



Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Planeación Urbana y Regional



“DESHIDRATACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN Y POR SECADO EN ESTUFA Y SU CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA COMO UNA ALTERNATIVA PARA LA GESTIÓN Y APROVECHAMIENTO DE ESTOS”.

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA:

BLANCA QUIROZ RAMÍREZ

DIRECTORAS DE TESIS:

MTRA. EN C. MARÍA DE LOURDES GARCÍA GONZÁLEZ

DRA. ROSA MARÍA SÁNCHEZ NÁJERA

Toluca de Lerdo, Estado de México. Marzo de 2015.

DEDICATORIA

*A mi madre,
por su lucha constante
y apoyarme en todo momento.*

*A mi padre,
por que a pesar de la lejanía
me ha respaldado.*

A mis hermanas,

*A mis abuelos
a quienes guardo con cariño y respeto.*

*A mi esposo e hija,
mi mayor inspiración.*

AGRADECIMIENTOS

A la M. en C. María de Lourdes García González por su amistad y por todo el gran apoyo brindado para poder concluir este trabajo.

A la Dra. Rosa María Sánchez Nájera por su asesoría en la presente tesis.

A los profesores que fungieron como revisores Dr. Eduardo Campos Medina y M. en C. E. Verónica Vilchis Esquivel, gracias por dedicar parte de su valioso tiempo y hacerme ver mis errores.

Al personal del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Dr. Pedro Ávila Pérez, Dr. Samuel Tejeda Vega, Dra. Graciela Zarazúa Ortega y Tec. Fernanda Astivia Segura, por permitirme trabajar en el laboratorio de Fluorescencia de Rayos X y por su valiosa asesoría en la preparación y análisis de muestras, muchas gracias.

A la Dra. Julieta Gertrudis Estrada Flores por el apoyo brindado en el análisis bromatológico de muestras.

A la Tec. Claudia Graciela Hernández Silva por que sin su gran ayuda, difícilmente esto hubiese sido posible; y a la Dra. María Alejandra Cervantes Arrazola, gracias a ambas por su amistad y por sus valiosos consejos.

A la Sra. Rafaela Escandón Bobadilla y Esmeralda Flores Escandón por su gran apoyo para poder lograr mi cometido.

A Clara Mayo Juárez por su amistad entrañable y ejemplo de que todo puede ser posible si se desea.

A mis compañeros de carrera, por los gratos momentos de convivencia que recuerdo con afecto.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	I
ÍNDICE DE TABLAS	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
INTRODUCCION	V
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	VI
JUSTIFICACION	VII
HIPOTESIS	VIII
OBJETIVOS	IX
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO SOBRE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	17
1.1 Definición de residuo	18
1.2 Clasificación de residuos sólidos	20
1.3 Composición de los residuos	21
1.4 Gestión de los residuos	22
1.4.1 Generación de residuos	23
1.4.2 Manejo de residuos sólidos	26
1.4.3 Experiencias exitosas en relación a la deshidratación de residuos sólidos	27
1.4.3.1 Experiencia internacional	27
1.4.3.2 Experiencia nacional	30
1.4.3.3 Experiencia local	31
1.5 Efectos que causa la presencia de residuos sólidos en el ambiente	32
1.5.1 Efectos en el suelo	34
1.5.2 Efectos en el agua	34
1.5.3 Efectos en el aire	35
1.5.4 Efectos visuales	36
1.5.5 Efectos a la salud	36
1.5.6 Efectos en la economía	37
1.6 Tratamientos y transformación de los residuos sólidos	38

1.6.1 Mecánicos.....	39
1.6.1.1 Reducción.....	39
1.6.1.2 Separación mecánica.....	40
1.6.2 Químicos.....	42
1.6.2.1 Incineración.....	42
1.6.2.2 Pirolisis.....	42
1.6.2.3 Gasificación.....	43
1.6.3 Biológicos.....	44
1.6.3.1 Aerobio.....	45
1.6.3.2 Anaerobio.....	46
1.7 Normatividad de los Residuos Sólidos Municipales.....	47
1.7.1 Normatividad a nivel nacional.....	47
1.7.2 Normatividad a nivel estatal.....	49
1.7.3 Normatividad a nivel municipal.....	50
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN Y DEL SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO.....	52
2.1 Proceso de liofilización.....	54
2.1.1 Congelación.....	56
2.1.2 Secado primario.....	58
2.1.3 Secado secundario.....	59
2.1.4 Control de proceso.....	60
2.2 Estufa de secado.....	60
CAPÍTULO 3. METODOLOGIA DE LA DESHIDRATACION DE RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS DOMESTICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACION Y SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO Y SU CARACTERIZACION BROMATOLOGICA.....	66
3.1 Selección de la zona de estudio.....	68
3.2 Aplicación de encuestas.....	69
3.3 Recolección de la muestra.....	70
3.4 Cuarteo.....	70
3.5 Preparación de las muestras de RSOD para la deshidratación por liofilización y secado en estufa.....	71

3.5.1	Disección de RSOD y obtención de lotes.....	71
3.5.2	Deshidratación de RSO por liofilización.....	72
3.5.3	Secado de RSO en estufa.....	73
3.5.4	Obtención de peso seco.....	74
3.6	Preparación de muestras de RSOD para el análisis elemental y la caracterización bromatológica.....	74
3.6.1	Molido.....	75
3.6.2	Tamizado.....	77
3.6.3	Pesado.....	77
3.6.4	Empastillado.....	78
3.6.5	Análisis elemental de RSOD por la técnica de Fluorescencia de Rayos X en Energía Dispersiva (EDXRF).....	78
3.7	Caracterización bromatológica de RSOD.....	80
CAPÍTULO 4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	81
4.1	Generación de RSOD en la localidad de San Pedro Atlapulco.....	83
4.1.1	Clasificación de RSOD generados en la localidad de San Pedro Atlapulco, Ocoyoacac, México.....	84
4.2	Deshidratación de RSOD por el proceso de liofilización.....	86
4.3	Deshidratación de residuos sólidos orgánicos domésticos mediante el secado en estufa.....	88
4.4	Comparación de la eficiencia de los procesos aplicados en la deshidratación de RSOD.....	89
4.5	Caracterización elemental y bromatológica de los RSOD.....	91
4.5.1	Análisis elemental de RSOD por la técnica de Fluorescencia de Rayos X en Energía Dispersiva (EDXRF).....	91
4.5.1.1	Análisis elemental de RSOD deshidratados por liofilización.....	92
4.5.1.2	Análisis elemental de RSOD secos en estufa de laboratorio.....	93
4.5.2	Caracterización bromatológica de los RSOD.....	97
4.5.2.1	Análisis de nitrógeno total y proteína de los RSOD deshidratados por liofilización.....	97
4.5.2.2	Análisis de nitrógeno total y proteína de los RSOD secos en estufa de laboratorio.....	98

CONCLUSIONES	100
RECOMENDACIONES	102
BIBLIOGRAFÍA	103
HEMEROGRAFIA	108
ANEXOS	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.6.2.2 Proceso de pirolisis.....	43
Figura 1.6.2.3 Disposición de una planta de gasificación.....	44
Figura 2.0 Diagrama de las fases que intervienen en el proceso de liofilización.....	54
Figura 3.0 Metodología para la deshidratación de RSOD por el proceso de liofilización y por secado en estufa de laboratorio y su análisis bromatológico”.....	68
Figura 3.1 Ubicación geográfica de la comunidad de San Pedro Atlapulco, Ocoyoacac, México.....	69
Figura 3.5.1 a) Disección de RSO.....	71
Figura 3.5.1 b) Realización de la técnica de cuarteo.....	71
Figura 3.5.1 c) Obtención lotes de RSOD.....	72
Figura 3.5.1 d) Pesado de los lotes de RSOD.....	72
Figura 3.5.2 Liofilizadora <i>CHRITS BETA 2-8 LD-2</i>	73
Figura 3.5.3 Estufa <i>Felisa</i>	73
Figura 3.5.4 Obtención de WS de RSO.....	74
Figura 3.6.1 a) Muestra de RSOD molida en mortero de ágata.....	75
Figura 3.6.1 b) Molino mecánico SPÉX 8000.....	75
Figura 3.6.1 c) Troquel Mixer con 10 esferas de acero inoxidable.....	76
Figura 3.6.1 d) Muestra finamente molida.....	76
Figura 3.6.1 e) Muestras de RSO ya molidos.....	76
Figura 3.6.2 a) Tamiz malla 100.....	77
Figura 3.6.2 b) Residuos de muestra.....	77
Figura 3.6.3 Pesado de muestra en la balanza analítica.....	77
Figura 3.6.4 a) Troquel Spex.....	78
Figura 3.6.4 b) Empastillado de las muestras en la prensa hidráulica CARVER.....	78
Figura 3.6.4 c) Contenedores especiales para EDFXR.....	78
Figura 3.6.5 Equipo de medición para la técnica de Fluorescencia de Rayos X en Energía Dispersiva.....	79

Figura 4.1.1 Gráfica que representa el porcentaje en peso de la producción de RSOD en Atlapulco.....	85
Figura 4.2 Comparación de wh y ws de RSOD liofilizadas y el porcentaje de humedad perdida en el proceso.....	87
Figura 4.3 Comparación de wh y ws de RSOD secas en estufa y el porcentaje de humedad perdida en el proceso.....	89
Figura 4.4 a) Peso de RSOD deshidratados.....	90
Figura 4.4 b) Porcentaje de humedad perdida en el proceso de liofilización como en el secado en estufa.....	91
Figura 4.5.1.1 a) Elementos con mayor concentración en las muestras de RSOD liofilizados.....	92
Figura 4.5.1.1 b) Elementos con menor concentración en las muestras de RSOD liofilizados.....	93
Figura 4.5.1.2 a) Elementos con mayor concentración en muestras de RSOD secos en estufa.....	94
Figura 4.5.1.2 b) Elementos con menor concentración en muestras de RSOD secos en estufa.....	94
Figura 4.5.2.2 Grafica sobre el análisis de N ₂ total y proteínas en RSOD deshidratados por liofilización y por secado en estufa.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.6.1.2 Técnicas de separación mecánica de residuos sólidos.....	41
Tabla 2.2 Relación de temperatura y tiempo al que se someten los materiales para su secado o esterilización.....	65
Tabla 4.1 Generación de RSOD en la localidad de San Pedro Atlapulco, Ocoyoacac, México.....	83
Tabla 4.1.1 Clasificación de los RSOD en la comunidad de San Pedro Atlapulco.....	84
Tabla 4.2 Deshidratación por liofilización de RSOD y las variables que interfieren en este proceso.....	88
Tabla 4.5.1.2 a) Comparación de concentración de macroelementos en muestras liofilizadas (ROL) y las secas en estufa (ROE).....	95
Tabla 4.5.1.2 b) Comparación de concentración de microelementos en muestras liofilizadas y las secas en estufa.....	96
Tabla 4.5.2.1 Porcentaje de N ₂ total y proteína de RSOD deshidratados por liofilización.....	98

RESUMEN

La importancia del aprovechamiento de los residuos orgánicos comienza a adquirir una mayor dimensión por el acelerado crecimiento urbanístico y la necesidad de reutilizar materias primas desechadas. Los residuos sólidos orgánicos domésticos constituyen más del 50% del volumen total de desechos generados por hogar, por tal motivo es primordial buscar una salida integral que contribuya al manejo adecuado, potenciando los productos finales de éstos procesos y minimizando un gran número de impactos ambientales que conlleven a la sostenibilidad de los recursos naturales. Este trabajo contempló la reducción de residuos sólidos orgánicos de origen doméstico de la localidad de San Pedro Atlapulco, Ocoyoacac, México, por medio de dos procesos de deshidratación a partir del método de liofilización y por secado en estufa de laboratorio.

En éste trabajo se agrupa información relevante acerca del tema, iniciando con la definición y clasificación de los residuos, pasando por la generación y tipos de aprovechamiento, la normatividad en cuanto a disposición de residuos sólidos municipales, los fundamentos teóricos de cada uno de los procesos de secado, la metodología llevada a cabo de ambos procesos y finalizando con el análisis elemental y bromatológico, concluyendo así con la exposición de las ventajas y desventajas de dicho trabajo.

Palabras Clave: Disminución de volumen, disminución de espacios y contaminación gradual.

ABSTRACT

The importance of proficiency of the organic wastes starts to acquire a greater dimension for the fast urbanism increment and the necessity of recycle primaries matters wasted. The organic solid domestics wastes constitute more of 50% that total volume of wastes generated for home, for such motive is important to search an integral exit that to contribute to adequate management, potentiating the final products for this process and minimizing a great number of environmental impacts that to get along with sustainability of natural resources. This work is integrated the reduction of solid organic wastes of domestic origin of San Pedro Atlapulco community, Ocoyoacac, México, by way two process of dehydration to start of freeze dryer and dryer in laboratory stove.

In this work is group relevant information about of theme, initiating whit definition and classification of wastes, passing for the generation and tips of profit, the statutes in relation whit the disposition of municipal solid wastes, the theorists fundamentals of each one of dryer process, the methodology carried of both process and finally whit the elemental and bromatology analysis, concluding whit the exposition of advantages and disadvantages of said work.

Key Words: Diminution volume, space diminution and gradual pollution.

INTRODUCCIÓN

México, al igual que muchos países en el mundo, enfrenta grandes retos en el manejo integral de sus residuos sólidos municipales (RSM). Esto debido, principalmente, al elevado índice de crecimiento demográfico e industrial del país, el cambio de hábitos de consumo de la población, la elevación de los niveles de bienestar y la tendencia a abandonar las zonas rurales para concentrarse en los centros urbanos.

Existen graves daños provocados al ambiente por el manejo inadecuado de los residuos sólidos municipales (RSM), entendiendo manejo como las diferentes fases del ciclo de vida de los residuos desde que se generan, almacenan, transportan, tratan y disponen en algún sitio. Tal situación se debe a que por mucho tiempo en México, el control sobre los RSM ha sido inadecuado y aun no se logra (en todo el territorio nacional), la incorporación de técnicas modernas, baratas y efectivas de administración, para la solución de este problema (SEMARNAT, 2001).

Por lo tanto, el presente documento presenta una alternativa al manejo de residuos sólidos municipales especialmente de los orgánicos para lo que se busca darles un uso, antes de solo depositarlos en lugares controlados o bien a cielo abierto, esto, a partir de su deshidratación estudiando la eficiencia de dos métodos, uno a partir del proceso de liofilización y otro por secado en estufa de laboratorio, además de presentar su análisis

bromatológico para saber si aun conservan los nutrientes que tenían antes de someterse a estos procesos, como se muestra mas adelante.

Asimismo, el documento se divide en cuatro capítulos: en el primer capítulo se presenta el marco conceptual, jurídico y metodológico de la generación de los residuos sólidos municipales; en el segundo capítulo se explican los fundamentos sobre la deshidratación por el proceso de liofilización y por secado convencional; en el tercer capítulo se muestra la metodología de la deshidratación de residuos sólidos orgánicos por el proceso de liofilización y por secado convencional y posteriormente el análisis bromatológico, y finalmente en el cuarto capítulo se presenta el análisis de resultados de la serie de procesos realizados en capítulo anterior.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas el crecimiento acelerado de las ciudades, ha generado que el volumen de residuos sólidos alcance tales niveles, por lo que en la actualidad se plantea seriamente el problema de la recolección y eliminación de los residuos urbanos. Ya no bastan los sistemas practicados tradicionalmente como: dejarlos a cielo abierto, enterrarlos o verterlos al mar. Hoy el problema de su recolección y eliminación no solo representa elevados costos para la sociedad, sino que constituye además, una de las formas de deterioro del medio ambiente.

Entonces la cuestión es ¿cómo recoger tanta basura? y sobre todo, donde y como depositarla sin deteriorar el entorno. Estos son algunos problemas de la vida moderna, los vertederos han comenzado a colapsar y los residuos se han transformado en un problema

de difícil solución, junto con la presión de los ciudadanos que habitan en sus cercanías. El problema existe y se agrava año con año.

Por otro lado, para resolver el problema de los residuos orgánicos, lo cual representa más del 50% del total de los residuos generados, a pesar de las alternativas biológicas conocidas en nuestro país, es necesario proponer otras formas de manejar adecuadamente estos residuos, las cuales, contribuirán a mitigar en gran medida esta problemática y dar un valor agregado a los mismos.

El municipio de Ocoyoacac no es ajeno a esta problemática, ya que en las últimas décadas ha presentado un crecimiento poblacional de 49,643 habitantes en el año 2000 a 58,636 habitantes para el 2009 (PDUO, 2010), aunado a la modificación de los patrones de consumo, factores que han promovido el incremento en la producción de los residuos municipales y dificultado su gestión.

En este sentido nace la propuesta de comparar dos métodos de deshidratación de los residuos sólidos orgánicos en la localidad de San Pedro Atlapulco, municipio de Ocoyoacac.

JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales problemas que aquejan a la vida moderna en su entorno ambiental y que dificultan la calidad de vida de la población, tiene que ver con los grandes volúmenes de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que se generan diariamente en el país, debido al escaso o nulo tratamiento que reciben para la gestión de los mismos, por los

diferentes ordenes de gobierno (federal, estatal y municipal). A si mismo, el volumen de RSU que se reciclan en el país, son apenas 2.4% del volumen total que corresponde a los inorgánicos, sin embargo, el volumen mayor de todos los residuos corresponde a los orgánicos que son aproximadamente el 50%, los cuales son confinados sin ningún tratamiento (SEDESOL, 2005).

De acuerdo a Torres (1995), en la entidad, la carencia de sitios adecuados para la disposición final de los residuos sólidos (orgánicos e inorgánicos) tanto municipales (domésticos, de comercios, mercados) como industriales provoca la existencia de tiraderos clandestinos en la mayor parte del territorio, lo cual propicia la contaminación del suelo, mantos freáticos y la atmósfera, por lo que existen en la actualidad aproximadamente 280 hectáreas de tiraderos sin control.

En este sentido la OCDE (2001) señala que aunque los residuos sólidos municipales (RSM) son tan sólo una parte de los residuos generados, por su importancia consumen alrededor de la tercera parte de los recursos invertidos por el sector público para abatir y controlar la contaminación.

En este contexto, surge la propuesta de deshidratar los residuos sólidos orgánicos domésticos mediante la comparación de dos métodos, de liofilización y secado en estufa para su caracterización bromatológica como una alternativa para la gestión y aprovechamiento de estos.

HIPOTESIS

El método de deshidratación de residuos sólidos orgánicos urbanos por liofilización es más eficiente en cuanto a la pérdida de humedad y permite conservar las propiedades bromatológicas en comparación con el secado en estufa, lo cual se puede considerarse como una alternativa para la gestión y aprovechamiento de estos.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Comparar dos métodos de deshidratación de residuos sólidos orgánicos domésticos por liofilización y secado en estufa y su caracterización bromatológica como una alternativa para la gestión y aprovechamiento de estos.

Objetivos Específicos

- Construcción del marco referencial sobre el manejo de los residuos sólidos orgánicos domésticos y su aplicación.
- Deshidratación de residuos sólidos orgánicos domésticos mediante el proceso de liofilización y secado en estufa.
- Realizar la caracterización bromatológica de los residuos sólidos orgánicos domésticos deshidratados por el proceso de liofilización y por secado en estufa.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO SOBRE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

El presente capítulo se integra de cuatro temas, el primero hace referencia a la generación de los residuos sólidos en general (orgánicos e inorgánicos), la cantidad de generación per cápita y el total que se genera de estos, a nivel nacional, estatal y municipal, así como el tipo de composición que presentan; en el segundo, se analizan las implicaciones en la salud de la población y del medio ambiente; en el tercero, se analizan las ventajas y desventajas de los diversos tipos de tratamientos que existen, y en el cuarto tema se mencionan los lineamientos de la legislación vigente en cuanto al manejo de los residuos sólidos municipales en los ámbitos federal, estatal y municipal.

1.1 Definición de residuo

Existen distintas definiciones aplicadas al término de residuo sólido (RS), las cuales a continuación se describen, pero todas coinciden en que se trata de un desecho producto de la actividad del hombre o animales, que ya no es considerado de utilidad por su poseedor y por lo cual es rechazado.

Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), 2014: menciona que “residuo” es cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.

Reglamento del Libro Cuarto del Código de Biodiversidad del Estado de México (RLCCBEM), 2006. “Residuo: Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven.

Ley General de Protección y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), 2003. “Residuo: material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final”.

AGENDA 21, 1992. “Los desechos sólidos [...] comprenden todos los residuos domésticos y los desechos no peligrosos, como los desechos comerciales e institucionales, las basuras de la calle y los escombros de la construcción.”

Tchobanoglous y otros, 1994, “Los residuos sólidos comprenden todos los residuos que provienen de actividades animales y humanas, que normalmente son sólidos y que son desechados como inútiles o superfluos.”

Reglamento del Libro Cuarto del Código de Biodiversidad del Estado de México (RLCCBEM), 2006. “Residuos Sólidos Urbanos: Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades

domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole”.

1.2 Clasificación de residuos sólidos

En el Reglamento del Libro Cuarto del Código de Biodiversidad del Estado de México CBEM (2006), se menciona la siguiente clasificación de residuos sólidos:

Artículo 18. Los sistemas de separación de residuos sólidos urbanos y de manejo especial podrán realizarla en tres diferentes categorías:

- I. Reciclables limpios y secos: Todos aquellos materiales de desecho que se pueden guardar limpios y secos, sin importar de que material sean.

- II. Orgánicos: Desechos biodegradables derivados de la preparación y consumo de alimentos y del mantenimiento de jardines, áreas verdes, corrales y huertas.

- III. Sucios, Tóxicos y Sanitarios: Desechos difíciles de manejar por estar sucios, ser tóxicos o provenir de sanitarios.

1.3 Composición de los residuos

Se entiende por composición, a la descripción de los componentes de los residuos y su distribución relativa, usualmente basada en porcentajes por peso. La información de los residuos sólidos es importante para evaluar las necesidades de equipo de los sistemas, programas y planes de gestión. No solamente es necesario conocer la cantidad de basura generada en las ciudades, sino también el análisis de la composición de los residuos sólidos es importante para hacer un manejo adecuado de ésta (SEDESOL, 2001).

Al igual que sucede con la cantidad de basura, a medida que las ciudades han desarrollado procesos industriales, la composición ha variado pasando de ser densa y completamente orgánica a ser voluminosa, parcialmente no biodegradable y con porcentajes crecientes de materiales tóxicos, lo que dificulta su manejo. Los porcentajes más altos e residuos los representan los alimentos, papel, cartón y los plásticos, junto con los residuos de jardín. Estas cantidades dejan de ver en claro que las posibilidades del reciclaje en las ciudades pueden ser amplias, sin embargo son pocos los casos en los cuales existe una selección y clasificación de subproductos controlada por lo que la alternativa de la comercialización organizada de estos subproductos es aun incipiente, prevaleciendo los sistemas de pepena en los sitios de disposición final, sin que las dependencias de limpia pública obtengan un beneficio de ello (SEDESOL, 2001).

1.4 Gestión de los residuos

La generación de residuos forma parte del proceso de Gestión de los Residuos, que puede resumirse en las siguientes etapas cíclicas:

- a) Generación.
- b) Manipulación, almacenamiento y procesamiento de origen.
- c) Recolección.
- d) Separación, almacenamiento, tratamiento y transformación.
- e) Transferencia y transporte.
- f) Disposición final segura.

El manejo de los residuos está presente como parte de las distintas actividades de las sociedades, es un problema complejo y de difícil solución; esta complejidad radica en las múltiples dimensiones que están involucradas y que comprenden desde aspectos institucionales, económicos, tecnológicos, ambientales, territoriales, sociales, políticos y culturales. Dicha complejidad, se enfrenta además a patrones de producción y consumo que tienden a privilegiar la generación cada vez mayor de residuos y cuyas causas principales son el proceso de crecimiento, las características físicas del país y la distribución de la población, el modelo de consumo de la sociedad y la existencia de deficiencias institucionales, reglamentarias, de fiscalización y gestión.

El hecho de generar diariamente cientos de toneladas de residuos sólidos urbanos, hace que este problema se observe con inmediatez, y no permita considerar aspectos tales

como minimización en la generación de residuos, desarrollo de nuevas alternativas para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos, participación social y revisión de la institucionalidad, en cuanto al manejo (SEDESOL, 2008).

1.4.1 Generación de residuos

La generación de residuos es una consecuencia directa de cualquier tipo de actividad desarrollada por el hombre; hace años un gran porcentaje de los residuos eran reutilizados en muy diversos usos, pero hoy en día nos encontramos en una sociedad de consumo que genera gran cantidad y variedad de residuos procedentes de un amplio abanico de actividades. En los hogares, oficinas, mercados, industrias, hospitales, etc. se producen residuos que es preciso recoger, tratar y eliminar adecuadamente, los cuales han originado en muchos casos la ruptura del equilibrio entre la biosfera del planeta y las actividades humanas (Esquivel, 2007).

Las cantidades generadas de residuos sólidos urbanos dependen fuertemente de la población existente, las actividades económicas del lugar, el nivel cultural y socioeconómico de la población. La generación y el manejo de residuos sólidos a nivel mundial están siendo en la actualidad uno de los principales problemas ambientales. Este problema se agudiza principalmente en los países en vías de desarrollo, debido al aumento poblacional de los centros urbanos y a la reducción de espacios para el confinamiento de estos residuos (López y otros, 2006), especialmente si se trata de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos generados que conlleva a otras problemáticas como dificultad para su recolección y el agotamiento rápido de la vida de los rellenos

sanitarios, por ello, la protección al medio ambiente se ha tornado durante los últimos cuarenta años, en una de las principales preocupaciones de los Gobiernos en sus diversos ámbitos (federal, estatal y municipal).

Hablando del caso particular de México, de 1992 a 2004, la generación total de residuos sólidos (orgánicos e inorgánicos) se incremento en un 57%, alcanzando 34.6 millones de toneladas en el ultimo año, dicho porcentaje esta relacionado con el crecimiento demográfico del país, pero también se debe a que la generación de residuos por habitante se ha multiplicado (pues la variación porcentual en la generación de residuos es mayor al incremento poblacional), siendo ya uno de los mas altos para América Latina y muy cerca del promedio de los países europeos. En México, como en la mayoría de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la generación de residuos se ha incrementado de manera lineal con el gasto en el consumo final privado y el producto interno bruto (PIB) (SEMARNAT, 2004).

Además del aumento en la cantidad de residuos generados en el país, la generación per cápita también se ha incrementado, pues de 1997 a la fecha dicha generación creció en un promedio de 4 kilogramos al año, alcanzando la cifra de 328 kilogramos por habitante en el 2004 (SEMARNAT, 2004), valor que, sin embargo, aun se encuentra por debajo del promedio de los países miembros de la OCDE, ya que de todo el mundo, México con sus mas de 30 millones 733 mil toneladas al año - 84 toneladas diarias - ocupa en el año 2000, el decimo lugar entre los países que mas basura generan en el mundo, Estados Unidos ocupa el primero (Mora, 2004).

De acuerdo con lo anterior, se puede decir que la problemática esta presente en casi todas las regiones del mundo, como en México, donde hay todavía mucho por hacer en relación con esta situación, pues tan solo a nivel estatal se observan diferencias muy marcadas en la generación de residuos sólidos, tal es el caso del Estado de México, Distrito Federal y Jalisco, que en el 2003 fueron los mayores generadores de residuos sólidos del país, mientras que Nayarit, Colima, Tlaxcala y Baja California Sur resultaron ser los estados que menor cantidad de residuos produjeron, por lo que la generación de basura guarda una relación directa con la contribución relativa de dicho estado al producto interno bruto nacional (SEMARNAT, 2004). Asimismo, los habitantes de estados muy urbanizados como el Distrito Federal, Nuevo León, Estado de México y Baja California Norte generaron en el año 2000 mas de un kilogramo de residuos (entre orgánicos e inorgánicos) diarios por persona, en contraste con lo que generaron en promedio los habitantes de otros estados menos urbanizados como Oaxaca, Chiapas, Hidalgo y Zacatecas cuya generación no rebaso los 650 gramos al día.

La misma situación se vive a nivel municipal en México, donde se observan ciertas características y hechos relevantes pues si bien, uno de los mayores retos que tiene el Estado de México es su alta tasa de crecimiento demográfico, la cual ha originado altas concentraciones de población en la zona conurbada con el Distrito Federal, y en la zona metropolitana de la ciudad de Toluca dando pie a la generación de severos problemas ecológicos que de acuerdo con Torres (1995), son principalmente los que se refieren a la sobreexplotación y contaminación del agua, contaminación del aire y la generación de residuos sólidos en grandes cantidades, lo que ha propiciado una mayor contaminación de los suelos, del agua y del aire, que durante los últimos años, han acentuado el

deterioro ambiental, haciendo necesaria la implementación de medidas, motivando que se establezcan normas y acciones eficaces que permitan contrarrestarlo.

En este sentido, Torres (1995) también señala que la población de la entidad (Estado de México) genera diariamente alrededor de 12,183 toneladas de residuos sólidos, efectuando en gran parte la disposición de estos residuos a cielo abierto, sin control y en sitios inadecuados, donde la superficie utilizada para la disposición final de residuos en el Estado, abarca una extensión de 400 hectáreas; 105 municipios cuentan con su propio sitio de disposición final y el resto requieren trasladar estos residuos a otros municipios o a otros estados del país, por lo tanto en municipios urbanos se colectan 8, 978 toneladas por día, mientras que en los municipios semirurales se recolectan 746 toneladas por día y en los municipios rurales 678 toneladas por día en promedio.

Por tal razón, el desafío que representa la gestión adecuada de los residuos sólidos municipales es una responsabilidad compartida entre los diferentes niveles de gobierno y la sociedad, lo que se refleja en las diversas iniciativas que se han instrumentado para su atención, tanto estatales como locales, así como de parte de los sectores público y privado.

1.4.2 Manejo de los residuos

A la fecha la mejor solución para la disposición final de los residuos sólidos municipales ha sido los rellenos sanitarios, sin embargo, hasta el 2001 muy pocas ciudades y municipios contaban con este tipo de instalaciones operando en condiciones sanitarias

adecuadas, pero de 1995 a la fecha su número se ha triplicado con el consecuente incremento en la capacidad instalada, así la cantidad de RSM que se depositaron en rellenos sanitarios se triplicó de 1995 al 2004, pasando de 5.9 a 18.3 millones de toneladas, que representaron 52% de los RSM generados en este último año, aunque el resto aun se deposita en rellenos de tierra controlados (11.5%) y no controlados (tiraderos a cielo abierto, 32.9%) de acuerdo con SEMARNAT (2001).

1.4.3 Experiencias exitosas en relación a la deshidratación de Residuos Sólidos

1.4.3.1 Experiencia internacional

Santa Clara, Cuba.

(González, 2004) El descenso brusco de la economía cubana en la década del 1990, acentuado por la crisis en el suministro energético, ha repercutido en mayor o menor grado en todos los sectores de la vida económica del país, generando profundos cambios en la producción y empleo de los materiales, las técnicas de construcción, y las tipologías arquitectónicas y constructivas. La política constructiva de viviendas ha priorizado utilizar en la construcción, materiales elaborados a partir del empleo de fuentes locales, descentralizadas y territorializadas, identificando los destinos prioritarios, con una reducción de la dependencia externa, creando e incluyendo la participación de la población tanto en la nueva construcción como en la rehabilitación, planteándose un nuevo enfoque en la construcción de viviendas, como un proceso ambientalmente sustentable, participativo y descentralizado.

La fabricación de cemento a escala mundial, reporta cerca del 2 % del consumo global de energía, básicamente en la combustión de las materias primas y la molienda del clinker, generando altos niveles de emisión de CO₂.

La existencia en Cuba de elevados potenciales de biomásas no utilizadas, debido a su limitada uniformidad y baja densidad, insta a desarrollar e implementar en la práctica soluciones alternativas de máxima prioridad, que valoricen dichos desechos renovables, de posible aplicación en la industria de los materiales de construcción, y particularmente en el campo de los aglomerantes. El presente trabajo analiza el bloque sólido, como un material bio-combustible obtenido de diferentes biomásas, con el objetivo de lograr un residuo puzolánico mejorado y aprovechar la energía generada de forma sostenible.

La fabricación del bloque sólido combustible empleando tecnologías apropiadas, permite obtener a partir de la quema de la biomasa-arcilla densificada, cenizas reactivas para fabricar un aglomerante cal puzolana mejorado, lo cual contribuirá a mejorar las propiedades físico-mecánicas y aplicaciones de estos residuos, a la vez que ratifica el perfil medio-ambiental del proceso, dentro de un marco de factibilidad económica. Se logra el desarrollo e implementación de la tecnología para la fabricación del Bloque Sólido Combustible, permitiendo la producción de puzolanas reactivas partir de desechos esencialmente de la industria azucarera, al ser sometida la biomasa densificada a una activación térmica. Esta tecnología es aplicable para el reciclaje de cualquier tipo de desecho orgánico de *base seca*, tales como los residuos agrícolas de cosechas y desechos forestales.

Para la metodología, la conformación del bloque sólido mediante una baja presión, empleó inicialmente la prensa CINVA-RAM, y más tarde el ensayo del Próctor para obtener una briqueta. En una segunda parte del trabajo, se utiliza la prensa manual, diseñada en el Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales. La prensa logra una presión de 2 - 8 MPa sobre la biomasa-arcilla previamente vertida en el molde. El bloque es secado, entre 3 y 15 días y transportado localmente, requiriendo cubrirse con una manta impermeable, para garantizar su conservación hasta su destino final.

Se conforma la briqueta cilíndrica, mediante impactos a diferentes capas colocadas en el molde. Una vez obtenida la briqueta, se evalúan sus características físico-mecánicas, y se somete al secado, para que al quemar constituya un combustible superior y logre residuos reactivos mejorados. Se emplean contenidos de 10,15 y 20% del aglomerante para presiones intermedias, en la presente investigación se establecen contenidos del 20 - 30%, teniendo en cuenta: características de las briquetas, forma y textura, constituyendo indicadores de calidad de las mismas, al lograr una briqueta superior, sin pérdidas significativas de peso. Se logra una briqueta adecuada desde el punto de vista de su forma, cohesión entre partículas pérdidas similar a los valores aceptados internacionalmente.

Al densificar la biomasa a alta presión, dependiendo de la biomasa y equipamiento, el contenido de humedad varía del 5 - 15 % del peso. A tales presiones una humedad alta puede causar roturas o grietas en la briqueta compactada al enfriarse, o producir explosiones durante el proceso.

En principio una vez conformado el bloque sólido y secado puede ser utilizado de forma práctica en la obtención de materiales de gran empleo en la construcción. Este bloque sólido quemado a 900 °C, garantiza cenizas reactivas que constituyen una puzolana de alta actividad, a la vez que se aumenta el volumen de cenizas, potenciando su empleo, en relación con los volúmenes obtenidos en incineradores del país.

1.4.3.2 Experiencia nacional

Cancún, Quintana Roo.

(Pérez, 2010) El ingeniero Fernando Acosta de la empresa Sistemas y Soluciones Ambientales, quien cuenta con una experiencia de 27 años de experiencia en el manejo de residuos sólidos urbanos, detalla paso a paso el proyecto instalado en un predio entre Cancún y Puerto Morelos donde se instaló una planta de residuos y el parque de tecnología. El proyecto de inversión consistió en la instalación de un parque de tecnologías para la selección y recuperación de desechos sólidos urbanos susceptibles de reciclaje y deshidratación por compactación final de residuos, donde el proceso de selección y aprovechamiento de la basura comienza en la descarga donde el camión vacía en la fosa de alimentación la basura que entra en un proceso de selección, la basura pasa por un tromel, que separa y abre las bolsas vaciando su contenido en esta criba rotativa, que separa parte de los residuos más pequeños, que pasan de nuevo por otro proceso.

En la cabina de selección principal, numerosos operarios seleccionan algunos materiales en contenedores específicos como papel, cartón aluminio, Polietileno Tereftalato (PET),

chatarra,

entre

otros.

Una vez seleccionados y empacados, los diferentes productos son transportados a empresas que los aprovechan como materia prima para crear nuevos artículos; los desechos orgánicos llegan a la zona de triturado y prensado, para restarles humedad y volumen, obteniendo pacas de alta densidad que serán acomodadas en el relleno sanitario seco y una vez colocadas las pacas en el relleno sanitario, se cubren con una capa de 20 centímetros de tierra con el fin de facilitar la fermentación de la materia orgánica y con este proceso reducimos espacio y lixiviados. Los desechos que no pueden triturarse pasan al área de triturado y compactado, para consolidarlos en pacas de densidad, desechados por la presión, en su mayoría son desechos orgánicos.

1.4.3.3 Experiencia local

México, Distrito Federal.

(Cruz, 2010) Un grupo de Investigadores del Instituto Politécnico Nacional, del CETIS 56 y del Colegio de Posgraduados de la Ciudad de México crearon un dispositivo para la deshidratación de basura orgánica llamado Reductor de basura orgánica por desecación solar magnificada producida en casa, con el cual las familias podrían reducir entre 30 y 70% el volumen de esos desechos y podrían aprovecharlos como abonos o sustratos para el suelo.

El dispositivo, que recibió de sus creadores el nombre de “Reductor de basura orgánica por desecación solar magnificada”, es parecido a una alacena con repisas, pero sus paredes están hechas con materiales traslúcidos, como el acrílico, los cuales tienen

espacios huecos que se rellenan con dióxido de carbono (CO₂), el cuál es un gas de efecto invernadero.

Una vez que se rellenan con CO₂ las cubiertas se arma el mueble reductor y que se colocan los materiales orgánicos dentro de las diferentes repisas del contenedor. Todo se mete por una puerta que al final queda sellada con imanes. Una vez cerrado el contenedor, se le expone al sol (en una azotea o una terraza). Al recibir la radiación solar, el gas aumenta la absorción de calor, como consecuencia se acelera el efecto invernadero y se hace más rápida la deshidratación y reducción del tamaño de la basura.

Los profesores e investigadores proponen al gobierno de la ciudad de México iniciar un programa de reducción de basura doméstica de carácter orgánico para que cada familia colabore reduciendo el volumen y peso de sus desechos orgánicos. “El uso de reductores de basura como el presentado es altamente recomendado en función de los resultados, además de darle un uso alternativo a las azoteas, el producto final de la reducción puede ser empleado como abono para las macetas, que se pueden colocar en las mismas azoteas, creando pulmones para la ciudad”, concluyeron.

1.5 Efectos que causa la generación de residuos sólidos en el ambiente

En los últimos 40 años se han generado los mas acelerados cambios en la historia de la humanidad, ya que entre 1950 a 1990 la población mundial paso de 2,515 a 5,292 millones de habitantes, lo cual presento un promedio de casi 70 millones por año de acuerdo con SEDESOL (1991). Este crecimiento demográfico estuvo asociado a una alta producción económica de bienes y servicios, producto entre otras cosas, de un alto proceso de desarrollo industrial. Estas cifras nos muestran además, que los hechos

ocurridos durante este periodo han producido un fuerte impacto en el ambiente con un consecuente costo ecológico-energético.

Entre los problemas ambientales mas serios se encuentra al aumento excesivo de residuos sólidos. En nuestro país es cada vez mas frecuente observar la acumulación de basura alrededor de ciudades, carreteras, caminos rurales y cuerpos de agua superficiales, a tal grado que se ha calculado que una persona contamina hasta 4 veces mas el ambiente por lo residuos que genera, que por las aguas negras que desecha.

En las ciudades de acuerdo con López y otros (2006), la basura lleva siendo un problema casi desde el origen de estas, debido a la alta densidad de la población y al hecho de arrojar la basura en las calles lo que provoca la proliferación de insectos, roedores y microorganismos patógenos, y si a eso se le agrega un mal sistema de gestión de la basura, el resultado viene siendo un deterioro y depreciación del entorno debido a la contaminación del aire, del agua y del suelo.

En el mismo sentido, fuera del lugar donde se generan los residuos (orgánicos e inorgánicos) estos pueden ocasionar un sin número de factores que determinan el desequilibrio donde son vertidos (López y otros, 2006), los cuales se mencionan a continuación.

1.5.1 Efectos en el suelo

De acuerdo con Acurio (1997), los residuos sólidos, dispuestos inadecuadamente sobre el suelo, constituirán factores de contaminación. Naturalmente la gravedad de esta situación

dependerá del tipo de residuo contaminado, si fuesen industrias químicas, llevarán hasta el suelo productos no deseados que podrían llegar hacia los diferentes cuerpos del agua, poniendo en peligro la salud de los habitantes como del ganado.

1.5.2 Efectos en el agua

El vertido de residuos es un factor potencial de contaminación de acuíferos. Es importante comprender su influencia en la calidad de las aguas subterráneas, sobre todo para poder aplicar métodos preventivos, ya que, en términos prácticos, la contaminación de una zona de un acuífero puede ser un proceso casi irreversible.

En general, los elementos y sustancias consideradas como tóxicas y peligrosas, no se suelen encontrar en las aguas subterráneas en condiciones naturales (salvo en contadas excepciones), sino en concentraciones muy pequeñas, no perjudiciales (Szanto, 1997).

La contaminación de cuerpos de agua o de consumo. Por descargarse directamente en ellos todo tipo de residuos o ser arrastrados por la lluvia sustancias contaminantes que se infiltran en el suelo hasta llegar al agua subterránea, como sucede con los vertederos donde los posibles contaminantes se amontonan en montículos o se expanden directamente sobre el terreno según Tarbuck y Lutgens (2005). Y cuando el agua de la lluvia se rebosa a través de las basuras, donde se disuelve una variedad de materiales orgánicos e inorgánicos. Si el material lixiviado alcanza el nivel freático, se mezcla con el agua subterránea y contamina el suministro de agua potable. Cuando en una captación de agua subterránea se detectan cantidades anómalas de alguna de estas sustancias y el

contexto geológico no es sospechoso, cabe suponer que ha sido la actividad humana la causante de dicha presencia.

1.5.3 Efectos en el aire

La quema simplemente de basura en depósitos a cielo abierto constituye una fuente de contaminación debido a la gran cantidad y variedad de compuestos volátiles y productos de la combustión que se liberan a la atmósfera. Estas quemas no controladas también son situaciones de peligro y riesgo de incendio. La quema constituye una práctica bastante habitual en diferentes países latinoamericanos (CEPIS-OPS, 1995), la emisión de contaminantes al aire libre, tanto al desprenderse sustancias volátiles contenidas en los residuos, como al generarse gases debido a la fermentación de los residuos orgánicos, o por el arrastre de los residuos de distinta índole cuando hay viento; a lo cual se suma la contaminación ocasionada cuando se incendian los basureros y durante semanas se emiten partículas y de todo tipo de sustancias tóxicas liberadas de procesos de combustión de distintos tipos de materiales.

1.5.4 Efectos visuales

Los depósitos de basura o residuos tirados al suelo en ciudades y sectores rurales, por su aspecto, generan gran impacto sobre el paisaje. Este sector se agrava en zonas urbanas, por la presencia de “pepenadores” que viven de estos residuos e incluso muchos viven en lugares donde se depositan los residuos urbanos (Vázquez, 2009).

Además los ciudadanos aportan a este impacto, lanzando a la calle diversos tipos de basuras principalmente envases y papeles. Esta conducta refleja bajo nivel de conciencia ambiental existente en la población, la que es transversal a todos los segmentos sociales.

1.5.5 Efectos a la salud

La magnitud de los efectos sobre la salud va a depender del tipo de manejo en todas las etapas del proceso de recolección y disposición final de los residuos, además de la vulnerabilidad de la población potencialmente expuesta, tales como niveles de pobreza, prevalencia de infecciones, estado nutricional, cercanías de estos al lugar de disposición final y del uso de implementos de protección personal de los trabajadores formales e informales (segregadores) que laboran en esta actividad (CONAMA, 1998).

Los problemas de salud originados por los residuos sólidos domiciliarios se deben principalmente a la *proliferación de vectores, malos olores, proliferación de microorganismos causantes de enfermedades infecciosas*, contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. A esto se le suma que de la mayoría de los países de América Latina, los residuos sólidos domiciliarios se están manejando conjuntamente con algunos residuos sólidos peligrosos o potencialmente peligrosos, tales como pilas y baterías, metales, aceites y grasas, plaguicidas, insecticidas, solventes, pinturas y tintes, medicamentos, aerosoles (Acurio, 1997).

Las enfermedades son de variado tipo y nivel de contagio, sin embargo es de considerar que dependen del contenido de los vertederos, como es su comportamiento físico químico

(si contiene residuos peligrosos, patológicos o combustibles), de la relación geográfica que tenga con el tamaño de la población (si esta cerca, lejos o alrededor) y si existen habitantes que vivan en el tiradero o practiquen la pepena (Organización Panamericana de la Salud OPS, 1996).

1.5.6 Efectos en la economía

En cuanto a costos, tan solo en el estado de México en el año 2000 el costo total estimado para la recolección de residuos sólidos se estimó en 2, 510, 454.10 pesos diarios, el costo estimado por recolección es de 166.27 pesos por tonelada recolectada (PEPGIRSU, 2007).

Para el caso de barrido se estima que se atiende el 42% de las vías y 74% de las plazas, se cuenta con un total de 3,540 trabajadores, el costo estimado por el barrido diario de vías y plazas es de 174 mil pesos.

Los municipios Tlalnepantla, Huixquilucan, Toluca y Chiconcuac cuentan con estación de transferencia, 853 toneladas diarias de residuos sólidos son transferidos, lo que representa el 24% del total de residuos generados en el Estado de México. El costo estimado diario por tonelada transferida es de 249.40 pesos.

Para el tratamiento de los residuos orgánicos se estima que en el Estado de México se tratan 23 Ton/día, obteniendo 11 Ton/día de composta. El costo diario por tonelada tratada es de 459.16 pesos, el tratamiento de residuos orgánicos que se da en el Estado de México es de tipo mecánico biológico (1 municipio) y composteo (11 municipios).

Para el caso de disposición final, el Estado de México cuenta con 9 rellenos sanitarios, 37 sitios controlados y 55 sitios no controlados en los cuales se estima un depósito diario de 11,310 toneladas. Los costos por disposición final son de 75.5 pesos por tonelada.

1.6 Tratamientos y transformación de residuos sólidos

Las técnicas de procesado se utilizan para mejorar la eficiencia de operaciones en sistemas de manejo de desechos sólidos, recuperar recursos (materiales utilizables), y recuperar productos de conversión y energía. Debido a que muchas técnicas, especialmente aquellas asociadas con la recuperación de materiales y energía, están en un estado de cambio continuo con respecto a los criterios de diseño. Sin embargo, se hace énfasis en que si estas técnicas van a ser consideradas en el desarrollo de sistemas de manejo de desechos, los datos de diseño ingenieril y de la eficiencia se deben obtener de registros de instalaciones en operación, pruebas de campo, fabricantes de equipo y de la literatura.

A continuación de una breve discusión de los principales propósitos del procesado, se describen cinco técnicas y el equipo involucrado en cada una de ellas. Estas técnicas son:

- 1) reducción mecánica del volumen (compactación),
- 2) reducción química del volumen (incineración),
- 3) reducción mecánica del tamaño (fragmentación),
- 4) separación de componentes (manual y mecánica), y
- 5) secado y deshidratación (reducción del contenido de humedad).

De estos, los primeros dos han sido usados en el procesamiento de desechos sólidos desde principios de siglo. Aunque se han usado extensamente en otros campos, las tres últimas técnicas no tienen una larga historia de aplicación en el procesamiento de desechos sólidos (Tchobanoglaus y otros, 1982).

1.6.1 Mecánicos

1.6.1.1 Reducción

Reducción del tamaño es el término aplicado a la conversión de los desechos sólidos en piezas más pequeñas a medida que son recolectados. El objetivo de la reducción de tamaño es obtener un producto final que es razonablemente uniforme y de tamaño considerablemente reducido en comparación con su forma original. Es importante anotar que la reducción de tamaño no implica necesariamente una reducción de volumen. En algunas situaciones, el volumen total del material después de reducir el tamaño puede ser mayor que el volumen original. En la práctica, los términos desmenuzar, moler y triturar son utilizados para describir operaciones de reducción de tamaño. (Tchobanoglaus y otros, 1982).

La reducción del volumen es un factor importante en el desarrollo y operación de casi todos los sistemas de manejo de desechos sólidos. En la mayoría de las ciudades, se utilizan vehículos equipados con mecanismos de compactación para la recolección de desechos sólidos. Para aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios, generalmente se compactan los desechos antes de cubrirlos; el papel para recirculación se embala para el

embarque a los centros de Procesado. Recientemente, se han desarrollado sistemas de compactación de alta presión para reducir las necesidades de rellenos sanitarios y producir materiales adecuados para usos alternos.

1.6.1.2 Separación mecánica

De acuerdo con Tchobanoglaus y otros (1982), la separación de componentes es una operación necesaria en la recuperación de desechos sólidos y donde van a ser recuperados de los desechos sólidos: energía y productos de conversión. La recuperación necesaria se puede realizar manual o mecánicamente. Cuando se usa la separación manual, no es necesario el procesado de los desechos; en la mayoría de las técnicas mecánicas, sin embargo, se requiere alguna reducción de tamaño como una primera etapa. La separación manual de componentes de desechos sólidos se puede llevar a cabo en la fuente donde se producen los desechos, o el sitio de disposición. El número y tipo de componentes recuperados o clasificados depende de la localidad y el mercado de reventa. Típicamente, los componentes incluyen papel periódico, aluminio y vidrio de procedencia residencial; cartón y papel de alta calidad, metales y madera de procedencia comercial e industrial; y metales, madera y objetos voluminosos de valor de estaciones de transferencia y sitios de disposición.

La separación mecánica, comprende otras formas para la separación de componentes de los residuos sólidos orgánicos, como se muestra en la Tabla 1.6.1.2.

Tabla 1.6.1.2 Técnicas de separación mecánica de residuos sólidos.

Técnica	Materiales involucrados	Procesado requerido	Observaciones
Separación en el origen Separación manual	Papel, metales ferrosos y no ferrosos, madera.	Ninguno	Usado para separar papel corrugado y de alta calidad, metales, y madera en comercios e industrias y periódico en residencias, económico y factible si los precios del mercado son adecuados.
Separación centralizada Sorteo y separación manual	Periódicos, papel corrugado	Ninguno	Puede ser una alternativa de separación en la fuente, dependiendo de los costos de la obra de mano.
Separación con aire	Materiales combustibles	Fragmentación	Usado para concentrar metales y vidrio en una fracción pesada, lo mismo que materiales combustibles en una fracción liviana.
Separación por inercia Tamizado	Materiales combustibles Vidrio	Fragmentación Ninguno o fragmentación, separación con aire	Igual que para separación con aire. Se puede usar antes de la fragmentación para remover vidrio y previa a la separación con aire por razones semejantes. Se puede usar para concentrar vidrio de la fracción pesada.
Flotación	Vidrio	Fragmentación, Sep. con aire	Control de polución del agua, puede ser costoso.
Distribución óptica	Vidrio	Fragmentación, separación con aire y tamizado	Como alternativa de la flotación para separar el vidrio de materiales opacos, usada para separar pedernal de vidrio coloreado.
Separación electrostática	Vidrio	Fragmentación, separación con aire, separación magnética y tamizado	Experimental.
Separación magnética	Material ferroso	Fragmentación o pasta	Probada en numerosas aplicaciones a escala completa.
Separación en medio pesado	Aluminio, otros metales ferrosos	Fragmentación, separación con aire	Se puede usar para separar un número de materiales ajustando la gravedad específica del medio; se necesitan unidades separadas para cada material a ser separado. Se necesitan unidades separadas para separar aluminio y otros metales no ferrosos.
Separación de inducción lineal	Aluminio, otros metales ferrosos.	Fragmentación, separación con aire, separación magnética y tamizado.	

Fuente: Recuperado de Tchobanoglaus y otros, 1982.

1.6.2 Químicos

Por otro lado, otro de los tipos de tratamiento de RSM es el **térmico o químico**, aunque es uno de los que genera mas controversias, pues se tiene la percepción de que este tratamiento impide que sean reciclados los materiales y que las emisiones son peligrosas para la salud y el ambiente. La conversión térmica puede llevarse al cabo de varias maneras de acuerdo con SEMARNAT (2001):

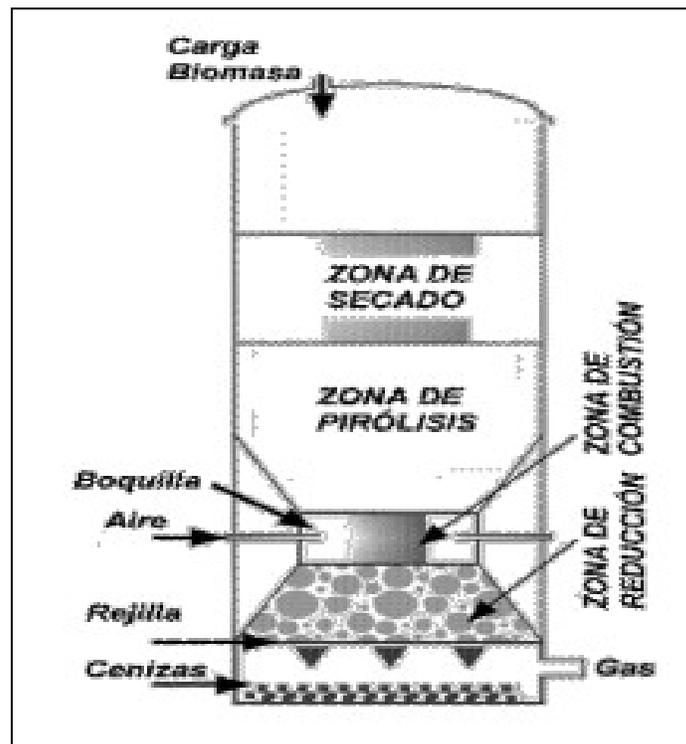
1.6.2.1 Incineración

Generalmente en este proceso hay una recuperación de energía, es un proceso exotérmico que involucra la descomposición de materia constituida a base de carbono, en gases y cenizas, en presencia de oxígeno (Vázquez, 2009).

1.6.2.2 Pirolisis

De acuerdo con Vázquez (2009), la pirolisis es la transformación térmica de residuos en ausencia total de oxígeno. Se obtiene como subproducto del proceso, compuestos sólidos, líquidos y gaseosos (VER Figura 1.6.2.2).

Figura 1.6.2.2 Proceso de pirolisis

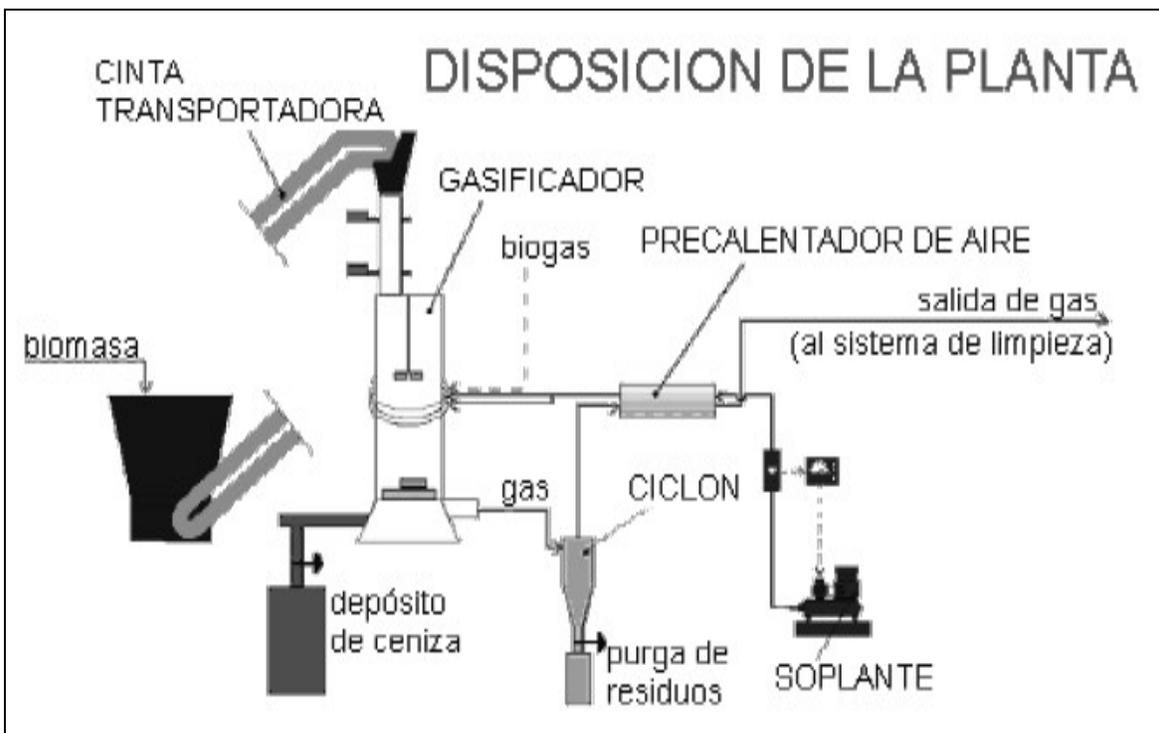


Fuente: Tomado de Vázquez, 2009.

1.6.2.3 Gasificación

Es un tratamiento que consiste en convertir un material sólido en gas combustible, mediante la combustión parcial de otro, con nula o poca presencia de aire u oxígeno, a temperaturas comprendidas entre 500 °C y 1000 °C (VER Figura 1.6.2.3) (Vázquez, 2009).

Figura 1.6.2.3 Diagrama del proceso de gasificación.



Fuente: Tomado de Vázquez, 2009.

1.6.3 Biológicos

Otro tratamiento más es el **biológico**, que de acuerdo con la SEMARNAT (2001), consiste en que los residuos orgánicos deben estar “húmedos”, como los alimentos o

residuos de jardín¹. Los dos métodos básicos dentro del tratamiento biológico para tratar los residuos orgánicos son el aerobio (en presencia de oxígeno) y el anaerobio (en ausencia de oxígeno).

1.6.3.1 Aerobio

El **compostaje** se lleva a cabo en condiciones aerobias, ya sea en el hogar (método más común) o en grandes plantas de compostaje (que en nuestro país aun no son muy comunes). Algunas de las ventajas del compostaje es su bajo costo y fácil de realizarse, además de obtener un subproducto útil para aplicarlo en jardinería; la desventaja radica en que no todas las viviendas cuentan con espacio suficiente para una composta, aun más cuando se habla de departamentos en las ciudades o un terreno, que la colonia o municipio no siempre destina para este trabajo.

Dentro de este tipo de tratamiento también puede mencionarse la vermicomposta donde se emplean lombrices de tierra. De acuerdo con Moreno (2005), la vermicomposta es un tipo de composta, en la cual cierto tipo de lombrices, e.g., *Eisenia foetida*, *Eisenia andrei*, *Lumbricus rubellus*, transforman los residuos orgánicos en un subproducto estable denominado “vermicomposta” o “*worm casting*”. Los residuos de la ganadería son una “fuente de alimento” común para las lombrices, aunque los residuos de los supermercados, los biosólidos (lodos de aguas negras), la pulpa de papel, y de la industria de la cerveza, también se han utilizado en el proceso de vermicomposteo.

¹ En la mayoría de países industrializados la fracción orgánica representa el 20% de los residuos orgánicos municipales, mientras que en países en vías de desarrollo la materia orgánica llega a exceder el 50% de estos (SEMARNAT, 2001).

La **VC** - lombricomposta o humus de lombriz - se genera en el tubo digestor de la lombriz, y de acuerdo al uso que se destine, se puede clasificar como: fertilizante orgánico, mejorador del suelo y medio de crecimiento (**MC**) para especies vegetales que se desarrollan en invernaderos (Moreno, 2005).

La vermicomposta se caracteriza por estar conformada por materiales finamente divididos como el *peat* con gran porosidad, aireación drenaje, capacidad de retención de humedad. Además presentan una gran área superficial, la cual le permite adsorber y retener fuertemente los elementos nutritivos, los cuales se encuentran en formas que son fácilmente asimilables para las plantas tales como los nitratos, el fósforo intercambiable, potasio, calcio y magnesio solubles (Moreno, 2005).

1.6.3.2 Anaerobio

La digestión anaerobia transforma la materia orgánica en una mezcla de 5% de biomasa y 95% de metano y anhídrido carbónico (llamado gas de digestión o biogás), susceptible de aprovechamiento y valorización económica (Rippon, 1982). La digestión anaerobia es también conocida como fermentación, gasificación o biometanización.

La biometanización se fundamenta en la oxidación biológica de la materia orgánica contenida en un residuo, gracias a la actuación de microorganismos específicos en ausencia de oxígeno molecular (Archana y otros, 1999). Como resultado de este proceso, la materia orgánica se transforma en productos finales estables e inertes, al mismo tiempo

que se genera gran desprendimiento de biogás (dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄)), fundamentalmente.

1.7 Normatividad de los residuos sólidos

Dentro de la legislación referente al manejo de los residuos sólidos urbanos se parte en primer lugar de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) (DOF, 2014), leyes y normas que se derivan de la Carta Magna y se particularizan a continuación.

1.7.1 Normatividad a Nivel Nacional

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos menciona en el artículo 115 la responsabilidad que confiere a los municipios de administrar y otorgar a la población la dotación y operación de servicios públicos. Aunque también considera en los artículos 4°, párrafo IV, artículos 25°, párrafo VI y artículo 27° como garantías individuales, en las que se tiene derecho de un ambiente adecuado para el desarrollo y bienestar individual y/o colectivo, por medios de equidad social y productividad (DOF, 2014).

Así mismo, como uno de los organismos de gobierno, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) tiene atribuciones a través de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) que es reglamentaria de las disposiciones de la CPEUM, refiere la preservación y restauración del equilibrio ecológico,

así como la protección al ambiente, en el territorio nacional y zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción (nivel federal, estatal y municipal).

Las disposiciones de la SEMARNAT son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y su jurisdicción es de orden federal con base en los lineamientos de la LGEEPA; dentro de la LGEEPA (DOF, 2014) en el apartado sobre delitos ambientales en el Capítulo IV dedicado a la prevención y control de contaminación del suelo, en el artículo 134, párrafo II y artículo 135, párrafo II, se mencionan los criterios de prevención y control de los residuos que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos, así como la operación de sistemas de limpia y disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios; de igual manera, el artículo 137 y artículo 138, hacen referencia a las decisiones que las autoridades municipales deberán tomar para cumplir con las normas oficiales mexicanas con relación a las etapas de recolección de residuos sólidos municipales; así como la promoción de acuerdos de la Secretaría sobre promoción y asesoría para los gobiernos estatales en relación con el manejo de residuos municipales.

De acuerdo a las disposiciones de los artículos 139 y 140 de la LGEEPA se hace referencia a las normas que dentro de sus disposiciones contemplan la protección de la contaminación del suelo como es el caso de la Norma Oficial Mexicana-083-SEMARNAT-2003, la cual es de orden obligatorio para los municipios y establecimientos privados, esta norma tiene especificaciones para la protección ambiental en cuanto a la selección del sitio, diseño, construcción, monitoreo, clausura y obras complementarias para la disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

1.7.2 Normatividad a Nivel Estatal

En cuanto al orden estatal, cada entidad de la República Mexicana cuenta con su propia ley para la protección del medio ambiente de acuerdo a las características propias (económicas, físicas, político-administrativas y sociales), como es el caso del Estado de México cuya base es la Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable (LPADS) (CD, 1998), las disposiciones de esta ley son de orden público e interés social y de observancia general en todo el territorio del Estado de México, tiene por objeto regular el ejercicio de las atribuciones que en materia ambiental corresponden a las autoridades estatales y municipales del Estado de México.

En esta ley (LPADS), particularmente en el Título V de protección al ambiente, Capítulo IV referente a la protección y Control de la Contaminación del suelo, en el artículo 98, párrafos I y II, se mencionan las disposiciones correspondientes a la prevención y control de la contaminación del suelo; así como las disposiciones que le corresponden al Estado de México, a sus municipios y a la sociedad en general, el prevenir y controlar la contaminación del suelo dentro del territorio de la entidad; también se menciona que los residuos sólidos deben ser controlados desde su origen, reduciendo y previniendo su generación, ubicando su generación, ya sea de fuentes industriales, municipales o domésticas, para lo que se establece que se deben incorporar técnicas y métodos para su reuso y reciclaje, así como para su manejo y disposición final. Además del artículo 102, párrafo II, que señala la prevención, restauración y control de la contaminación del suelo, regulado por autoridades estatales y municipales del Estado de México quienes se

encargarán de regular y vigilar que se lleve a cabo especialmente la separación de los residuos sólidos para facilitar su reuso y/o reciclaje.

1.7.3 Normatividad a Nivel Municipal

A nivel municipal también se cuenta con una serie de leyes y reglamentos como es el caso de la Ley Orgánica Municipal del Estado de México (LOMEM) (2008), la cual es de carácter público y dentro de sus atribuciones se encuentran las bases para la integración y organización del territorio, tomando en cuenta a la población, el gobierno y la administración pública de los municipios.

En dicha Ley se establece que el municipio es la base de la división territorial, así como la organización política del Estado, que cuenta con personalidad jurídica, que se integra por una comunidad establecida en un territorio, con un gobierno autónomo en su régimen interior y en la administración de su hacienda pública, como lo marca el Artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Dentro de las disposiciones de esta ley (LOMEM) en el Capítulo Séptimo referente a servicios públicos, solo menciona en su artículo 125, párrafo III en relación con los residuos sólidos, la limpia y disposición de desechos, sin especificar como se lleva a cabo o si hay programas para mejorar el servicio.

De la LOMEM se deriva el Bando Municipal que tiene como objeto el regular las normas de observancia general que requiera el gobierno y administración municipales.

En síntesis, México cuenta con una base normativa completa en cuanto al cuidado del medio ambiente, al menos en los niveles de gobierno federal y estatal, sin embargo, a nivel municipal, solo se concentra en actividades de barrido, limpia y de recolección de basura en las calles, sin enfatizar en un plan integral en donde se plantee como debe realizarse cada actividad, materiales que deben usarse, establecimiento de rutas para recolección de basura, contemplar reducción de costos entre otros. De las razones más comunes que se presentan como obstáculos para lograr un mejor entorno ambiental en algunos de los municipios en el Estado de México principalmente, son el corto periodo entre cada administración, falta de continuidad en los proyectos, bajo presupuesto en este rubro, inexperiencia del personal.

CAPÍTULO 2

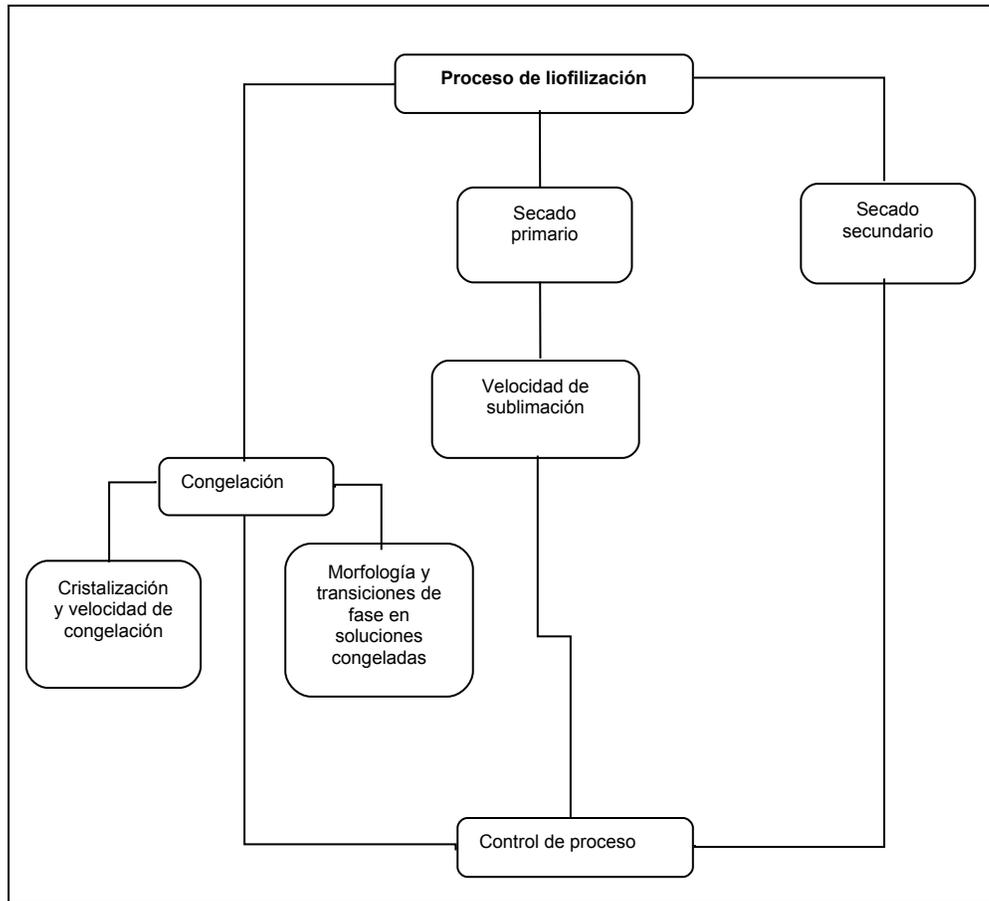
FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE LIOFILIZACION Y DEL SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO

El presente capítulo tiene como propósito describir los fundamentos de los procesos de liofilización y de la estufa de secado, las fases que intervienen en ellos, así como las reglas técnicas a tomar en cuenta para lograr óptimos resultados (VER Figura 2.0).

De tal manera que en este capítulo, se abordan los siguientes temas: el primero se refiere al principio del proceso de liofilización, del cual se desprenden a la vez cuatro incisos; el primero, se refiere al proceso de liofilización, en el cual se hace mención sobre la fase de congelación, en la que interviene la cristalización y velocidad de congelación; así como la aplicación de diagramas de fase, la morfología y transiciones de fase en soluciones congeladas; el segundo, hace referencia al secado primario en donde interviene la velocidad de sublimación; el tercero, se refiere al secado secundario; y finalmente, en el cuarto inciso se menciona como se lleva a cabo el control del proceso de la liofilización.

El segundo tema se refiere al principio de la estufa de secado, y del cual se desprende el inciso que hace referencia a los principios de operación de la estufas de laboratorio.

Figura 2.0 Fases que intervienen en el proceso de liofilización.



Fuente: Elaboración propia con base a las fases del proceso.

2.1 Proceso de liofilización

La liofilización o secado por sublimación es un proceso de secado, en el cual el agua es sublimada directamente de un material previamente congelado; es decir, el agua se extrae directamente del material orgánico con el que se este trabajando; con lo cual esta técnica se aplica cuando el producto en solución es químico, biológico y térmicamente inestable en las condiciones normales de almacenaje (Fernández, 1998), de tal modo que no todos los materiales son aptos para liofilizarse si así se desea.

De acuerdo con Orrego y Nieto (2000), la liofilización consiste en sacar agua a una sustancia, donde se congela una solución acuosa de la sustancia química que se desea liofilizar y, a esa baja temperatura que impide cambios químicos de deterioro, se le somete a un alto vacío el cual, hace pasar el agua del estado sólido al estado gaseoso, sin pasar por el estado líquido.

La liofilización es una forma de desecado en frío que sirve para conservar sin daño los más diversos materiales biológicos según Moreira (1991), en donde el producto se conserva con muy bajo peso y a temperatura ambiente y mantiene todas sus propiedades al rehidratarse. Durante el proceso, primero se congela el material y luego, el hielo se elimina por sublimación.

Generalmente, al liofilizar adecuadamente un material se puede almacenar por períodos muy largos con reducciones muy bajas de sus características organolépticas, físicas, químicas y biológicas, según Orrego y Nieto (2000).

Las ventajas de este proceso de acuerdo con Fernández (1998), son la relativa facilidad de procesar un líquido, la estabilidad mejorada de un polvo seco y, a menudo, la rápida disolución que ocurre después de la reconstitución (rehidratación) de la “pastilla” liofilizada, esto se refiere a que se conservan las características físicas, químicas y organolépticas del material una vez liofilizado, recuperando su forma cuando se le aplica una solución acuosa de nuevo.

Los problemas de estabilidad (en solución) pueden ser eliminados debido a que el producto existe solo un tiempo muy corto en solución acuosa y se seca sin exponerlo a temperaturas elevadas, por lo que no sufre alguna alteración violenta a la hora de secarse el material, pues al estar congelado, se succiona el agua en presencia de un alto vacío, así el efecto de deshidratación parece un efecto invisible cuando se observa la muestra dentro de la cámara del liofilizador.

En el mismo sentido, la liofilización exitosa depende del conocimiento acerca del comportamiento del producto y las condiciones de manufactura a usarse; de tal forma que cualquier aditivo, agente formador (relleno), o estabilizador, altera las características de congelación. Por lo tanto es necesario conocer el tipo de material con el que se desea trabajar para determinar las condiciones de liofilización a ser aplicado.

2.1.1 Congelación

Con base en Moreira (1991), durante el proceso de liofilización cada producto debe congelarse, de tal manera que garantice que sufrirá pocas alteraciones en el proceso posterior a la sublimación, para lo cual se busca que el producto ya congelado tenga una estructura sólida sin intersticios en los que haya líquido concentrado para propiciar que todo el secado ocurra por sublimación. En los productos se pueden obtener distintas mezclas de estructuras luego de la congelación que incluyen cristales de hielo, eutécticos, mezclas de eutécticos y zonas vítreas amorfas. Estas últimas son propiciadas por la presencia de azúcares, alcoholes, cetonas, aldehídos y ácidos, así mismo como por las altas concentraciones de sólidos en el producto inicial.

La congelación puede efectuarse de diferentes maneras, como se indica a continuación:

- a) Congelación rápida
- b) Enfriamiento muy rápido
- c) Introducción del tratamiento termal durante la congelación
- d) Congelación seriada (en capas)
- e) Congelación en esferas

De acuerdo a estas formas de congelación, depende emplear la más adecuada a las necesidades del estudio que se requiera hacer, ya que cada una puede provocar algún tipo de alteración en el material en estudio o bien varía en cuanto a su efectividad.

Cristalización y velocidad de congelación

Dentro de la liofilización, un factor importante a considerar antes de la etapa del secado primario, es el grado de cristalización del agua, la fracción del agua que cristaliza como hielo en el material. En el caso extremo, de acuerdo con Fernández (1998), cuando el grado de cristalización es cero, el producto no puede ser liofilizado realmente. En este caso la cristalización de agua meta estable puede ser inducida por tratamiento termal. Conforme los cristales de hielo van sublimando se van formando capilares en forma de largos hoyos en la masa congelada. La congelación contempla dos tipos: la *lenta*, en donde se producen cristales grandes, y la *rápida* donde se producen cristales pequeños.

Morfología y transiciones de fase en soluciones congeladas

De igual manera durante el proceso de liofilización, la importancia del polimorfismo en los procesos exitosos de liofilización esta probablemente comprendida. Fernández (1998), menciona que los conocimientos acerca del comportamiento polimórfico, sin embargo, son muy importantes, porque la entidad de un producto liofilizado (disolución y claridad al reconstituir), es fuertemente dependiente de la morfología obtenida. Los cambios estructurales al congelar, pueden afectar drásticamente las propiedades de disolución del producto liofilizado, ya que como se mencionaba anteriormente si el material presenta algunos intersticios donde se forma hielo o bien el material no se encuentra completamente congelado el proceso de liofilización presentara algunas dificultades y resultados inesperados en cuanto al secado por lo que la forma del material es importante si se le quiere someter a este proceso.

2.1.2 Secado primario

Durante el secado primario (sublimación), según Fernández (1998) el solvente (vapor) es extraído directamente del material (congelado). El secado empieza siempre por la parte superior del material congelado (cuando se trata de masa congelada esta en forma esférica u otra semejante), dicho en otras palabras, el proceso de secado como tal puede ocurrir o no a bajas presiones pero en tales condiciones es mucho más eficiente el proceso difusivo. El paso de hielo a vapor requiere gran cantidad de energía suministrada en alto vacío pues la interface de secado se mueve hacia el interior de la muestra y el

calor tiene que atravesar capas congeladas (sistemas liofilizados en bandeja, sin granular) o secas (en granulados), generándose un considerable riesgo de fusión del material intersticial o quemar la superficie del producto que ya está seco.

Velocidad de sublimación

La velocidad de sublimación (cambio de estado sólido a gaseoso) disminuye durante el proceso de liofilización, debido al aumento de grosor o espesor de la capa de material seco. Sin suministro adicional de calor, el proceso es altamente consumidor de tiempo. De este modo, es importante mantener la velocidad de sublimación, creando una gran diferencia de presión de vapor entre el producto y el comportamiento del condensador (Christs, 2002).

2.1.3 Secado secundario

Después del secado primario, la remoción de la humedad residual del material poroso, depende de la naturaleza del mismo material, la temperatura del producto y la presión de vapor. Si la cantidad de humedad residual disminuye un producto estable, aun después de liofilizar, el secado secundario es necesario, frecuentemente se elegirá una temperatura mas alta, la presión de la cabina tendera a ser mas baja, a diferencia del secado primario (Fernández, 1998). En esta fase ya hay poca presencia de humedad en el producto o material, pues la mayor parte de dicha humedad fue eliminada durante el secado primario por lo que para remover totalmente la humedad sobrante se necesitará aplicar más energía para lograr un alto vacío el cual asegure este objetivo.

2.1.4 Control del proceso

Durante esta fase solo se controlan las condiciones óptimas de la liofilización, como es la medición de la temperatura y de la presión durante el proceso, lo que resulta esencial para obtener una alta calidad del producto (Chrits, 2002). Básicamente puede interpretarse como los parámetros conocidos al preparar el equipo de liofilización al momento de someter a los analitos dependiendo de los requerimientos de estudio posteriores y dependiendo de las características físicas y químicas de cada material, es decir, es diferente liofilizar muestras de suelos a liofilizar muestras de tejidos, las condiciones son diferentes, es posible que la liofilización de suelos sea mas rápida que la de tejidos, por su condición de exceso de fibra y grasa.

2.2 Estufa de secado

La estufa de secado es un equipo que se utiliza para secar y esterilizar recipientes de vidrio y metal usados en exámenes o pruebas, que realiza en laboratorio y que proviene de la sección de lavado, donde se envía luego de ser usado en algún procedimiento. Se identifica también con el nombre *Horno de secado*. Los fabricantes han desarrollado básicamente dos tipos de estufa: las que operan mediante convección natural y las que operan mediante convección forzada. Las estufas operan, por lo general, entre la temperatura ambiente y los 350°C.

Existen en el mercado diferentes equipos para esterilizar y hornos, como se indica en la lista (d'ORS, 2014):

- Esterilizadores Poupinel: Es aplicado para la utilización rápida de instrumental diverso, quirúrgico, odontológico, etc.
- Estufas de secado y esterilización:
 - De secado:* Son utilizadas para todos los procesos de secado de diverso material de vidrio en general, circuitos impresos, gránulos y polvos, etc.
 - De esterilización:* Garantizan la destrucción de microorganismos, ya sean patógenos o no, que estén sobre material o dentro de él, Permiten la esterilización de sustancias en polvo y viscosas no volátiles. Para una buena esterilización en general se requiere una temperatura entre 160 °C y 180 °C con dos horas de exposición.
- Estufas de precisión universales: Se utiliza para ensayos bacteriológicos, procesos de secado y esterilización.
- Estufa para alta temperatura.
- Estufas para desecación al vacío: Fueron desarrolladas para aplicaciones de tratamientos térmicos y secado de productos sensibles de calor.
- Desecadores
- Estufas bacteriológicas y de cultivos: Diseñadas para trabajos en microorganismos o incubación de cultivos en diagnósticos clínicos, en industria sanitaria o alimenticia. Las muestras son conservadas a una temperatura y plazo de tiempo determinados.
- Estufas de baja temperatura de precisión: Tiene su aplicación en biotecnología, bacteriología, fracciones de plasma, biología, test enzimático, investigación,

estudios de serum, metrología, botánica, fitofarmacia, cosmética, análisis, industria, agricultura.

- Cámara de incubación
- Incubadora para cultivos CO₂: Es un elemento imprescindible en el laboratorio de investigación, biología celular, biología molecular, tipos de canceres y laboratorios farmacéuticos en general.
- Estufas refrigeradas
- Hornos de mufla

La esterilización que se efectúa en la estufa se denomina de calor seco y se realiza a 180 °C durante 2 horas: la cristalería, al ser calentada por aire a alta temperatura, absorbe la humedad y elimina la posibilidad de que se mantenga cualquier actividad biológica debido a las elevadas temperaturas y a los tiempos utilizados (d'Ors, 2014).

Principios de operación de la estufa de laboratorio

Las estufas de secado, constan por lo general de dos cámaras: una interna y otra externa (d'Ors, 2014). La interna se fabrica en aluminio o en material inoxidable, con muy buenas propiedades para transmitir el calor; consta de un conjunto de estantes o anaqueles fabricados en alambre de acero inoxidable, para que el aire circule libremente, allí se colocan elementos que requieren ser secados o esterilizados mediante calor seco. Se encuentra aislada de la cámara externa por un material aislante que mantiene internamente las condiciones de alta temperatura y retarda la transferencia de calor al exterior. La cámara externa esta fabricada con una película protectora de pintura

electrostática. El calor interno es generado mediante conjuntos de resistencias eléctricas, que transfieren la energía térmica a la cámara interna. Dichas resistencias se ubican en la parte inferior de la estufa. El calor de la cámara interna se transfiere y distribuye mediante convección natural o convección forzada (estufa con ventiladores internos).

La potencia –energía por unidad de tiempo- disipada por una resistencia eléctrica puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$P = I^2 R$$

dónde:

I= intensidad de la corriente eléctrica medida en Amperios [A]

R= resistencia eléctrica medida en ohmios [Ω]

Dado que la energía no se crea ni se destruye, sino se transforma, es posible calcular la energía térmica equivalente a los elementos resistivos. Para el caso de un alambre resistivo, la cantidad de calor [q] que disipa puede

$$FR = q\pi r_0^2 L$$

dónde:

R= resistencia del alambre resistivo

I = intensidad de la corriente eléctrica

r_0 = radio exterior del alambre

La resistencia [R] puede ser calculada con la siguiente ecuación:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

dónde:

ρ = resistividad del material de la resistencia

L = longitud del alambre de la resistencia

A = área de alambre de la resistencia

La estufa tiene una puerta metálica que también dispone de un aislamiento térmico y esta dotada de una manija fabricada igualmente de un material aislante, para evitar que el calor del interior llegue a ser una amenaza para las manos del operador. La puerta está instalada sobre la base frontal del cuerpo de la estufa, mediante un conjunto de bisagras que permiten su apertura logrando ángulos hasta de 180°. La estufa moderna se controla mediante un módulo de microprocesadores desde el cual es posible seleccionar los parámetros de operación del equipo y sus alarmas, y programar la realización de ciclos o procesos térmicos, mediante los cuales se controlan no solo las temperaturas sino también la forma como las mismas deben variar en el tiempo, a través de las fases o etapas de:

Calentamiento/enfriamiento -natural- o sostenimiento de la temperatura dentro de ciertos límites de tiempo. Las estufas operan normalmente desde condiciones de temperatura ambiente hasta los 350 °C (VER Tabla 2.2) (d'Ors, 2014).

Las estufas antiguas disponen simplemente de un conjunto de resistencias cuya operación es controlada mediante un termostato.

Tabla 2.2 Relación de temperatura y tiempo al que se someten los materiales para su secado o esterilización.

Temperatura °C	Tiempo (minutos)
180	30
170	60
160	120
150	150
140	180
121	360

Fuente: Recuperada de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/laboratorio/cap13.pdf>, 2014.

En este capítulo se describieron las características de las diferentes fases que intervienen en el proceso de liofilización, en donde se puntualizó en las ventajas que se pueden tener al aplicar dicha técnica y las desventajas que pueden surgir cuando por diversas situaciones no se cumple con los requerimientos mínimos del método, además tomar en cuenta los materiales que son aptos para liofilizarse.

Lo mismo sucede con la estufa de secado, aun cuando se puede encontrar infinidad de estufas y dispositivos como este en el mercado, cada uno cumple con una función, y sus características son diferentes. De forma similar hay materiales que pueden deshidratarse aun con altas temperaturas y otros que no, lo cual es un punto importante a considerar para el presente estudio.

CAPÍTULO 3

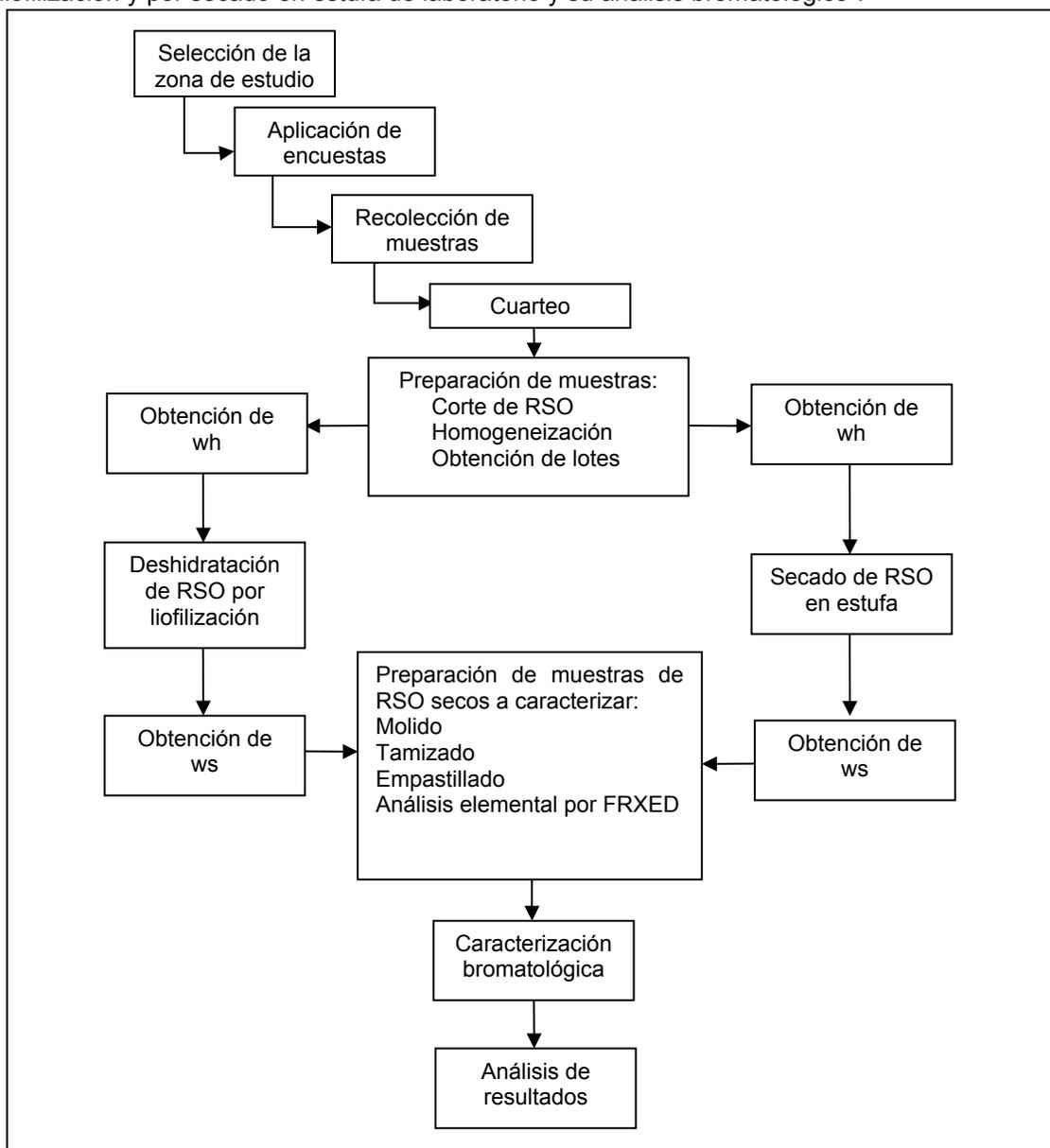
METODOLOGÍA DE LA DESHIDRATACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN Y POR SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO Y SU CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA

En este capítulo se muestran las etapas mediante las cuales, se llevó a cabo la deshidratación de residuos sólidos orgánicos domésticos por medio de los métodos de liofilización y por secado en estufa (VER Figura 3.0).

La preparación de las muestras y el proceso de liofilización, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, el cual está dedicado principalmente al estudio de contaminación ambiental por metales, perteneciente al Departamento de Estudios del Ambiente, de la Gerencia de Ciencias Ambientales, del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), ubicado en la localidad de Salazar, municipio de Ocoyoacac, Estado de México; todo el trabajo fue realizado bajo la supervisión del personal profesional y técnico que labora en esa área.

El análisis bromatológico de las muestras de residuos orgánicos se llevó a analizar al Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicado en la Unidad de San Cayetano, carretera Toluca - Atlacomulco, México.

Figura 3.0 Diagrama de la metodología para la deshidratación de RSOD por el proceso de liofilización y por secado en estufa de laboratorio y su análisis bromatológico”.



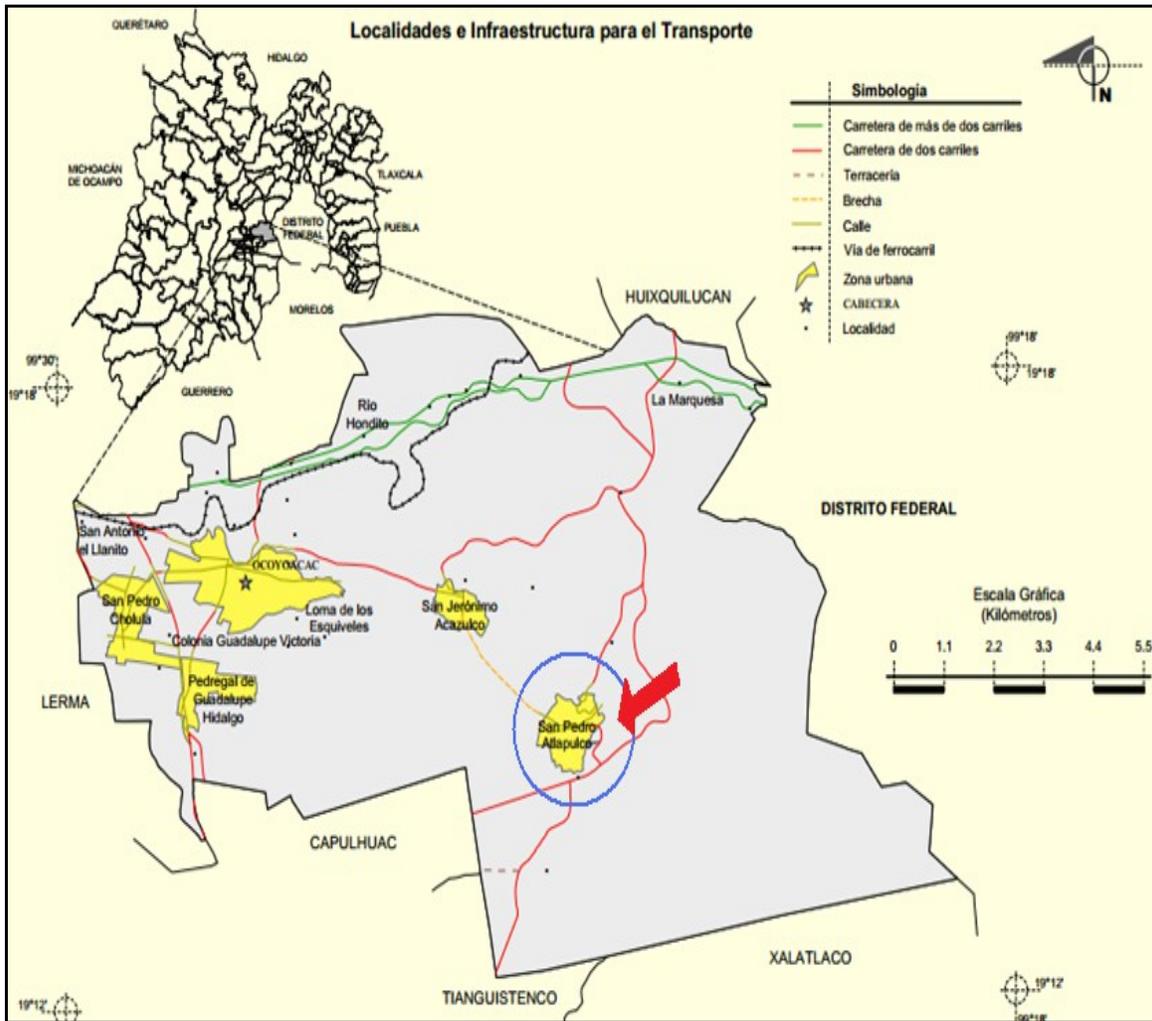
Fuente: Elaboración propia con base a los métodos de deshidratación.

3.1 Selección de la zona de estudio

Para la recolección representativa de la muestra, se consideró como zona de estudio a la localidad de San Pedro Atlapulco, Municipio de Ocoyoacac, Estado de México (VER Figura 3.1), la cual se encuentra situada entre las coordenadas 19° 15' latitud norte y 99° 24' longitud oeste, a una altura de 3, 250 msnm (INEGI, 2000). Dicha comunidad para el

2010, contaba con una población de 4, 288 habitantes aproximadamente, representando el 9.56 % de la población total del municipio de Ocoyoacac (SEDESOL, 2013).

Figura 3.1 Ubicación geográfica de la comunidad de San Pedro Atlapulco, Ocoyoacac, México.



Fuente: INEGI, 2000.

3.2 Aplicación de encuestas

Se aplicaron veinte encuestas a veinte familias de la comunidad de San Pedro Atlapulco con el fin de recabar información relevante sobre el tipo y cantidad de residuos orgánicos que generan al día y a la semana. Para ello se establecieron puntos estratégicamente

(VER Anexos 1, 2 y 3), con el fin considerar tanto la zona centro como los alrededores de esta localidad.

3.3 Recolección de la muestra

Con base en la zonificación realizada, se llevó a cabo el trabajo de campo (entre los días jueves y viernes), que consistió en buscar a las familias que desearan participar en este trabajo, para lo cual se les explicó el objetivo del mismo, así como la manera en que debían empezar a recolectar sus residuos orgánicos a partir del primer día (lunes) y hasta el último día (domingo) de la semana, poniendo aparte los que ya hubiesen acumulado los días sábado y domingo posteriores a la explicación que se les dio, para lo cual se les proporcionaron dos bolsas de 10 kg transparentes de polietileno, en las cuales almacenaron los residuos sólidos orgánicos y que posteriormente, se pasó a recolectar.

3.4 Cuarteo

Del total de RSOD generados de las familias participantes, se llevaron a mezclar en un espacio abierto y se procedió a realizar el método de cuarteo (NMX-AA-15-1985), con el fin de reducir el tamaño del total recolectado, con lo que se trabajó en el laboratorio.

Del primer cuarteo, se obtuvieron 52.5 kg en promedio de cada lote; del segundo, se obtuvo la cantidad promedio de 13.12 kg; y del tercer cuarteo se obtuvo una muestra promedio de 2 kg, la cual finalmente se apartó en una bolsa de plástico transparente y se llevó a preparar al laboratorio.

3.5 Preparación de las muestras de RSOD para la deshidratación por liofilización y secado en estufa

3.5.1 Disección de RSOD y obtención de lotes

Con la muestra obtenida del cuarteo, se comenzó por diseccionar a los RSOD en trozos pequeños, los cuales se mezclaron y extendieron en una charola de plástico, donde a partir de otro cuarteo (NMX-AA-15-1985), se obtuvieron los lotes o analitos (VER Figuras 3.5.1 a) y 3.5.1 b)).

Figura 3.5.1 a) Disección de RSO



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5.1 b) Realización de la técnica de cuarteo



Se obtuvieron veinte lotes derivado de dicha técnica, los cuales se fueron colocando en charolas medianas y se pesaron con el apoyo de una balanza granataria marca *OHAUS*, se determinó que cada lote debía pesar 100 g (VER Fotografías 3.5.1 c) y 3.5.1 d)).

Figura 3.5.1 c) Pesado de los lotes de RSOD



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5.1 d) Obtención de lotes de RSOD



El peso de 100 g se tomó como base para el posterior cálculo del porcentaje de humedad perdida, al finalizar el secado o deshidratación por ambos procesos. Una vez pesados cada uno de los lotes, se procedió a dispersar bien los residuos en los platos con el fin de tomar en cuenta las especificaciones del proceso de liofilización mencionados en el capítulo anterior.

3.5.2 Deshidratación de RSOD por el método de liofilización

Durante esta fase, se tomaron 10 lotes de RSOD, los cuales se llevaron a deshidratar en la liofilizadora marca *CHRITS BETA 2-8 LD-2* (VER Figura 3.5.2), para ello fue necesario preparar el equipo y se comenzó a trabajar en lapsos de cuatro horas al día, durante cuatro días.

Figura 3.5.2 Liofilizadora *CHRITS BETA 2-8 LD-2*



Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Secado de RSOD en estufa

Por otro lado, la serie de los 10 lotes restantes se introdujeron en la estufa (marca *Felisa*), a 75°C, permaneciendo allí solo durante un día y medio (VER Figura 3.5.3).

Figura 3.5.3 Estufa *Felisa*



Fuente: Elaboración propia.

3.5.4 Obtención de peso seco

Conforme se fueron secando las muestras de residuos orgánicos, se fue obteniendo también el peso en seco (WS) para calcular la cantidad de humedad perdida al someterlos a los procesos de liofilización y al secado convencional en estufa, como se observa en la Figura 3.5.4.

Figura 3.5.4 Obtención de peso seco de RSOD



Fuente: Elaboración propia

3.6 Preparación de muestras para el análisis elemental y para la caracterización bromatológica.

Para poder efectuar la caracterización bromatológica, se preparó la muestra con base en los requerimientos solicitados por el personal del laboratorio del ICAR, para lo cual se realizó el molido, tamizado y obtuvieron 10 g de cada una de las muestras.

3.6.1 Molido

Al término de los procesos de deshidratación por liofilización y secado de las muestras de RSOD en estufa, se molieron, utilizando un mortero de ágata (VER Figura 3.6.1 a)), hasta que se logró tener un polvo parcialmente fino. Por la textura de algunos de los materiales orgánicos, se dificultó el lograr tener un polvo fino, por lo que se usó un molino mecánico marca *SPEX Mixer (Mill 8000)* (VER Figura 3.6.1 b)).

Figura 3.6.1 a) Muestra de RSOD molida en mortero de ágata.



Figura 3.6.1 b) Molino mecánico SPÉX 8000.



Fuente: Elaboración propia de acuerdo con el procedimiento llevado a cabo.

Dentro del molino se adaptó un troquel de hierro inoxidable, en el que se introdujo cada muestra, con diez esferas de hierro como se observa en las Figuras 3.6.1 c) y 3.6.1 d). Cada una de las muestras se molió durante 15 minutos, con el cual se logró obtener un polvo fino similar al talco.

Figura 3.6.1 c) Troquel Mixer con 10 esferas de acero Inoxidable.



Figura 3.6.1 d) Muestra finamente molida



Fuente: Elaboración propia de acuerdo con el procedimiento llevado a cabo.

El material molido se depositó en pequeñas bolsas de plástico, se identificó cada una de ellas con la clave correspondiente de acuerdo al tipo de secado (liofilización o secado en estufa) (VER Figura 3.6.1 e)).

Figura 3.6.1 e) Muestras de RSO ya molidos



Fuente: Elaboración propia con base en el procedimiento efectuado

3.6.2 Tamizado

Posteriormente de molidas las muestras, se procedió a limpiarlas con un tamiz de plástico de malla 100 (VER Figura 3.6.2 a)). La muestra que no alcanzó a tamizarse se molió de nuevo (VER Figura 3.6.2 b)).

Figura 3.6.2 a) Tamiz malla 100



Figura 3.6.2 b) Residuos de muestra.



Fuente: Elaboración propia con base en el procedimiento que se llevo a cabo.

3.6.3 Pesado

Una vez tamizadas las muestras, se pesaron 10 g de cada una, empleando una balanza analítica marca *BEL ENGINEERING* como se muestra en la Figura 3.6.3.

Figura 3.6.3 Pesado de muestra en la balanza analítica.



Fuente: Elaboración propia

3.6.4 Empastillado

Para efectuar el análisis elemental, fue necesario elaborar pastillas para ello se utilizó un troquel de 3.5 cm de diámetro marca Spex (VER Figura 3.6.4 a)) y se prensaron 2 g por cada una de las muestras a 7 toneladas durante 2 minutos, en una prensa hidráulica marca CARVER (Figura 3.6.4 b)), las pastillas se colocaron en contenedores especiales para EDXRF (Figura 3.6.4 c)).

Figura 3.6.4 a) Troquel Spex



Fuente: Elaboración propia con base en el procedimiento efectuado.

Figura 3.6.4 b) Empastillado de las muestras en la prensa hidráulica CARVER.



Figura 3.6.4 c) Contenedores especiales para EDXRF



Fuente: Elaboración propia con base en el procedimiento efectuado.

3.6.5 Análisis elemental de RSOD por la técnica de Fluorescencia de Rayos X en Energía Dispersiva (EDXRF)

Para este trabajo se consideró llevar a cabo una primera caracterización a partir de la Técnica de Fluorescencia de Rayos X en Energía Dispersiva (EDXRF), con el fin de complementar la información en el presente trabajo.

Para el análisis por EDXRF, cada una de las pastillas se irradió con dos fuentes de plutonio (Pu^{238}) durante 1000 segundos. De inmediato se detectó la energía emitida por la muestra en el detector de Silicio-Litio (VER Figura 3.6.5).

Figura 3.6.5 Equipo de medición para la técnica de Fluorescencia de Rayos X en Energía Dispersiva.



Fuente: Donada por el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, ININ.

La semicuantificación de los metales se realizó por medio del programa SAX, por el método referencial por el cual se obtuvo el porcentaje de concentración de los elementos para cada una de las muestras.

3.7 Caracterización bromatológica de los RSOD

La caracterización bromatológica de los RSOD liofilizados y secos en estufa se envió a analizar al Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), por lo que únicamente en el próximo capítulo se muestran los resultados emitidos por dicha institución

De las veinte muestras que se obtuvieron, únicamente se enviaron a analizar cinco por cada tipo de método de secado, pues la cantidad fue insuficiente para poder realizar el análisis del total de las mismas.

En síntesis, siendo esta la parte medular del trabajo, se contempló minuciosamente que se efectuaran cada uno de los pasos planteados de acuerdo con el plan establecido, tomando en cuenta las especificaciones de los fundamentos de cada uno de los métodos de secado elegidos para este trabajo, esperando obtener óptimos resultados.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo finalmente se muestran los resultados obtenidos de este trabajo, los cuales se integran de cinco apartados: el primero, se refiere a la generación de residuos sólidos orgánicos domésticos en la localidad de San Pedro Atlapulco, Ocoyoacac, México, del que se desprende el inciso de la clasificación de los residuos generados en dicha localidad; el segundo, esta enfocado en el derivado de la deshidratación de residuos sólidos orgánicos domésticos por liofilización; el tercero, está dedicado al resultado del secado de los residuos sólidos orgánicos domésticos en estufa; el cuarto apartado, menciona lo procedente a la caracterización elemental y bromatológica de los RSOD, del cual se desglosa el análisis elemental de los RSOD por la técnica de fluorescencia de rayos x en energía dispersiva, teniendo simultáneamente dos incisos que son: el análisis elemental de RSOD deshidratados por liofilización y el de secado de RSOD en estufa; y finalmente en el quinto apartado, se analiza el resultado de la caracterización bromatológica de los RSOD, desglosándose de igual forma en dos incisos que son: el análisis de nitrógeno total y proteína de los RSOD deshidratados por liofilización y el análisis de nitrógeno total y proteína de los RSOD secos en estufa de laboratorio.

4.1 Generación de RSOD en la localidad de San Pedro Atlapulco, Ocoyoacac, México.

Como se observa en la Tabla 4.1, los resultados obtenidos de las encuestas aplicadas a las familias que participaron en proporcionar datos sobre la producción de residuos sólidos orgánicos domésticos de San Pedro Atlapulco, Ocoyoacac, Estado de México, varió de acuerdo al número de integrantes el cual va de uno a nueve personas, los cuales producen de 2.37 Kg a 20.19 Kg/semana por familia. Respecto a la generación de RSOD por persona, se observa una variación importante que va desde 0.42 Kg y hasta 3.05 Kg, así, la generación promedio de RSOD es de 2.05 Kg/persona/semana.

Tabla 4.1 Generación de RSOD en la localidad de San Pedro Atlapulco, Ocoyoacac, México.

No. de familia	Núm. de integrantes por familia	Generación de RSOD / semana (Kg)	Generación de RSOD/ integrante/semana
1	1	2.370	2.37
2	2	5.135	2.57
3	3	6.850	2.28
4	3	7.000	2.33
5	3	1.271	0.42
6	4	5.800	1.45
7	4	9.010	2.25
8	5	8.655	1.73
9	5	11.170	2.23
10	5	11.175	2.24
11	5	9.818	1.96
12	5	6.744	1.35
13	6	10.775	1.80
14	6	14.170	2.36
15	6	18.277	3.05
16	7	12.840	1.83
17	7	14.920	2.13
18	8	20.185	2.52
19	8	17.160	2.15
20	9	17.420	1.94
PROMEDIO	6	6.152	2.15
TOTAL		216.897	

Fuente: Elaboración propia con base en las encuestas aplicadas.

4.1.1 Clasificación de RSOD generados en la localidad de San Pedro Atlapulco.

Como se observa en la Tabla 4.1.1, la generación de los residuos sólidos orgánicos domésticos generados en la localidad de San Pedro Atlapulco, se clasificaron en 4 tipos de subproducto: restos de frutas, legumbres, comida y jardín; de los cuales como se aprecia en los resultados, los residuos generados en mayor cantidad en todas las familias, corresponde a los residuos de frutas y legumbres, productos que por sus características físicas y volumen generado representan a la población en estudio, pues de las veinte familias encuestadas sólo 4 producen residuos de comida y jardín.

Tabla 4.1.1 Clasificación de los RSOD en San Pedro Atlapulco.

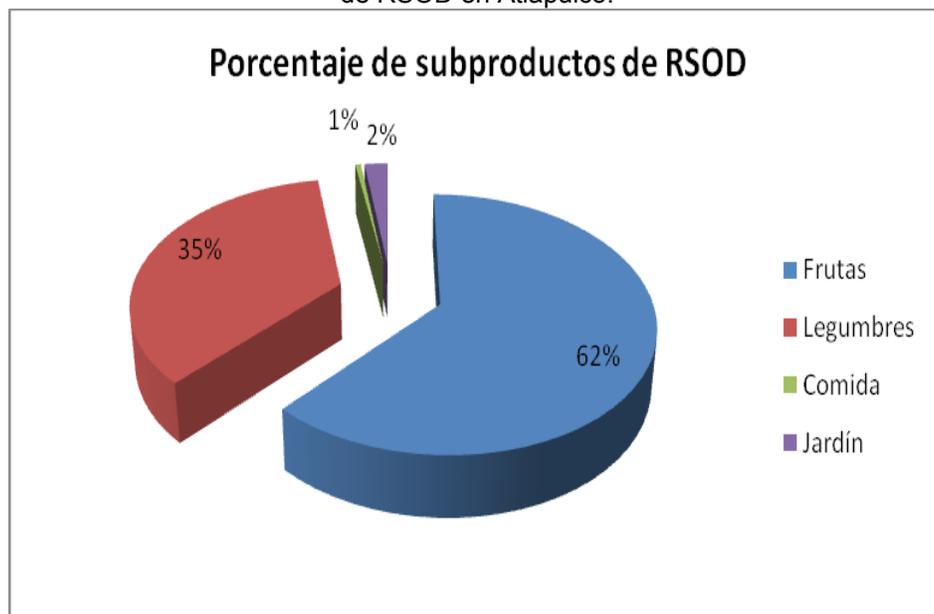
Núm. de familia	Núm. de integrantes /familia	Clasificación de RSOD			
		Frutas Kg/familia/ semana	Legumbres Kg/familia/ Semana	Comida Kg/familia/ semana	Jardín Kg/familia/ Semana
1	1	1.70	0.67		
2	2	3.31	1.82		
3	3	3.35	3.50		
4	3	4.20	2.80		
5	3	0.60	0.52	0.15	
6	4	2.68	3.12		
7	4	5.79	3.22		
8	5	4.18	3.75		0.73
9	5	7.63	3.54		
10	5	7.73	3.45		
11	5	8.63	0.33	0.28	0.58
12	5	4.12	2.02	0.51	0.10
13	6	5.78	5.00		
14	6	7.94	6.23		
15	6	9.53	8.75		
16	7	9.67	3.17		
17	7	7.20	4.11		3.61
18	8	12.75	7.44		
19	8	11.82	5.21	0.13	
20	9	11.64	5.78		
TOTAL		130.25	74.43	1.07	5.02

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados de las encuestas realizadas.

La generación de residuos de frutas fue de 0.600 a 12.750 Kg/familia/semana, los residuos de legumbres varió de 0.328 a 8.750 Kg/familia/semana. En menor cantidad estuvo la generación de residuos de comida y jardín los cuales variaron de 0 a 0.512 Kg/familia/semana y de 0 a 3.610 Kg/familia/semana, respectivamente.

De acuerdo a los resultados que se muestran en la Tabla 4.1.1, resalta la producción de residuos de frutas de 130.25 Kg/familia/semana y en menor cantidad los de residuos de comida de tan sólo 1.073 kg/familia/semana.

Figura 4.1.1 Gráfica que representa el porcentaje en peso de la producción de RSOD en Atlapulco.



Fuente: Elaboración propia con base en las encuestas aplicadas.

La producción de residuos sólidos orgánicos domésticos representados en porcentaje en la Figura 4.1.1, muestra que los residuos de frutas representa el porcentaje mayor de estos, seguido de los residuos de legumbres, jardín y comida, lo anterior responde a los hábitos de consumo, y su producción al manejo de los mismos, ya que la población de

Atlapulco está transitando de una localidad rural a una urbana y la costumbre de incorporar los residuos orgánicos domésticos a los terrenos de cultivo y utilizarlos como alimento de ganado ha cambiado.

Por otro lado, del cálculo hecho para obtener el porcentaje promedio de RSOD que produce una familia de la comunidad en estudio, muestra cantidades similares al total producido por las familias en cuestión. Si consideramos que los hogares muestreados tienen un promedio de 5 integrantes por hogar, la generación *per cápita* de residuos sólidos orgánicos domésticos promedio encontrada en San Pedro Atlapulco es de 0.294 g/hab/día (VER Anexo 4.1.1), en comparación con el municipio que es de 0.500 g/hab/día (INEGI, 2000) y la diferencia que hay a nivel estado donde se alcanza 1 Kg/hab/día (SEMARNAT, 2000), tan solo de residuos orgánicos.

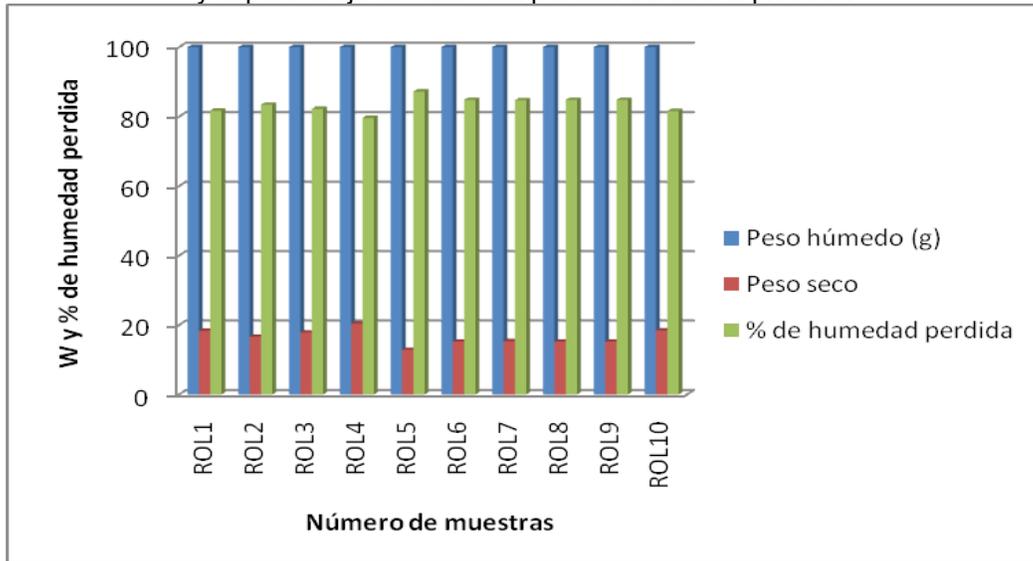
4.2 Deshidratación de RSOD por el proceso de liofilización

Los resultados de la deshidratación de RSOD por el método de liofilización, demuestran que se pierde más del 50% de la humedad contenida en las muestras de material orgánico desde el primer día en que se someten a este proceso, posteriormente en la segunda fase de secado la cantidad de agua va reduciendo y alcanza una importante pérdida de humedad (VER Anexo 4.2).

La pérdida de humedad por el método de liofilización fue de 79.6 a 87.2%. La correlación de peso húmedo (Wh) y peso seco (Ws) demuestra la eficiencia del proceso de liofilización en cuanto a la reducción de volumen que mostraron tener los RSOD al

finalizar el proceso, junto con el resultado del porcentaje de humedad perdida en los materiales (VER Figura 4.2).

Figura 4.2 Gráfica que muestra la comparación de Wh y Ws de RSOD liofilizados y el porcentaje de humedad perdida durante el proceso.



Fuente: Elaboración propia de acuerdo con los resultados obtenidos.

Mediante este método una muestra de 100 g de residuos sólidos orgánicos domésticos se redujo desde 20.4 g a 12.8g, por tanto, una tonelada de éstos residuos se reduciría desde 204 Kg a 128 Kg. Éste método no sólo permite reducir el volumen de los residuos, sino además, puede reducir la contaminación que provoca al medio ambiente (suelo, aire y agua), los daños a la salud de la población y la reducción de costos en los procesos de disposición final para los municipios.

En la Tabla 4.2 se muestran las variables que interfieren en la deshidratación por liofilización, que son el tiempo, la temperatura y presión. Como se aprecia en dicha tabla, el tiempo al que se sometieron las muestras fue de 16 horas en total, la temperatura a la que se sometieron dichas muestras fue de -94 °C en promedio y una presión de 0.0080 mbares, al menos estas dos últimas son variables importantes precisamente para lograr

el alto vacío y lograr así la sublimación, es decir, pasar súbitamente del estado sólido al gaseoso sin pasar por el estado líquido como se explicó en el capítulo anterior.

Tabla 4.2 Deshidratación por liofilización de RSOD y las variables que interfieren en este proceso.

Núm. Muestra	% de Humedad Perdida	Tiempo de deshidratación (horas)	Temperatura °C	Presión Atm. (Bar)
1	81.7	16	-94	0.0080
2	83.4	16	-94	0.0080
3	82.2	16	-94	0.0080
4	79.6	16	-94	0.0080
5	87.2	16	-94	0.0080
6	84.8	16	-94	0.0080
7	84.7	16	-94	0.0080
8	84.8	16	-94	0.0080
9	84.8	16	-94	0.0080
10	81.6	16	-94	0.0080
Promedio	83.48	16	-94	0.0080

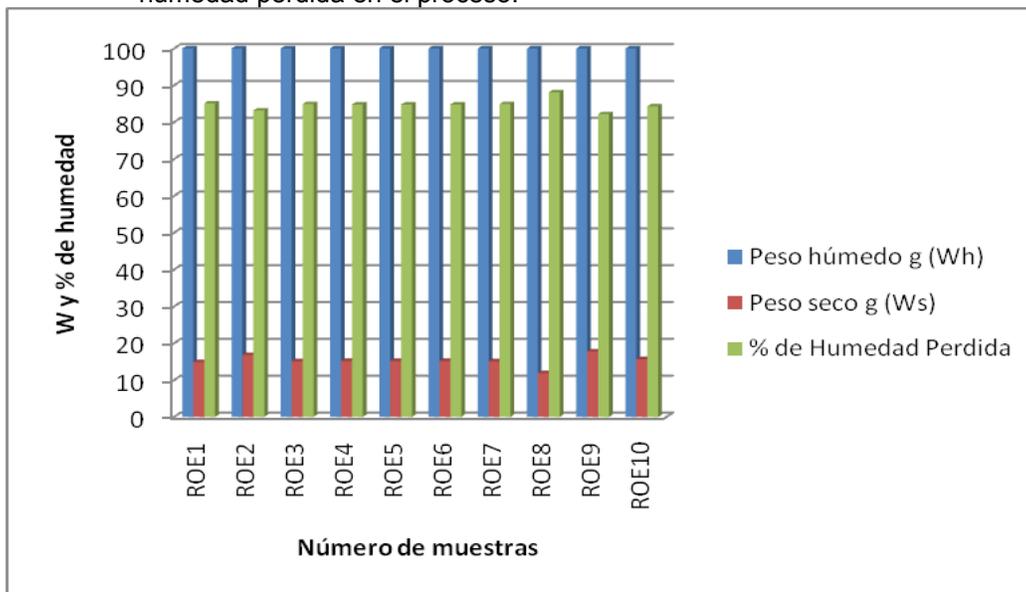
Fuente: Elaboración propia de acuerdo con los resultados obtenidos.

4.3 Deshidratación de RSOD mediante el secado en estufa.

Este método es otra alternativa para eliminar la humedad y reducir el peso y volumen de los RSOD o de cualquier otro material orgánico de interés. Los resultados obtenidos por este método se presentan en el Anexo 4.3, la pérdida de humedad por evaporación fue de 82.2 a 85.1% y la reducción en peso fue desde 14.9 a 17.8 g durante 8 horas. Por este método un lote de 100 g de residuos sólidos orgánicos domésticos se redujo a 15.29 g promedio, por tanto una tonelada de residuos se reduciría a 152.9 Kg.

De manera similar en la Figura 4.3, se resalta la diferencia de peso húmedo y peso seco al finalizar este tipo de secado, obteniendo también el porcentaje de humedad perdida. Las variables que intervinieron en él, fueron solo tiempo y temperatura, que a diferencia de la liofilización, el tiempo en que permanecieron las muestras dentro de la estufa fue de 8 horas y la temperatura fue de 75 °C.

Figura 4.3 Comparación de Wh y Ws de RSOD secos en estufa y el porcentaje de humedad perdida en el proceso.



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

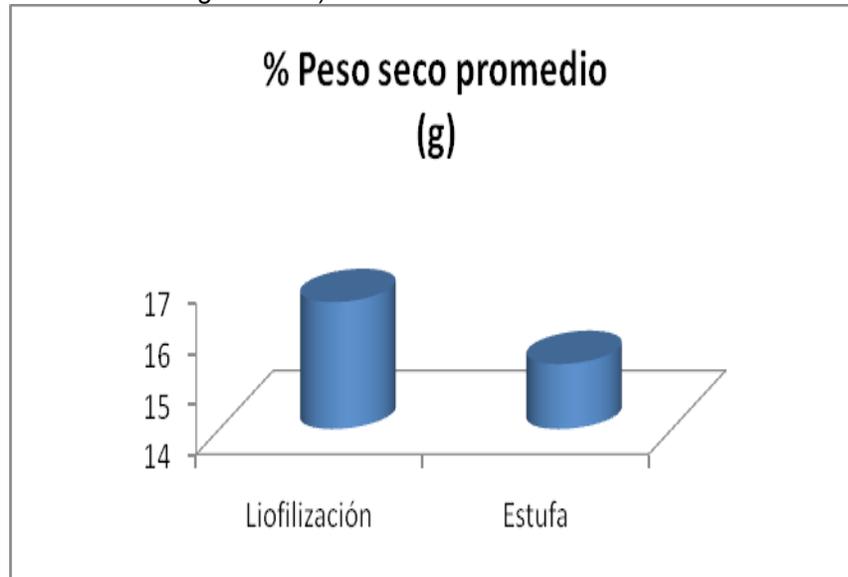
4.4 Comparación de la eficiencia de los procesos aplicados en la deshidratación de RSOD.

La deshidratación de residuos sólidos orgánicos domésticos por los métodos de liofilización y secado en estufa mostraron semejanza en cuanto al porcentaje promedio de humedad perdida, por el proceso de liofilización se perdió el 83.48 % de humedad y por el secado en estufa 84.71 %, siendo esta última 1.23 % más eficiente que la primera (VER Anexo 4.4). Las muestras por liofilización se sometieron a un periodo de tiempo de 16

horas, mientras que las muestras secas en estufa solo se mantuvieron dentro por 8 horas; no obstante, las características físicas que presentaron las muestras liofilizadas fueron en cuanto a color (tono claro) y textura (blanda); mientras que en las muestras secas en estufa, el tono fue un poco oscuro y de textura quebradiza, en ambos tipos de secado hubo presencia de aroma.

Los resultados de peso seco obtenidos por los métodos de liofilización y secado en estufa muestran que éste último tuvo una eficiencia de 1.23 % mayor en la pérdida de humedad, como una alternativa factible para reducir el peso y volumen de los residuos sólidos orgánicos domésticos y los efectos negativos al ambiente, a la salud y a la economía.

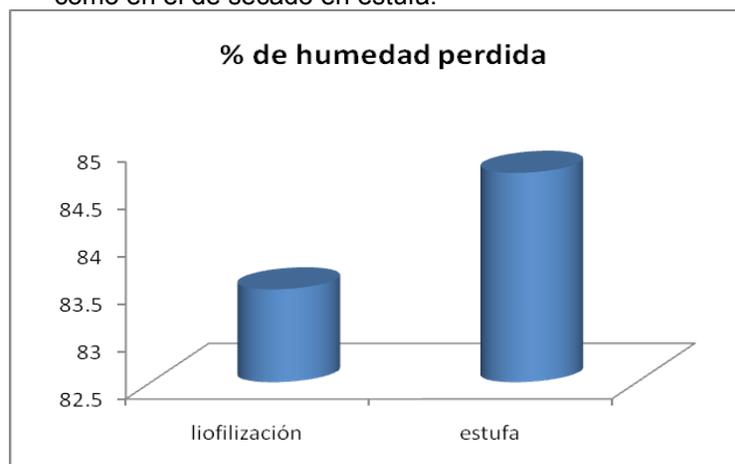
Figura 4.4 a) Peso de RSOD deshidratados.



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

Con respecto al porcentaje de humedad perdida por los métodos de liofilización y por secado en estufa, este último resultó tener una eficiencia de 12.3 % mayor que el secado por liofilización.

Figura 4.4 b) Porcentaje de humedad perdida en el proceso de liofilización como en el de secado en estufa.



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos

4.5 Caracterización elemental y bromatológica de los RSOD

4.5.1 Análisis elemental de RSOD por la técnica de Fluorescencia de Rayos X en Energía Dispersiva (EDXRF)

Para la caracterización de los RSOD deshidratados por liofilización y los secos en estufa, se llevo a cabo un primer análisis de elementos por la técnica de Fluorescencia de Rayos X en Energía Dispersiva (EDXRF), para el cual se eligieron los elementos como: potasio (K), calcio (Ca), manganeso (Mn), hierro (Fe), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn) y plomo (Pb), mismos que no aparecieron en igual concentración en los distintos tipos de muestras analizados.

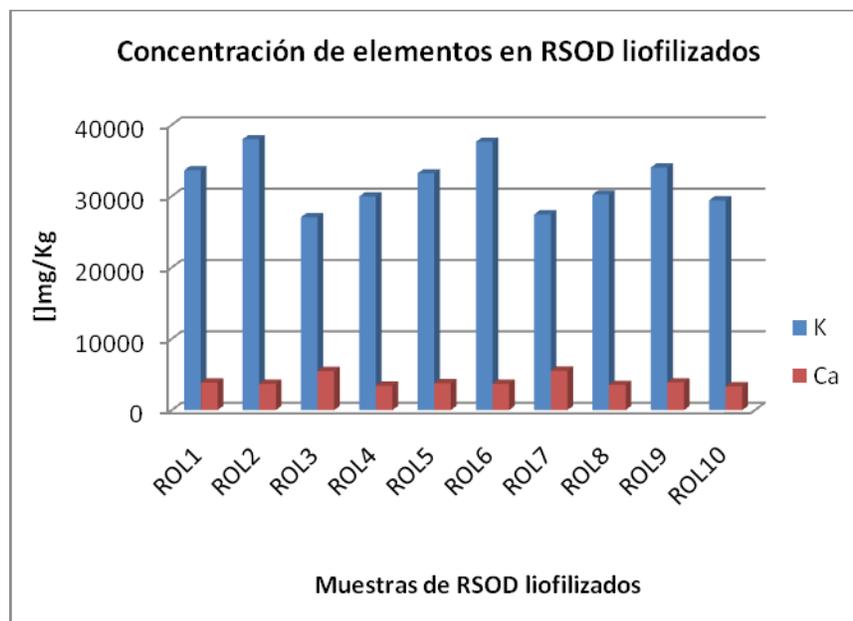
Aunque no hubo un estándar de concentración de elementos con el cual equiparar los resultados, únicamente se presentó la comparación entre los valores obtenidos para cada una de las muestras.

4.5.1.1 Análisis elemental de RSOD deshidratados por liofilización

En el Anexo 4.5.1.1 se puede observar que la concentración de los elementos elegidos para el estudio varió radicalmente en cuanto a los elementos potasio y calcio, en mediana y mínima concentración aparece hierro, zinc y manganeso, y en menor proporción níquel y cobre, con ausencia de plomo para tales muestras.

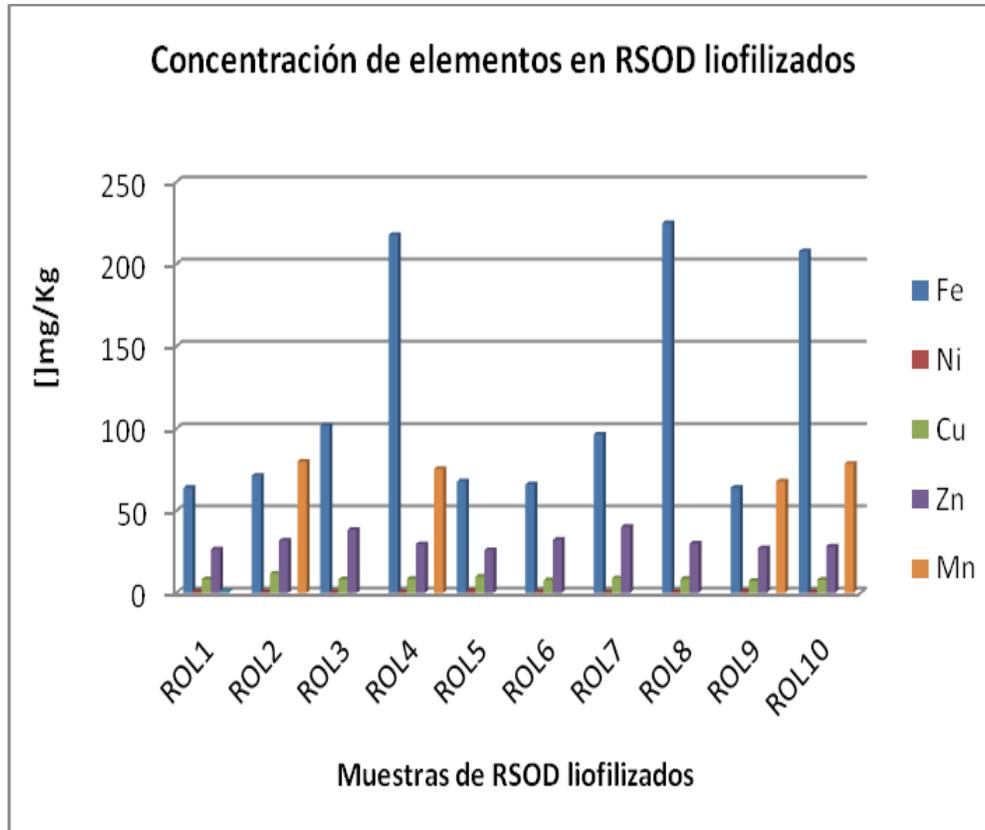
Se observan en la Figura 4.5.1.1 a) los elementos que aparecieron en mayor concentración, y menor concentración los elementos mostrados en la Figura 4.5.1.1 b), obtenidos en este análisis.

Figura 4.5.1.1 a) Elementos con mayor concentración en las muestras de RSOD liofilizados.



Fuente. Elaboración propia con base en los resultados obtenidos,

Figura 4.5.1.1 b) Elementos con menor concentración en las muestras de RSOD liofilizados.

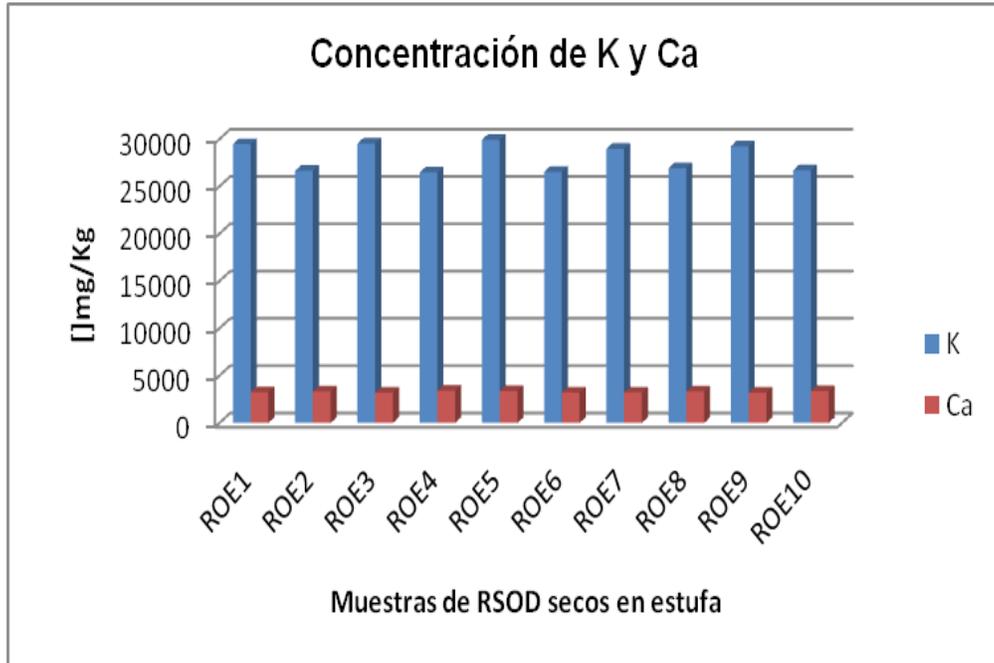


Fuente. Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

4.5.1.2 Análisis elemental de RSOD secos en estufa de laboratorio

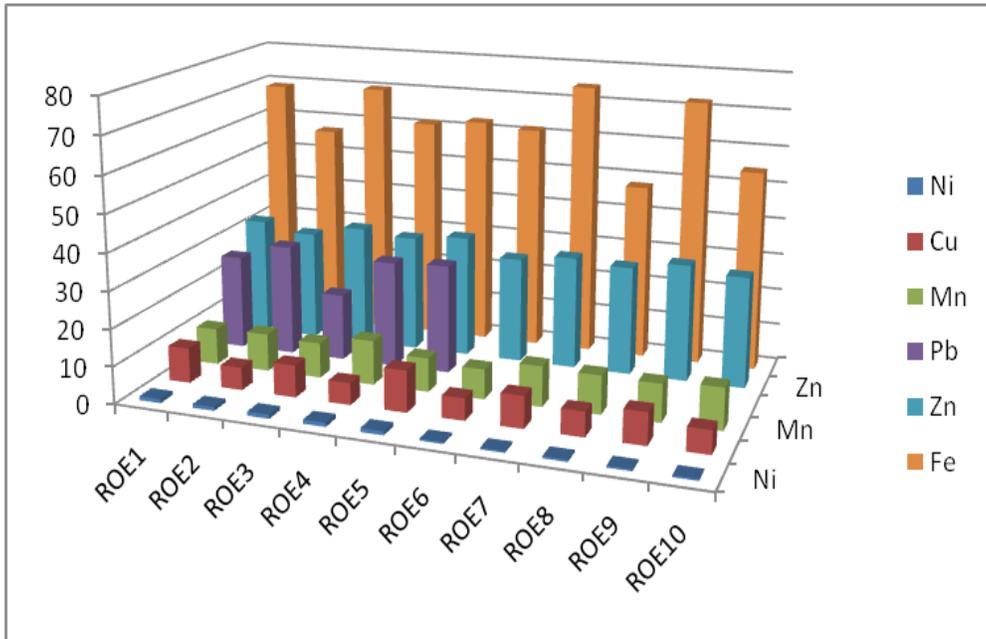
Por otro lado, los resultados arrojados del análisis elemental de los RSO secos en estufa se desglosan en el Anexo 4.5.1.2 a) donde se observa la presencia de Plomo, y en las gráficas se observa la comparación de los elementos con concentración mayor como Potasio y Calcio (VER Figura 4.5.1.2 a), y en menor concentración los elementos Ni, Cu, Mn, Zn, Fe y Pb (VER Figura 4.5.1.2 b).

Figura 4.5.1.2 a) Gráfica que representa los elementos con mayor concentración en las muestras de RSOD secos en estufa.



Fuente: Elaboración propia de acuerdo con los resultados obtenidos.

Figura 4.5.1.2 b) Gráfica que representa los elementos con menor concentración en las muestras de RSOD secos en estufa.



Fuente: Elaboración propia de acuerdo con los resultados obtenidos.

Como caso particular, en las muestras sometidas al secado en estufa hubo presencia de Plomo, que regularmente tiende a ser más volátil al haber aumento de temperatura, debido al manejo que se tenga con las muestras, puede provocar alteraciones en el resultado.

Con base a los valores emitidos del análisis elemental se realizó la comparación de las concentraciones de Potasio y Calcio para ambos procesos de secado (VER Tabla 4.5.1.2 a)), donde es evidente que la concentración de Potasio y Calcio es ligeramente mayor en muestras liofilizadas que en las secas en estufa.

Tabla 4.5.1.2 a) Comparación de concentración de macroelementos en muestras liofilizadas (ROL) y las secas en estufa (ROE).

Elementos	Concentración de Elementos [mg/Kg]			
	Ca	K	Ca	K
Muestras	ROL		ROE	
1	3867	33631	3253	29474
2	3692	37977	3303	26650
3	5469	27050	3176	29529
4	3414	29957	3395	26472
5	3773	33189	3368	29920
6	3690	37611	3211	26547
7	5515	27433	3214	28972
8	3526	30234	3302	26932
9	3900	34018	3195	29251
10	3320	29409	3349	26702
Promedio []	4017	32051	3277	28045

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos,

De forma gráfica, se muestra dicha comparación en el Anexo 4.5.1.2 b) sobre la concentración de los elementos Potasio y Calcio en las muestras de RSOD sometidos a ambos procesos de secado, donde la concentración de Potasio presente en las muestras de RSOD liofilizados varia 7, 401 mg/Kg en promedio de las muestras de RSOD secas en estufa, mientras que la diferencia de la concentración de Ca es de 740 mg/Kg entre muestras de RSOD liofilizados y los secos en estufa.

De forma similar se llevo a cabo la comparación de concentración de los elementos que minoritariamente aparecieron en las muestras en cuestión.

Tabla 4.5.1.2 b) Comparación de concentración de microelementos en muestras liofilizadas y las secas en estufa.

Elementos	Concentración de Elementos en mg/Kg											
	Fe		Ni		Cu		Zn		Pb		Mn	
	ROL	ROE	ROL	ROE	ROL	ROE	ROL	ROE	ROL	ROE	ROL	ROE
1	64.00	68.99	1.0	1.09	8.0	9.54	26.0	32.29	0	25.82		9.90
2	71.00	56.77	1.0	1.03	12.0	6.18	32.0	30.01	0	30.31	80.0	10.23
3	102.00	69.99	1.0	1.12	8.0	8.72	38.0	32.98	0	18.20		9.60
4	218.00	61.06	1.0	1.13	9.0	5.90	30.0	31.71	0	28.95	75.0	12.09
5	68.00	62.62	1.0	1.08	10.0	11.26	26.0	33.23	0	29.63		9.19
6	66.00	61.43	1.0	0.51	8.0	5.96	32.0	28.72	0	2.64		8.13
7	96.00	74.36	0.0	0.46	9.0	8.64	40.0	30.65	0	2.85		10.93
8	225.00	47.82	1.0	0.59	9.0	6.68	30.0	29.59	0	2.47		10.48
9	64.00	72.17	1.0	0.49	7.0	8.68	27.0	31.81	0	2.61	68.0	10.26
10	208.00	54.44	0.0	0.48	8.0	6.29	28.0	30.15	0	2.73	79.0	11.28
Promedio []	118.2	63	0.8	1	8.8	7.78	30.9	31.11	0	14.62	75.5	10.21

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los resultados obtenidos.

De acuerdo con los elementos elegidos para el estudio que resultaron con menor concentración, pero que difieren en las cifras entre las muestras de residuos sometidas a ambos procesos de secado, la variación promedio para el caso de Hierro (55.2 mg/Kg), Cobre (1.02 mg/Kg) y parcialmente Manganeseo (65.29 mg/Kg), fue más alta para las muestras de RSOD liofilizados, mientras que para el caso de las muestras secas en estufa, la variación de la concentración en promedio resultó ser ligeramente mas alta para los elementos Níquel con 0.2 mg/Kg, Zinc con 0.21 mg/Kg y con presencia de Plomo (VER Anexo 4.5.1.2 c)).

4.5.2 Caracterización bromatológica de los RSOD

Conocer la concentración de algunos componentes importantes como el nitrógeno total y proteína, es sumamente importante, ya que las proteínas desempeñan un papel fundamental para la vida y son biomoléculas imprescindibles para el crecimiento de los organismos.

4.5.2.1 Análisis de N₂ total y proteína de los RSOD deshidratados por liofilización

En la Tabla 4.5.2.1 se muestran los resultados obtenidos en el análisis de N₂ total y proteína para los residuos sólidos orgánicos domésticos deshidratados por liofilización. Como se puede ver claramente tanto el N₂ total como la proteína tienen un valor promedio de 1.22 y 7.62 % respectivamente.

Tabla 4.5.2.1 Porcentaje de N₂ total y proteína de RSOD deshidratados por liofilización.

Muestra	Nitrógeno total (%)	Proteína (%)
ROL1	1.20	7.50
ROL2	1.21	7.54
ROL3	1.31	8.18
ROL4	1.16	7.25
ROL5	1.21	7.54
Promedio	1.22	7.62

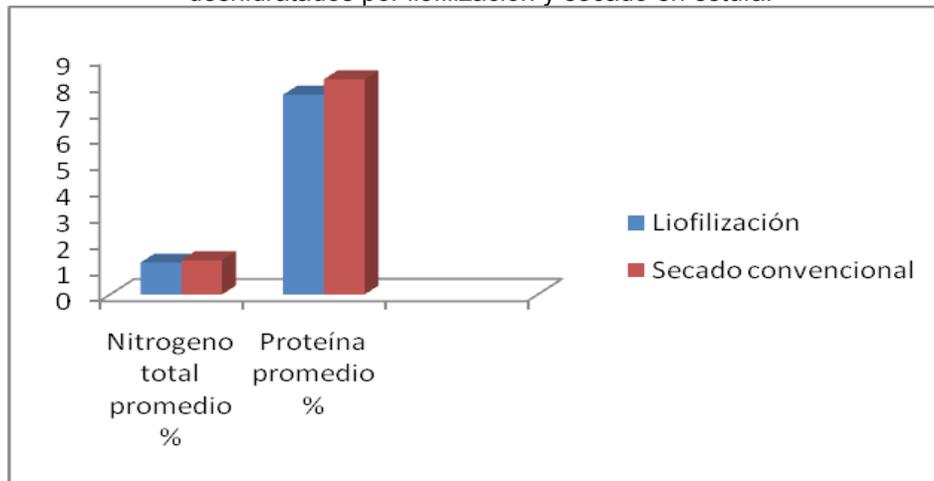
Fuente: Elaboración propia con base a análisis Kjeldhal.

4.5.2.2 Análisis de N₂ total y proteína de los residuos sólidos orgánicos domésticos secos en estufa de laboratorio

El análisis de N₂ total y proteína de los residuos sólidos orgánicos domésticos deshidratados por secado convencional en estufa, (VER Anexo 4.5.2.2), muestran valores promedio de 1.31 y 8.21 % respectivamente, lo cual demuestra que la deshidratación por este método permite a los residuos conservar estos atributos nutrimentales.

La Figura 4.5.2.2 muestra que los residuos orgánicos domésticos deshidratados por secado convencional conservan más el contenido de nitrógeno total y proteína, con respecto a los liofilizados.

Figura 4.5.2.2 Gráfica sobre el análisis de N₂ total y proteínas en RSO deshidratados por liofilización y secado en estufa.



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

De este capítulo se concluye que al llevar a cabo el análisis de los resultados obtenidos, se puede comprobar la efectividad de ambos métodos de deshidratación, hállese del proceso de liofilización y del secado en estufa de laboratorio, donde se muestran no solo las diferencias importantes en cuanto a las características físicas de las muestras en estudio, sino también en cuanto al contenido de elementos químicos que se siguen conservando, puesto que en el proceso de liofilización, las muestras fueron sometidas a baja temperatura y a una alta presión, para lograr un alto vacío, con el fin de extraer toda el agua contenida; en cambio, en el secado en estufa interviene una alta temperatura aunque constante para secar el material en estudio sin llegar a quemarse.

Además se pudo comprobar en este capítulo, que los resultados obtenidos en cuanto a humedad pérdida, análisis elemental y bromatológico fueron similares en ambos procesos de deshidratación, no obstante, resultó ser más eficiente el secado en estufa, en cuanto a tiempo, gasto de energía y contenido de algunos elementos.

CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos de la aplicación de encuestas en San Pedro Atlapulco, la producción de residuos sólidos orgánicos domésticos ocupa un porcentaje importante en cuanto a producción se refiere, cantidad semejante a nivel municipal y a nivel estado.
- Los resultados obtenidos para el secado convencional en estufa de los RSO fueron similares a los del proceso de liofilización en cuanto al porcentaje de humedad perdida aunque al finalizar el secado, las características físicas fueron diferentes, pues su consistencia se noto quebradiza, con algunas partes de residuos aparentemente quemadas, aunque solo se evaporó el agua por este tipo de secado, mientras que las muestras deshidratadas por liofilización presentaban un color opaco, con presencia de aroma aun de cada uno de los residuos orgánicos recolectados, la textura en algunos casos era chiclosa o bien quebradiza pero ante todo los residuos ya eran livianos.
- Se demuestra que tanto el método de deshidratación por liofilización como el de secado convencional por estufa, tienen la capacidad de deshidratar a los residuos sólidos orgánicos domésticos, removiendo la humedad contenida en ellos, en porcentajes semejantes.
- El proceso de deshidratación de RSO por liofilización resulta tener la desventaja de ser más costoso, tan solo si se toma en cuenta el precio de los equipos de liofilizado, el tiempo al que tienen que someterse los materiales para garantizar la

deshidratación total, la energía que requiere el equipo y sobre todo el mantenimiento del mismo.

- El secado por estufa resultó ser más eficiente en cuanto a tiempo y a gasto de energía, además de conservar algunas de las propiedades de los materiales que se secaron bajo este método.
- La deshidratación de los residuos sólidos orgánicos domésticos, demostró que es una alternativa importante en el manejo integral de estos, ya que reduce los efectos negativos al ambiente (contaminación de suelo, agua, aire), a la salud y a la economía.
- Los residuos sólidos orgánicos domésticos utilizados en este trabajo tienen propiedades nutrimentales, las cuales se conservan durante el proceso de deshidratación.
- Con el análisis bromatológico se demuestra, que el subproducto de los residuos sólidos domésticos deshidratados, pueden ser reciclados y aprovechados como complemento alimenticio de organismos que requieran de concentraciones parecidas a las obtenidas en estos.
- Debido a que la eficiencia en la deshidratación de los residuos sólidos orgánicos domésticos por los métodos de liofilización y secado en estufa son semejantes, la decisión en su uso depende de los recursos y de los atributos de interés.

RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, se dan las siguientes recomendaciones:

- Realizar una investigación sobre el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos domésticos deshidratados.
- Probar la eficiencia de liofilización y secado convencional como una alternativa viable para la gestión de los residuos sólidos orgánicos domésticos.
- Probar el uso de los residuos sólidos orgánicos domésticos deshidratados como complemento alimenticio en animales.
- Probar el uso de los residuos sólidos orgánicos domésticos deshidratados como fertilizante orgánico.
- Deben tomarse en consideración las medidas necesarias en relación a las condiciones físicas del material y/o equipo al manipular la muestra con la que se esté trabajando en el laboratorio, con el fin de que no sufra alteraciones en los estudios analíticos de acuerdo con el objeto de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acurio, Guido, 1997: Diagnóstico de la situación de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Washington: Banco interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana, 1997.
2. Archana, Sharma, Unni, Bagalopagan y Devedra, Singh H., 1999: A novel fed-batch digestion system for biomethanization of plant biomases. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. Pág. 87:678-682.
3. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2003: Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Publicado el 08 de Octubre de 2003, México.
4. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 16-01-2014: Ley Federal de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), publicada en el Diario Oficial de la Federación, México.
5. Christs, Martin, 2002. "Operating Manual Freeze Dryer CHRITS BETA 2-8 LD-2", Version 09. Págs: 9, 10, 11.
6. Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), 1998: Situación actual del medio ambiente: retos y expectativas. CD-ROM.

7. Correa González, Delia, 1992: "Elementos Básicos de Ecología y Protección al Ambiente". Coordinación General de comunicación Social, Gobierno del Estado de México, Toluca, México. Págs. 155,156 y 157.
8. Diario Oficial de la Federación, 1992: Norma Mexicana NMX-AA-15-1985, Método de cuarteo, México.
9. Fernández, Benjamín A., 1998: "Liofilización de productos farmacéuticos". (Textos Politécnicos) Tecnología Farmacéutica, Drogas - secado por congelación.
10. Gaceta del Estado, 2013: Código de Biodiversidad del Estado de México, Reglamento del Libro Cuarto. Publicado en la Gaceta del Gobierno del Estado de México.
11. H. LIV Legislatura del Estado de México, Septiembre de 2001: Código Administrativo del Estado de México, Gaceta del Estado de México, Toluca de Lerdo, México.
12. H. LI Legislatura del Estado de México, 2008: Ley Orgánica Municipal del Estado de México LOMEM, publicado en la Gaceta del Estado de México.
13. H. LIII Legislatura del Estado, 1997: Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México (LPADSEM), publicado en la Gaceta del Estado de México.

14. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2000: Carta topográfica 1:50 000.
15. López Cabello, Moisés, Arias Hernández, Aurea Ivania, De Lorenz Santos, Fernando Jesús y Fernández Villagómez, Georgina, 2006: “Propuesta de un método para la disposición final de residuos sólidos generados en el bosque San Juan de Aragón, México, D.F”. En memoria del XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
16. Moreira, Thomas, 1991: Principios básicos de la liofilización [Folleto] La Habana, CNIC.
17. Moreno Reséndez, Alejandro, 2005: “Origen, importancia y aplicación de vermicomposta para el desarrollo de especies hortícolas y ornamentales”, Departamento de suelos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- UL.
18. Organización para la Cooperación de Desarrollo Económico OCDE, 2001: “Environmental Indicators Towards Sustainable Development”, Francia.
19. Organización Panamericana de la Salud, 1996: Toxicología en el medio ambiente, CD-ROM.
20. Rippon, Gina M. (1982). The Bioenergy Process. An overview. I.W.P.C. Symposium February. CD-ROM.

21. Secretaria de Desarrollo Social, SEDESOL 2001: Manual para la rehabilitación y clausura de tiraderos a cielo abierto, México.
22. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT 2007: Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos PEPGIRSU, México, CD-ROM.
23. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT 2001: Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales. México.
24. Szanto, 1997: Efectos de la contaminación en el medio ambiente. España. Págs. 23-27.
25. Tarbuck, J. Edward y Lutgens, K. Frederick, 2005: "Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física", Editorial Pearson Prentice Hall, México. Pp.497, 499.
26. Tchobanoglous, George, 1994: Gestión y tipos de tratamiento de Residuos Sólidos Municipales, Prentice Hall.editores.
27. Tchobanoglous, George, Theissen, Hilary y Eliassen, Rolf, 1982: "Desechos sólidos: Principios de ingeniería y administración", Capítulo 8, Mérida, Venezuela. CEPIS/OPS/OMS. Págs. 5, 6, 24, 32 y 33.

28. Torres Rivera, Enrique, 1995: "Mecanismos de financiamiento aplicables a la gestión municipal", Instituto Nacional de Ecología INE. México.

29. Vázquez Esquivel, Rubén, 2007: Estado del arte en el manejo de residuos sólidos urbanos: Tecnologías de disposición final. Siglo XXI editores. Págs. 3, 7, 13.

HEMEROGRAFIA

1. Cruz, Antimio, 2010: Desarrollan novedoso sistema para deshidratar basura orgánica en casa. La crónica.com, www.cronica.com.mx/notas/2012/656822.html.
2. Diario Oficial de la Federación, DOF, 2014: Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Cámara de Diputados, última reforma publicada DOF 07-07-2014 <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/htm/1.htm>.
3. D'Ors, Eugenio, 2014: Estufas para esterilización, bacteriológicas y hornos. www.grupo-selecta.com/pdfs/es/cats/ESTUFAS%20%20HORNOS.pdf
4. Esquivel, Carlos, 2003: Liofilización, <http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/conservacion.htm> - 42k
5. González López, Raúl, 2004: Producción de materiales de construcción y energía a partir de desechos sólidos orgánicos: el bloque sólido combustible. Universidad Central de las Villas, Facultad de Construcciones, Depto. de Ingeniería Civil. Santa Clara, Cuba. <http://www.ecosur.org/index.php/publicaciones/category/3-tesis?download=35:produccion...>

6. INVAP, 2009: "¿Que es la liofilización?", Área industrial-Liofilización de alimentos. Plantas de liofilización, Querétaro. <http://www.invap.net/indus/liofilizacion>.
7. Mora Rivera, José Ángel, 2004: <http://www.fundacionchristlieb.org.mx/estudios/estudio30.pdf>.
8. Orrego, Carlos Eduardo y Nieto Cano, Katherine, 2000: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4070035/lecciones/cap1/leccion11-2.htm>., Crioconcentraci
9. Pérez, Jacqueline, 2010: SIPSE.COM, Cancún, Quintana Roo. www.sipse/archivo/dara-cancun-gran-salto-hacia-el-aprovechamiento-de-la-basura-63352.html
10. Plan de Desarrollo Urbano Municipal de Ocoyoacac, PNDO, 2009: H. Ayuntamiento del Municipio de Ocoyoacac, México. http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/ocoyoacac/DOCUMENTO%20OCOYOACAC.pdf
11. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), 2005: Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano - Marginadas. <http://www.sedesol.gob.mx>.
12. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), 2008: Manual técnico sobre, generación, recolección y transferencia de residuos sólidos municipales. México.

<http://www.inapam.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/1592/1/images/ManualTecnicoSobreGeneracionRecoleccion.pdf>

13. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), 2013: Catálogo de localidades.
<http://www.sedesol.gob.mx>.

14. Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL), 2013: Unidad de Microrregiones, Catálogo de microrregiones, Dirección General Adjunta de Planeación Microrregional.
www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?tipo=clave&campo=loc&ent=15&mun=062.

15. SEMARNAT Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2004:
http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/08_residuos/cap8_1.html.

16. SEMARNAT Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2007:
<http://www.semarnat.gob.mx>

ANEXOS

Anexo 1. Formato de la encuesta aplicada.



UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO
FACULTAD DE PLANEACION URBANA Y REGIONAL



DESHIDRATACION DE RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACION Y POR SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO Y SU CARACTERIZACION BROMATOLOGICA*

Objetivo: Selección y cuantificación de subproductos orgánicos domésticos

Localidad _____ Municipio _____ Estado _____

Fecha y hora de muestreo _____ Peso de la muestra _____ Kg.

Responsable del muestreo _____ No. Familia o casa _____

Subproducto (RSOD)	Peso en Kg. (día o semana)	% en peso	Observaciones

Anexo 3. Encuestas aplicadas en la comunidad de San Pedro Atlapulco.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

DESHIDRATACION DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN Y POR SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO Y SU CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA*

Objetivo: Selección y cuantificación de subproductos orgánicos domésticos

Localidad San Pedro Atlapulco Municipio Ocuayacac Estado México
 Fecha y hora de muestreo 29/Nov/13 Peso de la muestra 2.370 kg.
 Responsable del muestreo Blanca Cuervo No. Familia o casa Sig. Natalia Vázquez
 Callejón I. Manuel Altamirano
 No. Personas: 1

Subproducto (RSOD)	Peso en Kg. (día o semana)	% en peso	Observaciones
Residuos de comida, papas, plátano, mandarina	1.70	71.73	
Residuos de vegetales: restos de cebolla, papas, chiles, restos de jitomate, restos de flor de calabaza y cilantro	0.67	28.27	

Total = 2.370 kg.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

DESHIDRATACION DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN Y POR SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO Y SU CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA*

Objetivo: Selección y cuantificación de subproductos orgánicos domésticos

Localidad San Pedro Atlapulco Municipio Ocuayacac Estado México
 Fecha y hora de muestreo 10/Nov/13 Peso de la muestra 5.135 kg.
 Responsable del muestreo Isaura Cuervo No. Familia o casa Fran. Torres Hernández
 Callejón 7/nombre
 No. Personas: 2

Subproducto (RSOD)	Peso en Kg. (día o semana)	% en peso	Observaciones
Residuos de mandarina, plátano, comote, mandarina plátano, melón, manzana	3.315 kg	64.55%	
Restos de cebolla, calabacitas de tomate, restos de jitomate, calabacitas de haba, calabacitas de huevo, fideos de queso, tortitas duras.	1.820 kg	35.44%	

Total = 5.135 kg.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

DESHIDRATACION DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN Y POR SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO Y SU CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA*

Objetivo: Selección y cuantificación de subproductos orgánicos domésticos

Localidad San Pedro Atlapulco Municipio Ocuayacac Estado México
 Fecha y hora de muestreo 30/Nov/13 Peso de la muestra 6.850 kg.
 Responsable del muestreo Lucía Pérez P. No. Familia o casa Fran. Ramírez Díaz
 Callejón Ricardo Flores Higón
 No. Personas: 3

Subproducto (RSOD)	Peso en Kg. (día o semana)	% en peso	Observaciones
Residuos de mandarina, plátano, jicama, restos de manzana	3.350 kg	48.90%	
Restos de cebolla, ajo, y chiles, fideo, restos de tomate, fideos de calabacitas, calabacitas de haba, restos de chiles, calabacitas, calabacitas de huevo, calabacitas, restos de flor de calabaza, restos de pan.	3.500 kg	51.09%	

Total = 6.850 kg.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

DESHIDRATACION DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN Y POR SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO Y SU CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA*

Objetivo: Selección y cuantificación de subproductos orgánicos domésticos

Localidad San Pedro Atlapulco Municipio Ocuayacac Estado México
 Fecha y hora de muestreo 29/Nov/13 Peso de la muestra 7.0 kg.
 Responsable del muestreo Blanca Álvarez No. Familia o casa Fran. Valdez Pérez
 Callejón José Clemente Orozco
 No. Personas: 3

Subproducto (RSOD)	Peso en Kg. (día o semana)	% en peso	Observaciones
Residuos de mandarina, calabacitas de manzana, plátano, calabacitas, jicama, comote, queso	4.200 kg	60%	
Restos de cebolla, ajo, plátano, restos de col, calabacitas, calabacitas, restos de calabacitas.	2.800 kg	40%	

Total = 7.000 kg.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

DESHIDRATACION DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGANICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACION Y POR SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO Y SU CARACTERIZACION BROMATOLÓGICA*

Objetivo: Selección y cuantificación de subproductos orgánicos domésticos

Localidad San Pedro Atlixco Municipio Oaxaca Estado México

Fecha y hora de muestreo 30 de Julio 2013 Peso de la muestra 10.775 kg

Responsable del muestreo Bianca Quirós No. Familia o casa Fam. Villa Becerra
Calle Tiraviva Plata

No. Personas: 6

Subproducto (RSOD)	Peso en Kg. (día o semana)	% en peso	Observaciones
Residuos de alimentos, plátano, manzana, piña, papaya, camote, limón	5.780 kg	53.64%	
Residuos de cocina, restos de papas, papas cocidas, tortillas de maíz, restos de pollo, restos de carne, restos de queso	4.995 kg	46.35%	
Total = 10.775 kg.			

UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

DESHIDRATACION DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGANICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACION Y POR SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO Y SU CARACTERIZACION BROMATOLÓGICA*

Objetivo: Selección y cuantificación de subproductos orgánicos domésticos

Localidad San Pedro Atlixco Municipio Oaxaca Estado México

Fecha y hora de muestreo 30 de Julio 2013 Peso de la muestra 19.170 kg

Responsable del muestreo Bianca Quirós No. Familia o casa Fam. Pérez García
Calle Camino A parte Vieja

No. Personas: 6

Subproducto (RSOD)	Peso en Kg. (día o semana)	% en peso	Observaciones
Residuos de alimentos, manzana, papaya, piña, papaya, camote, limón	7.940 kg	56.03%	
Residuos de cocina, restos de papas, papas cocidas, tortillas de maíz, restos de pollo, restos de carne, restos de queso	6.230 kg	43.96%	
Total = 14.170 kg.			

UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

DESHIDRATACION DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGANICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACION Y POR SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO Y SU CARACTERIZACION BROMATOLÓGICA*

Objetivo: Selección y cuantificación de subproductos orgánicos domésticos

Localidad San Pedro Atlixco Municipio Oaxaca Estado México

Fecha y hora de muestreo 30 de Julio 2013 Peso de la muestra 18.277 kg

Responsable del muestreo Bianca Quirós No. Familia o casa Fam. Flores López
Calle Justo Sierra

No. Personas: 6

Subproducto (RSOD)	Peso en Kg. (día o semana)	% en peso	Observaciones
Residuos de alimentos, manzana, papaya, piña, papaya, camote, limón	9.527 kg	52.12%	
Residuos de cocina, restos de papas, papas cocidas, tortillas de maíz, restos de pollo, restos de carne, restos de queso	8.750 kg	47.87%	
Total = 18.277 kg.			

UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

DESHIDRATACION DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGANICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACION Y POR SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO Y SU CARACTERIZACION BROMATOLÓGICA*

Objetivo: Selección y cuantificación de subproductos orgánicos domésticos

Localidad San Pedro Atlixco Municipio Oaxaca Estado México

Fecha y hora de muestreo 30 de Julio 2013 Peso de la muestra 12.870 kg

Responsable del muestreo Bianca Quirós No. Familia o casa Fam. Villeda Solano
Calle Fea Rosa y María

No. Personas: 7

Subproducto (RSOD)	Peso en Kg. (día o semana)	% en peso	Observaciones
Residuos de alimentos, manzana, papaya, piña, papaya, camote, limón	4.670 kg	36.31%	
Residuos de cocina, restos de papas, papas cocidas, tortillas de maíz, restos de pollo, restos de carne, restos de queso	8.200 kg	63.69%	
Total = 12.870 kg.			

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

DESHIDRATACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN Y POR SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO Y SU CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA*

Objetivo: Selección y cuantificación de subproductos orgánicos domésticos

Localidad San Pedro Atlixo Municipio Oaxaca Estado México
 Fecha y hora de muestreo 10/Nov/13 Peso de la muestra 19.922 kg
 Responsable del muestreo Blanca Quiroz No. Familia o casa Fam. Dicesio Pera
 No. Personas: 7 Calle Emilio Zapata

Subproducto (RSOD)	Peso en Kg. (día o semana)	% en peso	Observaciones
Cáscaras de plátano, manzana, papaya, papas, calabaza, etc.	7.200 kg	48.25%	
Cáscaras de papas, calabaza, etc.	4.112 kg	27.50%	
Residuos de jardín (hojas secas de plantas y pasto)	2.610 kg	24.19%	
Total = 19.922 kg			

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

DESHIDRATACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN Y POR SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO Y SU CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA*

Objetivo: Selección y cuantificación de subproductos orgánicos domésticos

Localidad San Pedro Atlixo Municipio Oaxaca Estado México
 Fecha y hora de muestreo 10/Nov/13 Peso de la muestra 20.185 kg
 Responsable del muestreo Blanca Quiroz No. Familia o casa Fam. Rosalva Méndez
 No. Personas: 8 Calle Bero Visto

Subproducto (RSOD)	Peso en Kg. (día o semana)	% en peso	Observaciones
Cáscaras de papas, calabaza, etc.	12.750 kg	63.16%	
Tallos de papas, calabaza, etc.	7.435 kg	36.83%	
Total = 20.185 kg			

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

DESHIDRATACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN Y POR SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO Y SU CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA*

Objetivo: Selección y cuantificación de subproductos orgánicos domésticos

Localidad San Pedro Atlixo Municipio Oaxaca Estado México
 Fecha y hora de muestreo 29/Nov/13 Peso de la muestra 17.160 kg
 Responsable del muestreo Blanca Quiroz No. Familia o casa Fam. Tanya Perolaza
 No. integrantes de la familia: 8 Av. Independencia

Subproducto (RSOD)	Peso en Kg. (día o semana)	% en peso	Observaciones
Cáscaras de plátano, manzana, papaya, papas, calabaza, etc.	11.822 kg	68.89%	
Residuos de jardín (hojas secas de plantas y pasto)	5.208 kg	30.39%	
Tallos duros	0.130 kg	0.76%	
Total = 17.160 kg			

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

DESHIDRATACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN Y POR SECADO EN ESTUFA DE LABORATORIO Y SU CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA*

Objetivo: Selección y cuantificación de subproductos orgánicos domésticos

Localidad San Pedro Atlixo Municipio Oaxaca Estado México
 Fecha y hora de muestreo 30/Nov/13 Peso de la muestra 17.420 kg
 Responsable del muestreo Blanca Quiroz No. Familia o casa Fam. Nava Zaccarias
 No. Personas: 9 Calle Emilio Zapata

Subproducto (RSOD)	Peso en Kg. (día o semana)	% en peso	Observaciones
Cáscaras de plátano, manzana, papaya, papas, calabaza, etc.	11.640 kg	66.82%	
Residuos de jardín (hojas secas de plantas y pasto)	5.780 kg	33.18%	
Tallos duros	0.000 kg	0.00%	
Total = 17.420 kg			

Anexo 4.1.1 Resultado de la cantidad de RSOD que produce en promedio una familia

Clasificación de RSOD	Peso promedio semanal por familia (Kg).	% en peso
Frutas	6.512	61.895
Legumbres	3.721	35.367
Comida	0.054	0.513
Jardín	0.234	2.224
Total	10.521	100

Fuente: Elaboración propia en cuanto a los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas.

Anexo 4.2. Resultados obtenidos de la deshidratación de RSOD por el método de liofilización.

Núm. Muestra	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	% de humedad perdida
1	100	18.3	81.7
2	100	16.6	83.4
3	100	17.8	82.2
4	100	20.4	79.6
5	100	12.8	87.2
6	100	15.2	84.8
7	100	15.3	84.7
8	100	15.2	84.8
9	100	15.2	84.8
10	100	18.4	81.6
Promedio		16.52	83.48

Fuente: Elaboración propia, con base a los resultados obtenidos del proceso.

Anexo 4.3 Tabla que muestra los resultados obtenidos mediante el secado en estufa de RSOD.

Núm. Muestra	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	% de Humedad Perdida	Tiempo (Horas)	Temperatura °C
1	100	14.9	85.1	8	75
2	100	16.8	83.2	8	75
3	100	15.1	84.9	8	75
4	100	15.2	84.8	8	75
5	100	15.2	84.8	8	75
6	100	15.2	84.8	8	75
7	100	15.1	84.9	8	75
8	100	11.9	88.1	8	75
9	100	17.8	82.2	8	75
10	100	15.7	84.3	8	75
Promedio	100	15.29	84.71	8	75

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

Anexo 4.4 Deshidratación de RSOD por el método de liofilización y secado convencional.

Muestra	% Promedio de humedad perdida	Promedio (Ws)	Tiempo (hrs)	T °C	Presión (mbar)
Muestras de RSO liofilizados	83.48%	16.52	16	-94	0.0080
Muestras de RSO secos en estufa.	84.71%	15.29	8	75	-

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los resultados obtenidos.

Anexo 4.5.1.1 Resultados obtenidos del análisis elemental de las muestras de RS deshidratados por liofilización

Muestra	Concentración de elementos (mg/Kg)							
	K	Ca	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	Mn
ROL1	33631	3867	64	1	8	26	0	
ROL2	37977	3692	71	1	12	32	0	80
ROL3	27050	5469	102	1	8	38	0	
ROL4	29957	3414	218	1	9	30	0	75
ROL5	33189	3773	68	1	10	26	0	
ROL6	37611	3690	66	1	8	32	0	
ROL7	27433	5515	96	0	9	40	0	
ROL8	30234	3526	225	1	9	30	0	
ROL9	34018	3900	64	1	7	27	0	68
ROL10	29409	3320	208	0	8	28	0	79

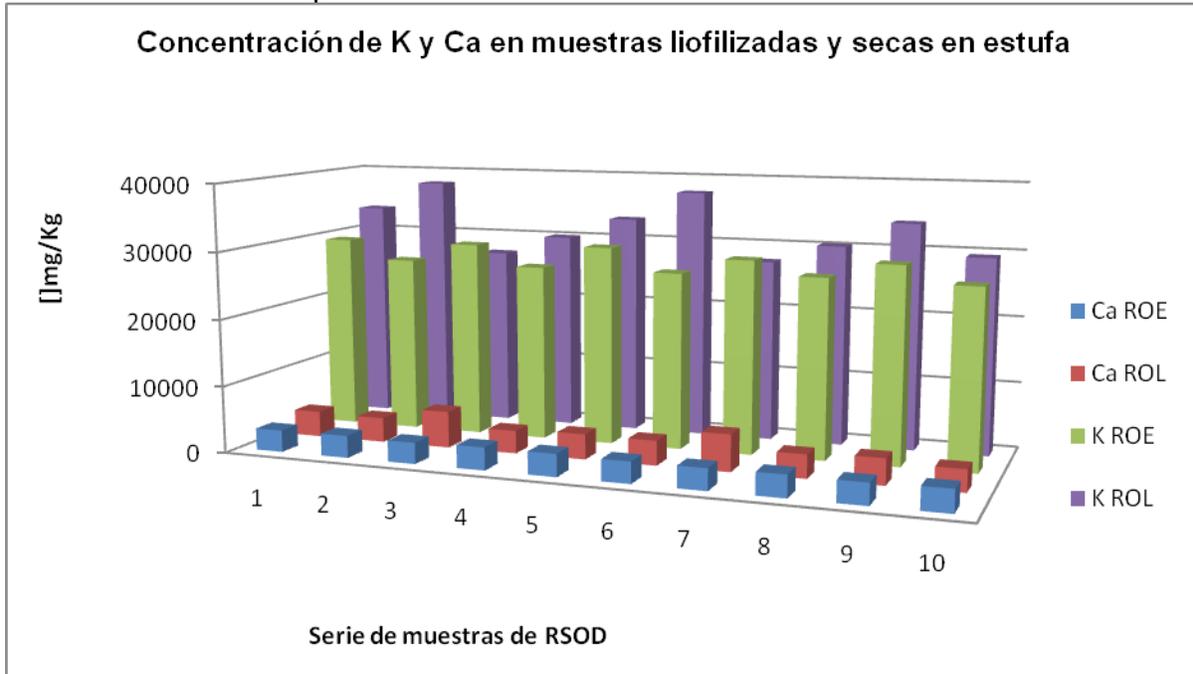
Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos del análisis elemental.

Anexo 4.5.1.2 a) Resultados obtenidos del análisis elemental de las muestras de RSO secas en estufa.

Muestra	Concentración de elementos (mg/Kg)							
	K	Ca	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	Mn
ROE1	29474	3253	69	1	10	32	26	10
ROE2	26650	3303	57	1	6	30	30	10
ROE3	29529	3176	70	1	9	33	18	10
ROE4	26472	3395	61	1	6	32	29	12
ROE5	29920	3368	63	1	11	33	30	9
ROE6	26547	3211	61	1	6	29	3	8
ROE7	28972	3214	74	0	9	31	3	11
ROE8	26932	3302	48	1	7	30	2	10
ROE9	29251	3195	72	0	9	32	3	10
ROE10	26702	3349	54	0	6	30	3	11

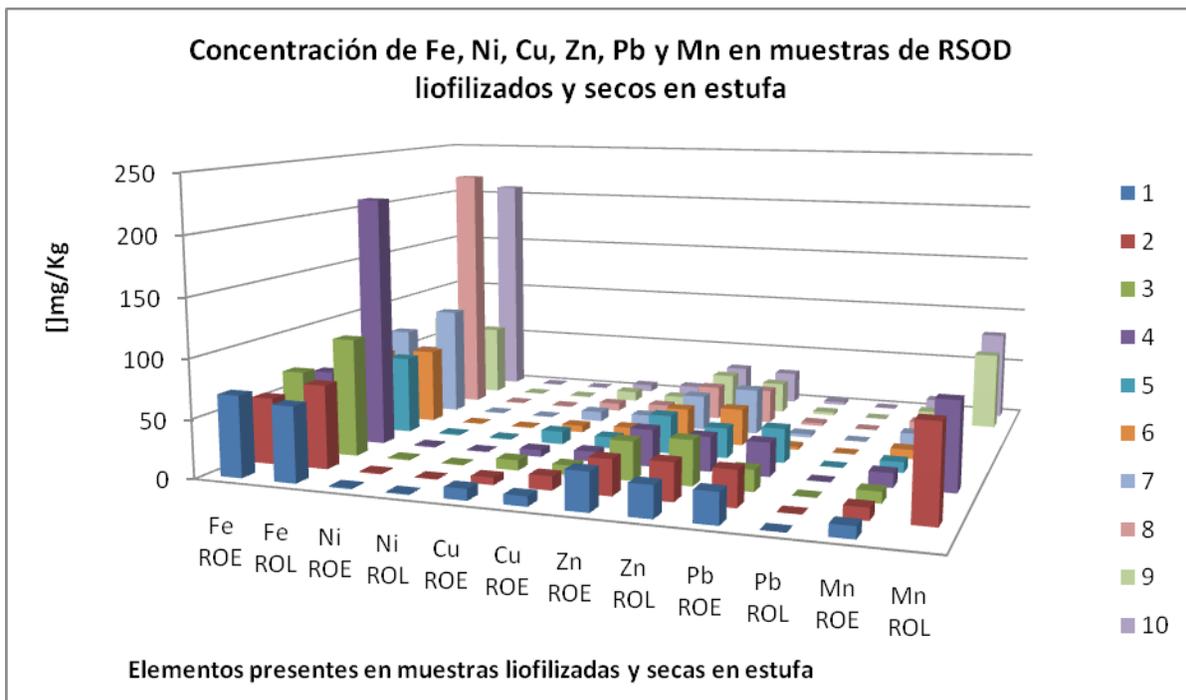
Fuente. Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

Anexo 4.5.1.2 b) Diferencia en el nivel de concentración de K y Ca en RSOD sometidos a ambos procesos de deshidratación.



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

Anexo 4.4.1.2 c) Diferencia en el nivel de concentración de Fe, Ni, Cu, Zn, Pb y Mn en RSOD sometidos a ambos procesos de deshidratación.



Fuente: Elaboración propia de acuerdo con los resultados obtenidos.

Anexo 4.5.2.2 Contenido de nitrógeno total y proteína de residuos sólidos orgánicos domésticos deshidratados por secado en estufa.

Muestra	Nitrógeno total (%)	Proteína (%)
ROE1	1.10	6.86
ROE2	1.16	7.25
ROE3	1.32	8.25
ROE4	1.51	9.46
ROE5	1.48	9.24
Promedio	1.31	8.21

Fuente: Elaboración propia con base a análisis Kjeldhal.