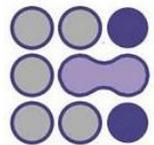




ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE ORIHUELA

**Máster Universitario de Investigación en
Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos**



**MANEJO Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LA
PROVINCIA DE CHIMBORAZO – ECUADOR Y SU POTENCIAL USO EN
AGRICULTURA**



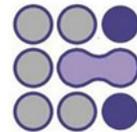
Janneth Jara Samaniego

2014



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE ORIHUELA

**Máster Universitario de Investigación en
Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos**



**MANEJO Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LA
PROVINCIA DE CHIMBORAZO – ECUADOR Y SU POTENCIAL USO EN
AGRICULTURA**

V° B° DIRECTOR

V° B° CODIRECTOR

María Dolores Pérez Murcia

Raúl Moral Herrero



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza a la alumna **D^a. Janneth Jara Samaniego**, a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: “Manejo y caracterización de Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Chimborazo (Ecuador) y su potencial uso en agricultura”, bajo la dirección de D^a. M^a Dolores Pérez Murcia y la codirección de D. Raúl Moral Herrero, debiendo cumplir las normas establecidas para la redacción del mismo que están a su disposición en la página Web específica del Master.

Orihuela, 28 de enero de 2014

La Directora del Máster Universitario de Investigación en Gestión, Tratamiento y Valoración de Residuos Orgánicos

Fdo.: Concepción Paredes



TRIBUNAL	
FECHA:	
PRESIDENTE:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:

REFERENCIAS DEL TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

IDENTIFICACIONES:

Autor: Janneth Jara Samaniego

Título: Manejo y caracterización de Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Chimborazo – Ecuador y su potencial uso en agricultura

Directores: María Dolores Pérez Murcia y Raúl Moral Herrero

Titulación: Dra. En Química (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – Ecuador)

Tipo de trabajo: Experimental

Palabras clave: Residuos Sólidos Urbanos (RSU), reciclaje de basura orgánica, mercados, compostaje, Ecuador.

Keywords: Municipal Solid Waste (MSW), organic waste recycling, markets, composting, Ecuador.

N° citas bibliográficas: 51

N° de tablas: 11

N° de figuras: 18

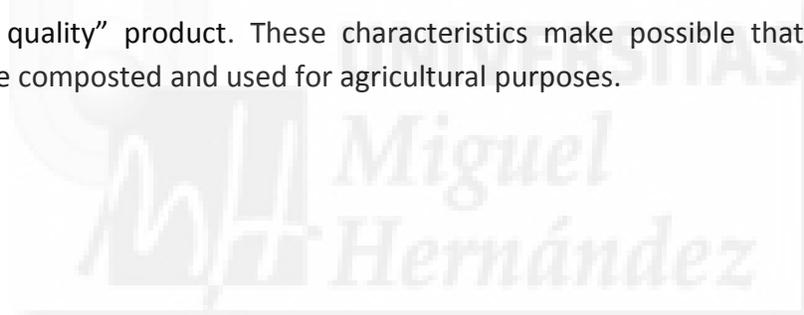
Resumen:

El presente trabajo hace un análisis general del manejo de residuos sólidos urbanos de la provincia de Chimborazo - Ecuador dentro del contexto de los países de Latinoamérica y El Caribe. Se ha realizado una completa caracterización de nueve muestras de residuos sólidos urbanos mediante el análisis de parámetros físico químicos, químicos y biológicos entre los que se destacan pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico total, nitrógeno total, carbono orgánico hidrosoluble, macro y micronutrientes, polifenoles, aniones solubles, metales pesados e índice de germinación. Los resultados indican un promedio de porcentajes de materia orgánica y de carbono de 64,3% y 34,1% respectivamente. La materia orgánica presenta un contenido de carbono del 53,1%. Este valor concuerda con los descritos en bibliografía (50-58%). Todos los residuos analizados presentaron contenidos de metales pesados más bajos que los límites permitidos en biosólidos por lo que pueden ser considerados un producto de “calidad excepcional”.

Estas características hacen que estos residuos orgánicos puedan potencialmente ser compostados y utilizados con fines agrícolas.

Abstract:

The aim of this work was to carry out a general analysis of the management of the municipal solid wastes generated in the province of Chimborazo - Ecuador in the context of the countries of Latin America and the Caribbean. A complete characterisation of nine solid waste samples has been carried out, analysing physico-chemical, chemical and biological parameters, such as pH, electrical conductivity, organic matter, total organic carbon, total nitrogen, water-soluble organic carbon, macro and micronutrients, polyphenols, water-soluble anions, heavy metals and the germination index. The results indicate average percentages of organic matter and total organic carbon of 64.3% and 34.1%, respectively. Organic matter shows a content of carbon of 53.1%. This value is consistent with those described in the literature (50-58%). All the wastes analysed showed heavy metal contents lower than the limit values allowed in biosolids to be considered an "exceptional quality" product. These characteristics make possible that these organic wastes can be composted and used for agricultural purposes.



Agradecimientos

A la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia Tecnología e Innovación (SENESCYT) de Ecuador por el financiamiento otorgado.

A la Municipalidad de Riobamba por las facilidades otorgadas para el muestreo de los Residuos Sólidos Urbanos.

A las autoridades de la Escuela Politécnica de Chimborazo – Ecuador.

Al Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente de la Universidad Miguel Hernández de Elche (España) por su invaluable contribución científico técnica.

Mi especial gratitud a los profesores María Dolores Pérez Murcia y Raúl Moral Herrero, Directores de este Trabajo de Fin de Máster y Concepción Paredes Gil Directora del Máster por su apoyo constante.

Dedicatoria

A Nelson, Andrés y María Fernanda por su amor incondicional.



TABLA DE CONTENIDOS

1	OBJETO Y SÍNTESIS	1
2	INTRODUCCIÓN	5
2.1	Problemática de los Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe	5
2.1.1	Situación regional (América Latina y el Caribe)	5
2.1.2	Situación en Ecuador y Chimborazo	8
2.2	Marco legal de aplicación a los Residuos Sólidos Urbanos	12
2.2.1	Norma técnica. Texto unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS)	13
2.2.2	Ordenanzas municipales	14
2.3	Gestión de Residuos Sólidos Urbanos	15
2.3.1	Tipología de Residuos Sólidos Urbanos	15
2.3.2	Cuantificación de Residuos Sólidos Urbanos	17
2.3.3	Composición de Residuos Sólidos Urbanos	21
2.3.4	Destinos actuales y opciones de gestión más sostenible.....	23
3	MATERIALES Y MÉTODOS.	29
3.1	Diseño experimental	29
3.2	Descripción del área de estudio	29
3.2.1	Desarrollo experimental	31
3.3	Muestreos realizados y métodos analíticos utilizados.....	31
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1	Evaluación de las características de los de Residuos Sólidos Urbanos estudiados	36
4.1.1	Parámetros físico-químicos	36
4.1.2	Parámetros químicos.....	37
4.1.3	Parámetros biológicos.....	41
4.2	Propuestas de gestión de los residuos sólidos urbanos estudiados en función de la naturaleza	42
5	CONCLUSIONES	45
6.	BUBLIOGRAFÍA	46
7	ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Frecuencia del servicio de recolección en América Latina y El Caribe (%)

Tabla 2. Generación per cápita de RSD y RSU en América Latina y El Caribe (Kg/hab/día)

Tabla 3. Composición de los residuos sólidos municipales (%) en países seleccionados de América Latina y el Caribe

Tabla 4. Residuos urbanos vertidos, incinerados, reciclados y compostados en la UE-27, 1995 a 2009

Tabla 5. Información sobre los cantones estudiados de la provincia de Chimborazo

Tabla 6. Registro de RSU - Chimborazo

Tabla 7. Características físico-químicas en muestras de RSU de la provincia de Chimborazo

Tabla 8. Características químicas en muestras de RSU de la provincia de Chimborazo

Tabla 9. Contenido de macro y micronutrientes y sodio en muestras de RSU de la provincia de Chimborazo

Tabla 10. Contenido de potenciales elementos tóxicos en muestras de RSU de la provincia de Chimborazo

Tabla 11. Determinación del IG en muestras de RSU de la provincia de Chimborazo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descarga de basura

Figura 2. Material destinado a reciclaje

Figura 3. Basura recogida en puesto de venta

Figura 4. Basura en las esquinas

Figura 5. Laguna de aireación

Figura 6. Laguna facultativa

Figura 7. Residuos urbanos generados por países de la UE-27 en 1995, 2002 y 2009

Figura 8. Caracterización de residuos sólidos

Figura 9. RSU-01

Figura 10. RSU-02

Figura 11. RSU-03

Figura 12. RSU-04

Figura 13. RSU-05

Figura 14. RSU-06

Figura 15. RSU-07

Figura 16. RSU-08

Figura 17. LD-01

Figura 18. Mapa de lugares toma de muestra



MANEJO Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO – ECUADOR Y SU POTENCIAL USO EN AGRICULTURA

1 OBJETO Y SÍNTESIS

Desde el inicio de la humanidad, el hombre ha utilizado los recursos que brinda la naturaleza para sobrevivir y disponer sus desechos. En esos tiempos, esto no representó un problema significativo, pues los residuos eran pocos y podían ser asimilados. Con el paso del tiempo y el desarrollo de la sociedad, la producción de residuos se ha ido convirtiendo en un gran problema, no sólo por las cantidades generadas sino por la diversidad de su composición. En todo el mundo la producción de residuos ha aumentado considerablemente llegando a constituir un serio problema ambiental con graves repercusiones en la salud.

La relación entre salud pública y el almacenamiento, recolección y disposición inadecuada de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) es muy clara. El Servicio de Salud de los Estados Unidos (USPHS) ha publicado los resultados de un estudio que señala la relación de 22 enfermedades humanas con el manejo impropio de los desechos sólidos (Abarca 2005).

El contacto directo con la basura y la proliferación de vectores portadores de microorganismos transmiten enfermedades afectando, sobre todo, a la población más vulnerable y pobre. Cuando estos residuos no son manejados conforme a normas sanitarias establecidas sobre almacenamiento, recolección, transporte y disposición final, pueden provocar enfermedades como el dengue, leptospirosis, trastornos gastrointestinales, dificultades respiratorias, infecciones dérmicas. La ocurrencia de estos cuadros se multiplica en los casos de poblaciones que no tienen servicios de saneamiento básico y recientemente derivan en procesos diarreicos y parasitarios que, entre otros efectos, aumenta la incidencia de desnutrición infantil (OPS y OMS 2013). En los basurales a cielo abierto es común encontrar animales como perros, gatos, ganado y cerdos que se alimentan de los residuos orgánicos presentes, aumentando el riesgo de transmisión de enfermedades de los animales al hombre.

Los peligros medioambientales de los residuos sólidos urbanos se desprenden de sus características químicas y bacteriológicas en cuanto entran en contacto con el suelo y el agua, y, por tanto, sus riesgos como factor de contaminación aparecen cuando son liberados de forma incontrolada en el medio ambiente (Enciclopedia Virtual. Suelo y residuos).

En la atmósfera puede haber presencia de Gases Efecto Invernadero (GEI) entre los que se encuentran el CO₂ y el CH₄ que se producen por la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaerobias en vertederos y que contribuyen, en gran medida, al cambio climático. La quema de los residuos sólidos municipales al aire libre y la incineración de residuos generados en establecimientos de salud sin equipos de control adecuados son fuentes emisoras de sustancias peligrosas para la salud en forma de gases, partículas y vapores (OPS y OMS 2013). Cuando no existe una selección de residuos previa a los procesos de quema que se realizan comúnmente en basurales a cielo abierto y en zonas rurales, los plásticos, pilas, baterías y otros desechos industriales incinerados pueden producir dioxinas y furanos, dos sustancias tóxicas y cancerígenas (OPS y OMS 2013).

Los suelos se ven afectados por la presencia de aceites, grasas, ácidos y metales pesados que provocan cambios en sus propiedades físicas, químicas y de fertilidad afectando a la flora y fauna. Las aguas superficiales y subterráneas pueden alterarse por la presencia de lixiviados. Finalmente, es evidente la contaminación visual y paisajística lo que puede afectar la actividad económica, el turismo y por ende el desarrollo local de las poblaciones y sus habitantes.

La cantidad y la composición de la basura varían entre las distintas localidades de acuerdo al desarrollo económico, nivel de ingreso, sectores de actividad predominantes, patrones de consumo, cantidad de habitantes, grado de urbanización y densidad poblacional (OPS y OMS 2013). Cuanto más desarrollado es un país, mayor es la tendencia a consumir los bienes elaborados reduciendo la fracción típicamente orgánica e incrementando las fracciones complementarias de vidrio, papel, cartón y plásticos (Enciclopedia Virtual. Suelo y residuos). Esta situación ha obligado a los gobiernos a implementar políticas nacionales, basadas en normativas internacionales, para realizar un manejo adecuado de los RSU, pues los problemas que se generan por un mal manejo afectan a todo el planeta.

La región de Latinoamérica y el Caribe (ALC) se encuentra altamente urbanizada. Esta realidad, agravada por la falta de recursos económicos, hace que los servicios de recolección, transporte, tratamiento y valorización de RSU aún sea deficiente.

A pesar de ello, existe el compromiso de enfrentar esta problemática. Así, a lo largo de los últimos años se han realizado varios diagnósticos sobre la generación y manejo de los RSU en los países de ALC. Para ello se ha contado con la participación de varias organizaciones como la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la Organización Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), el Banco interamericano de Desarrollo (BID) y los gobiernos de los países de ALC. Según (Tello et al., 2011) en el informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en Latinoamérica y el Caribe EVAL 2010, se señala que muchos países han hecho progresos significativos en la gestión de los RSU

en los últimos ocho años. El informe revela que la tasa de cobertura de servicios ha mejorado en toda la región para el barrido de calles, recolección y disposición final y más de la mitad de la población urbana de América Latina tiene ahora sus residuos dispuestos en rellenos sanitarios adecuados. Muchos de estos rellenos sanitarios han sido financiados en parte por créditos de carbono provenientes de la recuperación y combustión de gas metano en rellenos sanitarios, y la venta de energía recuperada. Estos son logros impresionantes, aunque no son necesariamente uniformes en todos los países, o en todas las ciudades dentro de un país. Esta fuente también indica que las ciudades están gastando más en la gestión de residuos sólidos y los costos unitarios (US\$ por tonelada) han aumentado considerablemente en los últimos ocho años. Lamentablemente, sólo se logra facturar y cobrar a los usuarios, a través de aranceles y cuotas, cerca de la mitad de los costos medios actuales, lo que repercute en la sostenibilidad financiera de los servicios frenando el desarrollo del sector. Otro de los aspectos positivos que se destaca en este informe, es el avance en materia de marcos legales. En varios países se han promulgado leyes marco de residuos. En todas estas leyes nacionales se resaltan temas como la valorización de los residuos, programas de separación en la fuente, programas de reciclaje y la sostenibilidad financiera de los servicios, como ejes principales de las nuevas tendencias del manejo de los residuos en ALC. Lamentablemente el nivel de cumplimiento es mínimo.

En la mayoría de los países de la región, el establecimiento de políticas, la planificación del sector y la asignación de presupuestos sigue siendo una responsabilidad nacional, pero la gestión de RSU es responsabilidad de los municipios.

Sin embargo, a pesar de los logros alcanzados, los datos del Informe muestran que algunas de las actividades de gestión de RSU en ALC son incipientes, por ejemplo, las relacionadas con la reducción, recuperación y reciclaje de residuos. Además de los beneficios en la recuperación de biogás, la región está retrasada en áreas tales como la recolección selectiva, compostaje, reciclado de materiales y tratamiento térmico de residuos con recuperación de energía.

La misma fuente indica que la generación per cápita de RSU en ALC es de 0,93 Kg/hab/día. Estos valores estimados de RSU son inferiores a los generados en varios países desarrollados de Europa, por ejemplo España (1,59) y Estados Unidos (2,08). Estos se traducen en una generación urbana diaria de RSU de 436.000 toneladas.

Ecuador es uno de los países que pertenecen a esta región. El informe indica que en el país se generó 0,71 Kg/hab/día de RSU lo que corresponde a 259 Kg de basura per cápita, siendo la población urbana la que desecha mayor cantidad de residuos.

Según el Programa Nacional para la Gestión Integral y Sostenible de Desechos Sólidos en el Ecuador (PINGIS 2010), de todos los municipios, sólo 31 disponen de rellenos sanitarios de los cuales 11 son manuales, 20 mecanizados y apenas 7 de éstos disponen de Licencia Ambiental expedida por el Ministerio del Ambiente para su operación; los otros 190 municipios presentan botaderos a cielo abierto en el mejor de los casos.

La provincia de Chimborazo se encuentra localizada en el centro de la zona interandina cuenta con 458.581 habitantes (INEC 2010) distribuidos en diez cantones y es la novena provincia más poblada de Ecuador. Riobamba, su capital, se encuentra a una altitud de 2.754 msnm y al 2010 cuenta con 225.741 habitantes (INEC 2010).

Consciente de que la generación de RSU representa una pérdida de materiales y energía y constituye un serio problema de salud y ambiental, se plantea este trabajo de investigación cuyo **objetivo principal es “caracterizar y evaluar residuos sólidos urbanos (RSU) de diferentes orígenes vertedero, mercado, laguna de oxidación y restos de poda ubicados en la región de Chimborazo con la finalidad de realizar propuestas de gestión optimizada de estos residuos en función de su naturaleza”.**

Como objetivos concretos del trabajo podemos citar los siguientes:

- Analizar la problemática de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos RSU de la provincia de Chimborazo y Ecuador dentro del contexto de América Latina y El Caribe.
- Realizar la caracterización físico-química, química y biológica de la fracción orgánica de RSU provenientes de distintos cantones de la provincia de Chimborazo - Ecuador.
- Evaluar la composición de la materia orgánica proveniente de los RSU para su potencial uso en agricultura mediante un proceso de compostaje.

Para ello, se trabajó con nueve muestras representativas de residuos tomadas de vertederos, mercados populares, restos de poda y lodos de la laguna de depuración del cantón Chunchi.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 Problemática de los Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe

2.1.1 Situación regional (América Latina y el Caribe)

La problemática de la gestión de los RSU, en un contexto de preocupación mundial por la sostenibilidad económica, ambiental y social, es una preocupación permanente para los gobiernos de ALC, por sus potenciales impactos negativos sobre la salud pública y el medio ambiente.

(Tello et al., 2011) en el Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en ALC EVAL 2010, indica que la región se encuentra altamente urbanizada, con un 79% de su población viviendo en ciudades. La concentración resultante de personas, comercio e industria en zonas urbanas da lugar a una creciente cantidad de residuos sólidos que deben ser recolectados, transportados, tratados y dispuestos de forma segura, a fin de proteger la salud de la población y el medio ambiente. La misma fuente señala que entre los años 2001 y 2008 la población de ALC aumentó de 518 a 588,6 millones de personas, mientras que los habitantes urbanos aumentaron de 405,7 a 468,8 millones de personas (del 78,3% al 79,6% del total), elevando la población demandante de servicios de aseo urbano en 63,1 millones de personas. A pesar de que la región experimentó una fuerte mejora socioeconómica entre 2002 y 2008, cuando el PIB per cápita aumentó en un 23,2%, ALC sigue siendo la región con mayor desigualdad del planeta.

En la mayoría de los países de la región, la gestión de los RSU es una responsabilidad de los municipios, aunque el establecimiento de políticas, la planificación y la asignación de recursos económicos sigue siendo una responsabilidad nacional. El porcentaje de municipios de ALC que cuentan con planes de manejo sólo llega al 19,8% a nivel regional (Tello et al., 2011). En muchos casos, los municipios se han asociado en mancomunidades, para disponer de un relleno sanitario compartido, logrando, de esta manera, importantes economías de escala y una mejor aplicación de las normas de regulación.

La recolección de RSU es uno de los aspectos que ha mejorado. Para lograr un servicio ambiental, social y financieramente sostenible, es muy importante la estimación de la frecuencia óptima.

En la tabla 1 se presenta la frecuencia del servicio de recolección en ALC.

Tabla 1. Frecuencia del servicio de recolección en América Latina y el Caribe (%)

PAÍS	DIARIA	DOS A TRES VECES POR SEMANA	UNA VEZ POR SEMANA
Argentina	71,9	27,9	0,2
Belice	0	88	12
Bolivia	5,4	94,6	0
Brasil	44,7	54,5	0,8
Chile	22,3	77,6	0,1
Colombia	0	98,6	1,4
Costa Rica	0	68,8	31,2
Ecuador	57,3	42,7	0
El Salvador	20,9	79,1	0
Guatemala	1	86,5	12,5
Guyana	-	-	-
Honduras	5,4	75,7	19
Jamaica	0	35,3	64,7
México	71,6	28,4	0,1
Nicaragua	0	94,2	5,8
Panamá	13,1	79,5	7,4
Paraguay	16,1	79,8	4,1
Perú	55,7	43,5	0,8
República Dominicana	55,2	37,1	7,7
Uruguay	18,6	81,4	0
Venezuela	58,2	41	0,8
ALC	45,4	52,7	1,8

- Información no disponible

Fuente: Software- Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en ALC. 2010

Analizando la tabla 1, se puede observar que en la región, un 52,7% de la población recibe el servicio de recolección entre 2 y 5 veces por semana, mientras que un 45,4% lo hace diariamente y sólo un 1,8% una vez por semana. Es lógico que la quema y disposición no controlada aumente cuando disminuye la frecuencia de recolección.

En cuanto a los servicios de gestión, el informe de EVAL 2010 puntualiza que ha aumentado su cobertura durante la última década en 10 puntos porcentuales (82,3%), con 5,56 barrenderos y 0,17 barredoras mecánicas por cada 10.000 habitantes. De la cobertura total, cerca del 91% se barre manualmente y el 9% restante mecánicamente. El equipamiento rodante para recolección asciende a 1,31 vehículos por cada 10.000 habitantes, de los cuales la tercera parte posee más de 10 años de antigüedad. El 57,8% de los vehículos cuenta con equipos de compactación (Tello et al., 2011). Los recursos humanos municipales designados para el manejo de residuos sólidos en los países de ALC son unos 21,7 empleados por cada 10.000 habitantes y se destinan principalmente al servicio de barrido manual (5,56), luego a la recolección (4,69) y el tercer lugar a los servicios especiales (3,1). Los servicios especiales corresponden a la recolección de escombros y de maleza, limpieza de playas, conservación de parques y jardines y lavado de calles y plazas, entre otros. El servicio de disposición final no requiere una gran cantidad de empleados (1,54). La mayor parte del personal pertenece a los municipios bajo la modalidad de contrato. El costo total por cada tonelada de residuos recolectada, transferida y dispuesta es de US\$ 66,66 pero se estima que la recuperación de costos promedio asciende al 51,6% (Tello et al., 2011).

El servicio de recolección y transporte, ha recibido especial atención por parte de los municipios de ALC, esto puede deberse a la fuerte presión social que ocasiona la presencia de RSU en las calles, plazas y lugares públicos y sus potenciales efectos perjudiciales sobre la salud y el ambiente.

En ciudades grandes de la región es común observar los llamados ecotachos ubicados estratégicamente a lo largo de calles que permiten que los pobladores puedan depositar sus residuos a cualquier hora del día.

En la actualidad existe la presencia de la llamada basura electrónica, formada por teléfonos móviles, video juegos, baterías, monitores, computadoras, impresoras, calculadoras y en general restos de aparatos eléctricos y electrónicos. Según datos de la Agencia Europea del Medio Ambiente, la basura electrónica se incrementa entre un 16% y un 28% cada cinco años. Esto significa que aumenta tres veces más rápido que los residuos urbanos (Recicla Chile 2007). Se trata, por lo tanto, de una nueva problemática ambiental que afectará crecientemente la salud de las personas y la conservación del medio ambiente, pues estos residuos contienen metales que por su peligrosidad merecen una mayor atención por parte de las autoridades.

En los países de la región, es muy común que los segregadores o minadores sean los encargados de realizar un reciclaje informal antes de la disposición final de los RSU y en los mismos vertederos. Separan plástico, papel, cartón, vidrio y metales y lo venden a empresas que comercializan estos residuos y los aprovechan mediante distintos tipos de tratamiento. La mayoría de los municipios cuentan con programas aislados u organizan campañas para incentivar el reciclaje y la separación diferenciada. Según la (OPS 2005), en el Reporte Regional sobre la Evaluación de los servicios de Manejo de Residuos Sólidos para ALC, se estima que sólo el 2,2% de los residuos municipales es formalmente recuperado y reciclado. Sin embargo, en la última década esta realidad ha mejorado pues algunos países han aumentado su tasa de reciclaje.

El informe EVAL 2010 estimó que los residuos del 54% de los habitantes de ALC se disponen en rellenos sanitarios, un aumento significativo con respecto al 22,6% registrado en 2002. El uso de vertederos a cielo abierto disminuyó del 45,3% al 23,3%. Quizás las principales razones que explican este fenómeno están dadas por el fuerte impulso que algunos países han dado a la normativa, obligando al cierre de vertederos a cielo abierto no controlados. Sin embargo, en los países más pobres, persisten las prácticas inadecuadas y altamente contaminantes. En la región, los residuos de un 2% de la población se queman a cielo abierto, mientras que un 1,8% adicional se arroja en cuerpos de agua o se utiliza como alimento de animales y otras prácticas no recomendadas. En total, los residuos de un 27,1% de la población latinoamericana se disponen sin ningún tipo de cuidados, se queman o usan como alimento (Tello et al., 2011). Los RSU de los países de ALC presentan un alto porcentaje de materia orgánica, sin embargo este recurso no ha sido debidamente aprovechado. El informe de EVAL 2010 indica que las prácticas de compostaje no se encuentran proporcionalmente desarrolladas. En general, la falta de guías para la aplicación de tecnologías apropiadas para la región y la falta de estándares de calidad para el producto final limitan su progreso (Tello et al., 2011).

2.1.2 Situación en Ecuador y Chimborazo

Ecuador es un país situado en la región noroccidental de América del Sur. Según el censo de población y vivienda del año 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC 2010) está dividido en 24 provincias, 221 cantones y 1018 parroquias. Tiene 14.483.499 de habitantes.

En el país, la población asentada en las ciudades es la que genera más cantidad de desechos urbanos, como producto de una mayor actividad comercial y un consumismo excesivo. Estos residuos presentan menor cantidad de materia orgánica y abundante presencia de plástico, papel, cartón, vidrio y metales. Algunas ciudades disponen de ecotachos. En las zonas céntricas y barrios residenciales, la basura se deposita en fundas

de polietileno y es recogida todos los días en horarios preestablecidos. La basura es recogida por carros que cuentan con sistemas de compactación.

Los barrios periféricos, suburbios y parroquias rurales son los menos atendidos. La basura se coloca en recipientes de diferente tamaño y se disponen en las aceras, esquinas y terrenos baldíos. La recolección se realiza de una a cinco veces por semana mediante carros que en el mejor de los casos cuentan con sistemas de compactación, aunque también se suelen utilizar pequeños camiones adaptados para esos fines. La basura de estos sectores presenta un mayor porcentaje de residuos orgánicos.

En la provincia de Chimborazo varios ríos están contaminados. Así en los ríos Chambo, Guano, Chibunga y Guamote, desde sus cabeceras hay descargas directas de industrias, domicilios y hospitales, además de descargas no puntuales de ganadería y agricultura (GADPCH 2011). El problema de contaminación para el caso de Chimborazo no se debe únicamente a la contaminación por falta de tratamiento de aguas residuales, sino también por las prácticas inadecuadas de disposición de desechos de la población. En el sector rural los residuos químicos de productos usados en las labores agrícolas, son vertidos directamente en las fuentes y cursos de agua y los desechos sólidos son arrojados a las quebradas y ríos en grandes cantidades (GADPCH 2011).

En el sector urbano de la provincia de Chimborazo la generación de RSU está en proporción directa con el número de habitantes y la actividad económica.

La limpieza de la ciudad, es realizada por el personal de barrido. El número de jornaleros y vehículos no es suficiente para cubrir la totalidad de las calles en una cobertura del 100%, con la calidad y frecuencia necesarias. Éstos no cuentan con el equipo necesario para su protección personal. La ciudad dispone de una unidad de barrido mecánico y nueve vehículos para la recolección y disposición final en el botadero (figuras 1 y 2).



Figura1. Descarga de basura

Fuente: Autor



Figura 2. Material destinado a reciclaje

Fuente: Autor

Todos los residuos son transportados al botadero a cielo abierto, pues no se dispone de un relleno sanitario. Al ingreso al botadero, se realiza el pesaje y los residuos se depositan sin ningún tratamiento previo. En el lugar, un tractor compacta los residuos y en el mejor de los casos los cubre con una capa de material pétreo.

Este botadero está ubicado en Porlón, una pequeña comunidad a 10 km de la ciudad. Tiene una extensión de 10 ha. Como medida de compensación, el Municipio ha contratado personal de la zona para el barrido y pesaje de la basura. Las condiciones de operación del botadero no son las más adecuadas, existen problemas de estabilidad, incendios, presencia de perros, malos olores y una abundante cantidad de moscos y otros insectos. De lunes a sábado, laboran minadores agrupados en tres asociaciones. Separan plástico duro y blando, papel, cartón y metales que entregan en centros privados de acopio para su posterior comercialización. Las condiciones de trabajo son precarias.

Según información recabada en el Departamento de Desechos Sólidos, el costo real de recolección por tonelada de RSU es de \$ USA 29,89. Por este servicio, se cobra mensualmente a los usuarios a través de la planilla de agua y al sector comercial, en forma anual, a través del pago de patentes municipales. Estas tarifas son diferenciadas. En el caso de los usuarios domésticos el rubro es de acuerdo al consumo de agua (m^3); así por ejemplo si se consume hasta $40 m^3$ se debe pagar \$ USA 1,44; pero si pasa de $301 m^3$ se debe pagar \$ USA 50. El rubro para el sector comercial, depende del tipo y tamaño de generador. La tarifa más baja es de \$ USA 25 y la más alta es de \$ USA 151,20. La misma fuente indica que en el año 2012 por concepto de recolección de RSU se recaudó \$ USA 1.200.000, valor inferior al real (Lara 2013).

Los registros del Departamento de Desechos Sólidos indican que en los mercados, se genera de 15 a 16 toneladas diarias. La basura es depositada en recipientes cerrados colocados en cada puesto de venta. Pero cuando se llenan, la basura es amontonada en las esquinas. En la noche, cuando la venta y comercialización ha terminado, se procede al barrido y recolección de la basura, sin una separación previa de la fracción orgánica, lo que conlleva a un desperdicio de este valioso recurso. Toda esta basura, en su mayor parte orgánica, está destinada al botadero.



Figura 3. Basura recogida en puesto de venta

Fuente: Autor



Figura 4. Basura en las esquinas

Fuente: Autor

Actualmente, por exigencia del Ministerio del Ambiente, se está procediendo al cierre técnico del botadero. En su lugar, se está construyendo un pequeño relleno sanitario en una zona aledaña, en terrenos propios del municipio.

En la provincia de Chimborazo, solamente el cantón Chunchi dispone de dos lagunas para el tratamiento de las aguas servidas provenientes de la zona urbana. Este pequeño cantón tiene una superficie de 274,9 Km² y posee una población de 12.205 habitantes y un total de 5.072 viviendas, tanto en el sector urbano como rural (INEC 2010).

Las lagunas están ubicadas a una distancia aproximada de 2 Km de la parte central del cantón y según los responsables, el terreno tiene una extensión total de 1,5 hectáreas y está a una altura de 2.090 msnm.

Las aguas residuales son depuradas mediante un sistema de tratamiento biológico que cuenta con una laguna de aireación, aireada de forma natural y una laguna facultativa, donde la materia orgánica es degradada mediante la actividad de bacterias heterótrofas, presentes en el medio. El sistema no requiere energía, equipo mecánico o desinfectantes, lo cual reduce notablemente los costos de operación y de mantenimiento del sistema.

El diseño de la laguna de aireación permite aprovechar la carga hidráulica disponible para producir turbulencia al entrar el agua en la laguna, cumpliéndose dos funciones, airear y mezclar la masa de agua. Un desnivel de 52 m permite conducir el agua por cinco ramales de tubería hasta la laguna de aireación, tres de ellas ingresan por el fondo de la laguna, causando turbulencias por el agua que sale a presión y las otras dos aportan agua por la parte superior de la laguna, generando un chorro que se eleva y posteriormente, cae sobre la laguna, inyectando aire a toda la masa de agua. A continuación, el agua pasa a la

laguna facultativa, donde la captación del oxígeno se realiza por superficie y por acción fotosintética de las algas, que se originan debido a la gran disponibilidad de nutrientes y materia orgánica. El funcionamiento de la laguna facultativa se basa en la interacción simbiótica algas-bacterias presentes en la laguna. Posteriormente a su almacenamiento, el agua es evacuada por canales de riego para su uso agrícola.

La laguna de aireación cuenta con una superficie de 639 m², una capacidad de tratamiento de 2.236 m³ y un período de retención de 1,5 días y la facultativa con una superficie de 4.000 m², 8.000 m³ de capacidad de tratamiento y un período de retención de 5,37 días. Existe una trampa de grasas y una rejilla para cribado de agua (Cunín 2012).

Hasta el momento, no se ha realizado una limpieza de las lagunas, por lo que los lodos permanecen en el fondo de las mismas.



Figura 5. Laguna de aireación

Fuente: Autor



Figura 6. Laguna facultativa

Fuente: Autor

2.2 Marco legal de aplicación a los Residuos Sólidos Urbanos

La Constitución de la República del Ecuador es la norma suprema que rige al país. Regula las actividades humanas en todo ámbito e incluye temas relacionados con la protección del ambiente reconociendo, por primera vez, los derechos de la naturaleza; todo esto orientado a garantizar la sostenibilidad y el “buen vivir” de la población. Hay que destacar que ésta es la primera constitución en establecer expresamente el derecho de la naturaleza a que se la respete integralmente. Así, la constitución prevé que cualquier persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigirle a la autoridad pública que haga valer los derechos que tiene la naturaleza.

La Constitución establece fines, objetivos y capacidades, tanto para el estado como para los ciudadanos en aspectos ambientales. Los artículos relacionados con el presente estudio son: 3, 14, 15, 32, 71, 72, 83, 275, 276, 278, 395, 396, 397, 399, 400, 403, 404, 406, 409, 410, 411, 413, 414, 415 y hacen referencia a los Principios fundamentales de la Constitución, el derecho de la población a vivir en un ambiente sano que sustenten el buen vivir, los derechos de la naturaleza, los deberes y responsabilidades de los ciudadanos, los principios generales del Régimen de Desarrollo, la conservación y el manejo sustentable de la Biodiversidad, la salud humana y los derechos colectivos y de la naturaleza, el patrimonio natural y los ecosistemas, el usos de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas para la mitigación del cambio climático adoptando políticas integrales y participativas junto con los gobiernos autónomos descentralizados.

2.2.1 Norma técnica. Texto unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS)

El TULAS contiene una serie de Normas Técnicas dictadas bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

Este texto presenta nueve libros en los que se trata las políticas Básicas Ambientales del Ecuador. Los Libros contienen Títulos, Capítulos y Anexos para una mejor comprensión. El Libro VI DE LA CALIDAD AMBIENTAL, está vigente desde el 31 de marzo del 2003 y la última modificación se realizó el 1 de febrero de 2012. Consta de siete Títulos y siete Anexos. En su Anexo VI, se describe la Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición final de los desechos Sólidos no peligrosos. Esta norma tiene como objeto la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso aire, agua y suelo para salvaguardar, conservar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

De acuerdo a la norma, se entiende por desecho sólido, todo sólido no peligroso, putrescible o no putrescible, con la excepción de excretas de origen humano o animal. Se comprende en la misma definición los desperdicios, cenizas, elementos de barrido de calles, desechos industriales, de establecimientos hospitalarios no contaminantes, plazas de mercado, ferias populares, playas, escombros, entre otros (TULAS LIBRO VI ANEXO VI).

Esta norma establece los procedimientos generales en el manejo de los desechos sólidos no peligrosos, desde su generación hasta su disposición final, para cumplir con estándares que permitan la preservación del ambiente. También se establecen las responsabilidades en el manejo de los desechos sólidos y las normas de calidad que deben cumplir los desechos sólidos, la responsabilidad de las municipalidades de acuerdo a la Ley de Régimen Municipal y el Código de Salud, Normas generales para el manejo, recolección,

transporte, almacenamiento y entrega de los desechos sólidos no peligrosos, de las clases de servicio, Normas generales para el barrido y limpieza de vías y áreas públicas, Normas generales para la transferencia y tratamiento de los desechos, Normas generales para el saneamiento de los botaderos de desechos sólidos, de las operaciones ejecutadas en el relleno sanitario, entre las más importantes. Sin embargo no estipula la prohibición de depositar materia orgánica en los vertederos.

A pesar de existir una legislación clara, en algunos de los aspectos, ésta no se cumple. En la práctica, la minimización de estos residuos ha mejorado muy poco, pues para que resulte efectiva es necesario el compromiso de fabricantes y comerciantes para disminuir empaques y la educación del comprador para minimizar sus residuos.

2.2.2 Ordenanzas municipales

El Concejo Municipal de Riobamba, con fecha del 13 de octubre de 2011, expidió la Ordenanza que regula la Gestión Integral de los Residuos Sólidos, en uso de las atribuciones que le confiere el Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización. Consta de seis capítulos, cuarenta y siete artículos, cinco Disposiciones generales, una Disposición transitoria y una Disposición final.

En esta ordenanza, se conceptúa como “*residuos sólidos domiciliarios*” de viviendas a los desperdicios de la alimentación del consumo doméstico; al producto del barrido del inmueble y aceras y a los envases, cartón y papeles procedentes de las compras para el uso doméstico. En tanto que los “*residuos especiales – asociados*” son aquellos que procedan de los lugares donde se ejerza cualquier actividad de comercio, industria o de servicio, así como de centros de concentración públicos o privados, centros educativos, de espectáculos, mercados, ferias, parques de atracciones, etc. y son los siguientes: cenizas o residuos industriales de fábricas, talleres y almacenes; desperdicios de mataderos, mercados, ferias, parques zoológicos y demás establecimientos similares; desperdicios de la rama de hotelería; animales muertos y productos decomisados; restos de mobiliario, chatarra, árboles navideños, jardinería o poda de árboles, salvo lo dispuesto en el artículo anterior; y otros similares. No serán considerados como residuos especiales los que provengan de locales, establecimientos y domicilios tales como: las tierras de desmonte y los escombros o desechos de obras; el estiércol de cuadras, establos y corrales (Ordenanza Municipal Riobamba 2011).

Se considera de carácter general y obligatorio por parte del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba la prestación de los siguientes servicios: recolección de residuos sólidos procedentes del uso domiciliario; recolección de residuos sólidos de locales y establecimientos cuyo volumen y peso no exceda de los especificados en la Ordenanza y los depositados en los contenedores.

Queda bajo la responsabilidad de hospitales, clínicas, establecimientos de salud, furgones de salud y farmacias que produzcan desechos hospitalarios, la recolección de tales desechos de acuerdo con lo que determina en el Reglamento correspondiente.

En cuanto a los residuos de mercado, es obligación de los usuarios situar los residuos que producen en los recipientes destinados para el efecto, la recolección final se efectuará con la frecuencia requerida. Los alrededores del puesto de venta, se deben mantener en perfecto estado de limpieza, para lo cual deberán cumplir con las disposiciones establecidas en el Reglamento.

La Dirección de Gestión Ambiental, Salubridad e Higiene a través del Departamento de Desechos Sólidos; en coordinación con los administradores de cada uno de los mercados, velan para que las instalaciones y los sitios de almacenamiento de cualquier tipo de residuos sólidos cumplan con las disposiciones, normas y reglamentos sobre higiene y sanidad

A pesar de que el Art. 4.1.19 del Libro VI Anexo 6 del TULAS indica que “la entidad de aseo deberá implantar sistemas de recogida selectiva de desechos sólidos urbanos, que posibiliten su reciclado u otras formas de valorización”, no existe una ordenanza para la recolección selectiva de basura en el cantón.

En términos generales, se puede indicar que el servicio de recolección de desechos sólidos en la ciudad sigue siendo ineficiente y costoso.

2.3 Gestión de Residuos Sólidos Urbanos

2.3.1 Tipología de Residuos Sólidos Urbanos

Los RSU están formados por una mezcla de componentes de diversa naturaleza. La clasificación más sencilla es en residuos orgánicos e inorgánicos o inertes. Los residuos orgánicos provienen de restos de productos de origen orgánico. La mayoría son biodegradables, es decir pueden descomponerse por acción de microorganismos y transformarse en otros compuestos orgánicos. Entre los residuos orgánicos fácilmente degradables se encuentran los restos de comida, los desechos animales y vegetales. El papel y el cartón provienen de fibras vegetales, pero al igual que las telas de fibras naturales y el cuero, pueden presentar un tiempo de degradación más lento. Los plásticos, gomas y caucho, a pesar de provenir de compuestos de origen natural, no son biodegradables. La materia inerte, proviene de materiales que no tienen vida; no experimentan transformaciones significativas y no son biodegradables. Entre éstas se encuentra el vidrio en cualquiera de sus presentaciones: duro, frágil, transparente, coloreado, presente en forma de recipientes, botellas, envases, ventanas, adornos; los

materiales de cerámica presentes en vajillas, baldosas y recipientes varios. Finalmente en esta categoría se encuentran los escombros y restos de demolición que prácticamente no presentan ninguna utilidad.

Cuando no existe una recolección selectiva, todos los residuos están en mezcla, dificultando su separación, tratamiento y valorización.

Los materiales que pueden ser recuperados para un posterior reciclaje son: materia orgánica, plástico, papel, cartón, metales y vidrio.

La materia orgánica es el componente más abundante y está constituida por restos de comida, vegetales, poda de árboles y jardín. La característica biológica más importante de la fracción orgánica de los residuos de las ciudades, es casi todos los componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases y sólidos orgánicos relativamente inertes (Jaramillo y Zapata 2008). Para esto, se puede usar tratamientos biológicos y térmicos. Entre los tratamientos biológicos están la digestión aerobia o compostaje y la digestión anaerobia para generar biogás. Entre los tratamientos térmicos están la incineración, gasificación y pirolisis. Es importante reconocer que las características de la materia orgánica dependen del tipo de recogida empleado. La recolección selectiva asegura una materia orgánica de mejor calidad y con menor cantidad de contaminantes.

El papel y cartón puede recuperarse por tratamiento químico para eliminar la tinta y volver a tener láminas de papel reciclado.

Los envases plásticos pueden reciclarse sometiéndolos a tres tipos de procesos: reciclado mecánico, químico y valorización energética, en dependencia del estado y tipo de plástico. En los dos primeros casos, el plástico obtenido pierde parte de sus propiedades por lo que debe usarse para la fabricación de productos con menos exigencias.

Para recuperar el vidrio, se debe triturar, fundir y volver a moldear, sin que prácticamente se pierdan sus propiedades.

La recuperación de los metales depende de su tipo. En general se pueden fundir. Su reciclaje supone un gran ahorro de energía y pueden usarse para la fabricación de otros productos por más de una ocasión.

El caucho puede ser fundido a presión o triturado y utilizarse como caucho asfáltico, como hormigón de asfalto modificado o como combustible.

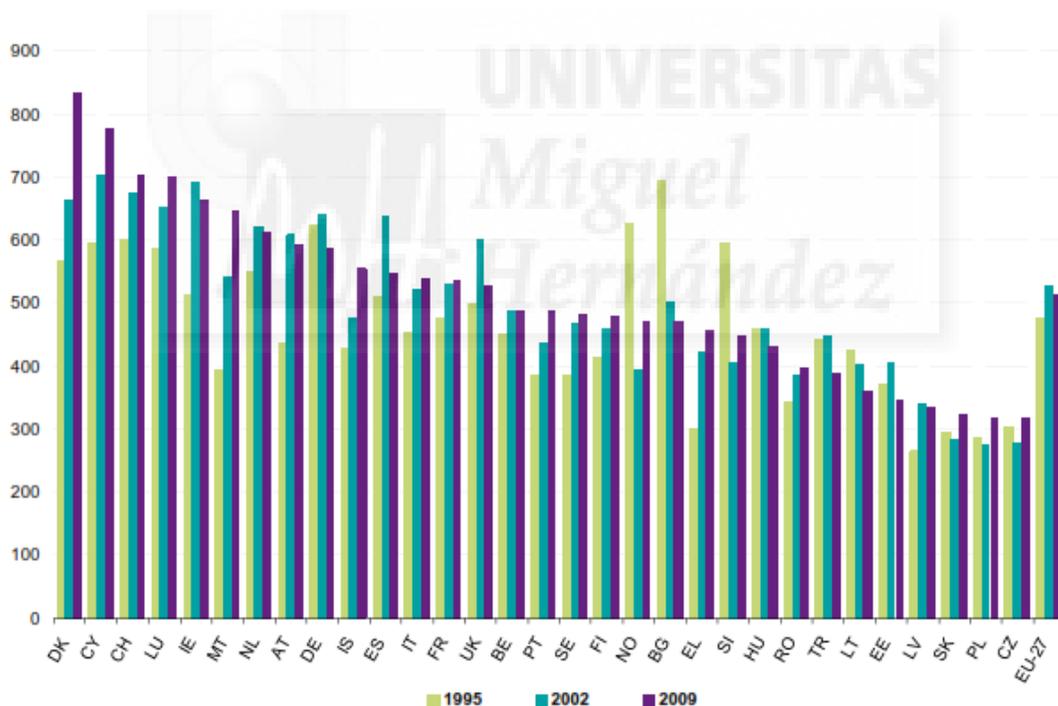
2.3.2 Cuantificación de Residuos Sólidos Urbanos

La cuantificación y las características como la densidad y la composición de los RSU que se generan en las viviendas, comercios, mercados e instituciones es un parámetro muy importante para proponer una correcta gestión de los diversos componentes enfocada a su valorización.

En promedio, la cantidad de RSU generados en los países desarrollados oscila entre 522 a 759 Kg por persona al año, mientras que en los países en desarrollo la generación es de aproximadamente 110 a 526 Kg por persona al año (Karak et al., 2012).

En los países de la UE, Eurostat ha recolectado y publicado datos desde 1995. Estos datos han sido ampliamente usados para comparar la gestión y tratamientos que reciben los residuos en los distintos países y realizar un seguimiento del comportamiento del sector.

La figura 7 muestra los residuos urbanos generados en los países de la UE-27 expresados en Kg per cápita en 1995, 2002 y 2009.



Macedonia, Croacia y Bosnia Herzegovina excluidos debido a los datos disponibles (sólo uno o dos años de referencia)

Figura 7. Residuos urbanos generados por países de la UE-27 en 1995, 2002 y 2009.

Fuente: Eurostat 2011.

Se puede apreciar que la generación de residuos urbanos presenta variaciones considerables, en dependencia de los hábitos de consumos, de las actividades económicas de sus habitantes y de la organización en la recolección y manejo de la basura. En la mayoría de países, en los hogares se generan entre el 60% y el 90% de los residuos urbanos, mientras que la diferencia puede deberse a la actividad comercial y administrativa. En el período comprendido entre 1995 y 2009, en 23 de los 31 países, aumentó la cantidad de residuos urbanos.

Un análisis similar de la generación de los RSU en los países de América Latina y El Caribe se complica por la falta de información actualizada, sobre todo en los municipios pequeños con menos de 15.000 habitantes. Su cuantía varía en los distintos países en dependencia de su desarrollo económico, nivel de ingresos, sectores de actividad predominantes, patrones de consumo, cantidad de población de la localidad, grado de urbanización y densidad poblacional, entre otros (Tello et al., 2011).

En la tabla 2 se presenta los indicadores de generación de Residuos Sólidos Domiciliarios RSD y Residuos sólidos Urbanos RSU generados en los países de ALC, entendiéndose por RSD a los residuos sólidos o semisólidos de origen exclusivamente residencial, generados por la actividad humana dentro de la vivienda y RSU a los residuos sólidos o semisólidos provenientes de las actividades propias de los núcleos poblacionales en general, que incluyan los residuos de origen domiciliario, comercial, de servicios, institucional, de mercados, hospitalarios comunes o no peligrosos, los generados en las oficinas de las industrias, en el barrido y limpieza de calles y áreas públicas, en podas de plantas de calles, plazas y jardines públicos.

Tabla 2. Generación per cápita de RSD y RSU en América Latina y el Caribe (Kg/hab/día)

PAÍS	MICRO		PEQUEÑO		MEDIANO		GRANDE		MEGA		PAÍS	
	RSD	RSU	RSD	RSU	RSD	RSU	RSD	RSU	RSD	RSU	RSD	RSU
Argentina	0,66	0,92	0,68	1,06	0,8	1,02	0,78	1,41	..	..	0,77	1,15
Belice	-	-	-	-	-	-	-	-	..	..	..	-
Bolivia	0,27	0,29	0,4	0,43	0,45	0,48	0,51	0,55	..	..	0,46	0,49
Brasil	0,49	0,87	0,54	0,86	0,66	0,85	0,78	1,31	0,95	1	0,67	1
Chile	0,75	1,28	0,76	1,43	0,8	1,21	0,86	1,12	..	..	0,79	1,25
Colombia	0,41	0,48	0,4	0,55	0,56	0,57	0,59	0,66	0,73	0,82	0,54	0,62
Costa Rica	-	1,21	-	0,75	-	0,89	-	1,2	..	..	-	0,88
Ecuador	0,41	0,54	0,45	0,66	0,59	0,68	0,73	0,85	..	..	0,62	0,71
El Salvador	0,3	0,48	0,42	0,64	0,58	0,94	0,58	1,74	..	..	0,5	0,89
Guatemala	0,36	-	0,42	0,5	0,52	0,62	0,5	0,62	..	..	0,48	0,61
Guyana	-	-	-	-	-	-	-	-	..	..	-	-
Honduras	0,27	-	0,37	-	0,67	-	0,94	-	..	..	0,61	-
Jamaica	0,6	-	0,64	-	0,83	-	0,95	-	..	..	0,71	-
México	0,32	0,53	0,47	0,78	0,49	0,83	0,75	1,1	0,65	1,34	0,58	0,94
Nicaragua	-	-	0,7	-	0,57	-	1	-	..	..	0,73	-
Panamá	0,46	0,54	0,57	1,11	0,59	0,96	0,5	1,6	..	..	0,55	1,22
Paraguay	0,63	0,72	0,63	0,86	0,72	1,02	0,83	1,28	..	..	0,69	0,94
Perú	0,33	0,53	0,41	0,63	0,51	0,67	0,48	0,85	0,43	0,81	0,47	0,75
Rep.Dom.	-	-	0,9	1	0,75	1,01	0,9	1,2	..	..	0,85	1,1
Uruguay	0,72	0,85	0,67	1,07	0,46	0,81	0,88	1,22	..	..	0,75	1,03
Venezuela	-	0,5	0,77	0,78	0,51	0,75	0,82	1,08	..	..	0,65	0,93
ALC	0,45	0,75	0,53	0,8	0,61	0,84	0,74	1,14	0,73	1,01	0,63	0,93

Micro: 15.000 habitantes; Pequeño: 15.001 – 50.000 habitantes; Mediano: 50.001 – 30.000 habitantes; Grande: 300.001 – 5.000.000 habitantes; Mega: 5.000.000 habitantes

-Información no disponible

.. Sin población de ese tamaño

Fuente: EVAL 2010

Se puede observar que la generación per cápita de RSD en ALC es de 0,63% Kg/hab/día, mientras que la de RSU es de 0,93 Kg/hab/día. Los valores estimados de RSU son inferiores a los generados en varios países desarrollados de Europa (España 1,59) y Estados Unidos (2,08). Estos generadores per cápita para la región establecen que la generación urbana diaria de RSD es de 295.000 ton y de RSU es de 436.000 ton. En forma general, se puede decir que estos valores están directamente relacionados con indicadores de actividad, tamaño poblacional y desarrollo de los distintos países. La tasa de generación de RSD en ALC debería representar teóricamente el 67% - 68% de la tasa de generación de RSU.

Estos datos pueden presentar cierta variabilidad, pues el informe especifica que la mayoría de municipios latinoamericanos no cuentan con estudios específicos de generación. En el mejor de los casos se emplean métodos como la generación per cápita medida en las estaciones de transferencia, o en los sitios de disposición final, los cuales no siempre son representativos puesto que lo recolectado no es realmente lo generado. También se especifica que lo segregado y recuperado por los trabajadores informales puede llegar hasta un 5% de los valores pesados y registrados. Además, las poblaciones pequeñas no disponen de balanzas para el pesaje, lo que dificulta, aún más, el cálculo de la generación de residuos en esos municipios.

La tabla 2 indica que en Ecuador se generó 0,71 Kg/hab/día de RSU lo que corresponde a 259 Kg de basura per cápita en ese año. Un informe similar, indica que en el año 2002, el país generó 223 Kg de basura per cápita (OPS y OMS 2002), lo que representa un incremento del 16% en 8 años.

En la ciudad de Riobamba por habitante se genera 0,9 Kg/hab/día, un valor superior al promedio nacional y diariamente se recoge alrededor de 100 toneladas (Lara 2013).

En el cantón Chunchi se recogen aproximadamente 3,5 toneladas diarias de basura no diferenciada (Cunín 2012).

En otros cantones de la provincia no existe información sobre la cantidad de RSU que se genera, pero se sabe que un alto porcentaje proviene de residuos de mercado.

En Ecuador, como en toda América Latina, los mercados son lugares en donde se concentra una intensa actividad de compra y venta de alimentos de todo tipo, dirigidos sobre todo a una clase más popular. Por su naturaleza, en ellos se expenden productos perecibles como verduras, hortalizas, frutas, cereales, cárnicos, lácteos y víveres, por lo que constituyen una fuente importante de materia orgánica muy susceptible a la descomposición bacteriana. Según el departamento de desechos Sólidos en Riobamba se genera alrededor de 16 toneladas diarias de RSU, constituidos en su mayor parte por residuos orgánicos (Lara 2013).

2.3.3 Composición de Residuos Sólidos Urbanos

Composición es el término utilizado para describir los componentes individuales que constituyen el flujo de residuos sólidos y su distribución relativa generalmente basada en porcentajes por peso (Barent y Vedoya 2005).

El conocimiento de la composición de los residuos es de particular importancia para los tomadores de decisiones para determinar las opciones apropiadas de manejo de residuos sólidos urbanos (Akinci et al., 2012).

La composición de los residuos sólidos también se ve influida por la situación económica. Los materiales reciclables (papel, plástico, vidrio, metales, etc) en los desechos municipales están presentes en altas proporciones en las economías desarrolladas, mientras que la presencia de materia orgánica degradable es mayor en los países con bajo PIB (producto interno bruto) (Shekdar 2009) (Akinci et al., 2012). La materia orgánica en los residuos sólidos en los países en desarrollo es mucho más alta que en los residuos en los países desarrollados (Sundaresan y Bhide 1983); (Kumar et al., 2009) y la materia orgánica se puede convertir en productos útiles para reducir la carga en los vertederos existentes (Richard 1992); (Kumar et al., 2009). La composición de los residuos urbanos es muy heterogénea, formando parte de ellos podemos encontrar materiales de diversa naturaleza, por eso se plantea la necesidad de agrupar sus distintos componentes en categorías de cierta homogeneidad: inertes, fermentables y combustibles. Se consideran Inertes a los metales, vidrios, restos de reparaciones domésticas, tierra, escoria y cenizas; Fermentables a la fracción orgánica compuesta por restos de comida, de jardinería y otros materiales fermentables, en peso constituyen el principal componente de los residuos, tiende a disminuir relativamente en las sociedades más desarrolladas. En la categoría de Combustibles se encuentra el papel, cartón, plásticos, gomas, cueros, textiles y otros.

La composición de los residuos en los países de ALC, varía de acuerdo al país e incluso dentro de un mismo país.

El término “otros e inertes” hace referencia a tierras y ceniza, textil, gomas y cueros, madera, pilas y baterías y otros. También puede incluir sustancias que se clasifican como residuos domésticos peligrosos, como aceites de autos, fluorescentes, baterías, pilas, medicamentos, restos de disolventes, pinturas, pesticidas, fertilizantes químicos, etc.

En los países de la región prevalece la fracción orgánica con un promedio del alrededor de 56% y contenidos moderados de papel y plástico.

En la tabla 3 se destaca que Ecuador es el país con mayor porcentaje de residuos orgánicos putrescibles.

Tabla 3. Composición de los residuos sólidos municipales (%) en países seleccionados de América Latina y el Caribe.

País/Ciudad	Cartón y Papel	Metal	Vidrio	Textiles	Plásticos	Orgánicos putrescibles	Otros e inerte
Barbados	20,0	...	...	...	9,0	59,0	12,0
Belice	5,0	5,0	5,0	...	5,0	60,0	20,0
Costa Rica	20,7	2,1	2,3	4,1	17,7	49,8	3,3
Perú	7,5	2,3	3,4	1,5	4,3	54,5	25,9
Caracas A. M.	22,3	2,9	4,5	4,1	11,7	41,3	11,2
Asunción*	10,2	1,3	3,5	1,2	4,2	58,2	19,9
Ecuador	9,6	0,7	3,7	...	4,5	71,4	...
Guatemala **	13,9	1,8	3,2	0,9	8,1	63,3	8,8
México DF.	20,9	3,1	7,6	4,5	8,4	44,0	11,5

... Datos no disponibles

*Análisis sectorial de Residuos Sólidos de Paraguay, 2001

**Análisis Sectorial de Residuos Sólidos de Guatemala, 1995

Fuente: Informe de la Evaluación Regional de los Servicios de Manejo de los Residuos Sólidos Municipales en América Latina y El Caribe.2005.

En cuanto a las características físico químicas de los residuos municipales en los países de ALC, se destaca su alto porcentaje de humedad (40 a 60%) y su bajo poder calórico (menor de 1.381 Kcal/Kg) que define el bajo valor energético de los residuos de la región (OPS y OMS 2005).

En la figura 5 se indica la composición de los RSU que se generan en Riobamba. La cantidad de residuos orgánicos es de aproximadamente un 65%.

A pesar de haber un alto porcentaje de materia potencialmente reciclable, en Riobamba, la cantidad de materia reciclada es mínima y se limita a plástico, papel, cartón, y metales. La recolección de estos materiales, en ocasiones se realiza en las calles, antes de que pase el carro recolector, aunque en su mayoría se lo hace en el mismo botadero. Actualmente se está propiciando la recolección de papel, cartón y vidrio en escuelas y colegios como parte de campañas educativas que pretenden concienciar el cuidado del ambiente en los estudiantes y ciudadanía en general.

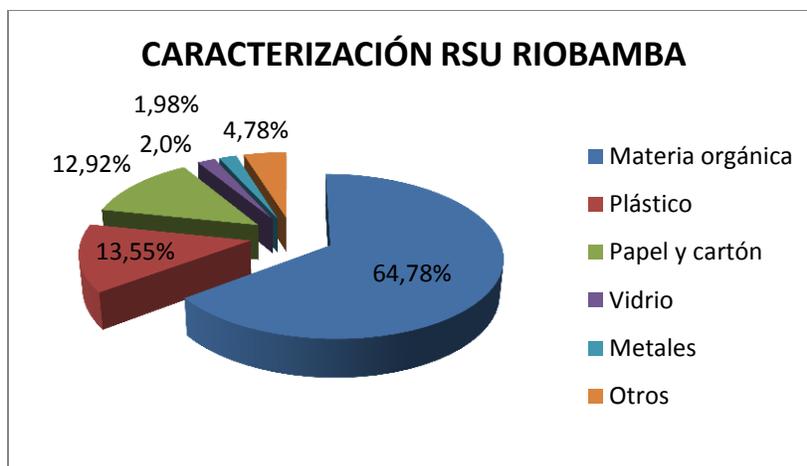


Figura 8. Caracterización de residuos sólidos

Fuente: Autor

2.3.4 Destinos actuales y opciones de gestión más sostenible

La gestión de residuos comprende un conjunto de operaciones encaminadas a proporcionar a los residuos el mejor destino, desde el punto de vista medioambiental y sanitario. Incluye a las operaciones de recogida, transporte, disposición y tratamiento. Para las basuras y lodos de depuradora, las más habituales son el vertido controlado, la incineración, el reciclado y el compostaje (Moreno y Moral 2011).

El Ministerio del Ambiente y el Gobierno Nacional, en abril del 2010, creó el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS) con el fin de fortalecer los Sistemas de gestión de desechos sólidos en todos los municipios del país, en procura de disminuir la contaminación ambiental, mejorar la calidad de vida e impulsar la conservación de los ecosistemas. En este sentido, la realidad nacional es bastante dura, pues según este Programa, de todos los municipios, sólo 31 disponen de rellenos sanitarios de los cuales 11 son manuales, 20 mecanizados y apenas 7 de éstos disponen de Licencia Ambiental expedida por el Ministerio del Ambiente para su operación; los otros 190 municipios presentan botaderos a cielo abierto en el mejor de los casos (PINGIDS 2010).

Un informe sobre la Gestión Integral de Residuos Sólidos Ecuador 2010, revela la situación nacional al 2009, indicando que apenas el 15% de los desechos se depositan en rellenos sanitarios, mientras que el 85% restante se arroja en cuerpos de agua, quebradas, terrenos baldíos y basureros clandestinos. Una práctica común es la quema de basura o depositarla a cielo abierto en quebradas y otros cursos de agua. Así, el 27% de los hogares del área rural de la provincia de Chimborazo botan la basura en el patio o río y el 58% la quema. Se estima un reciclaje total de los residuos (formal e informal) de alrededor del

14% (PDOT-GAPDCH 2011). Frente a esta realidad, las autoridades provinciales, mediante el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Chimborazo 2011, proponen la conformación de mancomunidades para crear empresas encargadas del manejo de residuos sólidos y fomentar la creación de pequeñas y medianas empresas de reciclaje y elaboración de abonos orgánicos. Para la consecución de estos objetivos, es importante realizar la recolección selectiva y programas de educación ambiental, puesto que la provincia presenta una tasa de analfabetismo del 13,5% y un 38% de población indígena (INEC 2010).

En contraste, en la unión europea, desde el año 2000 se aprecia un claro descenso (10%) del RSU a vertedero, aumentando la fracción sometida a tratamiento, lo que indica la tendencia a buscar vías alternativas de reciclado frente al vertedero (Moreno y Moral 2011). En este sentido la directiva europea 1999/31/EC es clara, pues establece requisitos técnicos para el vertido de residuos con el fin de prevenir o reducir los efectos negativos sobre el medio ambiente y limita la cantidad de residuos urbanos biodegradables que pueden ser vertidos.

La Tabla 4 muestra la cantidad de residuos urbanos tratados en la Unión europea (UE-27) para el período 1995 – 2009 por métodos de tratamiento en millones de toneladas y en Kg per cápita.

Del análisis de la tabla se desprende que ha habido varios cambios en el período comprendido entre 1995 y 2009. Así, a pesar del incremento de la generación de residuos orgánicos en la UE, la cantidad de residuos urbanos destinados a vertedero ha disminuido en un 32%, que equivale a una disminución anual del 2,7%. El compostaje es el tratamiento más utilizado, con un incremento anual del 9,1%, seguido del reciclaje y la incineración.

En ALC estas actividades aún son incipientes, pues en muchos países no existe una legislación que sirva de guía, es decir, no existen políticas o estrategias nacionales de reciclaje. Sin embargo las fracciones de papel, cartón, plástico, vidrio, madera y metales, son retiradas y separadas, principalmente por grupos informales de recicladores.

Se estima que sólo el 2,2% de los residuos municipales es formalmente recuperado y reciclado en ALC (Tello et al., 2011). Papel y cartón se recuperan y reciclan en la mayoría de los países, con una tasa relativamente alta (toneladas recicladas por cada tonelada producida) en algunos países: 57% en Colombia, ocupando el décimo octavo lugar a nivel mundial; 50% en Chile; 45 en Brasil; y 40% en Ecuador (Tello et al., 2011).

Tabla 4. Residuos urbanos vertidos, incinerados, reciclados y compostados en la UE-27, 1995 a 2009.

	1995	2009	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Cambio 1995-2009
Millones de toneladas																
Vertedero	141	138	140	137	138	139	135	131	124	117	109	108	106	100	96	-32%
Incineración	31	32	33	34	36	38	39	41	41	43	47	49	50	50	51	63%
Reciclaje	22	23	28	30	37	38	40	46	47	49	51	54	57	59	59	172%
Compostaje	13	15	16	18	21	27	28	32	34	36	38	40	42	44	45	239%
Kg per cápita																
Vertedero	296	290	293	285	267	266	278	269	254	239	221	219	213	201	191	-35%
Incineración	65	66	70	71	76	79	81	85	84	89	95	99	100	99	101	56%
Reciclaje	46	48	58	62	77	78	83	95	97	100	105	109	116	118	118	159%
Compostaje	26	31	33	37	44	55	58	65	69	74	78	82	85	88	89	224%

Fuente: Eurostat

El reciclaje permite aprovechar estos recursos incorporándolos en la fabricación de productos, a la vez que disminuye la cantidad de residuos destinados al vertedero con lo cual se alarga su tiempo de vida útil. El reciclaje formal en plantas de separación es aún incipiente, al igual que la recolección diferenciada. Para que esta situación mejore se necesita un claro liderazgo de las autoridades y un mayor compromiso de la comunidad motivada por campañas permanentes de educación ambiental sobre las tres R: Reducción, Reúso, Reciclaje.

En la mayoría de municipios de las cabeceras cantonales de Ecuador, los RSU son destinados, en el mejor de los casos, a botaderos o vertederos sin ningún tratamiento previo.

Toda la basura generada en Riobamba es depositada en el botadero de Porlón. En el cantón Chunchi se están realizando pruebas piloto para recolección selectiva de residuos urbanos. El carro recolector recoge los residuos orgánicos 3 veces a la semana y los inorgánicos 2. La recolección se hace en 4 parroquias del cantón Chunchi y en 2 de Alausí (Huigra y Pisquishí) y se deposita en el vertedero controlado. Antes de enterrar la basura, la asociación de recicladores de la ciudad separa plástico, papel, vidrio y metales. Los residuos orgánicos de la feria del domingo se depositan en una zona descubierta, en donde se realiza una separación manual de la materia orgánica destinada a la producción de vermicompost (Cunín 2012).

En el cantón Guamote, los RSU, sin separación previa, se depositan en un terreno particular destinado para este fin y se cubre la basura con material pétreo de una mina aledaña. Se observa que las hojas de maíz, col, lechuga, habas, acelga y otros vegetales se recogen en lonas y sirven para alimentar a vacas, caballos, especies menores, etc. Claramente se observa mucha cantidad de plástico en mezcla con residuos orgánicos en las calles aledañas al mercado.

En Ecuador, solo la ciudad de Cuenca realiza un manejo integral de los RSU y biopeligrosos. Según la EVAL, 2010 en esta ciudad se alcanza una cobertura de recolección del 94% con una disposición final de 300 ton/día promedio de residuos destinados al vertedero de Pichacay. Se realiza reciclaje, compostaje, gestión de escombros y recolección de residuos biopeligrosos. Este trabajo es realizado por la Empresa Pública Municipal de Aseo Urbano (EMAC-EP) y cuenta con las Certificaciones ISO 9001, 14001, OHSAS 18001 y actúa con autonomía administrativa y financiera, utilizando la facturación eléctrica como forma de cobranza. Es una empresa ambientalmente eficiente y socialmente aceptada, que ha conseguido el apoyo político con una legislación coherente y aplicable.

Encontrar alternativas seguras, sostenibles y rentables a la disposición de los RSU en los vertederos representa un gran desafío para la gestión de residuos, el reciclaje y el compostaje es una de las opciones más atractivas. En ALC los RSU presentan un alto contenido de materia orgánica, pero las prácticas de compostaje no se encuentran proporcionalmente desarrolladas. En general, la falta de guía para la aplicación de tecnología apropiada para la región y la falta de estándares de calidad para el producto final conspiran contra su progreso (Tello et al., 2011).

En ALC se ha registrado la existencia de plantas de compostaje de más de sesenta años en México, El Salvador y Ecuador, pero pocas han subsistido por problemas operativos y financieros.

Un informe sobre la Evaluación de los proyectos de compostaje en el Ecuador, señala que al menos han existido 11 proyectos de compostaje y 5 de vermicompostaje (Fundación Natura y REPAMAR-CEPIS-G.T.Z. 1998). Una de las razones para realizar estos proyectos es que los porcentajes de producción de desechos sólidos orgánicos en todo el país son altos, con excepción de zonas urbanas en las que los niveles de consumo de materiales inorgánicos aumentan significativa y constantemente.

Este informe indica que en septiembre de 1995, en Riobamba se estableció un Programa de Manejo de desechos sólidos urbanos mediante compostaje y lombricultura. El proyecto contó con el asesoramiento técnico de GTZ y el financiamiento de Swissais Ecuador. El Municipio asignó los desechos orgánicos procedentes de mercados locales y el rumen y estiércol de reses producidos en el camal. El proyecto fue abandonado por problemas de nivel técnico, económico, social y político, siendo éste el común denominador de la mayoría de proyectos de compostaje desarrollados en el país.

Según información proporcionada por personeros municipales, existió un programa piloto de recogida selectiva de residuos orgánicos en un barrio residencial de la ciudad, que se complementaba con la recogida de residuos de mercados. Con estos residuos se emprendió un nuevo proyecto de vermicompostaje con la implementación de dos plantas ubicadas en el vivero municipal y gestionada directamente por personal de la municipalidad donde se producía vermicompost. En esta planta se recibía 3 toneladas semanales de residuos, produciendo una cantidad de 2 quintales por m³ cada 3 meses y medio. La planta tenía una superficie de 200 m² y 21 celdas para el vermicompostaje. Este proyecto también se interrumpió por problemas técnicos, falta recursos, seguimiento y compromiso de las personas involucradas (Lara 2013).

En la actualidad, los residuos no reciben ningún tratamiento técnico, sólo existe un reciclaje informal de plástico, papel, cartón y metales realizado por los minadores del lugar.

El interés existente en la actualidad por la recuperación de los desechos sólidos orgánicos enlaza dos aspectos ambientales de gran importancia: El alto nivel de producción de desechos orgánicos que obliga a realizar un tratamiento adecuado para reducir la contaminación producida por malos olores, emisión de gases efecto invernadero, lixiviados y presencia de vectores de enfermedades y por otro lado, la mala utilización del recurso suelo que ha provocado su deterioro, lo que hace necesario buscar alternativas ambientalmente sanas tendientes a mejorar la calidad de la producción agrícola.

La utilización agrícola de compost de RSU es la opción de gestión de RSU más rentable sobre los medios tradicionales, como el vertido o la incineración, ya que permite el reciclaje de potenciales nutrientes para plantas (Bundela et al., 2010). Además, mejorar la gestión de residuos conduce a la reducción del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (sobre todo metano) de los vertederos no controlados en los países en desarrollo (Friedrich y Trois 2011).

Dentro de los puntos críticos a considerar al evaluar la realización de proyectos de compostaje se encuentra la correcta identificación de la demanda de mercado y el potencial de producir compost a un costo que asegure la viabilidad comercial del proyecto. El compost producido debe cumplir no sólo con la calidad requerida por el mercado sino que debe satisfacer estándares de salud pública y medio ambiente (Tello et al., 2011). Muchas experiencias de compostaje indican que el tratamiento de desechos debe insertarse en el marco político e institucional de la ciudad o país con una estructura legal que regule su calidad.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Diseño experimental

Para alcanzar los objetivos planteados en este trabajo experimental se analizaron en total nueve muestras de RSU provenientes de distintas partes de la provincia de Chimborazo.

La variable experimental utilizada fue el tipo de residuos:

- ▶ RSU procedentes de vertedero
- ▶ RSU de mercados
- ▶ RSU de restos de poda
- ▶ Lodo de depuradora

Dos muestras fueron tomadas de vertedero: una del vertedero del cantón Guamote y otra del vertedero controlado del cantón Chunchi, cuatro corresponden a muestras de materia orgánica de mercados, tres de los cuales están ubicados dentro del perímetro urbano de Riobamba; dos muestras corresponden a restos de poda de árboles y jardines de la ciudad. La última muestra pertenece al lodo de la laguna de depuración de Chunchi. Se trabajó con estas muestras, pues, en general, la basura orgánica de los mercados de Riobamba y la de los otros cantones y los restos de poda están libres de vidrio, metales y materia inerte. La materia orgánica se contamina con plástico (bolsas, botellas, tarrinas, cuerdas) cuando se mezcla en contenedores más grandes o se amontonan en las esquinas en espera de la recolección final cuyo destino es el vertedero.

En las muestras se analizaron parámetros físicoquímicos, químicos y biológicos. Los valores medios de cada parámetro se ensayaron para determinar diferencias estadísticamente significativas utilizando análisis unidireccional de la varianza (ANOVA), teniendo en cuenta el tipo de residuo. Para comparar las diferencias obtenidas, se utilizó la prueba de Tukey-b $P < 0,05$. La normalidad y la homogeneidad de las varianzas se comprobaron mediante los tests Shapiro-Wilk y de Levene, respectivamente, antes de ANOVA. Todas las pruebas estadísticas se realizaron utilizando el paquete estadístico SPSS 20.0. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

3.2 Descripción del área de estudio

La provincia de Chimborazo se encuentra localizada en el centro de la zona interandina de Ecuador. Según el Censo de Población y Vivienda (INEC, 2010), cuenta con 458.581 habitantes distribuidos en diez cantones y es la novena provincia más poblada. En el sector rural viven aproximadamente 254.000 habitantes. El 70% de la población campesina es indígena bilingüe.

La provincia se eleva desde los 320 m hasta los 6.310 m por lo que presenta una variedad de climas y microclimas y una gran biodiversidad debido a las irregularidades del territorio provincial. Esto favorece el cultivo de varios productos entre los que se destaca cereales, tubérculos, legumbres, hortalizas, frutas, plantas medicinales y una gran variedad de árboles. La temperatura fluctúa entre 25°C en los sectores que limitan con la región costa y 0°C en las partes más altas.

En el campo la gente vive del pastoreo y otros de la agricultura, sin embargo su aporte a la producción es bajo en comparación con otras actividades económicas, considerando que más del 50% de la población económicamente activa se dedica a la agricultura. La pérdida de conocimiento ancestral, la inadecuada utilización de maquinaria agrícola, el uso indiscriminado de agroquímicos, el fraccionamiento de las parcelas, las actividades agropecuarias en fuertes pendientes (58% de la superficie provincial tiene pendientes > 50°) y las prácticas inadecuadas en el uso y distribución del agua de riego son causas que han deteriorado progresivamente la capacidad productiva y la fertilidad de los suelos de la Provincia, especialmente en la zona central del callejón interandino, provocando bajos rendimientos de los cultivos agrícolas, erosión, desertificación de los suelos en esta parte del territorio y una creciente presión hacia el ecosistema páramo (avance frontera agrícola) (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo, 2011). Este informe indica además, que, aproximadamente el 9% de la extensión provincial se encuentra erosionada y el 10% con alta susceptibilidad de erosión.

En muchos casos, la migración del campo a la ciudad ha ocurrido por la falta de trabajo y oportunidades.

En la siguiente tabla se resume la información sobre los cantones de la provincia que han sido objeto de estudio de la presente investigación.

Tabla 5. Información sobre los cantones estudiados de la provincia de Chimborazo

CANTÓN	NÚMERO DE HABITANTES (INEC, 2010)	ALTITUD (msnm)	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)
Riobamba	225.741	2.750	13
Colta	44.971	3.212	12
Guamote	45.153	3.050	12
Chunchi	12.686	1.600-4.300	14-21

msnm: metros sobre el nivel del mar; INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
Fuente: Autor

3.2.1 Desarrollo experimental

En primer lugar, se establecieron los puntos de muestreo para tener una tipología de los RSU representativa de la provincia de Chimborazo y se realizó la georeferenciación de los puntos muestreados.

A continuación, se realizó la toma de muestra de los distintos RSU procediendo de forma aleatoria. Para esto se tomaron diez cubos de 50 litros de cada uno de los residuos y en cada caso se obtuvo una muestra homogénea de 10Kg procediendo mediante el método del cuarteo.

Seguidamente las muestras se trasladaron al laboratorio de Química Industrial de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – Ecuador, donde se determinó el porcentaje de materia orgánica e impropios, la humedad y se procedió a su secado, molido y envasado para su traslado al laboratorio de Agroquímica y Medio Ambiente de la universidad Miguel Hernández – España en su campus de Orihuela, donde se realizó la caracterización físicoquímica, química y biológica de todos los residuos.

Entre los principales parámetros controlados tenemos: humedad (H), pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), carbono orgánico total (COT), carbono orgánico hidrosoluble (COH), polifenoles, cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^-), nitratos (NO_3^-); macro y micronutrientes como nitrógeno total (NT), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn); elementos potencialmente tóxicos como níquel (Ni), cromo (Cr), plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As), selenio (Se) y mercurio (Hg) y el índice de germinación.

3.3 Muestras realizadas y métodos analíticos utilizados

Todas las muestras fueron seleccionadas utilizando el método del cuarteo, para lo cual se trabajó con 10 cubos de 50 litros de RSU. Las muestras seleccionadas (10 Kg) se colocaron en bolsas de polietileno de 0,70m x 0,50m. Las muestras de RSU de vertedero provienen de los mercados pero fueron tomadas en los vertederos. Los RSU de mercado fueron recolectados de los cubos que poseen los vendedores y prácticamente están libres de impropios. Estos residuos tienen mucha humedad, por lo que se descomponen fácilmente. La cantidad y tipo de residuos generados depende de la porción aprovechable del producto, del volumen de ventas y la época del año. Los RSU de poda proceden de árboles y jardines de la ciudad de Riobamba. El lodo de depuradora fue tomado directamente de la laguna de aireación del cantón Chunchi.

Para establecer su composición se trabajó con 10 Kg de muestra. Se separó y pesó la fracción orgánica y la de plástico. No hubo presencia de vidrio ni metales. Se calculó el porcentaje en peso de materia orgánica y plástico.

Las muestras fueron secadas en estufa de aire forzado a 60°C por 24 horas hasta humedad por debajo del 5% y se envasó al vacío para ser enviadas a España (500g). Todos los resultados analíticos se refieren sobre base seca.

La información sobre el tipo de residuo muestreado y el lugar de toma de muestra se resume en la tabla 6.

Tabla 6. Registro de RSU - Chimborazo

N° registro	Clase de residuo	Localidad	Observaciones	Georeferenciación
RSU-01	RSU Vertedero con licencia	Chunchi	Restos de mercado	-2° 17' 21,67", -78° 55' 18,65"
RSU-02	RSU Mercados	Riobamba	Mercado – sección frutas	-1° 40' 13,76", -78° 38' 49,02"
RSU-03	RSU Mercados	Riobamba	Mercado – sección verduras y hortalizas	-1° 40' 25,73", -78° 38' 59,22"
RSU-04	RSU Mercados	Riobamba	Mercado – sección verduras y hortalizas	-1° 39' 58,51", -78° 38' 52,85"
RSU-05	RSU Mercados	Colta	Restos de mercado	-1° 44' 3,13", -78° 45' 52,63"
RSU-06	RSU Vertedero	Guamote	Restos de mercado	-1° 55' 38,00", -78° 42' 32,66"
RSU-07	RSU Poda	Riobamba	Jardinería (Lantana camara)	-1° 39' 18,86", -78° 40' 40,14"
RSU-08	RSU Poda	Riobamba	Jardinería	-1° 39' 18,86", -78° 40' 40,14"
LD-01	Lodo de laguna de oxidación	Chunchi	Lodo de laguna	-2° 17' 21,67", -78° 55' 18,65"

Fuente: Autor

La muestra RSU-01 proviene del vertedero municipal del cantón Chunchi y corresponde a materia orgánica procedente del mercado local.

La muestra RSU-02 se tomó de la sección de frutas de dos mercados de la ciudad de Riobamba. En estos residuos hay abundante presencia de cítricos.

Las muestras RSU-03 y RSU-04 corresponden a restos de verduras y hortalizas tomadas de varios mercados de la ciudad de Riobamba. En estas muestras se encuentran hojas de lechuga, col, maíz, haba, arveja, coliflor, zanahoria, culantro, apio, tomate.

La muestra RSU-05 fue recolectada en el mercado del cantón Colta. Al tratarse de una zona rural con población indígena, estos residuos son utilizados para alimento de ganado y especies menores.

La muestra RSU-06 corresponde al vertedero del cantón Guamote, procedente básicamente de los residuos del mercado que no son utilizados como alimento de animales.

Las muestras RSU-07 está constituida, en su totalidad, por restos de Lantana camara, un arbusto ornamental muy utilizado como cerca de jardines y espacios verdes.

La muestra RSU-08 corresponde a restos de poda de jardines, arbustos y árboles ornamentales (acacias, ficus, álamo, etc) de calles y avenidas de Riobamba.

La muestra LD-01 fue tomada en la laguna de aireación del cantón Chunchi.

En las figuras de la 9 a la 17 se pueden observar los lugares de la toma de muestras.



Figura 9. RSU-01



Figura 10. RSU-02



Figura 11. RSU-03



Figura 12. RSU-04



Figura 13. RSU-05



Figura 14. RSU-06



Figura 15. RSU-07



Figura 16. RSU-08



Figura 17. LD-01

A continuación se ubica los lugares de la toma de muestra.

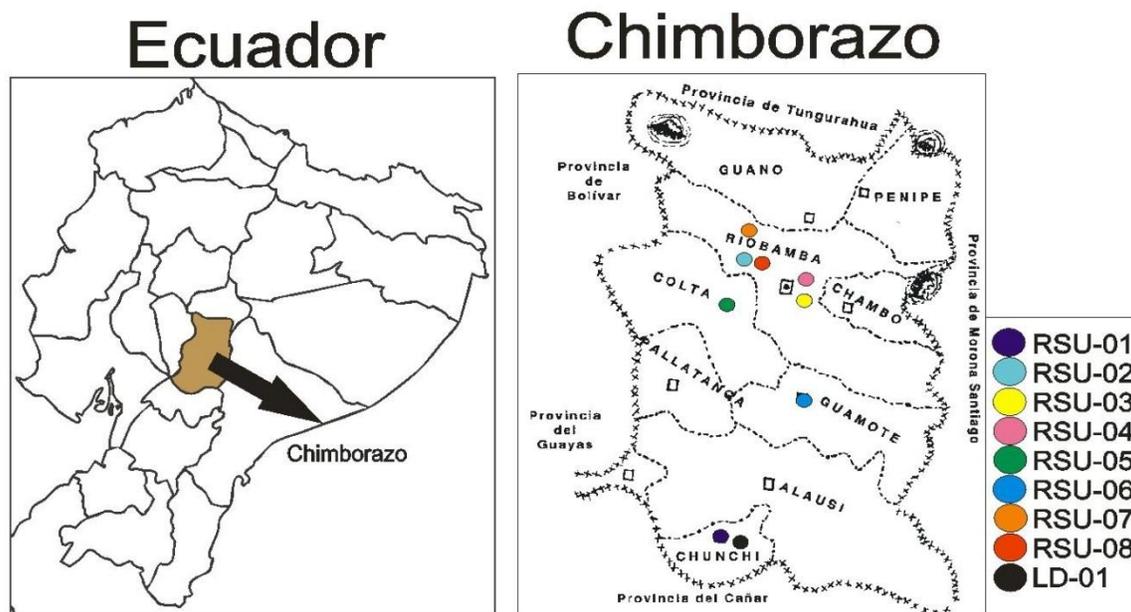


Figura 18. Mapa de lugares toma de muestra

Fuente: Autor

Caracterización fisicoquímica

Se midieron los dos principales parámetros: pH y conductividad eléctrica (CE). La determinación se hizo sobre extracto acuoso 1:10 (p/v). Para la determinación de pH se empleó un pHmetro GLP 22 Crison. El equipo fue previamente calibrado con estándares para minimizar el error experimental. La CE se midió en un conductímetro Consort C860.

Caracterización química

Se realizaron pruebas para determinar el porcentaje de Materia Orgánica (MO), Carbono (C), Nitrógeno (N), Carbono Orgánico Hidrosoluble (COH), aniones (Cl^- , NO_3^- , y SO_4^{2-}), polifenoles y metales. Para esto se trabajó directamente con la muestra seca.

La MO se determinó por calcinación a 430°C durante 24 horas (Navarro et. al, 1993).

La determinación de C y N se realizó por microanálisis automático (Navarro y col. 1991). La muestra fue colocada en cápsulas de estaño previamente taradas. El analizador fue calibrado con una muestra sintética de C y N.

Para el análisis de COH se trabajó con el extracto acuoso de la muestra y se midió en un Analizador de Carbono orgánico Total TOC –V CSN marca SHIMATSU (Sánchez-Monedero et al., 1996).

Se determinaron los polifenoles solubles mediante extracción acuosa 1:20 y por medio de una modificación del método Folin.Ciocalteu (Beltrán et.al, 1999). Después de calibrar el espectrofotómetro (Espectronic uncam) se midió la absorbancia a una longitud de onda de 725 nm, calculándose la concentración de polifenoles respecto a la recta patrón.

Los aniones determinados fueron cloruros, nitratos y sulfatos (Cl^- , NO_3^- y SO_4^{-2}). Para esto se realizó una extracción de la muestra con agua desionizada calidad HPLC en la proporción 1:20, sólido/líquido. Se agitó, centrifugó y filtró a través de un sep-pack PLUS C18, para eliminar la materia orgánica soluble, y después se filtró con un filtro de nailon de 0,45 μm . El cromatógrafo HPLC para iones; previamente se calibró con disoluciones patrón de NaCl, NaNO_3 , Na_2SO_4 y KH_2PO_4 recientemente preparadas con concentraciones conocidas de cada uno de estos iones. Es importante que la conductividad de las muestras analizadas no sobrepase de 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Para el análisis de fósforo (P) y metales se realizó la mineralización de la muestra con una digestión nítrico-perclórica de las muestras según el método recomendado por Abrisqueta y Romero, 1969. El P se determinó por medida espectrofotométrica de la intensidad de coloración amarilla producida por el complejo fosfovanadato molibdato amónico (Kitson y Mellon, 1944), obtenida sobre una fracción del extracto de mineralización. Previo al análisis de las muestras se preparó la curva patrón de calibración. La absorbancia se midió frente a agua desionizada en el espectrofotómetro (Espectronic uncam) a una longitud de onda de 460 nm.

Se ha realizado un estudio completo sobre la presencia de metales, sobre todo metales pesados. Los metales analizados fueron: Fe, Cr, Pb, As, Hg, Mo, Ag, K, Na, Ca, Mg, Si, Al, Li, Se, Sr, Ba y Bi. Estos elementos se midieron en disoluciones adecuadas del extracto de mineralización, mediante un espectrómetro ICP. MS de masas atómicas de plasma de acoplamiento inductivo.

Caracterización biológica

Se determinó a partir de los porcentajes de semillas germinadas y longitud de las raíces de semillas de *Lepidium sativum* L., incubadas sobre un extracto acuoso de las muestras (Zucconi et. al., 1985).

Con el fin de evaluar la precisión de la medición cada análisis se realizó por triplicado.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación de las características de los Residuos Sólidos Urbanos estudiados

A continuación se presentan los resultados de todas las pruebas físico-químicas, químicas y biológicas realizadas en las muestras de RSU tomadas en la provincia de Chimborazo. Para facilitar la discusión, los distintos parámetros se han agrupado en cinco tablas: Tabla 7. Características físico-químicas; Tabla 8. Características químicas; Tabla 9. Contenido de macro y micronutrientes y sodio; Tabla 10. Contenidos de potenciales elementos tóxicos y Tabla 11. Determinación de parámetros biológicos. Toda la discusión ha sido contrastada con el soporte bibliográfico correspondiente.

4.1.1 Parámetros físico-químicos

Las características físico-químicas de las muestras estudiadas se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Características físico-químicas en muestras de RSU de la provincia de Chimborazo.

Tipo de residuos	pH	CE (mS cm ⁻¹)
RSU-01	9.18 g	4.5 c
RSU-02	4.90 a	5.4 e
RSU-03	6.35 d	7.0 f
RSU-04	6.36 d	7.7 g
RSU-05	5.32 b	5.7 e
RSU-06	8.12 f	5.0 d
RSU-07	7.26 e	3.1 b
RSU-08	6.51 d	2.7 ab
LD-01	5.92 c	2.5 a
F-ANOVA	344***	308***

CE: Conductividad Eléctrica

***: Significativo con $P < 0,001$. Los valores medios de las columnas seguidos por la misma letra no difieren significativamente a $P < 0,05$ (prueba de Tukey-b)

Fuente: Autor

El pH de las muestras varió desde moderadamente ácido hasta ligeramente básico en un rango entre 4,9 (RSU-02) y 9,2 (RSU-01). Las muestras con valores de pH más altos fueron la RSU-01 y RSU-06 provenientes de vertederos en donde los distintos residuos orgánicos se encontraron en mezcla; mientras que la muestra RSU-02, por provenir de la sección de frutas presentó el pH más ácido. Las muestras constituidas por mezcla de vegetales (RSU-03 y RSU-04) y de restos de poda (RSU-07 y RSU-08) presentaron valores cercanos a la neutralidad. El pH del lodo de la laguna de oxidación (LD-01) fue ligeramente ácido y su

valor fue más bajo que aquellos reportados por Pascual et al., (1997) para varias muestras de lodo provenientes de diferentes plantas de tratamiento aeróbico en el área mediterránea de España. Es posible que en los RSU provenientes de vertedero se hayan presentado procesos de biodegradación con un incremento en la formación de amonio y la degradación de compuestos de tipo ácido. En algunos casos, la naturaleza ácida de algunos residuos haría necesario un co-compostaje o la adición de agentes que actúen como buffer para mantener valores de pH próximos a la neutralidad (6,5-7,5) con el fin de lograr un óptimo crecimiento microbiano (Díaz et al., 1993).

La CE varió en un rango de 2,5 y 7,7 mS cm⁻¹. Los valores más altos presentaron los residuos de vegetales y los más bajos los restos de poda y el lodo. Los otros residuos mostraron valores cercanos a los encontrados por Pascual et al., 1997, para RSU. La salinidad es un parámetro que no influye significativamente en el desarrollo del proceso de compostaje, pero constituye un aspecto importante para la calidad agronómica del compost. La salinidad se incrementa durante el compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica.

4.1.2 Parámetros químicos

La tabla 8 muestra los resultados de los análisis químicos realizados.

Tabla 8. Características químicas en muestras de RSU de la provincia de Chimborazo.

Tipo de residuos	MO (%)	COH (%)	Polifenoles (g/Kg)	Cl ⁻ (g kg ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)
RSU-01	37,5 a	11,4 e	6,6 b	3,6 c	1,535 ab	345 a
RSU-02	88,2 g	11,5 e	17,6 f	3,6 c	2,10 b	343 a
RSU-03	66,2 d	11,6 e	14,9 e	14,4 e	3,56 c	14819 e
RSU-04	71,1 e	11,6 e	15,4 e	2,6 bc	1,26 a	7127 d
RSU-05	73,4 e	12,1 f	14,9 e	7,6 d	4,30 d	6520 c
RSU-06	46,5 b	4,4 b	7,4 b	1,3 ab	0,89 a	1323 b
RSU-07	58,1 c	6,9 d	8,5 c	0,6 a	3,41 c	154 a
RSU-08	78,1 f	5,2 c	9,5 d	0,5 a	4,58 d	390 a
LD-01	60,4 c	2,9 a	1,2 a	1,1 a	3,35 c	22 a
F-ANOVA	394***	1534***	592***	173***	74***	1125***

MO: Materia Orgánica, COH: Carbono Orgánico Hidrosoluble

***: Significativo con P <0,001. Los valores medios de las columnas seguidos por la misma letra no difieren significativamente a P <0,05 (prueba de Tukey-b).

Fuente: Autor

Los contenidos de MO fueron altos en todos los casos (sobre el 50%), excepto para las muestras RSU-01 y RSU-06. La mayoría de los residuos orgánicos provinieron de una recolección separada, tales como restos de frutas (RSU-02) y restos de poda de árboles (RSU-08). Weber 1982 y Rabbani et al., 1983 recomendaron un contenido promedio de materia orgánica de 50-60% para residuos compostables. Estas dos últimas muestras mostraron los valores más altos para la relación C/N (sobre 25) por lo que podrían compostarse sin necesidad de realizar mezclas. El valor más bajo para la relación C/N presentó el lodo debido al alto contenido de N sumado al más bajo contenido de MO.

El carbono orgánico hidrosoluble COH está constituido por diferentes fracciones de componentes orgánicos estables y lábiles con diferentes cantidades de azúcares, aminoácidos y péptidos. Los contenidos más altos de COH se observaron en la muestras RSU-05 con un 12,1%, aunque las muestras RSU-01, RSU-02, RSU-03 y RSU-04 también presentaron valores altos, en relación al resto de muestras, superiores al 11%. El lodo presentó el valor más bajo de COH con un 2,9 %. Torrecillas et al., 2013, reportaron en estudios de biosólidos una distribución irregular de valores para COH y ácidos húmicos en donde la mayoría de muestras presentaron valores promedio de 0,91% y 2,1% respectivamente. Los valores de carbono orgánico hidrosoluble, COH, encontrados en los residuos estudiados indican una alta biodegradabilidad de los residuos.

Los Polifenoles, son una clase específica de antioxidantes fitoquímicos naturales presentes esencialmente en todas las plantas, comprenden básicamente compuestos derivados de ácidos fenólicos, incluyendo benzoatos e hidroxicinamatos y flavonoides (Guendez et al., 2005). Altos niveles de compuestos fenólicos hidrosolubles en compost pueden tener un impacto ambiental adverso, principalmente porque los polifenoles inducen la inhibición de la germinación (Morthup et al., 1998) e inmovilización de N en el suelo (Bustamante et al., 2007). Esto debería ser tenido en cuenta antes de una posible incorporación directa de residuos ricos de polifenoles en procesos de compostaje. Se observaron altos contenidos de polifenoles hidrosolubles en la muestra RSU-02 correspondiente a la sección de frutas de mercado y bajos contenidos en el lodo. En general, todas las muestras de residuos de mercado y poda mostraron niveles significativos de polifenoles hidrosolubles, por lo cual sería recomendable el co-compostaje.

Los residuos vegetales de la ciudad de Riobamba (RSU-03 y RSU-04) y de Colta (RSU-05) mostraron contenidos más altos de aniones solubles que el resto de residuos. Los contenidos más altos en Cl^- y NO_3^- fueron para los residuos vegetales de mercados de Riobamba (RSU-03), mientras que los contenidos más bajos corresponden al lodo (LD-01) y a los restos de poda (RSU-07 y RSU-08). Los contenidos más altos de SO_4^{2-} fueron observados para la muestra RSU-05 y los más bajos para las muestras RSU-04 y RSU-06.

Los resultados mostraron altas concentraciones de aniones en muestras frescas y lábiles de RSU comparadas con muestras de restos de poda de acuerdo a Salati et al., 2013.

En la siguiente tabla se encuentran los resultados del análisis de macro y micronutrientes y sodio.

Tabla 9. Contenido de macro y micronutrientes y sodio en muestras de RSU de la provincia de Chimborazo.

Tipo de residuos	Nt %	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	Na (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
RSU-01	1,82 c	4,70 d	22,2 cd	19,5 cd	5,75 c	1435 b	13842 f	34 d	169 e	115 c
RSU-02	1,73 c	2,11 ab	18,5 c	8,04 a	2,56 a	491 a	1452 a	13 a	74 a	32 a
RSU-03	2,86 f	3,59 c	31,6 e	16,4 c	5,95 c	9549 d	5378 cd	23 bc	140 d	67 b
RSU-04	2,34 e	2,53 b	18,8 c	12,1 b	3,62 b	3198 c	4507 bc	16 ab	97 b	50 ab
RSU-05	1,96 d	1,93 ab	18,1 c	16,9 c	3,09 ab	1728 b	3165 ab	13 a	115 bc	39 ab
RSU-06	1,95 d	5,31 de	24,1 d	24,1 e	6,24 c	1457 b	12540 f	33 d	173 e	114 c
RSU-07	1,51 b	1,45 a	7,42 b	21,2 de	6,64 c	484 a	6584 d	27 c	102 b	53 ab
RSU-08	1,36 a	1,54 a	5,32 ab	42,6 f	3,48 ab	425 a	2705 a	17 ab	68 a	35 ab
LD-01	4,78 g	5,73 e	2,43 a	12,4 b	3,21 ab	1688 b	8966 e	189 e	127 cd	1024 d
F-ANOVA	1372***	87***	106***	138***	57***	557***	115***	1349***	63***	1954***

***: Significancia $P < 0,001$. Medias en columnas seguidos por la misma letra no diferencias significativas $P < 0,05$ (Test de Tukey-b).

***: Significativo con $P < 0,001$. Los valores medios de las columnas seguidos por la misma letra no difieren significativamente a $P < 0,05$ (prueba de Tukey-b).

Fuente: Autor

En las muestras RSU-01-02-03-04-05-06, la concentración de nutrientes decreció en el siguiente orden: $K > Ca > Mg > P > N$; en las muestras RSU-07-08 el orden fue $Ca > K > Mg > P \approx N$ y en el lodo $Ca > P > N > Mg > K$. Huerta et al., 2011, encontraron en muestras de RSU de España que las concentraciones de nutrientes disminuían en el siguiente orden: $Ca > K > Na > P > Mg > Fe > Mn$ sin diferencias entre recolección selectiva y mecánica pero con variaciones significativas en la concentración de algunos elementos. De todas las muestras estudiadas, la muestra de lodo presenta la mayor cantidad de N, posiblemente porque contiene muchas proteínas; valores similares fueron encontrados en varios lodos provenientes de plantas de tratamiento aerobio en España (Pascual et al., 1997). Los residuos de vegetales y de vertedero también mostraron altos contenidos de N más que los observados en restos de poda, debido principalmente a la presencia de legumbres y vegetales (Adhikari et al., 2008). Estos valores de N fueron más altos que los observados por Thitame et al., 2010, en las fracciones orgánicas de RSU de la ciudad de Sangamner

(India). La muestra de lodo (LD-01) fue la que presentó los valores más altos de P, seguidos por las muestras de vertedero (RSU-06 y RSU-01), los residuos de frutas y restos de poda presentaron los valores más bajos. Thitame et al., 2010 reportaron bajos valores de P en muestras similares en India y Huerta-Pujol et al., 2011, obtuvieron valores en un rango de 0,04 a 0,45% en un estudio de 34 plantas de tratamiento de España. El elemento predominante en las muestras de RSU de Chimborazo fue el K, excepto en las muestras de lodo y restos de poda. En esta última predominó el Ca. Sin embargo, los contenidos de P fueron más altos que los reportados para muestras de residuos de frutas y vegetales de India reportados por Thitame et al., 2010, que presentaron valores de P de dos tres veces más bajos que los encontrados en muestras de RSU de España. (Huerta-Pujol et al., 2011). En todas las muestras de RSU (excepto en la de lodo), los contenidos de micronutrientes decrecieron en el siguiente orden: Fe> Mn>Zn>Cu. Las muestras de origen industrial (vertedero RSU-01 y 06) mostraron los más altos contenidos de Fe y Mn, y los de Cu y Zn fueron sobrepasados sólo por el lodo. El uso de equipos para la clasificación mecánica de RSU en países desarrollados incrementan las concentraciones de metales, por ejemplo los contenidos de Mg, Fe, Zn, Cu en basura fueron similares a los encontrados por (Huerta-Pujol et al., 2011).

La tabla 10 muestra los resultados del análisis de elementos tóxicos.

Tabla 10. Contenido de potenciales elementos tóxicos en muestras de RSU de la provincia de Chimborazo.

Tipo de residuos	Ni (mg kg ⁻¹)	Cr (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Cd (µg kg ⁻¹)	As (µg kg ⁻¹)	Se (µg kg ⁻¹)	Hg (mg kg ⁻¹)
RSU-01	135 c	127 d	15 c	286 d	3606 d	601 c	< 0.05
RSU-02	154 cd	97 c	0,9 a	71 ab	297 a	248 ab	< 0.05
RSU-03	269 e	280 g	2,2 a	188 c	799 ab	233 ab	< 0.05
RSU-04	174 d	181 e	5,1 b	153 abc	895 b	256 ab	< 0.05
RSU-05	169 d	104 cd	1,1 a	79 ab	380 a	156 a	< 0.05
RSU-06	140 c	128 d	15 c	292 d	2856 c	673 c	< 0.05
RSU-07	273 e	247 f	7,6 b	64 a	802 ab	305 b	0.430
RSU-08	57 b	56 b	2,0 a	176 bc	501 ab	251 ab	< 0.05
LD-01	20 a	17 a	39 d	3017 e	13582 e	2703 d	0.57
F-ANOVA	161***	209***	322***	1640***	1471***	846***	--

***: Significativo con P <0,001. Los valores medios de las columnas seguidos por la misma letra no difieren significativamente a P <0,05 (prueba de Tukey-b).

Fuente: Autor

Los valores de Ni y Cr fueron altos en las muestras RSU-03 y RSU-07. El lodo mostró contenidos de Pb, Cd, As, Se y Hg muy superiores al resto de residuos. Independientemente del lodo, los residuos provenientes de vertedero presentaron contenidos más altos de Cd, As y Se, Ni, Cr, Pb y un contenido de Cd más bajo que aquellos encontrados por Pascual et al., 1997, en algunas muestras de RSU y lodos de diferentes plantas de tratamiento aeróbico del área Mediterránea de España. El lodo mostró una relativa abundancia de metales pesados (Cd, Cr, Ni, Pb, Cu, Hg y Zn) dentro del rango establecido por (Amlinger et al., 2004) para lodos provenientes de países de la Unión Europea. Todos los residuos analizados presentaron contenidos de metales pesados más bajos que los límites permitidos en biosólidos por lo que pueden ser considerados un producto de “calidad excepcional”, de acuerdo a la guía de la EPA parte 503 Requisitos de biosólidos (US EPA, 1993). Espinosa et al., 2008, reportaron en una comparación entre muestras de Shangay (China) (Zhao et al., 2007) y de La Habana (Cuba) en el rango de metales pesados, que los contenidos de Cd en muestras de vertedero de La Habana fueron más bajos, pero los de Zn, Pb, Hg y Cd fueron similares a los encontrados en muestras de vertedero de Shangay, sin tener en cuenta el tiempo de los residuos. En concordancia los contenidos de Cr, Cd, Cu, Zn y Pb encontrados en los residuos provenientes de la provincia de Chimborazo mostraron concentraciones hasta 3 veces más bajas que los reportados en muestras de Shangay y de 1,5 a 5 veces más bajas que los de La Habana.

4.1.3 Parámetros biológicos.

Los resultados del IG se encuentran a continuación.

Tabla 11. Determinación del IG en muestras de RSU de la provincia de Chimborazo.

Tipo de residuos	Índice de germinación (%)
RSU-01	39,6 e
RSU-02	0 a
RSU-03	19,6 c
RSU-04	0 a
RSU-05	0 a
RSU-06	47,3 f
RSU-07	90,6 g
RSU-08	25,7 d
LD-01	11,6 b
F-ANOVA	1406***

***: Significativo con $P < 0,001$. Los valores medios de las columnas seguidos por la misma letra no difieren significativamente a $P < 0,05$ (prueba de Tukey-b).

Fuente: Autor

La fitotoxicidad se estableció por medio del índice de germinación IG propuesto por Zucconi et al., 1981. Los resultados mostraron el carácter fitotóxico de todos los residuos excepto la muestra RSU-07 proveniente de la poda de lantana, asociados a su biodegradabilidad, potencial producción de amonio y la presencia de polifenoles hidrosolubles. Estos aspectos deben ser considerados para establecer estrategias de compostaje.

4.2 Propuestas de gestión de los residuos sólidos urbanos estudiados en función de la naturaleza

La gestión integral implica abordar el ciclo en su totalidad, desde la minimización en origen, tanto de caudales como de componentes indeseables, hasta el uso final de los productos obtenidos. Las estrategias de tratamiento han de dar respuesta a la pregunta “qué hacer para obtener un producto con una calidad que cumpla unas especificaciones a partir de una materia prima de una calidad determinada”, con el mínimo impacto ambiental, utilizando tecnologías disponibles en el mercado y con un coste económico viable para el usuario (Moreno y Moral 2011).

El marco legal vigente en el país presenta carencias en cuanto a la gestión de RSU. Esta problemática se agudiza en la ciudad de Riobamba pues no existe una ordenanza que posibilite la recolección selectiva de los residuos generados. Esta realidad impide concretar planes de gestión globales. Se ha establecido que la materia orgánica es el componente más abundante de los RSU, por ello se considera oportuno buscar un tratamiento adecuado, con una tecnología accesible acorde a la realidad local y que no requiera grandes inversiones que impidan su ejecución.

Al respecto, Moreno y Moral, 2011, señalan que el grado de implantación de tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos depende del nivel de requerimiento legislativo, del grado de conocimiento científico y tecnológico sobre los procesos a aplicar y de los costes económicos asociados a la inversión y operación.

Encontrar soluciones adecuadas y adaptadas a la realidad local es el reto al que se enfrentan la gran mayoría de países en desarrollo.

El compostaje se presenta como una alternativa viable para una correcta gestión de RSU. Las tecnologías empleadas van desde las sencillas pilas de compostaje en sistemas abiertos hasta el empleo de reactores con aireación forzada y control automático de temperatura. Para garantizar el éxito del proceso, es necesario establecer las características de la materia orgánica a compostar, las mismas que dependerán, entre otras cosas, de su fuente origen y del tipo de recogida.

Este tratamiento es relativamente conocido en Ecuador. En años anteriores, en la provincia de Chimborazo se han implementado proyectos de compostaje, sobre todo utilizando residuos orgánicos de mercados, pero no han tenido el éxito esperado por diferentes causas, entre las que se puede destacar la falta de seguimiento técnico del proceso y la escasa comercialización del producto, lo que ha ocasionado el abandono del proyecto por problemas económicos.

La comercialización de los productos obtenidos, todavía tiene algunas deficiencias derivadas de la aceptación final del compost. En muchas ocasiones esta falta de aceptación se debe a la falta de calidad del producto final o simplemente a la desconfianza a la hora de utilizar un producto que no sufre una evaluación correcta de sus propiedades y en ocasiones no se especifican sus características (Moreno y Moral 2011).

Se define como compost a la materia orgánica que ha sido estabilizada hasta transformarse en un producto parecido a las sustancias húmicas del suelo, que está libre de patógenos y de semillas de malas hierbas, que no atrae insectos o vectores, que puede ser manejada y almacenada sin ocasionar molestias y que es beneficiosa para el suelo y el crecimiento de las plantas (Haug 1993). Esta definición destaca el hecho de que el compost tiene como finalidad su aplicación al suelo para proveerlo de materia orgánica estabilizada y que contiene los nutrientes necesarios para el crecimiento de los vegetales. Por lo tanto el término compost se debe aplicar sólo a productos aptos para su aplicación en el suelo.

Las inadecuadas prácticas agrícolas y el uso excesivo de agroquímicos, han provocado la pérdida de fertilidad de los suelos en muchas zonas de la provincia de Chimborazo. Con el fin de recuperar su fertilidad, los agricultores tienden a depositar residuos orgánicos de origen vegetal y animal directamente en los suelos, lo que agudiza los problemas ya existentes. La estabilización de estos residuos de forma previa a su aplicación mediante técnicas como las de compostaje, ayuda a disminuir los efectos negativos que la materia orgánica fresca de naturaleza residual puede ocasionar en el suelo” (Sánchez-Monedero et al., 2004).

En la presente investigación, se ha comprobado que los RSU de la provincia de Chimborazo presentan un alto porcentaje de materia orgánica, gran parte de ésta es biodegradable y presenta contenidos bajos de metales pesados. Estas características son ideales para realizar procesos de compostaje. Para esto se debe partir de materia orgánica libre de impropios por lo sería recomendable la separación de los residuos vegetales en los mercados y el almacenamiento temporal de los restos de poda de árboles, arbustos y vegetales en un centro de acopio. Además se debería contar con el

equipo mínimo indispensable para realizar un control permanente del proceso que permita obtener un producto de calidad. Por sus características físico-químicas, parte de estos residuos pueden compostarse sin necesidad de realizar mezclas, pero otros residuos podrían co-compostarse con el fin de mejorar sus características.

El compostaje, no solo permite obtener materia orgánica estabilizada apta para mejorar los suelos destinados a la agricultura, sino que permite desviar grandes cantidades de materia orgánica que de otra manera terminarían en el vertedero, con ello se disminuiría la emisión de gases efecto invernadero y la contaminación del suelo por la presencia de lixiviados mejorando la calidad de vida de los pobladores de las zonas aledañas.



5 CONCLUSIONES

- A pesar de los esfuerzos realizados por las autoridades municipales de los distintos cantones de la provincia de Chimborazo y en general del Ecuador, la gestión de los RSU sigue siendo deficiente. Aunque han habido mejoras en cuanto a la recolección de los residuos, persisten los problemas de una disposición final inadecuada. Varias son las razones para este comportamiento. En primer lugar, se cuenta con una Legislación nacional con vacíos; en cuanto a requisitos que deben cumplir los residuos destinados a vertedero, no hay una normativa que establezca el porcentaje permitido de residuos orgánicos presente en los RSU destinados a vertedero. La Ordenanza municipal del cantón Riobamba, no establece la recolección selectiva de los residuos, lo que dificulta su reciclaje y su posterior valorización. En otros casos, la normativa es clara pero se carece de mecanismos de control y sanciones. Además, no existe la sostenibilidad financiera para el manejo de los RSU; en la mayoría de cantones este servicio es subvencionado por los gobiernos locales. Debido a la presión social, muchos municipios han optado por abordar por su cuenta la realización de planes de manejo de los residuos, sin una planificación adecuada, lo que conlleva a duplicidad de esfuerzos y pérdida de recursos económicos.
- Se realizó la caracterización físico-química, química y biológica de la fracción orgánica de nueve muestras de RSU de la provincia de Chimborazo. Los resultados se han contrastado con los reportados en investigaciones similares y su análisis ha permitido determinar la opción de tratamiento y valorización más adecuada.
- Las muestras analizadas, incluyendo el lodo de la laguna de oxidación, presentan una buena cantidad de materia orgánica con alta biodegradabilidad y baja concentración de metales pesados. Estos residuos podrían ser sometidos a procesos de compostaje o co-compostaje, como una operación de aprovechamiento que permita, a más de obtener un abono orgánico apto para nutrir los suelos erosionados de la provincia, desviar grandes cantidades de materia orgánica destinadas a vertedero, con la consiguiente disminución de emisiones de gases efecto invernadero y el aumento de tiempo de vida útil de vertederos. Sin embargo, para lograr mejores resultados se debería controlar la presencia de impropios. Para ello sería necesario implementar sistemas de recolección selectiva de residuos orgánicos en los principales mercados de la provincia.

6 Bibliografía

- Abarca, L. (2005). Manejo de los desechos sólidos domiciliarios y hospitalarios. (E. T. Rica, Ed.) *Tecnología en marcha*, 18(2), 40-45.
- Adihari B.K., Barrington, S., Martinez J. and King, S. 2008. Characterization of food waste and bulking agents for composting. *Waste Management* 28: 795–804.
- Akinci, G.; Guven, E.D; Gok, G. (2012). Evaluation of waste management options and resource conservation potentials according to the waste characteristics and household income: A case study in Aegean Region, Turkey. *Resources conservation and recycling*, 58, 114-124.
- Amlinger F., Pollack, M. and E. Favoino . (2004). *ENVA2/ETU/2001/0024*. Obtenido de http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/hm_finalreport.pdf
- Barent, M.; Vedoya, D. (2005). *Universidad Nacional Del Nordeste*. Recuperado el 19 de junio de 2013, de <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-029.pdf>
- Bundela, P.S., Gautam, S. p., Pandey, A. K., Awashi, M. K. y S. Sarsaya. (2010). Municipal solid waste management in Idiam cities-A. *Journal of Enviromenttal Sciences*, 1(4): 591-606.
- Bustamante, M.A., Perez-Murcia, M.D., Paredes, C., Moral, R., Perez-Espinosa, A. and J. Moreno-Caselles. (2007). Short-term carbon and nitrogen mineralisation in soil amended with winery and distillery organic wastes. *Bioresource Technology*, 98, 3269–3277.
- Cunín, M. (7 de Septiembre de 2012). Tratamiento de aguas residuales. (J. J. S., Entrevistador) Chunchi, Ecuador.
- Díaz, L.F., Savage, G.M., Eggerth, L.L. and C.G. Golueke. (1993). *Composting and Recycling Municipal Solid Waste*. United States of America.: Lewis Publishers.
- Enciclopedia Virtual. (s.f.).
- Enciclopedia Virtual. Suelo y residuos. (s.f.). *Ambientum.com*. Recuperado el 24 de Julio de 2013, de <http://www.ambientum.com/enciclopedia/residuo/1.26.16.06r.htm>
- Espinosa Llorens, M. C., Lopez Torres, M., Alvarez, H., Pellón Arrechea, A., García, J.A., Díaz Aguirre S. and A. Fernández . (2008). Characterization of municipal solid waste from the main landfills of Havana city. *Waste Management*, 28, 201-203.
- EVAL. (2007).
- Farrell, M. y D.L. Jones. (2009). Critical Evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets. *Bioresour Technology*, 100(19):4301-4310.
- Frers, C. (Octubre de 2009). (E. Cid, Ed.) Recuperado el 13 de julio de 2013, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd51/frers.pdf>

- Friedrich, E. y C. Trois . (2011). Quantification of greenhouse gas emissions from waste management processes for municipalities – a comparative review focusing on Africa. *Waste Management*, 31:1585–96.
- Fundación Natura; REPAMAR-CEPIS-G.T.Z. (1998). Recuperado el 8 de Agosto de 2013, de <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/repamar/gtzproye/compost/compost.html>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo. (2011). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Chimborazo*. Recuperado el 21 de julio de 2013, de http://www.chimborazo.gob.ec/chimborazo/images/stories/doc_2012/1.%20%20PDOT%20Chimborazo.pdf
- Guendez, R., Kallithraka, S., Makris D.P. and P. Kefalas. (2005). Determination of low molecular weight polyphenolic constituents in grape (*Vitis vinifera* sp.) seed extracts: correlation with antiradical activity. *Food Chem*, 89, 1–9.
- Haug, R.T. (1993). *The practical handbook of compost engineering*. Lewis publisher.
- Higueras. (s.f.). *Universidad Castilla La Mancha*. Recuperado el 20 de julio de 2013, de http://www.uclm.es/users/higueras/mga/Tema06/Tema_06_Residuos_1.htm
- Hontoria, E., & Zamorano, M. (2000). Fundamentos del manejo de residuos urbanos. *Colegio de Ingenieros de Caminos; Canales y Puertos*, 756.
- Huerta-Pujol, O., Gallart, M., Soliva, M., Martínez-Farré, F. and M. López.. (2011). Effect of collection system on mineral content of biowaste. *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 1095-1099.
- INEC. (2010). Recuperado el 31 de julio de 2013, de Ecuador Estadístico Instituto Nacional de Estadística y Censos - Inec: http://www.inec.gob.ec/cpv/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=49&lang=es
- Jaramillo, G; Zapata, I. (2008). Recuperado el 11 de agosto de 20013, de <http://tesis.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>
- Karak, T.; Bhagat, R.; Bhattacharyya, P. 42(15). (2012). Municipal Solid Waste Generation, Composition, and Management: The World Scenario. *Environmental Science and Technology*, 42(15), 1509-1630.
- Kumar, S., Bhattacharyya, J.K.; Vaidya, A.N.; Chakrabarti, T.; Devotta, S. ; Akolkar, B. (2009). Assessment of the status of municipal solid waste management in metro cities, state capitals, class I cities, and class II towns in India: An insight. *Waste Management*, 29, 883–895.

- Kumar, S.; Bhattacharyya, J.K.; Vaidya, A.N., Chakrabarti, T., Devotta, S. and A.B. Akolkar. (s.f.).
- Lara, L. (1 de junio de 2013). Gestión de RSU Riobamba. (J. J. S, Entrevistador) Riobamba, Ecuador.
- Moreno, J., Moral, R. (2011). *Compostaje*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Morthup, R.R., Dahlgren R.A. and J.G McColl. (1998). Polyphenols as regulators of plant–litter–soil interactions in northern California’s pygmy forest: a positive feedback. *Biogeochemistry*, 42, 189–220.
- OPS OMS. (2002). *Análisis sectorial de residuos sólidos. Ecuador*.
- OPS OMS. (2005). *Informe de la Evaluación Regional de los servicios de Manejo de residuos Sólidos Municipales en América Latina y El Caribe*. Washington D.C.
- OPS, 2005. (s.f.). Recuperado el 12 de Julio de 2013, de http://www.bvsde.paho.org/curso_mrsm/e/fulltext/informe.pdf
- OPS; OMS. (12 de Abril de 2013). *SaludenlasAmericas*. Recuperado el 19 de Junio de 2013, de http://www.paho.org/SaludenlasAmericas/index.php?id=56&option=com_content
- Ordenanza Municipal Riobamba. (2011). *Ordenanza que regula la Gestión integral de los residuos sólidos del cantón Riobamba*. Municipio de Riobamba, Riobamba.
- Pascual, J.A., Ayuso, M., García, C. and T. Hernández. (1997). Characterization of urban wastes according to fertility and phytotoxicity parameters. *Waste Management and Research*, 15, 103-112.
- PDOT-GAPDCH. (2011). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Chimborazo*.
- PNGIDS. (2010). Recuperado el 25 de Febrero de 2013, de <http://www.accionecologica.org/images/stories/desechos/casos/ecuador.pdf>.
- Rabbani, K. R., Jindal, R. and H. Kubota. (1983). Composting of Domestic Refuse. *Environmental Sanitation Reviews*(10/11.).
- Recicla Chile. (Octubre de 2007). *Residuos Electrónicos. La nueva basura del siglo XXI. Una Amenaza Una Oportunidad*. (S. T. Dayne, Ed.) Recuperado el 20 de Julio de 2013, de http://www.maydaynetwork.cl/wp-content/uploads/2010/05/Residuos_electronicos-la-nueva-basura-del-siglo-XXI.pdf
- Richard, T.L. (1992). Municipal solid waste composting: physical and biological processing. *Biomass and Bioenergy*, 3, 163–180.
- Salati, S., Scaglia B., Di Gregorio, A., Carrera, A. and F. Adani . (20013). The use of the dynamic respiration index to predict the potential MSW-leachate impacts after short term mechanical biological treatment. *Bioresource Technology*, 128, 351–358.

- Sánchez Monedero, M. A., Mondini, C, de Nobili, M., Leita, L., y Roig, A.. (2004). Land application of biosolids, Soil reponse to different stabilization degree of the treated organic matter. *Waste Manage*, 24(, 325-332.
- Sbarato, D. (s.f.). *Aspectos generales RSU*. Argentina.
- Shekdar, AV. (2009.). Sustainable solid waste management: an integrated approach for Asian countries. *Waste Management*, 29, 1438–48.
- Sundaresan; A., Bhide. (1983). Solid Waste Management in Developing Countries. India. *Indian National Scientific Documentation Centre*, 222.
- Tello, P; Martínez, E; Daza, D; Soulier, M; Terraza, H. (2011). *Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina 2010 y el Caribe*. Recuperado el 31 de julio de 2013, de <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36466973>
- Thitame, S.N., Pondhe G.M. and D.C. Meshram. (2010). Characterisation and composition of municipal solid waste (MSW) generated in Sangamner city, District Ahmednagar, Maharashtra, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170 , 1-5.
- Torrecillas, C., Martínez-Sabater, E., Gálvez-Sola, L. Agulló, E., Pérez- Espinosa, A., Morales, J., Mayoral A. M. and R. Moral . (2013). Study of the organic fraction in biosolids. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44, 492-501.
- TULAS Libro VI Anexo VI. (s.f.). Recuperado el 20 de junio de 2013, de <http://www.recaiecuador.com/Biblioteca%20Ambiental%20Digital/TULAS.pdf/LIBRO%20VI%20Anexo%206.pdf>
- Weber, H. (1982). Experiences in building of compost plants in developing countries. In: *Recycling in developing Countries*. (K. Thome-Kozmiensky, Ed.) 163-168.
- Zhao, Y., Song, L., Huang, R., Song, L. and X. Li. (2007). Recycling of aged refuse from a closed landfill. *Waste Management & Research*, 25, 130–138.
- Zucconi, F., Pera, A., Forte, M. and M. de Bertoldi. (1981). Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle*, 22, 54-57.

7 ANEXOS

ANEXO 1. TÉCNICAS ANALÍTICAS

HUMEDAD

Se toma como humedad el porcentaje de agua con respecto a muestra húmeda, por diferencia de pesadas entre material húmedo y seco.

Se pesan de 5 g de muestra seca al aire y molida, en un pesa-sustancias de peso conocido. Se calienta a 105°C durante 12 horas. Se deja enfriar en desecador y se pesa. La pérdida de peso se da como humedad, expresando el resultado como porcentaje respecto a peso de muestra húmeda. Todos los demás datos que se obtengan, se corregirán con este valor, para referirlos a peso seco.

pH

El pH se mide sobre la suspensión acuosa obtenida por agitación mecánica durante 2 horas de la proporción 1:10, sólido/líquido. La medida se realiza con un pH-metro.

La determinación del pH se basa en la medida de la diferencia de potencial existente entre un electrodo de vidrio y el electrodo de referencia calomelanos (Hg_2Cl_2 (sat), $\text{KCl}(\text{xF})/\text{Hg}$) sumergidos en una misma disolución. Esta diferencia de potencial es función lineal de la actividad de los iones hidrógeno presentes en la muestra problema a una temperatura dada.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

Se determina sobre la suspensión acuosa obtenida por agitación mecánica durante 2 horas de la proporción 1:10, sólido/líquido, previamente centrifugada y filtrada, con un conductímetro con una célula conductimétrica.

La conductividad eléctrica de un extracto acuoso es la aptitud que presenta éste para transmitir la corriente eléctrica. La conductividad depende de la actividad e iones disueltos y de la temperatura a la que se realiza la medida. Para medir la conductividad se hace uso de un puente de Wheatstone y una célula de conductividad apropiada,

comparando a la misma temperatura, la resistencia eléctrica de la muestra y la de una disolución estándar de cloruro potásico.

MATERIA ORGÁNICA. Pérdida de peso por calcinación.

Se toma como "materia orgánica" la pérdida de peso por calcinación a 430°C. Se pesan de 1-3 g de muestra en un crisol de peso conocido. Se calcina por espacio de 24 horas a 430°C, se deja enfriar en desecador y se pesa. La pérdida de peso se expresa como porcentaje respecto a peso de muestra seca.

CARBONO ORGANICO TOTAL Y NITRÓGENO TOTAL

Se realiza quemando la muestra a 1020°C en un analizador elemental (Navarro y col. 1991). Como reactivos se utiliza una muestra sintética de C y N. Para ello se pesan de 0,1 a 0,15 g de muestra seca, con precisión de 0,0001 g, en una cápsula de estaño y se introduce en el analizador previamente calibrado con una muestra sintética de C y N.

CARBONO ORGÁNICO HIDROSOLUBLE

Extracción de la muestra con agua desionizada (Cegarra y col., 1974) en proporción 1:20, sólido/líquido. Se pesa 2 g de muestra y se añade 40 ml de agua desionizada. Se agita mecánicamente durante 2 horas y se centrifuga. El líquido sobrenadante se pasa a través de una malla de fibra sintética, para eliminar las partículas sólidas que pudieran quedar flotando. Se introducen 25 mL del extracto en viales y se procede a la medida del carbono, calibrando el analizador con Na_2CO_3 .

POLIFENOLES

Se determinan los polifenoles solubles presentes mediante extracción acuosa en relación 1:20 y determinación por medio de una modificación del método Folin (Beltrán y col., 1999).

Los reactivos empleados son: ácido gálico, reactivo Folin-Ciocalteu de fenoles (R.A.) y carbonato sódico 20 %

Se pesan 2 g del residuo seco y homogeneizado y se le añaden 40 mL de agua desionizada y se agita durante 2 horas. Después de la agitación, se centrifuga a 3000 rpm 5 minutos. El extracto obtenido se emplea para la determinación de los polifenoles solubles.

Curva patrón: Se pesan 1 g de ácido gálico y se llevan a 1 l con agua desionizada en matraz aforado. Esta disolución contiene 1000 ppm de ácido gálico. De esta disolución se toman exactamente 6 ml y se llevan a 100 ml con agua desionizada. Esta disolución contiene 60 ppm de ácido gálico. En matraces aforados de 50 ml se toman: 0, 1, 2, 3, 4 y 5 ml de la disolución anterior y se le adicionan 2,5 ml de reactivo Folin-Ciocalteu. Se agita para homogeneizar y después de 3 minutos, se añaden 5 ml de una solución acuosa de carbonato sódico al 20 %, se mueve para eliminar las burbujas generadas y se lleva a enrase con agua desionizada. Estas disoluciones contienen: 0 ; 1,2; 2,4; 3,6; 4,8 y 6 ppm de ácido gálico y se procede de igual forma que para las muestras problema.

Se toman 0,5 ml de disolución acuosa de polifenoles (un volumen mayor si hay pocos polifenoles) y 2,5 ml de reactivo Folin-Ciocalteu, se agita y después de 3 minutos se añaden 5 ml de Na₂CO₃ 20 %. Se lleva el volumen a 50 ml con agua desionizada, se mezcla todo bien y después de 1 hora de reposo se mide la absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 725 nm, calculándose la concentración de polifenoles respecto a la recta patrón.

ANIONES SOLUBLES

Extracción con agua desioniza la muestra y medida en un cromatógrafo iónico HPLC.

Como reactivos se utilizan: n-butanol, Acetonitrilo, Gluconato de sodio, Ácido bórico, Tetraborato de sodio, Glicerina, Cloruro de sodio, Nitrato de sodio, Sulfato de sodio, Dihidrogenofosfato de potássio. Como fase móvil: 32 mL de disolución borato/gluconato, 20 mL de n-butanol y 120 mL de acetonitrilo

Disolución de borato/gluconato: 4 g de gluconato de sodio, 4,5 g de ácido bórico, 6,24 g de tetraborato de sodio y 62,5 ml de glicerina enrasar a 500 mL con agua calidad HPLC.

Se realiza una extracción de la muestra con agua desionizada en la proporción 1:20, sólido/líquido. Se agita mecánicamente durante 2 horas, se centrifuga y se filtra a través de un sep-pack PLUS C18, para eliminar la materia orgánica soluble, y después se filtra con un filtro de nailon de 0,45 μm .

Se toman 100 μl de la muestra diluida en la proporción 1:10 con agua desionizada, calidad HPLC, y se inyecta en el cromatógrafo iónico, empleando como fase móvil la preparada con disolución gluconato/borato, n-butanol y acetonitrilo. El cromatógrafo previamente se calibra con disoluciones de NaCl, NaNO₃, Na₂SO₄ y KH₂PO₄ recientemente preparada que contenga las siguientes concentraciones de cada uno de estos iones:

Patrón	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
1	300	10	30	1
2	250	7	60	2
3	200	4	90	5
4	150	2	120	10
5	120	1,5	150	15
6	90	1	200	20
7	50	0,5	250	25
8	20	0,1	300	30

Para preparar estas disoluciones patrón se pesan 1,6485 g de NaCl, 1,3708 g de NaNO₃, 1,4790 g de Na₂SO₄ y 1,4328 g de KH₂PO₄ y se enrasan a 1 L con agua desionizada, calidad HPLC, en disoluciones individuales. Cada una de estas disoluciones contiene 1000 mg/L del anión correspondiente. Se preparó una disolución de 100 mg/L de NO₃⁻, para ello se tomaron 10mL de la disolución de 1000 mg/L y se enrasó a 100 mL con agua desionizada, calidad HPLC. A partir de las disoluciones concentradas anteriores se prepararon cada una de las disoluciones patrón de la tabla anterior operando de la siguiente manera:

Patrón	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	Agua desionizada (HPLC)	
mg/L	1000	100	1000	1000	1000	
1	30 mL		1 mL	3 mL	0,1 mL	Enrase a 100 mL
2	25 mL		0,7 mL	6 mL	0,2 mL	Enrase a 100 mL
3	20 mL		0,4 mL	9 mL	0,5 mL	Enrase a 100 mL
4	15 mL		0,2 mL	12 mL	1 mL	Enrase a 100 mL
5	12 mL		0,15 mL	15 mL	1,5 mL	Enrase a 100 mL
6	9 mL	1 mL		20 mL	2 mL	Enrase a 100 mL
7	5 mL	0,5 mL		25 mL	2,5 mL	Enrase a 100 mL
8	2 mL	0,1 mL		30 mL	3 mL	Enrase a 100 mL

FÓSFORO

Se determina por medida espectrofotométrica de la intensidad de coloración amarilla producida por el complejo fosfovanadato molibdato amónico (Kitson y Mellon, 1944), obtenida sobre una fracción del extracto de mineralización. Los reactivos empleados son:

Fosfato monopotásico

Reactivo A:

Molibdato amónico 100 g
 Hidróxido amónico (c) 10 ml
 Agua desionizada hasta 1 l

Reactivo B:

Metavanadato amónico 2,35 g
 Ácido nítrico (c) 7 ml
 Agua desionizada hasta 1 l

Reactivo C:

Reactivo (A) 100 ml
 Reactivo (B) 100 ml

Ácido nítrico.	97 ml
Agua desionizada	hasta 1 l

Curva patrón: se pesan exactamente 4,3937 g de fosfato monopotásico R.A. seco y se llevan hasta 1 l con agua desionizada en matraz aforado. Esta disolución contiene 1 mg de fósforo por ml. Se toman exactamente 10 ml de esta disolución y se llevan hasta 250 ml en matraz aforado con agua desionizada. Esta nueva disolución contiene 4 mg de fósforo por 100 ml.

En tubos de ensayo se ponen: 0, 1, 2, 3, 4 y 5 ml de la disolución anterior, se añaden 5, 4, 3, 2, 1 y 0 ml de agua desionizada respectivamente y se mezcla bien. Estas disoluciones son equivalentes a muestras de extracto que contengan: 0, 0,8, 1,6, 2,4, 3,2 y 4 mg de fósforo por 100 ml de extracto o bien 0, 8, 16, 24, 32 y 40 ppm de fósforo. Se agrega a cada uno de los tubos 5 ml de disolución de reactivo C y se mezclan bien. Se hace la lectura como se indica a continuación, para las muestras.

Determinación de fósforo: se toman 5 ml del extracto de mineralización de la muestra y se agregan 5 ml de la disolución del reactivo C, se mezcla bien y se deja en reposo durante 10 minutos. Pasado este tiempo, se mide la absorbancia frente a agua desionizada en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 460 nm.

DETERMINACIÓN DE SODIO, POTASIO, CALCIO, MANGANESO, HIERRO, COBRE, ZINC, NIQUEL, CROMO, CADMIO Y PLOMO

Estos elementos se midieron en disoluciones adecuadas del extracto de mineralización, mediante un espectrómetro de masas atómicas de plasma de acoplamiento inductivo.

Mineralización de la muestra:

Digestión nítrico-perclórica de las muestras según el método recomendado por Abrisqueta y Romero (1969). Los reactivos empleados son: Ácido nítrico concentrado ($d = 1,33$), Ácido perclórico 60 %, Ácido clorhídrico 0,5 N.

En un tubo de digestión de doble enrasede de 50 ml se pesa 0,5 g de muestra seca al aire y molida a través de una malla de 0,5 mm de luz, con una precisión de 0,0001 g. Se añaden 6 ml de mezcla nítrico-perclórica 2:1 y se deja macerar durante toda la noche. Se calienta a 150 °C durante 1 hora y a 210 °C durante 2 horas en bloque digestor. Las paredes y fondo se lavan con HCl 0,5 N hasta llevar el volumen a 50 ml y a continuación se filtra con papel lavado a los ácidos.

ÍNDICE DE GERMINACIÓN

Se determina a partir de los porcentajes de semillas germinadas y longitud de las raíces de semillas de *Lepidium sativum* L., incubadas sobre un extracto acuoso de compost (Zucconi y col., 1985).

Se humedece el material hasta alcanzar un 60% de humedad y se deja 30 minutos en reposo. Se añaden 13,5 ml de agua desionizada por gramo de muestra seca, para diluir el extracto anterior hasta el 10% y se filtra con un filtro de membrana celulósica de 0,45 µm de diámetro de poro, para limpiar el extracto.

Se añaden 1 mL del extracto acuoso en placas Petri de 10 cm de diámetro, cubiertas con papel de filtro y con 8 semillas de *Lepidium sativum* L., se hacen 10 repeticiones. Las semillas se incuban a 27°C durante 48 horas en la oscuridad. Transcurrido este tiempo, se añade 1 mL de etanol al 50 % para parar el crecimiento de las raíces. Se cuenta el número de semillas germinadas y se mide la longitud de las raíces por placa. Se expresan ambas en porcentaje respecto del control, hecho con agua desionizada.

Los resultados son expresados como índice de germinación (IG), el cual se obtiene al multiplicar el porcentaje de germinación (G) por el porcentaje de crecimiento de las raíces (L) y dividir por cien.

$$IG = (\%G) (\%L) / 100$$