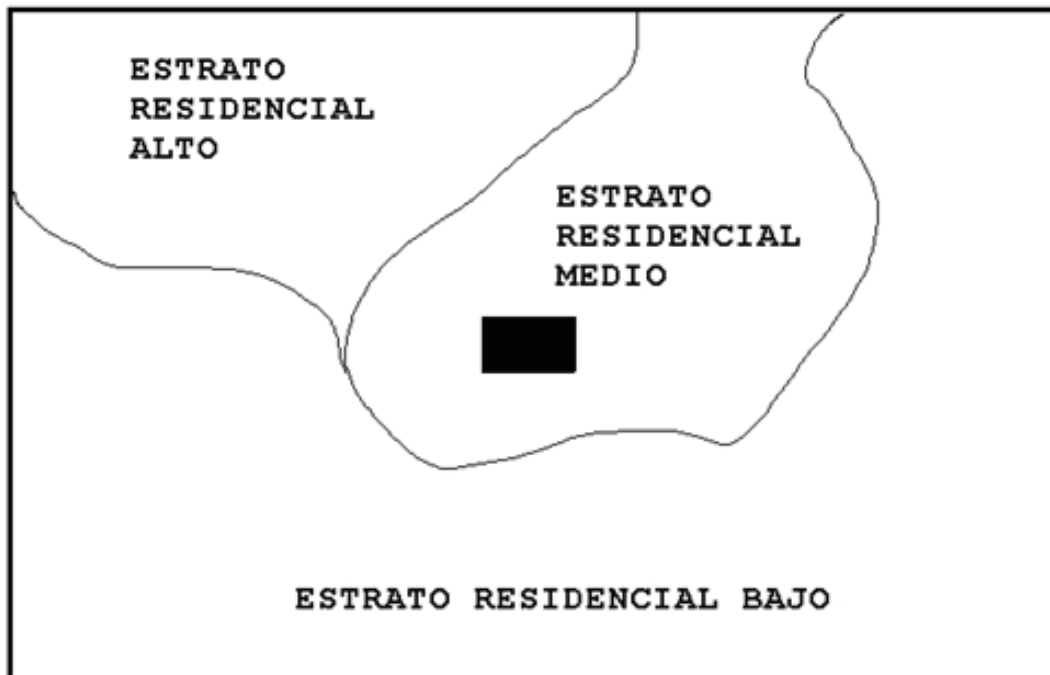
La metodología de caracterización de planificación estrella pretende, además de identificar el residuo representativo de la ciudad, servir de herramienta al planificador urbano.

4.10.3 Metodología.

Como ya se ha dicho anteriormente podemos apreciar una distribución de la ciudad en forma de tablero de ajedrez, con un centro principal del tamaño de una plaza pública (por ejemplo).

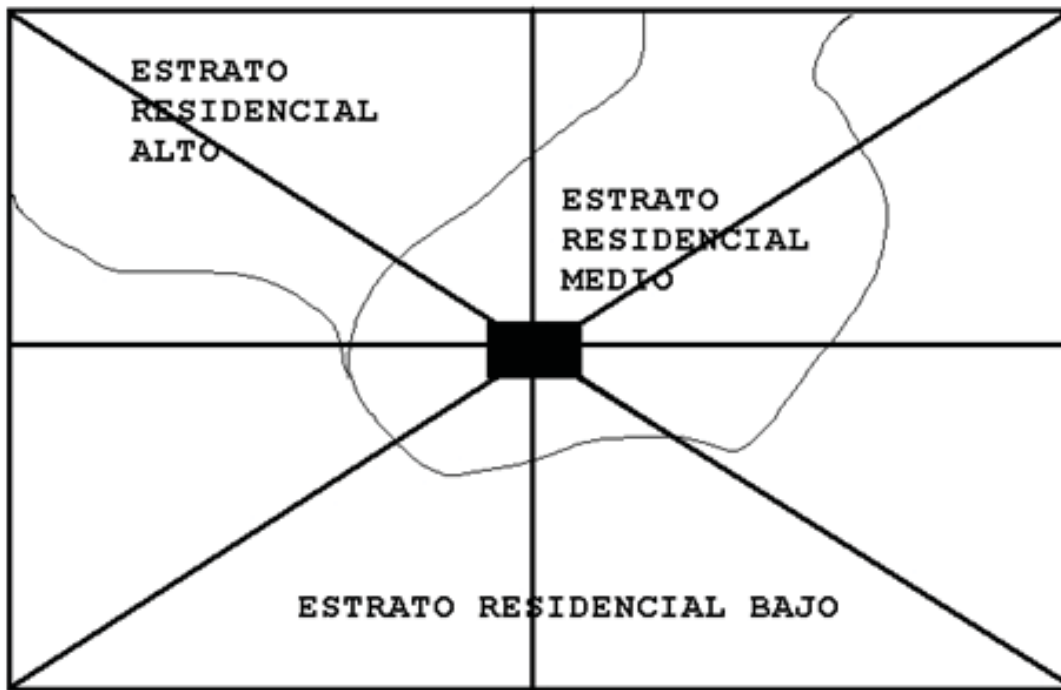
Como la caracterización de planificación estrella respeta las condiciones de un muestreo estratificado, es que nos basamos en esta condición para colocar sobre un mapa de la ciudad los estratos identificados. Figura 4.4.

Figura 4.4. Estratificación de la población.



Luego identificamos el centro de la ciudad y trazamos un eje que pase por dicho centro y que llegue a los extremos de la ciudad según nos convenga. De este eje principal marcamos otro eje principal perpendicular al anterior y que pase por el mismo centro geográfico. Nuevamente pasamos otros dos ejes por el centro bisectando el ángulo de 90° sexagesimales creado por los otros dos eje, y obtenemos una figura similar a la figura 4.5.

Figura 4.5. Ejes de caracterización.

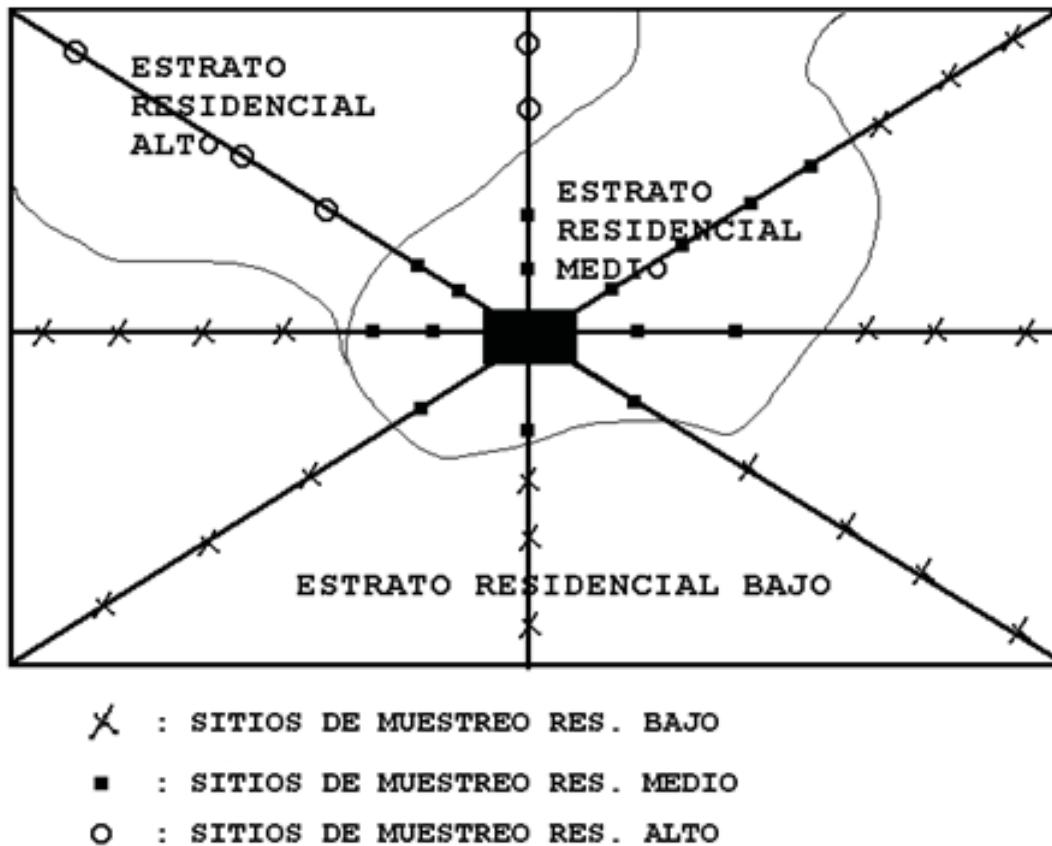


Después de esta operación, debemos colocar el mismo número de muestras que se definieron con los cálculos estadísticos sobre los ejes, tratando de guardar una proporcionalidad en la distribución de dichos puntos.

En la figura 4.6. se han distribuido 16 puntos de muestreo para el sector residencial bajo, 15 para el medio y 5 para el alto, cantidades obtenidas teóricamente del cálculo estadístico.

La diferencia con el método anterior es que los puntos de muestreo han sido ordenados a conveniencia de quien realice la caracterización.

Figura 4.6. Ubicación de los puntos de muestreo.



Una vez obtenidos los datos de caracterización pueden manejarse con una planilla electrónica de la manera que se muestra a continuación. Si se requiere hacer un seguimiento de los datos a través del tiempo, es imprescindible mantener los puntos de muestreo a lo largo del tiempo para poder comparar los resultados.

4.10.4 Manejo de datos.

Para ordenar los datos recogidos se recomienda identificar su posición geográfica tal como se hace con un plano cartesiano nombrando su posición con respecto a los 2 ejes (x;y), siendo el punto central la posición (0;0).

Luego, cada celda de la planilla electrónica representará el valor de una fracción de composición de residuo. Ver figura 4.7.

Figura 4.7.: Posición y codificación de los puntos de muestreo.

| | | Posición Eje X | | | | | | |
|----------------|----|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| | | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |
| Posición Eje y | +3 | Punto +3,- 3 | | | Punto +3,0 | | | Punto +3,+3 |
| | +2 | | Punto +2,- 2 | | Punto +2,0 | | Punto +2,+2 | |
| | +1 | | | Punto +1,- 1 | Punto +1,0 | Punto +1,+1 | | |
| | 0 | Punto 0,-3 | Punto 0,-2 | Punto 0,-1 | Punto 0,0 | Punto 0,+1 | Punto 0,+2 | Punto 0,+3 |
| | -1 | | | Punto -1,-1 | Punto -1,0 | Punto -1,+1 | | |
| | -2 | | Punto -2,-2 | | Punto -2,0 | | Punto -2,+2 | |

| | | | | | | | |
|----|-------|--|--|-------|--|--|-------|
| | Punto | | | Punto | | | Punto |
| -3 | -3,-3 | | | -3,0 | | | +3,+3 |

Figura 4.8.: Datos teóricos obtenidos para la fracción orgánica de residuos, ordenados por ejes.

| | | Posición Eje X | | | | | | |
|----------------|----|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |
| Posición Eje y | +3 | 10,00 | | | 12,00 | | | 9,00 |
| | +2 | | 56,00 | | 50,00 | | 55,00 | |
| | +1 | | | 73,00 | 70,00 | 72,00 | | |
| | 0 | 12,00 | 50,00 | 71,00 | 90,00 | 71,00 | 52,00 | 12,00 |
| | -1 | | | 76,00 | 70,00 | 75,00 | | |
| | -2 | | 49,00 | | 48,00 | | 51,00 | |
| | -3 | 13,00 | | | 10,00 | | | 11,00 |

Luego, sólo se requiere graficar los datos para obtener dos representaciones que pueden ser de mucha utilidad, especialmente si se contienen datos medidos a través de varias caracterizaciones, y que pueden identificar que va sucediendo con los residuos y como se proyecta su composición en diferentes sectores de la ciudad.

Figura 4.9.: Representación gráfica caracterización de planificación estrella en planta.

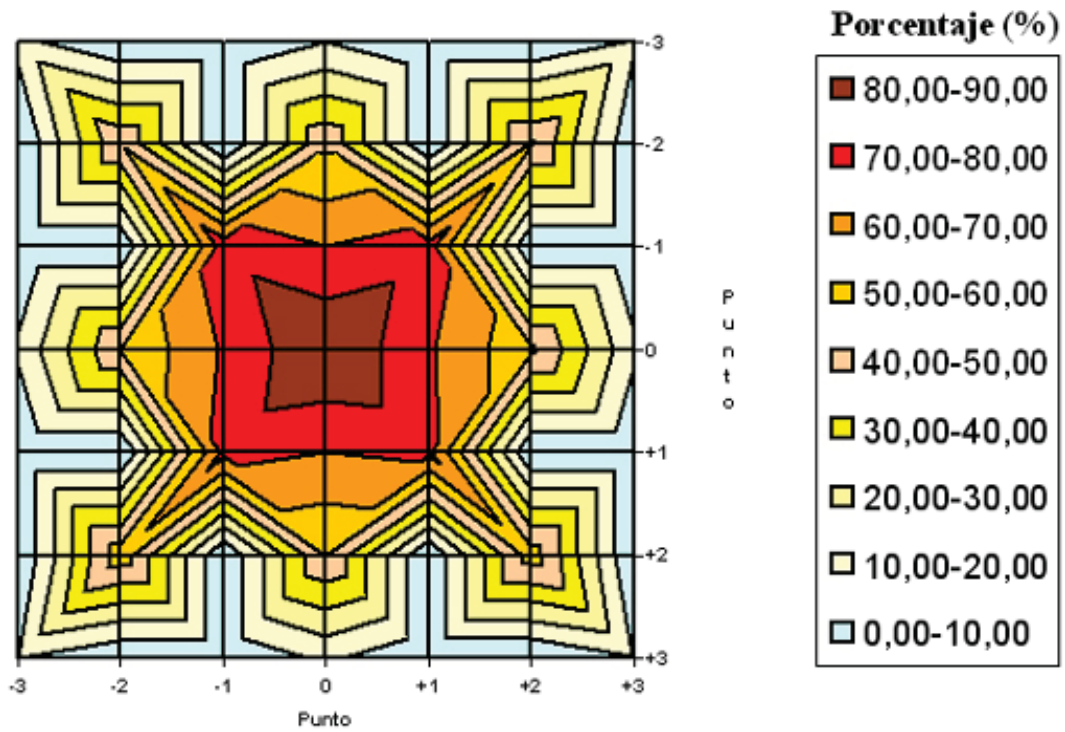
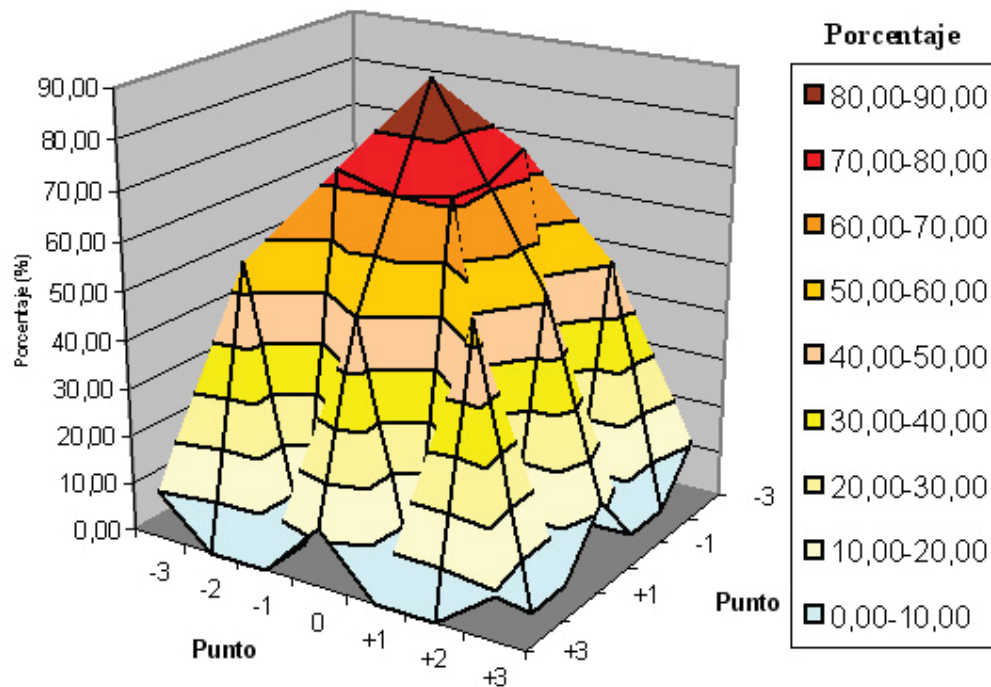


Figura 4.10.: Representación gráfica tridimensional de caracterización de planificación estrella.



4.10.5 Debilidades del sistema.

El sistema propuesto puede ocasionar algunas dificultades al momento de su aplicación. Por un lado este sistema requiere un análisis estadístico y de estratificación igual al que debe hacerse con el muestreo aleatorio estratificado, con lo cual si podemos hacer el de planificación estrella debemos manejar con mucho más cuidado los datos, inconveniente que puede resultar un poco más dificultoso.

Por otro lado si la ciudad no tiene una forma como lo señala al principio el método, pueden crearse algunos problemas en seleccionar los ejes más representativos de la ciudad a estudiar. Tal es el caso de las ciudades como Valparaíso en Chile, donde su situación geográfica hace que la ciudad crezca entre el mar y los cerros, con lo cual su crecimiento es en un sentido longitudinal. En este tipo de casos se deja a criterio del encargado de la caracterización identificar los ejes más representativos. Específicamente Valparaíso tiene 6 ejes que van del mar hacia los cerros.

Otro inconveniente es que cuando existe una gran dispersión de los estratos, o estos son muy pequeños y no pueden ser atravesados por un eje, se pierden datos representativos. Para ello, la solución propuesta es aumentar la cantidad de ejes manteniendo la simetría de la figura. En este caso, los ejes en vez de quedar a 45° sexagesimales, quedarán a $22,5^\circ$, $11,25^\circ$, y así sucesivamente hasta alcanzar todos los estratos en cuestión. En otras palabras, mientras más dispersión de estratos, mayor será el número de ejes necesarios. Así también, si nos encontramos con que los estratos identificados son muy homogéneos, resulta conveniente disminuir la cantidad de ejes a 2 principales.

5. LABORATORIO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.

5.1. FUNDAMENTOS Y OBJETIVOS.

El grupo de residuos sólidos de la Escuela de Ingeniería en Construcción de la Universidad Católica de Valparaíso - Chile, en conjunto con el grupo de Residuos de la Escuela Técnica Superior de Caminos Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria – España, han comprendido lo indispensable que es contar con un laboratorio de análisis de residuos sólidos.

Hasta ahora, tanto las labores de ingeniería como de investigación aplicada han tenido poca continuidad y han entregado pocos antecedentes útiles en el manejo integral de los residuos sólidos. Lo que implica no solo una falta de datos experimentales en la materia si no además la carencia de personal calificado y de una infraestructura adecuada para el buen funcionamiento de estas actividades.

Los objetivos que estará llamado a cumplir este laboratorio se pueden agrupar en docentes, de investigación y de prestación de servicios y asistencia técnica.

- Objetivos docentes.

Es necesario complementar e ilustrar los conocimientos teóricos impartidos en las cátedras de obras sanitarias, taller de obras sanitarias y residuos sólidos por medio de prácticas y experimentación. El laboratorio de residuos sólidos que se propone cumplirá ésta función, contribuirá así a la docencia que se imparta en los cursos que tengan relación con la materia.

- Objetivos de investigación.

La investigación y experimentación permitirá crear y acumular una experiencia científica y técnica con miras a satisfacer problemas tanto de índole nacional como regional, toda esta experiencia se materializará en publicaciones periódicas las que se

difundirán a los centros especializados, visualizándose ya el área de estudio de caracterización de Residuos Sólidos de las comunas de la zona central del país.

- Objetivos de prestación de servicios y asistencia técnica.

El laboratorio proporcionará servicios y asistencia técnica a los organismos encargados de la recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos, además de empresas particulares y organismos de planificación que no cuentan con centros capacitados y estadísticas necesarias para el desempeño de sus funciones, como son, selección de los equipos de recolección, selección y diseño de los métodos o sistemas de eliminación de basuras y sus elementos constitutivos.

5.2 DISEÑO DEL LABORATORIO.

El diseño de un laboratorio está íntimamente ligado con lo análisis que se pretendan hacer de los residuos sólidos, los equipos y herramientas a emplear y el número de personas que trabajan en él.

Considerando estas condiciones y los medios disponibles se diseñará un laboratorio de cinco secciones. La primera de ellas destinada al almacenamiento de equipos de trabajo, herramientas y accesorios de laboratorio. La segunda corresponderá a la sección de preparación de muestras y análisis de composición física. La tercera sección destinada al análisis “sólido” del residuo sólido como lo es por ejemplo el poder calorífico, degradabilidad, etc. La cuarta sección destinada al análisis “líquido” del residuo como el contenido de humedad, características de los percolado, etc. Finalmente está la quinta sección destinada al análisis de gases.

Un buen diseño de laboratorio debe considerar una buena movilidad del personal, una buena iluminación, un sistema de extracción de aire eficiente y facilidad en su limpieza.

5.2.1 Análisis propuestos en cada sección.

- Análisis de composición física de los residuos:

| |
|-------------------------|
| Separación de muestras. |
|-------------------------|

Granulometría.

Secado al horno para determinación de humedad.

- Análisis sólidos.

Prueba de sólidos volátiles y cenizas.

Prueba del fósforo (fosfatos).

Prueba del potasio (potasa) por el método fotométrico de la llama.

Prueba de hidrógeno y carbono.

Análisis de Nitrógeno orgánico y amoniacal.

Poder calorífico (superior e inferior).

- Análisis líquidos percolados y escurrido.

- Medición de pH.

Medición de ácidos grasos volátiles.

- Análisis de biogás.

Determinación de CH₄, CO₂, O₂, H.

5.2.2 Preparación de muestras en laboratorio para su análisis.

El presente segmento establece el método de preparación de muestras en el laboratorio para su análisis.

- Equipo.

Balanza granataria de 20 kg y sensibilidad de 1 g

Guantes de Carnaza

Escobilla

Mascarilla protectora

Tijeras de jardinero

| |
|--|
| Recogedores |
| Pala de jardinero |
| Lentes protectores |
| Molino triturador |
| Frascos de vidrio de color ámbar y cuello esmerilado de 2 l. de capacidad. |

- Procedimiento.

Verificar si la muestra esta debidamente identificada, de no estarlo se anota en el reporte del laboratorio.

A continuación se procede, a vaciar la muestra de residuos sólidos, en una área limpia y seca del laboratorio; para que con tijeras de jardinero se desmenucen tales residuos, hasta un tamaño máximo de 5 cm.

Con una pala de jardinero se homogeneizan los residuos sólidos y mediante el método de cuarteo, se obtiene una muestra representativa de 1 Kg la cual se vierte dentro de un molino triturador para obtener un producto homogéneo y de tamaño semejante a la arena gruesa (malla 4 ASTM). De dicho producto, se toma la cantidad necesaria para realizar inmediatamente la determinación de humedad. El resto del producto obtenido de la molienda, se depositará en frascos de vidrio los cuales se almacenan a 4°C; para realizar las demás determinaciones físicas, químicas y biológicas en las siguientes ocho horas (ver figura).

Figura 5.1.: Diagrama para la preparación de muestras en laboratorio.



5.2.3 Método de Cuarteo.

Este segmento establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales de características heterogéneas y la obtención de especímenes para los análisis en el laboratorio.

- Equipo.

Báscula de piso, con capacidad de 200 Kg.

Bolsas de polietileno de 1.10 m x 0.90 m y calibre mínimo del N° 150 para el manejo de los subproductos (tantas como sean necesarias)

Palas de punta curva.

Recipientes.

Overoles.

Guantes apropiados.

Escobas.

Botas de goma.

Cascos de seguridad.

Mascarillas protectoras.

| |
|--|
| Papelería y varios (fichas de terreno, marcadores, etc.) |
|--|

- Procedimiento.

Para efectuar este método de cuarteo, se requiere la participación de cuando menos tres personas.

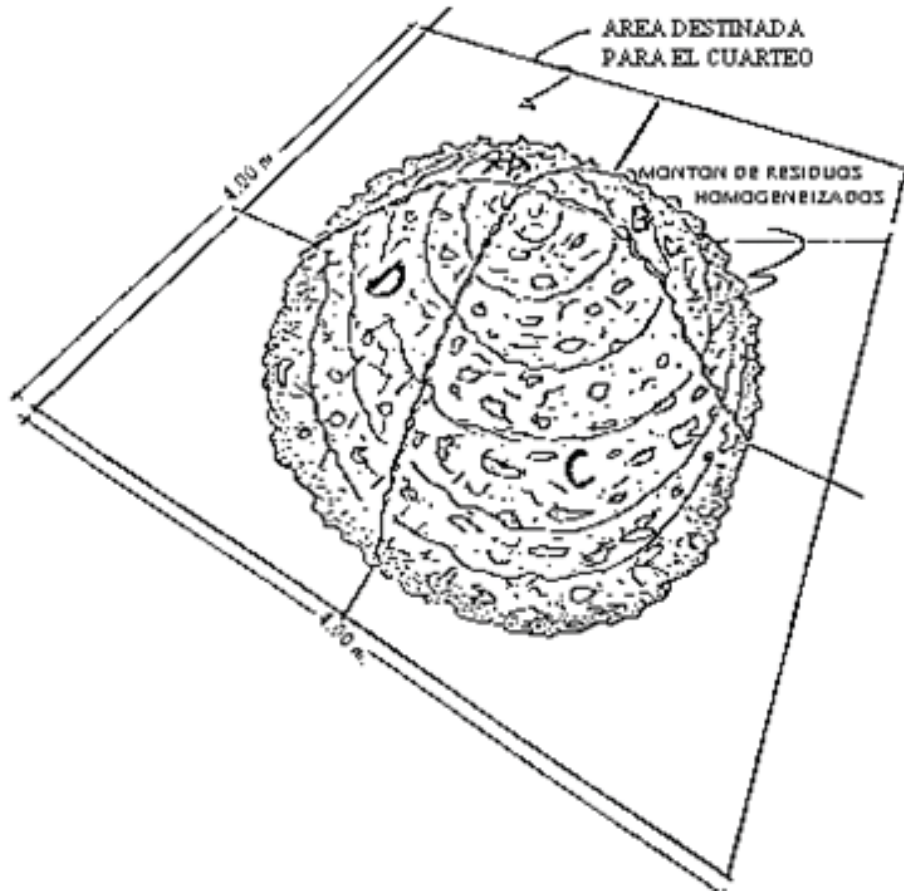
El equipo requerido antes descrito, estará de acuerdo con el número de personas que participen en el cuarteo.

Para realizar el cuarteo, se toman las bolsas de polietileno conteniendo los residuos sólidos, resultado del estudio de generación.

El contenido de dichas bolsas se vaciará formando un montón sobre un área plana horizontal de 4m x 4m de preferencia hormigón o similar y bajo techo.

El montón de residuos sólidos se volteará con pala, hasta homogeneizarlo, a continuación se divide en cuatro partes aproximadamente iguales A, B, C y D (ver figura) y se eliminan las partes opuestas A y C o B y D repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 50 Kg. de residuos sólidos, con los cuales se debe hacer la selección y cuantificación de subproductos.

Figura 5.2.: Método de cuarteo.



De las partes eliminadas del primer cuarteo, se toman 10 Kg. aproximadamente de residuos sólidos para los análisis del laboratorio físicos, químicos y biológicos, con el resto se determina el peso volumétrico de los residuos sólidos "in-situ".

La muestra obtenida para los análisis físicos químicos y biológicos debe trasladarse al laboratorio en bolsas de polietileno debidamente selladas e identificadas (véase marcado), evitando que queden expuestas al sol durante su transporte, además se debe tener cuidado en el manejo de la bolsa que contiene la muestra para que no sufra ninguna rotura. El tiempo máximo de transporte de la muestra al Laboratorio, no debe exceder las 8 horas.

Se han considerado, las cantidades anteriores como óptimas, sin embargo, estas pueden variar de acuerdo a las necesidades. Sólo en el caso de que la cantidad de residuos sólidos sea menor a 50 Kg., se recomienda repetir la operación de cuarteo.

- Rotulación.

La muestra se identifica con una etiqueta, la cual debe contener la siguiente información:

N° de folio de la ficha de terreno para el cuarteo hora y fecha del envío, localidad, municipio, estado, procedencia de la muestra (estrato socioeconómico), temperatura y humedad relativa del ambiente, peso de la muestra en kilogramos, datos del responsable de la toma de muestra y observaciones.

5.2.4 Equipamiento y procedimiento de composición física.**- Clasificación en categorías de primer y segundo nivel.**

Las categorías de primer nivel determinadas en el capítulo cuarto que se resumen en el siguiente listado:

| |
|---------------------------------|
| Papel. |
| Cartón. |
| Plástico. |
| Residuos de Alimentos. |
| Residuos de Jardín. |
| Madera. |
| Pañales y celulosas sanitarias. |
| Textiles. |
| Gomas y cueros. |
| Vidrios. |
| Metales. |
| Otros. |

- Equipos.

Se recomienda el uso de mesa separadora como la mostrada en la figura 5.3. Las características generales tener son una superficie suficientemente amplia para volcar completamente las bolsas de residuos domiciliarios, esta superficie debe estar a unos 85 cm. del piso para que la separación sea en la forma más cómoda posible, la mesa debe tener una pendiente longitudinal y transversal, con el fin de recoger cualquier líquido contenido en los residuos, además de conducir el agua de lavado del mueble, la superficie debe estar confinada por los cuatro lados con un borde de al menos 10 cm. para que el residuo volcado no se derrame fuera y altere la muestra. Se recomienda utilizar una base de acero y una cubierta para ejecutar el trabajo de separación de acero inoxidable. Se debe considerar un lugar para evacuar los líquidos, y conducirlos El ancho recomendado es de 80 cm. por cada lado en que una persona trabaje cómodamente, es decir si dos personas trabajan de frente, se utilizarán 160 cm. de ancho.

- Recipientes plásticos de 5 litros o más. Si bien es cierto no es primordial, se recomienda que estos sean de colores distintos para facilitar la identificación de las 12 categorías a separar.

- Elementos de seguridad del personal para evitar inhalación de sustancias volátiles y cortes especialmente en manos y brazos, además de anteojos protectores. Se recomienda el uso de delantales de goma y de ropa que cubra totalmente la piel y el cabello del operador a fin de evitar que se impregne el olor del residuo en su cuerpo.

- Procedimiento.

Se pesa todo el contenido de las bolsas y se registra. Luego se coloca el contenido de todas las bolsas sobre la mesa separadora y se comienza a separar manualmente el contenido en los recipientes rotulados con las categorías de primer nivel. Se pesa en contenido de cada categoría y se registra. Si se desea continuar separando en sub-categorías o categorías de segundo nivel, se hace después de la primera separación, y se sigue el mismo procedimiento.

- Cálculos.

$$\% \text{ Fracción categoría} = \frac{100 * (\text{peso de la fracción})}{(\text{peso total de la muestra})}$$

$$\% \text{ Fracción sub - categoría} = \frac{100 * (\text{peso de la sub - categoría})}{(\text{peso total de la muestra})}$$

Figura 5.3.: Mesa separadora de residuos.



Figura 5.4.: Separación de muestras en categorías.



Figura 5.5.: Equipo básico de protección para caracterizar.



Las sub-categorías o categorías de segundo nivel (incluidas dentro de las de primer nivel), vienen dadas por los objetivos de cada proyecto. Por este motivo, se deben tener suficientes recipientes para la separación de los residuos en dichas sub-categorías (ver capítulo 4).

- Análisis de granulometría.

El análisis granulométrico es el ensayo usado universalmente para obtener la clasificación de un suelo. En el caso de los residuos es importante determinar la distribución cuantitativa del tamaño de sus partículas, con el fin de promover una clasificación de este observando su comportamiento físico y pensando además en la clasificación para reciclaje (tromeles de separación).

- Equipos.

Un juego de tamices con aberturas cuadradas, con su correspondiente bandeja de retención del material menor al diámetro de la abertura más pequeña. La superficie y resistencia de las cribas debe ser suficiente para colocar 100 kilogramos de residuos de una sola vez.

Una balanza de capacidad mayor a 100 kg, y sensibilidad de 50 gr.

Horno de secado con control termostático.

Un desecador.

Un tridente, pala o elemento similar.

Equipo misceláneo: recipientes apropiados para colocar el residuo en el interior del horno, recipientes de plástico, elementos necesarios para la limpieza del material.

- Procedimiento.

Se toma una muestra de residuo previamente cuarteado y homogeneizado, suelto y seco al horno. Para dicho secado se coloca el residuo en un horno a temperaturas inferiores a 60°C durante el periodo necesario para conseguir pesadas consecutivas constantes en la muestra cada 30 minutos.

Se desmenuza cuidadosamente la muestra evitando romper sus partículas individuales utilizando para ello un tridente, una pala o un elemento similar.

Se selecciona una cantidad de 100 kg. de material para el ensayo.

Se pesa la muestra antes de comenzar el ensayo para determinar de esta forma la humedad higroscópica adquirida. El valor obtenido es el peso total del residuo seco.

Luego se coloca la muestra sobre la criba de diámetro de abertura más grande (200 mm.) y bajo este los demás tamices ordenados por tamaño de abertura de mayor a menor (100 mm., 20 mm. y la bandeja de retención). La idea es que cada bandeja retenga un porcentaje de la muestra inicial. Luego cada peso de residuo retenido por bandeja debe ser registrado.

- Cálculos.

Se debe obtener en la hoja de cálculos, de acuerdo con los valores obtenidos en la primera columna (peso retenido), los siguientes datos:

Porcentaje retenido en cada criba referido al peso total de la muestra seca.

$$\% \text{ retenido en cribas} = \frac{100 \text{ (peso retenido en cada criba)}}{\text{(peso total de la muestra seca)}}$$

- Porcentaje que pasa, comenzando por 100% y restando el porcentaje retenido en cada tamiz en un proceso acumulativo. Todos estos resultados deben ser anotados en las correspondientes columnas de la hoja de cálculos.

- Secado al horno para determinación de humedad.

- Equipo.

Un horno de secado con circulación de aire a presión.

Un desecador.

Recipientes para las muestras (los botes de aluminio cerrados de unas 3,5 pulgadas de diámetro y 2 pulgadas de profundidad (unos 9x5 cm.) han dado buenos resultados).

Una balanza de tres brazos graduada a la décima de gramo (una balanza de análisis es suficiente si tiene capacidad para 200 gramos).

Figura 5.6.: Horno de secado con circulación de aire.



Figura 5.7.: Desecadora.



- Procedimiento.

En frascos secadores de peso conocido se toman muestras duplicadas de 50 a 100 gramos de residuos orgánicos triturados frescos y se cubren inmediatamente. Los materiales inorgánicos como vidrio, metales y cerámica de media pulgada (unos 13 mm.) o mayores se eliminan.

No hay que comprimir el material. Las muestras se pesan con precisión de un decigramo antes de que pase una hora, y se secan a peso constante a 75°C en el horno de secado con las tapas medio abiertas o sin tapas. Para las muestras de menos del 60% de contenido de humedad es suficiente secarlas durante 24 hrs. en un horno que tenga circulación de aire a presión, aunque es preferible secarlas durante cuarenta y ocho horas. También es preferible secarlas a 75°C, porque permite conservar más componentes volátiles aparte del agua (especialmente nitrógeno amoniacal y lípidos). En los materiales que contienen líquido libre (del 70 al 75% de agua o más), como las basuras sin tratar y los fangos de alcantarillas, primero se puede evaporar la mayor parte del agua en un baño de vapor y después se puede proceder al secado final en el horno. A continuación se deja secar la muestra en un frasco secador o armario con la tapa cerrada y se pesa.

- **Cálculo:**

$$\% \text{ de humedad (base húmeda)} = \frac{100 (\text{pérdida de peso})}{(\text{peso neto húmedo})}$$

Esta cifra es aproximadamente igual al tanto por ciento de agua en peso, y no se debe confundir con el porcentaje de líquidos.

5.2.5 Equipamiento y procedimiento de análisis de sólidos.

- **Prueba de sólidos volátiles y cenizas.**

- **Equipo:**

Un horno de secado.

Una balanza con precisión de 0,01 gr.

Un frasco secador.

Crisoles de porcelana.

Una mufla con pirómetro indicador y control de la temperatura por reostato.

Figura 5.8.: Crisoles de porcelana.



Figura 5.9.: Mufla.



- Procedimiento.

La muestra se seca hasta peso constante a 333°K (60°C) y se deja enfriar en el desecador.

Se pone a peso constante el crisol a temperatura de 473°K (200°C) durante dos horas, se deja enfriar en el desecador y se pesa.

Se transfieren al crisol aproximadamente 20 g de la muestra seca (que se inicia en 4. 1) y se pesa con aproximación de 0. 1 g.

Se calcina en la mufla a 1073°K (800°C) hasta obtener peso constante (se recomienda comprobar el peso constante transcurrida una hora) se deja enfriar en el desecador y se pesa.

Nota: Se debe evitar que la muestra quede expuesta a corrientes de aire.

- Cálculos.

El porcentaje de cenizas en base seca se calcula con la siguiente fórmula.

$$C = \frac{(G3 - G1)}{(G2 - G1)} * 100$$

Donde:

C = Porcentaje de cenizas en base seca

G1= Peso del crisol vacío, en g

G2= Peso del crisol mas la muestra seca, en g

G3= Peso del crisol mas la muestra calcinada en g

$$\% \text{ de Sólidos Volátiles} = \frac{100 * (\text{pérdida de peso})}{(\text{peso neto húmedo})}$$

Este porcentaje se aproximará al porcentaje de materia orgánica de la muestra.

- Reproducción de la prueba.

La diferencia máxima permisible entre determinaciones efectuadas por duplicado no debe ser mayor del 1%, en caso contrario se debe repetir la determinación.

- Prueba del fósforo (fosfatos).

- Equipo:

Matraces Kjeldahl de 800 mililitros para digestión.

Una campana de humos.

Matraces graduados de 200 mililitros.

Recipientes de aluminio para muestras de dos pulgadas de diámetro (unos 50 mm.) y 7/8 de pulgada de alto (unos 22 mm.).

Un espectrofotómetro.

Un calorímetro fotoeléctrico (equipado con un filtro de luz de transmitancia máxima próxima a los 625 ó 675 milimicrones) o un calorímetro visual.

Un horno de secado.

Un desecador.

Una balanza de análisis.

Pipetas volumétricas.

- Reactivos:

Ácidos sulfúrico, del 93 al 96%.

Hidróxido de sodio, 10N (40%).

Solución de molibdato de amonio: se disuelven 5 gramos de $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ en un litro de HCl 0,75N.

Solución de elón: se disuelven 10 gramos de elón en un litro de NaHSO_3 al 3%.

Solución normal de fosfato biácido de potasio: se disuelven 1917 gramos de KH_2PO_4 puro y seco en agua y se diluye hasta un litro. Un mililitro de esta solución equivale a un miligramo de P_2O_5 .

- Procedimiento:

Se pesan unos tres gramos de residuos secados de la muestra en un recipiente previamente secado y tarado (se recomienda secar los residuos a 75°C durante dos horas después de que se han transferido al recipiente). Se transfiere la muestra a un matraz Kjeldahl y se añaden unos 25 mililitros de H_2SO_4 concentrado y digiérase bajo la campana de humos hasta que el líquido se vuelve de color trigo, indicio de que la materia orgánica se ha descompuesto. Enfriar e introducir en el matraz graduado de 200 mililitros, añadiendo unos 80 mililitros de agua. Alcalinizar con la solución de NaOH utilizando indicador de fenolftaleína hasta que la solución empieza a volverse rosa. Añádase agua hasta alcanzar la marca y mézclese bien. Filtrar eliminando la primera parte del filtrado y conservando la solución para determinar el fosfato y la potasa (el volumen de la solución básica de la muestra es de 200 mililitros).

Con una pipeta se pasan 10 mililitros de la solución anterior a un vaso de boca ancha de 100 mililitros, se añaden 30 mililitros de solución de molibdato de amonio y 10 mililitros de solución de elón (50 mililitros de volumen total). Al mismo tiempo se depositan en matraces graduados de 50 mililitros cantidades medidas con pipeta de la solución normal de fosfato y se añaden las mismas cantidades de las soluciones de molibdato de amonio y elón y se diluye con agua hasta la marca. Se mezclan bien la muestra y las soluciones y se deja reposar durante treinta minutos (se sugiere utilizar para comparación soluciones normalizadas de 1, 2, 4, 6, 8 y 10 miligramos de P_2O_5 en

50 mililitros o preparar la curva de calibración del espectrofotómetro o calorímetro fotoeléctrico). Múdese o compárese inmediatamente la muestra en el calorímetro.

- Cálculo:

$$\% P_2O_5 = \frac{\text{mg. de } P_2O_5 \text{ (determinación colorimétrica)} * 2}{\text{(peso seco neto en gramos)}}$$

- Prueba del potasio (potasa) por el método fotométrico de la llama.

- Equipo:

Un espectrofotómetro con dispositivo de fotómetro para llamas.

- Reactivos:

Solución normal de cloruro potásico: se disuelven 1584 gramos de KCl seco reactivo en H₂O y se diluyen hasta un litro. Un mililitro de esta solución equivale a un miligramo de K₂O.

- Procedimiento.

Preparar una serie de soluciones tipo que varíen de 10 a 100 partes de K₂O por millón (1 a 10 mililitros de solución de KCl diluidos hasta 100 mililitros).

Para determinar el potasio con el espectrofotómetro se utiliza la solución preparada para la determinación del fósforo. El instrumento se utiliza de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Antes de utilizarlo hay que dejar que el instrumento alcance el equilibrio

operativo. Al final del periodo de calentamiento se pulverizan cantidades de las muestras hasta obtener lecturas reproducibles de las series.

Se utiliza con frecuencia durante la pulverización de la serie de soluciones de la muestra las soluciones tipo correspondientes a las concentraciones de K_2O de las muestras ensayadas. Repetir esta operación con las soluciones tipo y de la muestra un número de veces suficiente, de acuerdo con el grado de precisión que se desea, para que las lecturas medias de cada solución de la muestra sean seguras.

Preparar la curva de calibración de la concentración (parte por millón) del potasio en forma de K_2O en relación con la densidad óptica de las soluciones tipo KCl.

Determinar la concentración de K_2O en las soluciones de la muestra por la curva de calibración.

- Cálculo.

$$\% K_2O = \frac{\text{ppm. de } K_2O \text{ en la solución muestra}}{50 * (\text{peso seco neto en gramos})}$$

Si la solución de la muestra es más concentrada que las soluciones tipo, se diluye una parte de ella y se ajusta el cálculo. La anterior fórmula es para un volumen básico de solución muestra de 200 mililitros, y hay que ajustarla si se varía el volumen.

- Prueba de hidrógeno y carbono.

- Equipo:

Un horno eléctrico para calentar tubos cerrados para la combustión de sustancias orgánicas.

Cápsulas de combustión con tapa.

Tubos secadores en U con tubos laterales de 16 mm. de diámetro interior y 150 mm. de altura.

Lavagases Fisher-Milligan

Una balanza de análisis.

Un horno de secado.

Un aparato desecador.

Tubos Tygon.

Una botella de oxígeno extraseco preparado con aire líquido.

- Reactivos:

Ácido sulfúrico concentrado.

Óxido cúprico granular (calentado a 900°C durante una hora antes de usarlo).

Cromato de plomo granular.

Peróxido de plomo granular.

Perclorato de magnesio.

Ascarita (malla 8-20).

Alambre de plata pura de grosor 3-4 B&S.

Filtro de amianto.

- Procedimiento.

Se monta el tren de combustión como se indica en la figura 5.10. El artículo número 10 del tren sirve para facilitar la conducción del calor desde el centro del tubo de combustión a la salida para que en esta parte del tubo no se acumule la humedad. El peróxido de plomo (artículo N°11) se tiene que mantener a 190°C durante toda la prueba. Se debe obtener el peso inicial de los artículos “A” y “B”. Se pesa de 0,5 a 1

gramo de residuos secados de la muestra directamente en una cápsula de combustión. Se conectan los calentadores números 1 y 2 aumentándose gradualmente la temperatura hasta aproximadamente 800 a 900°C. Se debe regular la de oxígeno por el tren de combustión durante treinta minutos por lo menos, dejando después un tiempo para asegurar que toda el agua formada durante la combustión ha sido arrastrada por la corriente de oxígeno al tubo de secado que contiene el perclorato de magnesio. Luego se obtiene el peso final de los artículos “A” y “B”.

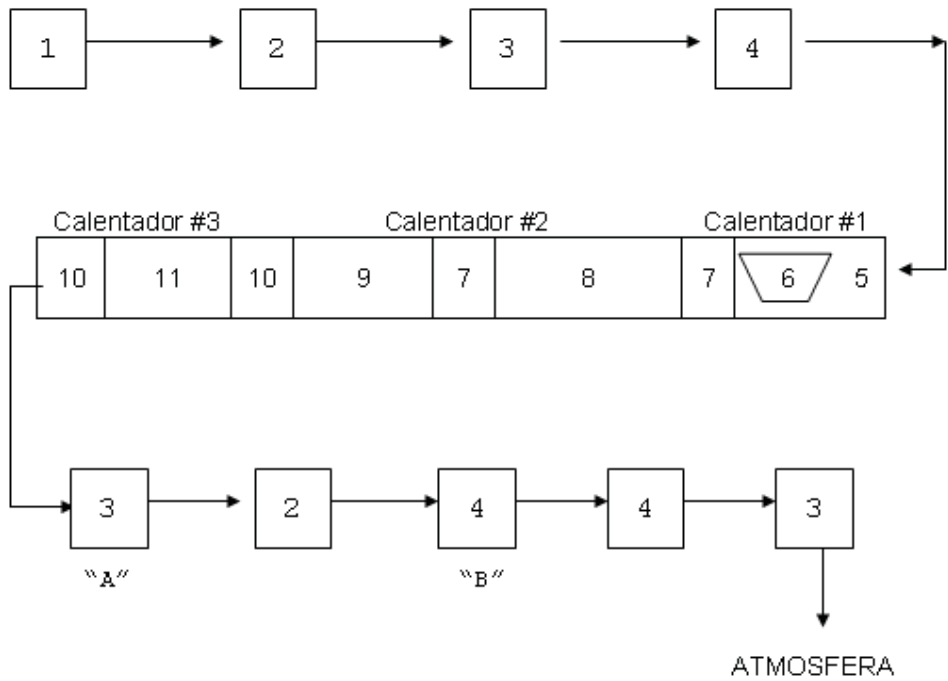


Figura 5.10.: Montaje tren de combustión.

1. Botella de oxígeno.
2. Lavagases con ácido sulfúrico concentrado.
3. Tubo secador con perclorato de magnesio.
4. Tubo secador con ascarita.
5. Tubo de combustión.
6. Cápsula de combustión.
7. Tapón de fibra de amianto.
8. Cromato de plomo.
9. Óxido cúprico.
10. Alambre de plata (trenzado en malla).
11. Peróxido de plomo (se mantiene a 190° C).

- Cálculos:

$$\% \text{ de hidrógeno} = \frac{\text{aumento de peso de "A" * 11,19}}{\text{peso de la muestra}}$$

$$\% \text{ de carbono} = \frac{\text{aumento de peso de "B" * 27,29}}{\text{peso de la muestra}}$$

- Análisis de nitrógeno orgánico y amoniacal.

- Equipo.

Matraces Kjeldahl para digestión y destilación de 800 mililitros.

Caperuza de exhaustación y salida especial al exterior para eliminar los vapores ácidos durante la digestión.

Tubos de conexión Kjeldahl de bolas (empleándose bolas de 5 a 6 cm. de diámetro, con tapón de caucho en el extremo inferior y conectado el superior con tubo de goma a un condensador).

Matraces Erlenmeyer de 500 mililitros.

- Reactivos.

Ácido sulfúrico 0,1N (normalizar por cualquier método).

Hidróxido de sodio 0,1N (normalizar por titración contra el ácido normal).

Ácido sulfúrico del 93 al 96% exento de nitratos y $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Óxido de mercurio reactivo exento de nitrógeno.

Solución de hidróxido-tiosulfato de sodio: Se disuelven en agua 450 gramos de NaOH exento de nitratos y se dejan enfriar, se añaden 80 gramos de $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, manteniendo fría la solución, y se añade agua hasta tener un litro de solución.

Indicador de rojo de metilo: Disolver un gramo de rojo de metilo en 200 mililitros de alcohol etílico al 95%.

Sulfato de potasio (K_2SO_4).

Cinc granulado.

- Procedimiento.

Se miden (con una precisión de cuatro decimales) 0,7 a 2,5 gramos de residuos secados de la muestra (indirectamente desde el recipiente de aluminio para muestras) y se depositan en un trozo de papel de filtro Whatman número 1 (9 cm.). Plegar el papel e introducirlo en un matraz de digestión. Añadir de 15 a 18 gramos de K_2SO_4 , un gramo aproximadamente de óxido de mercurio y 25 mililitros de H_2SO_4 concentrado. Calentar suavemente hasta que se deja de formar espuma, después de lo cual se calienta rápidamente, continuando la digestión durante algún tiempo después que la mezcla se ha vuelto incolora o casi incolora (unas dos horas). Enfriar y añadir 200 mililitros de

agua y disolver la materia aglutinada. Añadir un gramo de cinc granulado para evitar la ebullición violenta y 75 mililitros de solución alcalina de tiosulfato, vertiéndola de forma que vaya escurriendo por las paredes del matraz para que no se mezcle enseguida con la solución ácida. Conectar inmediatamente el matraz al condensador mediante el tubo Kjeldahl de bolas, teniendo cuidado de que la punta del condensador se prolongue por debajo de la superficie del ácido normal del matraz de 500 mililitros, que actúa como receptor. Mezclar el contenido agitándolo y destilar hasta que haya pasado todo el NH_3 como una cantidad medida de ácido normal (50 mililitros por regla general). Los primeros 150 mililitros del destilado contienen corrientemente todo el NH_3 (es conveniente marcar los matraces receptores a unos 200 mililitros y destilar hasta la marca). Dosificar con solución alcalina normal, empleando el indicador de rojo de metilo.

Debe hacerse una determinación teórica con aproximadamente 500 miligramos de azúcar de caña y con la misma cantidad de ácido normal para determinar los nitratos que puedan estar presentes en los reactivos y que se reducen durante la digestión. Cuando se empleen nuevos reactivos hay que establecer un nuevo valor teórico.

- Cálculos:

1) Teórico:

$$(\text{ml. ácido}) - (\text{ml. base}) \frac{(\text{base normal})}{(\text{ácido normal})} = \text{ml. equiv. ácido}$$

2) Muestra:

$$(\text{ml. ácido}) - (\text{ml. base}) \frac{(\text{base normal})}{(\text{ácido normal})} = \text{ml. equiv. ácido}$$

en muestra + en teoría.

3) Muestra corregida con teoría: (2)-(1)= ml. eq. ácido en muestra.

4)

$$\% \text{ de nitrógeno} = \frac{(\text{ml. equiv. ácido en muestra})(\text{ácido normal})(14 \text{ mg.})}{10 (\text{peso inicial seco muestra en gramos})}$$

El nitrógeno medido es orgánico y amoniacal, y no incluye el de nitritos y nitratos porque este nitrógeno no se reduce a amoniaco durante el proceso de análisis. Es dudoso, sin embargo, que se formen muchos nitritos y nitratos (si es que se forma alguno) durante el tratamiento aerobio, a no ser que el periodo de estabilización se haya prolongado durante mucho tiempo.

Cuando las cantidades de H₂SO₄ normal que se usan para la teoría y la muestra son exactamente iguales, se puede emplear el siguiente cálculo simplificado:

$$\% \text{ de nitrógeno} = \frac{[(\text{ml. base teórica}) - (\text{ml. base muestra})](\text{base normal})(14)}{10 (\text{peso inicial seco muestra en gramos})}$$

- **Poder calorífico (superior e inferior).**

- **Equipo.**

Un calorímetro Parr de bomba de oxígeno (con revestimiento isotérmico).

Una conexión Parr para el llenado de oxígeno.

Una botella de oxígeno (comercial).

Una balanza con capacidad neta para 3000 a 5000 gramos.

Un regulador de presión (comercial).

Un horno de secado.

Un aparato desecador.

Una balanza de análisis.

- Reactivos.

Agua destilada.

Solución de carbonato de sodio 0,0725N: Se disuelven 3,84 gramos de Na_2CO_3 en agua destilada y se diluye hasta un litro. Se pueden usar soluciones de la misma normalidad de hidróxido de sodio y de hidróxido de potasio.

Indicador de anaranjado de metilo o rojo de metilo.

- Procedimiento.

Se conecta un alambre fusible normal de 10 cm. Entre los electrodos de la cabeza de la bomba de oxígeno.

Se pesan de 0,8 a 1,2 gramos de residuos secados de la muestra directamente en una cápsula metálica de combustión (la cantidad de residuos se limita para asegurar que el calor total liberado no exceda de 8000 calorías). Se coloca la cápsula en un soporte sobre la cabeza de la bomba. Se curva hacia abajo el centro del alambre fusible de forma que quede un poco por encima de la superficie del material que hay en la cápsula.

Con una pipeta se deposita un mililitro de agua en la bomba. Se coloca la cabeza de la bomba en el cilindro. Se pone el anillo de contacto sobre la junta de estanqueidad y se atornilla a mano la tapa con fuerza.

Se conecta la conexión de llenado a la válvula de admisión de la bomba y se deja entrar lentamente oxígeno a la presión de 30 atmósferas medida en el manómetro y a la

temperatura ambiente (si se llegase a admitir demasiado oxígeno, hay que vaciar la bomba y no proceder a la combustión).

Se llena la cubeta del calorímetro con 2000 gramos ($\pm 0,5$ gramos) de agua destilada que se puede medir volumétricamente en vez de pesándola si se hace a la misma temperatura. La temperatura del agua debe ser de 3 a 4°F (1,5 a 2,2°C) más baja que la ambiente.

Póngase la cubeta llena en el revestimiento del calorímetro, tómesese la válvula de la bomba entre el índice y el pulgar e introdúzcase la bomba en el agua teniendo cuidado de no agitar ni remover el contenido. Se conecta el terminal de presión al electrodo de la bomba y se sacuden todas las gotas de agua que se adhieran a los dedos, de modo que caigan en la cubeta.

Se coloca la tapa sobre el revestimiento con el termómetro hacia el operador. Se baja la tapa en posición teniendo cuidado de no golpear el termómetro contra nada. Se monta la correa de transmisión y se pone el motor en marcha. Luego el agitador gira a la velocidad correcta si la corriente eléctrica a que se ha conectado el motor es de las características que se indican en la placa del motor Parr. Si se utiliza un motor de otra marca, hay que ajustar el agitador de modo que entregue 150 revoluciones por minuto en el sentido de las agujas del reloj.

Se debe tener el motor funcionando durante cinco minutos para conseguir el equilibrio térmico, pero sin registrar las temperaturas durante este periodo. Ajústese la lente de lectura del termómetro y se debe estar preparado para empezar a leer las temperaturas tan pronto como la lentitud y uniformidad de subida indiquen que se ha alcanzado el equilibrio.

Se leen y anotan las temperaturas con precisión de 0,005°F, con intervalos de un minuto durante exactamente cinco minutos; después se pulsa el botón de la unidad de ignición para encender la carga al principio del sexto minuto, anotando el momento y la temperatura exactos del punto de encendido.

Se anotan las temperaturas (leídas sin la lente) a los 45, 60, 75, 90 y 105 segundos después del encendido. Después del periodo de subida rápida (los cuatro o cinco minutos que siguen al encendido) se ajusta la lente y se registran las temperaturas con

precisión de 0,005°F, con intervalos de un minuto hasta que la diferencia entre las lecturas sucesivas se mantiene constante durante cinco minutos. La temperatura alcanza por lo general un máximo para descender después lentamente.

La subida neta es igual a la diferencia entre la temperatura inicial en el momento del encendido y la temperatura máxima final desarrollada en el calorímetro. Tómese el 60% de esta subida neta y súmese a la temperatura observada en el punto de encendido. Por interpolación se calcula el tiempo en que el termómetro llegó a esa temperatura.

Después de completar las lecturas se detiene el motor, se desmonta la correa de transmisión y se levanta la tapa del revestimiento. Se limpia la bola del termómetro con un trapo limpio para eliminar el agua y se pone la tapa en el soporte, se desconecta del terminal de la bomba la conexión de encendido y se sacan del revestimiento la cubeta y la bomba.

Se saca de la cubeta la bomba y se descarga toda la presión residual.

Después de que se ha descargado toda la presión, se retira la tapa a rosca, se levanta la cabeza de la bomba y se coloca el soporte. Se revisa el interior de la bomba para ver si queda hollín u otra evidencia de que la combustión haya sido incompleta, y si se encuentra se da la prueba por defectuosa y no se tienen en cuenta los resultados.

Se limpian todas las superficies interiores de la bomba con un chorro de agua destilada y se recoge el agua de lavado en una copa graduada. Se dosifica con solución alcalina 0,075N y empleando anaranjado o rojo de metilo. La solución que queda después de la dosificación se guarda para determinar el contenido de azufre de la muestra.

De los electrodos de la bomba se retiran con cuidado todos los trozos sin quemar del fusible, se enderezan y se mide en centímetros su longitud total. Esta longitud se deduce de los 10 cm. Originales, y la diferencia se apunta en la hoja de datos como longitud neta del alambre quemado.

- Cálculos:

Al terminar la prueba con el calorímetro corriente se deben tener anotados los siguientes datos:

a = tiempo de encendido.

b = tiempo (con precisión de 0,1 minuto) en que la temperatura alcanzó el 60% de la subida neta.

c = tiempo de comienzo del periodo (después de subir la temperatura) en que el cambio de temperatura se hizo constante.

t_a = temperatura en el momento de encendido.

t_c = temperatura en el tiempo.

r_1 = régimen de subida de la temperatura durante el periodo de cinco minutos que precedió al encendido (grados F por minuto).

r_2 = régimen de descenso de la temperatura durante el periodo de cinco minutos que siguió al tiempo C, restando la cantidad (c-b) en vez de sumarla al calcular la subida correcta de temperatura.

c_1 = mililitros de solución alcalina 0,075N utilizada para la dosificación ácida.

c_2 = porcentaje de azufre en la muestra.

c_3 = centímetros de fusible consumidos en el encendido.

W = equivalente energético del calorímetro en calorías por grado Fahrenheit (cada analista debe determinar experimentalmente su propio factor W).

m = masa de la muestra en gramos.

$t = t_c - t_a - r_1(b-a) + r_2(c-b)$.

$e_1 = c_1$ si para la dosificación se empleó solución alcalina 0,075N.

$e_2 = (14)(c_2)(m)$.

$e_3 = (2,3)(c_3)$ cuando se emplea fusible Parr 45C10 de cromo-níquel.

(2,7)(c₃) cuando se usa fusible número 34 B&S de hierro.

H_s = poder calorífico superior.

- Poder calorífico superior:

$$H_s = \frac{t W - e_1 - e_2 - e_3}{m}, \text{ calorías por gramo.}$$

Calorías por gramo = 1,8 BTU por libra.

- Poder calorífico inferior:

El poder calorífico inferior se calcula a partir del poder calorífico superior deduciendo 1030 BTU por libra de agua derivada de una cantidad unitaria de material, incluyendo el agua presente originalmente como humedad y la que se forma por combustión.

$$H_i = H_s - 10,30 (H * 9), \text{ BTU por libra.}$$

Donde:

H_i = poder calorífico inferior.

H_s = poder calorífico superior en BTU por libra.

H = % total de hidrógeno en el material.

5.2.6 Equipamiento y procedimiento de análisis de líquidos percolados y escurrido.

La muestra de líquidos percolados será conducida a la cámara a través de un dren basal. El líquido percolado se analizará tanto química como bacteriológicamente como un agua servida cruda fuerte, por lo que se deben emplear las mismas técnicas recomendadas por la Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.

- Medición de pH.

- Obtención del espécimen para el análisis.

De la muestra obtenida y preparada, se toma un espécimen de 20 g para realizar la determinación por duplicado.

- Equipo.

Balanza analítica con sensibilidad de 0.001 g.

Potenciómetro con compensador de temperatura, electrodo de vidrio y electrodo de referencia.

Agitador magnético con magnetos recubiertos de teflón o agitador mecánico.

Termómetro de vidrio con escala de 263 k a 392 k (-10 °C a 120°C).

Equipo usual de laboratorio.

- Materiales y Reactivos.

Solución amortiguadora de pH = 4.0

Solución amortiguadora de pH = 7.0

Solución amortiguadora de pH = 11.0

Agua destilada.

- Procedimiento.

Se calibra el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras de pH = 4, pH = 7, y pH = 11, según sea el tipo de residuos sólidos por analizar.

Se pesan 10 g de muestra y se transfieren a un vaso de 250 ml.

Se añaden 90 ml de agua destilada.

Se mezclan por medio del agitador durante 10 minutos.

Se deja reposar la solución durante 30 minutos.

Se determina la temperatura de la solución. Se sumergen los electrodos en la solución y se hace la medición del pH.

Se sacan los electrodos y se lavan con agua destilada.

Se sumergen los electrodos en un vaso de precipitado con agua destilada.

Nota: Para el manejo cuidado que se deben tener con el potenciómetro es necesario seguir las indicaciones y recomendaciones del fabricante.

- Cálculos.

El valor del pH de la solución es la lectura obtenida en la carátula del potenciómetro, cuando los electrodos se sumergen en ella.

- De la prueba.

La diferencia máxima permisible en el resultado de pruebas efectuada por duplicado no debe exceder 0.1 unidades de pH, en caso contrario se debe repetir la determinación.

- Medición de ácidos grasos volátiles por cromatografía.

- Método operativo.

Se toman de 5 a 10 ml. de muestra en un tubo pequeño de centrifuga.

Se centrifuga durante 10 minutos a 5000 r.p.m.

Se pipetea 2 ml. del sobrenadante en otro tubo de centrifuga.

Se añaden 2 gotas de H₂SO₄ al 25% en volumen y se agita.

Se añaden 2 ml. de alcohol iso-amílico.

Se agita fuertemente durante 20 segundos.

Se centrifuga durante 5 minutos a 5000 r.p.m. (si en alguna muestra no se separasen las fases, se sigue centrifugando hasta que se separen).

Se inyectan 4 ml. del sobrenadante en el cromatógrafo.

- Método de cálculo.

Se ha ensayado el uso de un patrón interno en el análisis cuantitativo de los ácidos volátiles por cromatografía de gases, existiendo dos compuestos (acetato de n-butilo y óxido de metilo) que por tiempo de elución, suficiente separación de la línea de base, buena simetría de peak, sensibilidad y no reactividad son los más apropiados para patrón interno. Sin embargo, su baja solubilidad en el agua (especialmente en muestras conteniendo grandes cantidades de ácidos), ha hecho que no se use el patrón interno en estos análisis.

Se ha utilizado por lo tanto el ESTD (patrón externo) tomando las siguientes precauciones:

- a) Preparación de un patrón de referencia que se inyecta antes y después de analizadas todas las muestras.
- b) Inyección de 4 l para minimizar los errores de inyección.

5.2.7 Equipamiento y procedimiento de análisis de biogás.

- Determinación de metano, bióxido de carbono, oxígeno e hidrógeno en terreno.

Con la revisión de equipos para el laboratorio de residuos sólidos se concluye que los análisis deben ser realizados con equipos especializados, que tienen la particularidad de hacer las mediciones con alto grado de confiabilidad y precisión, y con pocas intervenciones.

Se recomienda utilizar los equipos SEM 500, GEM 500 y GA 2000, de la marca comercial Landtec (landfill control technologies) ubicada en Estados Unidos. Los equipos son muy especializados, y están diseñados especialmente para medir en vertederos emisiones superficiales de los gases del enunciado (SEM 500), emisiones en chimeneas de los gases en cuestión además de medir trazas de gases (GA 2000), detectar los límites explosivos inferiores, presión barométrica, presión estática, temperatura, dirección del flujo de gas, etc (GEM 500).

Todos estos datos quedan almacenados en forma electrónica y pueden ser traspasados a un ordenador para su análisis posterior que viene dado por software incluido en los equipos.

Una consideración especial al momento de adquirir un equipo de medición de gases, es el relacionado con que este tenga una trampa de vapor de agua, ya que no todos los equipos lo poseen y puede resultar fatal el uso de estos en vertederos activos. Por otro lado existe gran variedad de equipos en el mercado por lo que es necesario identificar los niveles de precisión entregados. Se recomienda equipos de un máximo de 1,9% de error para medir metano y 3% para el bióxido de carbono (porcentajes del volumen medido). Por otro lado conviene un error de no más de 0,3% del volumen de metano para detección de límite explosivo inferior (LEL).

6. CONCLUSIONES.

Durante los últimos años, y principalmente a partir de la promulgación de la ley 19.300 sobre bases del medio ambiente, en Chile se ha manifestado una creciente preocupación por el tema del manejo integral de los residuos sólidos. En particular, para el caso de la ingeniería sanitaria esta preocupación tiene un sustento muy sólido, puesto que son miles las toneladas de residuos que se generan y su impacto en la salud urbana es evidente.

En primer lugar se debe señalar que uno de los primeros problemas que se deben tener presentes al abordar el tema de los residuos sólidos urbanos, es que pretendemos conocer los residuos sin siquiera haberlos estudiado. Muchos países mantienen sistemas que les informan los comportamientos y tendencias de las variables técnicas de los RSU. No obstante no podemos pretender aplicar los mismos criterios que se utilizan en otros países, ya que nuestros residuos son muy distintos. Incluso como quedó demostrado dentro de Chile las características son muy variables. Tal es el caso de la adquisición de tecnología extranjera de mucho éxito y renombre en muchos países, pero que cuando son aplicadas en nuestras ciudades sin mayor análisis, pasan a ser una mala inversión y un fracaso. Entonces es importante darnos cuenta que nuestros residuos distan mucho de otros países, y aunque en la práctica podremos asemejarnos a realidades externas, realmente no sabremos como abordar nuestra realidad hasta que no generemos nuestros propios datos. Para dicho objetivo, se pretende establecer un método más fiable que los que hasta ahora se están aplicando (salvo algunos estudios que tienen gran precisión y entregan información muy importante).

Una vez que se ha efectuado una revisión de los estudios en Chile y en Latinoamérica, podemos observar que nos encontramos en la etapa de primera aproximación hacia el enfoque de soluciones futuras. Esto es, que los estudios no han alcanzado el nivel de precisión deseado por la mayoría de los investigadores, pero alcanzan a cumplir con los objetivos planteados de visión global de la situación. Pero es en este punto que debemos poner atención, ya que dentro del análisis que debemos realizar a los RSU es necesario avanzar a la siguiente etapa de precisión y confiabilidad de los datos generados.

No es de extrañar que todavía en algunos países latinoamericanos, o específicamente en algunas ciudades del continente, falta una visión de futuro que asuma la realidad de mala gestión en que nos encontramos, con el fin de dar una solución definitiva a la problemática asociada a los RSU. Quizás este fenómeno se deba al acostumbramiento de las personas a una realidad de mantenerse en una ciudad deteriorada desde el punto de vista sanitario. Como la solución más cercana a la que se pueda recurrir en este momento, aparece la universidad o los centros de investigación. Para ello, los organismos encargados de la gestión integral de los RSU deben mantener estrechos lazos con dichos organismos para que los asesoren, pretendiéndose definir las herramientas más válidas desde el punto de vista técnico, y ajustándolas a cada realidad ciudadana.

Si bien es cierto, y como ya se ha dicho anteriormente, los estudios realizados hasta ahora son la primera aproximación a la problemática asociada al mal manejo de los RSU, pero además debemos enfrentar que dichos estudios, aunque han sido solicitados por instituciones centralizadas, no exigen una metodología específica, ni tampoco proponen métodos claros para realizar las caracterizaciones. Esta tesis pretende desplegar una propuesta única de metodología para ser discutida y mejorada, con el fin de evitar las confusiones que se generan al comparar los resultados.

Los residuos sólidos urbanos, en especial los domiciliarios, están muy relacionados con variables de tipo social. Esto es, que son susceptibles de variar de acuerdo al nivel socioeconómico de los generadores, de los hábitos de consumo, de la calidad de vida, del nivel educacional, etc., y además de factores físicos tales como las condiciones climáticas, y de tipo normativo, como el caso de la legislación referente a producción (el caso más evidente es la ley envases y embalajes que se ha implementado en Europa, y que señala cuantos residuos pueden generar los envases y embalajes de los productos que a diario adquieren las personas, aplicando técnicas de desincentivo económico a quienes pretendan generar más residuos de lo estrictamente necesario para mantener la calidad, elemento que se define por estudios de ACV o análisis de ciclo de vida), y de las políticas de reciclaje o minimización de residuos, etc.

Con respecto al punto anterior, cabe señalar que los datos que entregan los estudios son incomparables con otros de la misma clase, debido a que la gran mayoría de estos fueron presentados sin mostrar los niveles de confiabilidad y/o precisión, lo que no

indica necesariamente que no sean válidos, sino que, como hemos visto en esta tesis, necesariamente deben ser presentados basándose en herramientas estadísticas para lograr los objetivos de muestreo representativo. Por otra parte, se ha recomendado que todos los criterios utilizados sean descritos en forma clara y ordenada. Tal es el caso de la estratificación de la población estudiada, método que es altamente relevante al momento de presentar los resultados, ya que, como hemos visto anteriormente, la composición de los residuos tienen una influencia directa de la situación socioeconómica de las personas que los generan.

Como ya ha quedado establecido, las variables socioeconómicas de la población están íntimamente relacionadas con composición de los RSU. De esta manera podemos afirmar que observando las variaciones en la composición del residuo estamos generando una nueva herramienta y de gran efectividad para poder observar el comportamiento de la población, sus hábitos, sus necesidades, etc., en fin el nivel medio de calidad de vida de las personas.

Los RSU deben ser estudiados a través del tiempo. Es necesario llevar a cabo caracterizaciones representativas de los RSU en distintas épocas del año para obtener una visión global del comportamiento de los residuos. Esto, con el fin de tomar decisiones correctas dentro del manejo integral y así optimizar los recursos municipales destinados al tema, recursos que nunca han llegado a ser despreciables. Se propone estudiar los RSU cuatro veces al año a mediados de cada estación climática por cada ciudad chilena. Es necesario tener presente las fechas y eventos importantes, especialmente épocas como la navidad, donde los porcentajes de papeles y cartones aumentan considerablemente por algunos pocos días, cambios de años (primero de Enero), festividades especiales, época estival, eventos especiales (por ejemplo el festival de la Canción de Viña del Mar, donde si escogemos un punto de muestreo cercano al recinto la composición del residuo no es representativa de la ciudad, pero si lo puede ser en otras fechas normales), etc., con el fin de no ocasionar problemas con la representatividad de los datos.

Se propone un sistema metodológico llamado muestreo aleatorio estratificado para poder definir los lugares a caracterizar. Por otro lado, se hace la proposición de un sistema alternativo ideado en esta tesis y que se le ha denominado caracterización de planificación estrella, que además de cumplir con los objetivos del anterior sistema,

sirve como herramienta de análisis al planificador urbano, ya que lleva los datos generados por las campañas de muestreo a un plano tridimensional que puede integrar la información de calidad de vida de las personas, así como también identificar zonas con mayores necesidades o de mejores perspectivas para promoción de campañas de reutilización y/o recuperación de residuos.

Otro elemento importante de señalar es que los análisis propuestos para el laboratorio de RSU son flexibles, ya que estos dependen por un lado de las características que se desean estudiar, y las investigaciones que se estén realizando. De este modo si nuestro objetivo es analizar la fracción reciclable del residuos, no requeriremos el estudio de biogás, o medir ácidos grasos volátiles. Por esta razón, es altamente recomendable fijar muy bien los objetivos del laboratorio, con el fin de implementarlo con los equipos estrictamente necesarios en una primera etapa.

La metodología propuesta en esta tesis, tiene como objetivo generar datos y procesarlos para pasar a ser información más precisa y con valor agregado, ayudando a la toma de decisiones técnicas más acertadas por parte de la autoridad responsable. Este proceso se identifica plenamente con una de las misiones de nuestra universidad que dice relación con su incorporación dentro de la comunidad estableciendo un aporte efectivo a ella.

Con el fin de dejar espacio para generar otras tesis referentes al análisis de los RSU, se plantea que estas composiciones variables a través del tiempo, pueden y deben ser comparadas con variables de tipo económico, social, de campañas de recuperación de materiales, etc., a fin de encontrar correlaciones matemáticas y poder proyectar las variaciones de la composición de los RSU en el tiempo. Como primera idea, y de forma muy práctica, se puede pretender realizar modelos de proyecciones similares a las de evaluación económica, como son los flujos de caja y cálculos de valor futuro, en donde, dependiendo de una variable proyectada en el tiempo (tasa) se pueden asumir flujos en el tiempo (en este caso de una fracción de la composición), con el fin de proyectar a futuro las características de los RSU. Un modelo de este tipo puede ser de mucha importancia en cuanto que los municipios puedan encaminar mejor sus esfuerzos hacia campañas de minimización, reciclaje, etc., en fin plantearlo como herramienta de toma de decisiones en sus planificaciones estratégicas. Por otro lado la empresa privada puede utilizar dichos modelos para proyectar plantas de tratamiento de residuos, así como también plantear fórmulas para atacar posibles problemas que se deriven de las

variaciones de composición. Tal sería el caso del aumento los porcentajes en peso de residuos tóxicos y peligrosos generados en los hogares, elementos que por lo general se comportan como inhibidores de procesos de descomposición biológica, ralentizando la producción de biogás en los vertederos que se proyecten como productores de este subproducto del residuo.

BIBLIOGRAFÍA.

- AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY. "Methods of Soil Analysis Agronomy N°92-96". Editorial American Society of Agronomy Inc. Publisher. 1996.
- BOSCO ROMERO, R.J. "Estudio para la predicción de generación de desechos sólidos". México, D.F. 1980; Tesis para obtener el Título en Ingeniería Civil – ESIA. 1980.
- CASANUEVA, RUPERTO. "Tema 5. Desechos sólidos". 2° CONGRESO CHILENO DE INGENIERIA SANITARIA. SANTIAGO, CHILE. 1977
- CHRISTENSEN, THOMAS H. "Landfill regulations, waste characteristics, landfilling in middle and lower income countries, industrial waste and monolandfills". Sixth International Landfill Symposium, SARDINIA 97. 1997.
- DIRECCIÓN GENERAL DE ECOLOGÍA URBANA, SUBSEC ASENTAMIENTOS HUMANOS, SAHOP "Normas de Proyecto para Sistemas de Manejo y Disposición Final de los Desechos Sólidos". México, D.F. 1978.
- F.C.S.F.Y M, DPTO. OBRAS CIVILES, UNIV. DE CHILE. "Seminario sobre administración de aseo" PUBLICACION O-8. 1974.
- JACKSON, M. L. "Análisis Químicos de los Suelos ". Editorial Omega. 1982.
- KAUAK, JUAN; ISAMITT M. "Laboratorio para residuos sólidos e investigaciones en relleno sanitario". PUBLICACION I-47 F.C.S.F.Y M, DPTO. OBRAS CIVILES, UNIVERSIDAD DE CHILE. 1979.
- KLEE, ALBERT J. AND DENNIS CARRTH. "Sample Weights in Solid Waste Composition Studies", Journal of the Sanitary Engineering Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. 1970.

SZANTO, MARCEL S. "Guía para la identificación de proyectos y formulación de estudios de prefactibilidad para manejo de residuos sólidos urbanos". CEPAL/ILPES. 1998.

UNITED STATES, ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. "Methods of predicting solid waste characteristics". 1971.

UNITED STATES, ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY." Physical, Chemical and Microbiological Methods of Solid Wastes Testing".1973.

WAYNE W.D. "Bioestadística, Base para el análisis de las ciencias de la Salud". Ed. Limusa; México, D.F. 1982.