



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL - RESIDUOS SÓLIDOS

**CARACTERIZACIÓN DE LIXIVIADOS DE UN SITIO DE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS DE LA
CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

P R E S E N T A:

ING. ROBERTO VILLANUEVA MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS – FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR:

DRA. MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA - INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

DR. ENRIQUE CÉSAR VALDEZ - FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

M.A.I. LANDY IRENE RAMÍREZ BURGOS - FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

M.I. MERCEDES E. RAMÍREZ CAMPEROS - IMTA

LUGAR DE TRABAJO:

ZMVM, POSGRADO DE INGENIERÍA, LABORATORIO DE POSGRADO DE INGENIERÍA

Ciudad Universitaria. CDMX

SEPTIEMBRE 2019

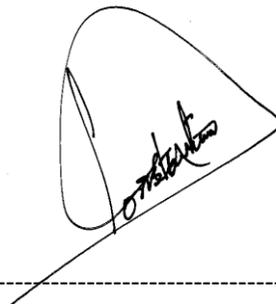
JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dra. Rojas Valencia María Neftalí
Secretario: Dr. César Valdez Enrique
1er. Vocal: M.A.I. Ramírez Burgos Landy Irene
2do. Vocal: M.I. Ramírez Camperos Mercedes E.

Lugar donde se realizó la tesis: Posgrado de Ingeniería, UNAM

TUTOR DE TESIS:

M.C. Gutiérrez Palacios Constantino

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Constantino', is written over a horizontal dashed line. The signature is enclosed within a hand-drawn, irregular loop.

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

Con este trabajo concluye una de las etapas más importantes de mi vida, esto no hubiese sido posible sin la ayuda de mis padres, mis hermanos Victor Hugo y Héctor, mis amados abuelos y tíos por enseñarme que todo en la vida es posible a base de fuerza, trabajo, dedicación y coraje.

A mi alma máter la Universidad Nacional Autónoma de México por darme tanto a cambio de poco.

A todo mi comité tutorial.

A mis amigos que me han acompañado en mi formación personal y académica.

A dios, por permitirme vivir.

Índice

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Planteamiento del problema	2
1.2.	Justificación.....	3
1.3.	Objetivos	3
1.3.1.	General.....	3
1.3.2.	Particulares	3
1.4.	Metas	4
1.5.	Alcances	4
2.	MARCO REGULATORIO	5
2.1.	Los residuos en México.....	5
2.1.1.	Residuos sólidos urbanos.....	5
2.1.2.	Residuos peligrosos.....	6
2.1.3.	Residuos de manejo especial	6
2.1.4.	Distribución de competencia y coordinación	8
2.2.	Residuos de la construcción y demolición, RCD	9
2.2.1.	Definición	9
2.2.2.	Etapas constructivas	9
2.2.3.	Generación de RCD en México.....	13
2.2.4.	Vertederos clandestinos	15
2.2.5.	Impactos ambientales.....	19
2.3.	Sitios autorizados para la disposición de materiales de excavación y de construcción	22
2.3.1.	Sitios autorizados para el reciclamiento de materiales pétreos de residuos de la construcción.....	24
2.3.2.	Sitios autorizados para la transferencia y almacenamiento temporal de residuos de la construcción.....	24
2.4.	Legislación de residuos, Nacional	24
2.4.1.	Ley general de equilibrio ecológico y protección al ambiente, LEGEEPA	25
2.4.2.	Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. LGPGIR	25
2.4.3.	Reglamento de construcciones para el Distrito Federal	25
2.4.4.	Norma ambiental del Distrito Federal, NADF-007-RNAT-2013	25
2.4.5.	Norma Oficial Mexicana, NOM-161-SEMARNAT-2011	26

2.5.	Legislación internacional relativa a lixiviados de RCD	26
2.5.1.	Residuos Inertes (RI)	27
2.5.2.	Residuos admisibles sin realización previa de pruebas en vertederos para residuos no peligrosos (RNP).....	28
2.5.3.	Eliminación de residuos peligrosos no reactivos estables en vertederos de residuos no peligrosos (RNP+RP).....	28
2.5.4.	Residuos admisibles en vertederos para residuos peligrosos (RP).....	28
2.5.5.	Límites de lixiviación	28
3.	ANTECEDENTES.....	30
3.1.	Estado del arte	30
3.1.1.	Estudios realizados respecto a los RCD, Internacional.	30
3.1.2.	Estudios realizados respecto a los RCD, Nacional.....	35
3.2.	Fenómeno de lixiviación	35
3.2.1.	Cuantificación de la generación de lixiviados	36
3.2.2.	Método de balance de agua	37
3.3.	Posibles componentes en el lixiviado de RCD.....	37
3.3.1.	Parámetros básicos	37
3.3.2.	Compuestos orgánicos.....	39
3.3.3.	Compuestos inorgánicos.....	40
3.3.4.	Metales	42
3.4.	Procesos físicos de tratamiento de lixiviado.....	48
3.4.1.	Separación de densidades	48
3.4.2.	Filtración	48
3.4.3.	Aireación	48
3.5.	Procesos químicos de tratamiento de lixiviado	49
3.5.1.	Precipitación química.....	49
3.5.2.	Floculación	49
3.5.3.	Intercambio iónico	50
3.5.4.	Adsorción de resina.....	50
3.5.5.	Oxidación química.....	51
3.5.6.	Reducción química	52
3.5.7.	Ósmosis inversa	52
3.6.	Procesos biológicos de tratamiento de lixiviado	52
4.	METODOLOGÍA	54

4.1.	Criterios de evaluación.....	54
4.2.	Diseño experimental	55
4.2.1.	Obtención y preparación de las unidades experimentales de RCD	56
4.3.	Metodología experimental	58
4.3.1.	Obtención y preparación de las muestras	58
4.3.2.	Caracterización de lixiviados.....	61
5.	RESULTADOS	63
5.1.	Generación de lixiviado.....	63
5.2.	Parámetros básicos	69
5.2.1.	pH.....	69
5.2.2.	Conductividad	69
5.2.3.	Turbiedad	70
5.2.4.	Demanda química de oxígeno (DQO)	70
5.3.	Compuestos orgánicos.....	71
5.3.1.	Hidrocarburos totales	71
5.3.2.	Fenoles	71
5.4.	Compuestos inorgánicos.....	72
5.4.1.	Cloruros totales.....	72
5.4.2.	Fluoruros	72
5.4.3.	Sulfatos.....	73
5.4.4.	Dureza	73
5.4.5.	Carbonatos, Bicarbonatos e hidróxidos	73
5.4.6.	Alcalinidad total	74
5.4.7.	Nitrógeno total.....	74
5.4.8.	Carbono orgánico total	75
5.5.	Metales	75
5.5.1.	Aluminio	75
5.5.2.	Vanadio	76
5.5.3.	Cromo.....	76
5.5.4.	Hierro	77
5.5.5.	Cobalto.....	77
5.5.6.	Níquel.....	77
5.5.7.	Cobre.....	78

5.5.8.	Zinc	78
5.5.9.	Plata	79
5.5.10.	Cadmio	79
5.5.11.	Bario	79
5.5.12.	Plomo	80
5.5.13.	Mercurio.....	80
5.6.	Conclusiones sobre evaluación de lixiviado.....	81
5.6.1.	Parámetros básicos	81
5.6.2.	Compuestos orgánicos.....	81
5.6.3.	Compuestos inorgánicos.....	81
5.6.4.	Metales	82
6.	ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO	83
6.1.	Modelado y simulación empleando software GPS-X.....	83
6.1.1.	Primera alternativa de tratamiento	83
6.1.2.	Segunda alternativa de tratamiento.....	86
7.	CONCLUSIONES.....	89
	ANEXO	90
	BIBLIOGRAFÍA.....	96

Índice de tablas

<i>Tabla 2.1 Componentes principales en función de la actividad</i>	13
<i>Tabla 2.2 Generación promedio de RCD por tipo de subproducto</i>	14
<i>Tabla 2.3 Ubicación de sitios de vertido clandestino</i>	16
<i>Tabla 2.4 Ejemplos de decibeles por equipo</i>	20
<i>Tabla 2.5 Características CRETIB de acuerdo con la NOM-052-SEMARNAT-2005</i>	21
<i>Tabla 2.6 Elementos peligrosos en los RCD</i>	21
<i>Tabla 2.7 Sitios autorizados para disposición de materiales de excavación y construcción</i>	22
<i>Tabla 2.8 Sitios autorizados para el reciclamiento de materiales pétreos de residuos de la construcción</i>	24
<i>Tabla 2.9 Sitios autorizados para la transferencia y almacenamiento temporal de residuos de la construcción</i>	24
<i>Tabla 2.10 Residuos inertes</i>	27
<i>Tabla 2.11 Límites máximos permisibles</i>	29
<i>Tabla 2.12 Valores límite de contenido total de parámetros orgánicos</i>	29
<i>Tabla 3.1 Resultados de Ferguson and Male</i>	34
<i>Tabla 3.2 Conductividad eléctrica y su relación con la salinidad</i>	38
<i>Tabla 4.1 Pesos propuestos de RCD</i>	56
<i>Tabla 4.2 Pesos propuestos de RCD</i>	57
<i>Tabla 4.3 Pesos propuestos de RCD</i>	57
<i>Tabla 5.1 Promedios mensuales de temperatura y precipitación</i>	63
<i>Tabla 5.2 Evapotranspiración ajustada mensual</i>	64
<i>Tabla 5.3 Infiltración potencial y real</i>	65
<i>Tabla 5.4 Generación estimada de lixiviado</i>	68
<i>Tabla 5.5 Resultados pH</i>	69
<i>Tabla 5.6 Resultados de conductividad</i>	69
<i>Tabla 5.7 Resultados UNT</i>	70
<i>Tabla 5.8 Resultados D.Q.O</i>	70
<i>Tabla 5.9 Resultados TPH</i>	71
<i>Tabla 5.10 Resultados fenoles</i>	71
<i>Tabla 5.11 Resultados cloruros</i>	72
<i>Tabla 5.12 Resultados fluoruros</i>	72
<i>Tabla 5.13 Resultados sulfatos</i>	73
<i>Tabla 5.14 Resultados dureza</i>	73
<i>Tabla 5.15 Resultados bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos</i>	74
<i>Tabla 5.16 Resultados alcalinidad</i>	74
<i>Tabla 5.17 Resultados nitrógeno</i>	74
<i>Tabla 5.18 Resultados C.O.T</i>	75
<i>Tabla 5.19 Resultados Al</i>	75
<i>Tabla 5.20 Resultados V</i>	76
<i>Tabla 5.21 Resultados Cr</i>	76
<i>Tabla 5.22 Resultados Fe</i>	77
<i>Tabla 5.23 Resultados Co</i>	77

<i>Tabla 5.24 Resultados Ni</i>	78
<i>Tabla 5.25 Resultados Cu</i>	78
<i>Tabla 5.26 Resultados Zn</i>	78
<i>Tabla 5.27 Resultados Ag</i>	79
<i>Tabla 5.28 Resultados Cd</i>	79
<i>Tabla 5.29 Resultados Ba</i>	80
<i>Tabla 5.30 Resultados Pb</i>	80
<i>Tabla 5.31 Resultados Hg</i>	80
<i>Tabla 5.32 Compuestos básicos</i>	81
<i>Tabla 5.33 Compuestos orgánicos</i>	81
<i>Tabla 5.34 Compuestos inorgánicos</i>	82
<i>Tabla 5.35 Metales</i>	82

Índice de figuras

<i>Fig. 1.1 Vertedero clandestino</i>	2
<i>Fig. 2.1 Composición de los RSU en México</i>	6
<i>Fig. 2.2 Generación anual promedio en México de R.M.E</i>	7
<i>Fig. 2.3 Distribución de competencias</i>	8
<i>Fig. 2.4 Clasificación de etapas constructivas</i>	9
<i>Fig. 2.5 Demolición y limpieza de terreno</i>	10
<i>Fig. 2.6 Corte y acarreo</i>	11
<i>Fig. 2.7 Cimentación superficial</i>	12
<i>Fig. 2.8 Estructura, albañilería, instalaciones y acabados</i>	12
<i>Fig. 2.9 RCD en sitio no autorizado</i>	15
<i>Fig. 2.10 Vertederos clandestinos en CDMX en SIG</i>	19
<i>Fig. 3.1 Generación y flujo de lixiviado</i>	35
<i>Fig. 4.1 Dimensiones de lisímetro, en cm</i>	55
<i>Fig. 4.2 Ubicación</i>	58
<i>Fig. 4.3 Toma y zona de muestreo</i>	58
<i>Fig. 4.4 Selección y pesaje de subproductos</i>	59
<i>Fig. 4.5 Mezcla de subproductos</i>	59
<i>Fig. 4.6 Vertido de subproductos en lisímetros</i>	60
<i>Fig. 4.7 Captación de agua pluvial</i>	60
<i>Fig. 4.8 Recolección de lixiviado</i>	61
<i>Fig. 4.9 Preservación de lixiviado para compuestos orgánicos</i>	62
<i>Fig. 4.10 Preservación de lixiviado para componentes inorgánicos y metales</i>	62
<i>Fig. 6.1 Primera alternativa de tratamiento</i>	83
<i>Fig. 6.2 Diagrama de flujo en (m³/d)</i>	85
<i>Fig. 6.3 Resultados de la simulación</i>	86
<i>Fig. 6.4 Segunda alternativa de tratamiento</i>	86
<i>Fig. 6.5 Espectro de la filtración</i>	87
<i>Fig. 6.6 Diagrama de flujo en (m³/d)</i>	87
<i>Fig. 6.7 Resultados de la simulación</i>	88

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores retos de la modernidad es la creación de un mundo autosuficiente, refiriéndose a gestionar correctamente los recursos naturales, pues para poder hablar de gestión es necesario realizar un manejo eficiente de los residuos.

Actualmente la humanidad se está enfrentando a dos retos importantes, el crecimiento desmedido de la población mundial, que ya sobrepasa los 7500 millones de habitantes (United States Census Bureau, 2018) ocasionando el grave problema de la contaminación ambiental.

Para mejorar la calidad de vida de los asentamientos urbanos no solo es necesario proteger el medio ambiente, sino prevenir, minimizar o evitar los efectos generados por áreas con residuos, contaminación de cuerpos de agua, suelo y aire.

La EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), estimó que para la primera década del siglo XXI había un pasivo ambiental de 40,000 millones de dólares anuales, asociados al impacto del entorno urbano, no obstante, solo hubiesen sido necesarios 17,000 millones de dólares para prevenirlo y solo son destinados menos del 50% de esta cifra para generar soluciones reales a este problema en los asentamientos urbanos (Banco mundial, 2017).

La industria de la construcción es una de las principales actividades con mayor importancia para el desarrollo, pero con consecuencias adversas, impactos ambientales negativos debido a la gran cantidad de desechos que son generados durante el proceso de construcción, llámense obras, remodelaciones y demoliciones, que no tienen un control adecuado y mucho menos un sitio de disposición final con las características necesarias para evitar contaminación del medio, pues erróneamente se piensa que los residuos de construcción y demolición (RCD) no ocasionan impactos negativos ya que sus componentes son inertes y no tienen efectos contaminantes.

La industria de construcción en México es un sector relevante de la economía pues las obras que se construyen a lo largo del país son motor de la producción y empleo. En México se tienen datos que indican una generación anual estimada de 6 millones de toneladas de RCD lo que significa una generación diaria aproximada de 17,000 toneladas (CMIC,2011).

1.1. Planteamiento del problema

Los residuos de la construcción representan un gran conflicto dentro de la industria, pues su adecuado manejo representa un aumento económico de las obras. La mayoría de las veces, las empresas constructoras no están dispuestas a solventar gastos asociados al manejo de residuos, tomando en cuenta que en México no se cuenta con el conocimiento, educación e infraestructura necesaria para que el manejo adecuado de estos residuos sea óptimo, teniendo como consecuencia un fuerte impacto ambiental producido.

La gestión de los residuos de construcción y demolición, es caracterizada principalmente por los siguientes aspectos: a) en su mayoría se realiza una disposición sin control de estos tipos de residuos; b) se atribuye que los efectos de esta disposición se refieren únicamente a la contaminación visual y a los efectos sociales de los vertederos no autorizados que son constituidos generalmente por espacios urbanos en donde son depositados y acumulados estos tipos de residuos y otros residuos sólidos municipales. Ver Fig. 1.1

Un aspecto por considerar de los RCD para su clasificación, manejo o gestión es que están solo en función de sus volúmenes, olvidando considerar la base de sus propiedades físicas, químicas y biológicas que se pueden desarrollar al entrar en contacto y mezclarse con otros residuos o con elementos del ambiente (agua, suelo, aire).



Fig. 1.1 Vertedero clandestino
Fuente: Elaborado por el autor

1.2. Justificación

Actualmente, en la República Mexicana, las empresas constructoras no realizan un adecuado manejo de los residuos de la construcción y demolición (RCD) principalmente en disposición final, donde únicamente se tiran en vertederos a cielo abierto o barrancas, teniendo como consecuencia impactos ambientales negativos, entre los que destacan, la generación de lixiviados que contaminan los acuíferos. Cabe mencionar que los residuos sólidos municipales que se disponen en rellenos sanitarios, las cuales cuentan (por normatividad) con fondo impermeabilizado impidiendo que los lixiviados que se generan se infiltren en el subsuelo, en el caso de los RCD, se disponen en el suelo no cuentan con una barrera impermeable que evite que los lixiviados generados se infiltren en el subsuelo, ocasionando la contaminación del manto acuífero.

En México se cuenta con investigación de lixiviados de residuos de la construcción obtenidos experimentalmente en el laboratorio que concluyen que los residuos de la construcción de casa-habitación no son inertes y si tienen efectos contaminantes (Nava, 2006). En este estudio se propone generar, así como caracterizar lixiviados con residuos de construcción y demolición obtenidos directamente en sitios de disposición final en el área metropolitana de la Ciudad de México.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Caracterizar lixiviados generados por residuos de la construcción y demolición del área metropolitana de la Ciudad de México empleando modelos experimentales (lisímetros).

1.3.2. Particulares

1. Localizar sitios de disposición de RCD, también llamados escombreras, en el área metropolitana de la Ciudad de México.
2. Muestrear un sitio de disposición final de residuos de construcción y demolición.
3. Generar lixiviados con diferentes proporciones de RCD a partir de modelos experimentales.
4. Caracterizar en el laboratorio los lixiviados generados.
5. Analizar alternativas de tratamiento de lixiviado.

1.4. Metas

- Caracterizar lixiviados generados.
- Obtener alternativas de procesos para el tratamiento de los lixiviados en estudio.
- Analizar los resultados obtenidos.

1.5. Alcances

- Realizar un muestreo de residuos de construcción y demolición, adaptándolo a la zona metropolitana del valle de México.
- Analizar el estado del arte nacional e internacional referente a los lixiviados de RCD, adaptándolo a la realización de la metodología propuesta.
- Al no existir legislación aplicable al tema, se utilizará la legislación referente a las características, procedimiento de identificación y listado de los residuos peligrosos, así como referencia de la legislación internacional y estudios de límites permisibles.
- De acuerdo con lo anterior, seleccionar el tratamiento y disposición final más adecuada del lixiviado.

2. MARCO REGULATORIO

En el presente capítulo se abordará la legislación aplicable al tema, así como los posibles de focos de generación de RCD en el sector constructivo.

2.1. Los residuos en México

Los residuos se definen en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos; pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma ley (DOF, 2003). En función de sus características, se les clasifica en tres grandes grupos: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP).

2.1.1. Residuos sólidos urbanos

Se trata de aquellos residuos que son generados en las casas habitación, como resultado de la eliminación de los materiales que fueron utilizadas en las actividades domésticas. En este tipo de residuos también se incluyen los que provienen de cualquier otra actividad que sea desarrollada dentro de los establecimientos o en vía pública con características domiciliarias, así como los resultantes de las vías y lugares públicos siempre que no sean considerados como residuos de otra índole (DOF, 2003).

Es importante mencionar que la gestión de estos residuos está a cargo de las autoridades municipales.

Los residuos sólidos se dividen en 3 grupos generales, los cuales están compuestos por ciertos tipos de materiales.

1. Susceptibles de aprovechamiento: Es el 52.4% de los residuos generados, en este grupo están los residuos que necesitan menos procedimientos para ser aprovechados, reusar o reciclar, por ejemplo: cartón, papel, metales (ferrosos/no ferrosos, plásticos, vidrios, etc.
2. Orgánicos: Representa el 35.5% de los residuos generados y son los procedentes de naturaleza y que no cuentan con procedimiento para reusar o reciclar, por ejemplo: residuos de comida, jardines y materiales orgánicos similares, etc.
3. Otros: Representa el 12.1% restante y en este grupo están aquellos residuos que son más complicados de tratar y su aprovechamiento no es directo pues cuentan con materiales más complejos.

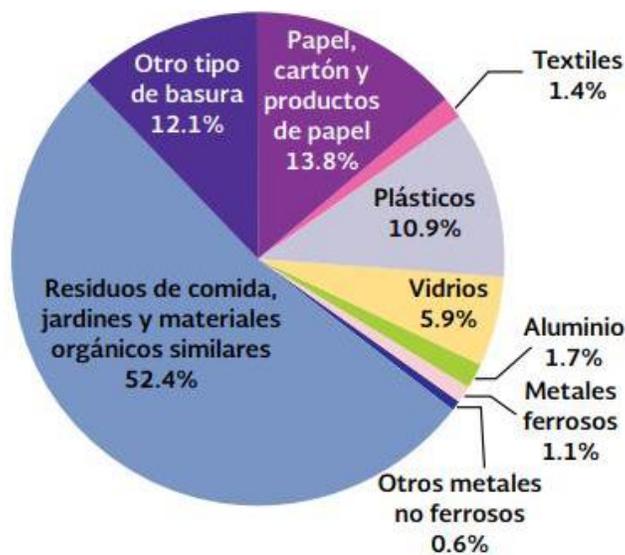


Fig. 2.1 Composición de los RSU en México

Fuente: INE. SEMARNAT. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos. México 2012.

2.1.2. Residuos peligrosos

En la actualidad existe una gran diversidad de sustancias químicas, si bien es cierto que ha servido para mejorar significativamente la calidad de vida, también ha ejercido una importante presión sobre el medio ambiente y por lo tanto a la salud humana. Una vez finalizada la vida útil de muchos de los productos que se fabrican a partir de estas sustancias o que las contienen, se convierten en desechos que ponen en riesgo la salud de las personas o pueden causar daños al medio ambiente. Entre estos desechos se encuentran los residuos peligrosos, definidos como aquellos que poseen alguna de las características CRETIB que les confieren peligrosidad (corrosividad, C; reactividad, R; explosividad, E; toxicidad, T; inflamabilidad, I; o ser biológico-infecciosos, B), así como los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados, según lo establece la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). La norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación, y listados de residuos peligrosos.

2.1.3. Residuos de manejo especial

Los residuos de manejo especial (RME) están definidos en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) como aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados residuos sólidos urbanos o peligrosos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos (DOF, 2003).

Estos residuos son gestionados por las autoridades estatales pues por el tipo de materiales y los volúmenes generados es importante llevar un correcto manejo de éstos.

La Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR, 2015) clasifica a estos residuos en once categorías según su origen:

- I. Residuos de las rocas o los productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales de construcción o se destinen para este fin, así como los productos derivados de la descomposición de las rocas, excluidos de la competencia federal conforme a las fracciones IV y V del artículo 5 de la Ley Minera;
- II. Residuos de servicios de salud, generados por los establecimientos que realicen actividades médico-asistenciales a las poblaciones humanas o animales, centros de investigación, con excepción de los biológico-infecciosos;
- III. Residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de los insumos utilizados en esas actividades;
- IV. Residuos de los servicios de transporte, así como los generados a consecuencia de las actividades que se realizan en puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias y portuarias y en las aduanas;
- V. Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales;
- VI. Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales generados en grandes volúmenes;
- VII. Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general;
- VIII. Residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores y otros que, al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico;
- IX. Pilas que contengan litio, níquel, mercurio, cadmio, manganeso, plomo, zinc, o cualquier otro elemento que permita la generación de energía en las mismas, en los niveles que no sean considerados como residuos peligrosos en la norma oficial mexicana correspondiente;
- X. Los neumáticos usados, y
- XI. Otros que determine la Secretaría de común acuerdo con las entidades federativas y municipios, que así lo convengan para facilitar su gestión integral.

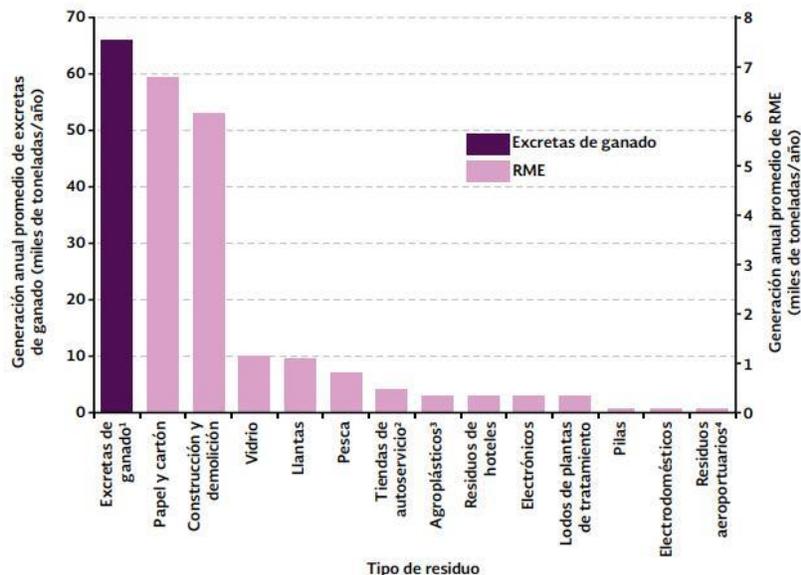


Fig. 2.2 Generación anual promedio en México de R.M.E

Fuente: INE. SEMARNAT. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos. México 2012.

2.1.4. Distribución de competencia y coordinación

Resulta de vital importancia la correcta gestión de lo antes mencionado, pero también es necesario conocer los principales órganos reguladores.

En la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), título segundo, capítulo único, artículo 6: La federación, las entidades federativas, y los municipios, ejercerán sus atribuciones en materia de prevención de la generación, aprovechamiento, gestión integral de los residuos, de prevención de la contaminación de sitios y su remediación.

Son facultades de la federación: Expedir reglamentos, normas oficiales mexicanas, y demás disposiciones jurídicas, para regular el manejo integral de los residuos peligrosos, su clasificación, prevenir la contaminación de sitios o llevar a cabo su remediación cuando ello ocurra (LGPGIR, título segundo, capítulo único, artículo 7, párrafo 2).

Son facultades de las entidades federativas: Formular, conducir y evaluar la política estatal, así como elaborar los programas en materia de residuos de manejo especial (LGPGIR, título segundo, capítulo único, artículo 9, párrafo 1).

Los municipios tienen a cargo las funciones de manejo integral de residuos sólidos urbanos, que consisten en la recolección, traslado, tratamiento, y su disposición final (LGPGIR, título segundo, capítulo único, artículo 10).



Fig. 2.3 Distribución de competencias
Fuente: Adaptado de Gaytán. PMRPD. México 2018.

2.2. Residuos de la construcción y demolición, RCD

Pese a que los procesos de construcción y demolición (RCD) son básicamente opuestos, los residuos que ambas actividades generan normalmente son considerados de forma conjunta.

2.2.1. Definición

Se puede definir a los RCD como todos los desechos que son gestados durante las diversas actividades de la construcción y demolición, como consecuencia de los procesos realizadas en las etapas constructivas (EPA, 1985).

2.2.2. Etapas constructivas

Es importante destacar que dependiendo del tipo de construcción (residencial, industrial o de servicio), será la naturaleza y cantidad de los residuos generados, pero la mayoría de las construcciones se pueden resumir con las mismas etapas constructivas, ver Fig. 2.4. Las etapas constructivas son las fases en las cuales se desarrollan distintas actividades del proceso constructivo, que tiene como objetivo principal, finalizar un diseño o proyecto previamente planificado.



Fig. 2.4 Clasificación de etapas constructivas

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.1. Preliminares

Desmantelamiento: Cuando existan construcciones provisionales, parciales o cuya vida útil o tiempo de servicio ya ha concluido, se tienen que retirar para dar lugar a un nuevo proyecto. No obstante, el desuso o la inutilidad de estos espacios, pueden ser objeto de reúso o tener algún valor.

Demolición: Las construcciones parciales o provisionales que se ubican dentro del área del nuevo proyecto tendrán que ser demolidas una vez que el material, equipo recuperable o de reúso haya sido desmantelado.

Limpieza de terreno: Varias actividades y procesos forman el concepto de limpieza de terreno cuyo fin es eliminar la vegetación existente sobre un terreno, es parte importante de su habilitación para el desplante de una estructura y en la realización de una excavación.

El proceso de limpieza del terreno se realiza mediante las siguientes actividades:

- **Desmante:** Consiste en el retiro de plantas, maleza, toda la vegetación en general, habrá especies que se deberán respetar conforme al proyecto.
- **Despalme:** Consiste en retirar la capa superficial (tierra vegetal), que por sus características mecánicas no son adecuadas para el desplante de cualquier proyecto.
- **Limpieza:** Retiro fuera de la obra o terreno del producto de las actividades anteriores.

Trazo y nivelación: Al combinar los dos conceptos, el trazo y nivelación se obtiene la referenciación necesaria para ubicar al proyecto en el espacio y de acuerdo a las dimensiones y niveles preestablecidos.

- **Trazo:** Se le llama al efecto de localizar, alinear, ubicar y marcar en el terreno o en la superficie de construcción los ejes principales, paralelos y perpendiculares señalados en el plano del proyecto, así como los linderos del mismo.
- **Nivelación:** Se llama así, a los trabajos que se efectúan para conocer la diferencia de alturas de uno o varios puntos con respecto a uno conocido, denominado banco de nivel; éste puede ser verdadero o supuesto y de él depende la precisión del trabajo.



Fig. 2.5 Demolición y limpieza de terreno

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.2. Excavación

La excavación es la actividad necesaria para la remoción y extracción de materiales del suelo o terreno, ya sea para alcanzar el nivel de desplante de una cimentación, la rasante en la construcción de un camino o el fondo de una cepa para alojar una tubería.

Corte: Consiste en la remoción del suelo.

Acarreo: Es el efecto de trasladar o transportar esos mismos materiales, dentro de la obra, hacia un depósito provisional mientras no se le asigne un uso final o fuera de la obra, a una zona de tiro de depósito permanente o temporal, según sea el caso.

Relleno: Consiste en colocar el material producto de la excavación proveniente de un banco de préstamo para alcanzar niveles de desplante del proyecto, para mejorar o sustituir material natural inestable, para ocultar y confinar cimentaciones o cualquier otra excavación que lo requiera.



Fig. 2.6 Corte y acarreo

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.3. Cimentación

La cimentación de una edificación está integrada por elementos estructurales que forman la subestructura que sostiene y estabiliza a la superestructura y se coloca bajo el nivel del terreno natural cuyos objetivos son:

- Reducir o mantener el asentamiento total a una cantidad máxima aceptable.
- Evitar lo más posible el asentamiento diferencial entre las partes de una estructura.
- Estabilizar la estructura.

Cimentación superficial: Son aquellas que se desplantan desde profundidades relativamente pequeñas. A los elementos estructurales que las constituyen se les denominan zapatas y losas de cimentación.

Cimentación profunda: Cuando las capas superficiales del suelo no son lo suficientemente resistentes para soportar el peso de la edificación, es necesario encontrar apoyo en capas con mayor y mejor resistencia en

estratos más profundos. A los elementos estructurales que las constituyen se les denominan: cajones, pilas y pilotes.



Fig. 2.7 Cimentación superficial

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.4. Construcción

Estructura: Es el ensamble de elementos que mantienen su forma y unidad. Tiene como objetivo principal resistir cargas resultantes de su uso.

Albañilería: Se denomina albañilería al conjunto de actividades que por su funcionamiento se consideran estructurales, no estructurales, semiestructurales y arquitectónicas. Son trabajos que detallan a la estructura y que sirven de base para los acabados finales de la edificación.

Instalaciones: Se define como el conjunto de aparatos y conducciones de los servicios (gas, electricidad, agua, sanitario) u otros elementos destinados a complementar las condiciones del servicio a prestar.

Acabados: Son todos aquellos materiales que se colocan sobre una superficie del proyecto para darle terminación de las obras y tienen como función principal proteger todos los materiales bases, así como proporcionar estética y comodidad.



Fig. 2.8 Estructura, albañilería, instalaciones y acabados

Fuente: Elaboración propia.

Con base en lo anterior, podemos dividir en tres principales actividades para conocer los principales componentes generados en la industria, como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1
Componentes principales en función de la actividad

ACTIVIDAD	OBJETO	PRINCIPALES COMPONENTES
Excavación	Cortes	Suelo y roca
Demolición	Viviendas, edificios y obras públicas	Antiguas: mampostería, ladrillo, madera, yeso, tejas, asbesto, cerámicos
		Recientes: ladrillo, concreto, acero, diversos metales y plásticos
		Industriales: concreto, ladrillo, mampostería, metales, madera y plásticos.
		Servicios: concreto, ladrillo, mampostería, hierro, madera, pavimentos, plásticos
Construcción	Edificación y obras públicas	Concreto, hierro, acero, ladrillos, bloques, tejas, cerámicos, plásticos, suelo, mampostería, yeso, cal, madera, fibra de vidrio pavimentos, aditivos, resinas, pinturas, viniles etc.
	Reparación y mantenimiento	
	Reconstrucción y rehabilitación	

Fuente: Adaptado de Aguilar, 1997

2.2.3. Generación de RCD en México

De acuerdo con el estudio titulado: “Estudio de análisis, evaluación y definición de estrategias de solución de la corriente de residuos generados por las actividades de construcción en México” (SEMARNAT, 2009), la generación de los Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) representa, en peso promedio el 17.5% de los RSU.

Como se ha mencionado anteriormente, la problemática que presentan estos residuos es principalmente su disposición final incorrecta y su falta de aprovechamiento en obras nuevas o remodelaciones pues no se realiza correctamente la separación de dichos residuos para su máximo aprovechamiento.

Conforme a “Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos” (SEMARNAT, 2012), se cuenta con información de generación promedio de RCD por subproductos, pero con datos del año 2009 como se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2
Generación promedio de RCD por tipo de subproducto

SUBPRODUCTO	GENERACIÓN PROMEDIO	PORCENTAJE
Material de excavación	2,637.55	43.16%
Concreto	1,489.88	24.38%
Block tabique	1,425.72	23.33%
Tablaroca de Yeso	247.50	4.05%
Madera	92.89	1.52%
Cerámica	51.94	0.85%
Plástico	44.00	0.72%
Piedra	37.89	0.62%
Papel	29.94	0.49%
Varilla	29.33	0.48%
Asfalto	15.28	0.25%
Lámina	5.50	0.09%
Otros	3.67	0.06%
Total	6,111.09	100%

Fuente: Adaptado de SEMARNAT, 2009

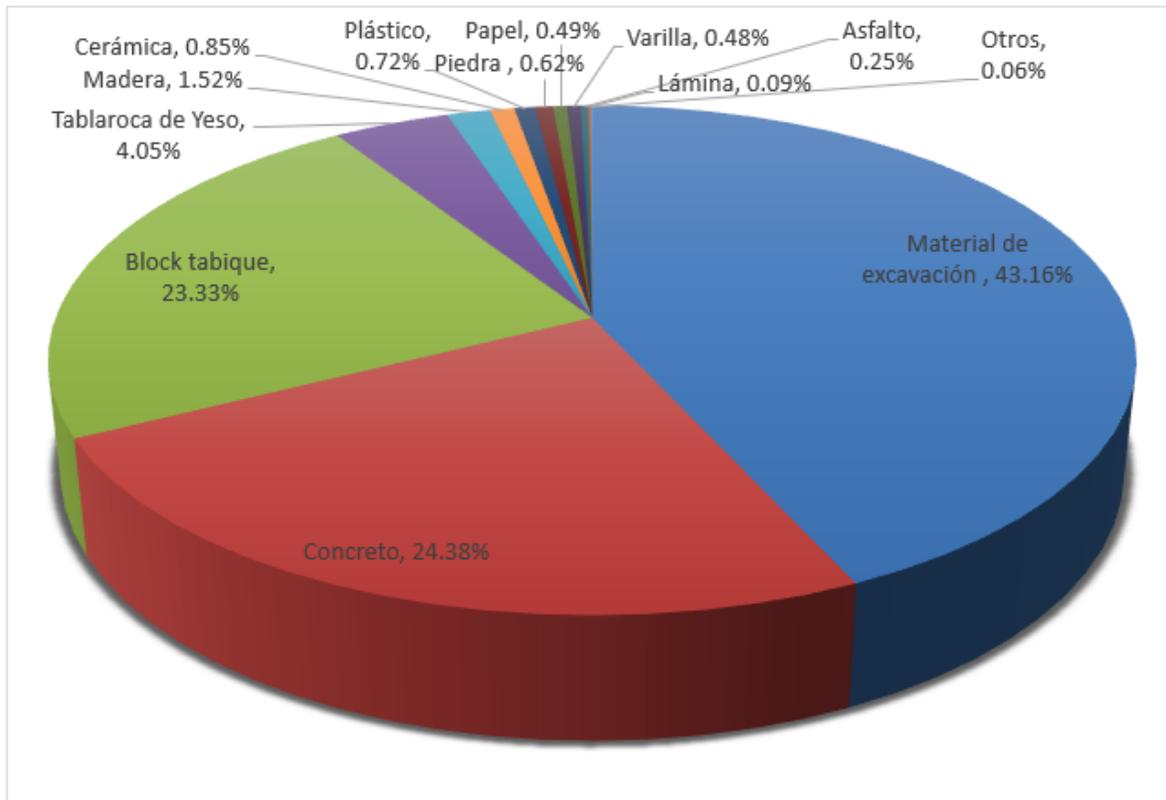


Fig. 2.9 Composición de RCD por tipo de subproducto.
Fuente elaboración propia con adaptación de SEMARNAT, 2009

2.2.4. Vertederos clandestinos

Una de las consecuencias de no contar con una correcta gestión de los RCD es el vertido clandestino. De acuerdo con el plan de manejo de residuos de la construcción y demolición, la mayor parte de los RCD generados en las obras pequeñas son retirados por vehículos de carga privados, poco más del 5%, son trasladados por los vehículos recolectores de residuos sólidos urbanos (RSU), y se estima que cerca del 10% de los residuos se disponen en suelo de conservación o la vía pública.

Para el caso de las obras públicas y privadas se estima que el 67% de sus residuos son transportados por vehículos de carga privados, sin embargo, tan sólo el 20% se dispone en sitios autorizados y un 3% se recicla, disponiendo el resto para renivelación de terrenos, rellenos sanitarios y de manera inapropiada en suelos de conservación o vía pública.



Fig. 2.9 RCD en sitio no autorizado

Fuente: Elaboración propia.

Además de lo planteado anteriormente, es bien sabido que se dan casos de recolección clandestina por camiones de volteo que depositan los residuos en lugares no autorizados y sin ningún mecanismo de regulación, por lo que la CDMX realiza un trabajo de identificación de los sitios de vertido clandestino incontrolado (ver tabla 2.3) resultando las alcaldías: Tláhuac, Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Iztapalapa y Xochimilco las más afectadas, estimando un total de 365,000 m² de terreno afectado.

Tabla 2.3
Ubicación de sitios de vertido clandestino

No.	COORDENADAS		ALCALDÍA	COLONIA
	X	Y		
1	475877.38	2139260.95	ÁLVARO OBREGÓN	PUEBLO COLORADO
2	475675.84	2140842.04	ÁLVARO OBREGÓN	CANUTILLO
3	474801.04	2137486.51	ÁLVARO OBREGÓN	LA ANGOSTURA
4	476083.90	2141709.83	ÁLVARO OBREGÓN	AMPLIACION PILOTO ADOLFO LOPEZ MATEOS
5	476936.76	2142987.85	ÁLVARO OBREGÓN	PRESIDENTES
6	475390.52	2144337.79	ÁLVARO OBREGÓN	ZONA RUSTICA
7	474756.54	2143527.50	ÁLVARO OBREGÓN	LOMAS DE SANTA FE
8	474809.20	2143638.08	ÁLVARO OBREGÓN	LOMAS DE SANTA FE
9	476366.04	2141199.07	ÁLVARO OBREGÓN	COLINA DEL SUR
10	474819.76	2143681.22	ÁLVARO OBREGÓN	LOMAS DE SANTA FE
11	478304.32	2143390.28	ÁLVARO OBREGÓN	LA JOYA
12	471336.90	2137824.82	ÁLVARO OBREGÓN	PUEBLO SAN BARTOLO AMEYALCO
13	472247.69	2138408.52	ÁLVARO OBREGÓN	EJIDO SAN MATEO
14	469531.88	2135528.80	ÁLVARO OBREGÓN	PUEBLO SANTA ROSA XOCHIAIC
15	469550.86	2135464.17	ÁLVARO OBREGÓN	PUEBLO SANTA ROSA XOCHIAIC
16	469673.69	2135553.94	ÁLVARO OBREGÓN	ZONA RUSTICA
17	469790.33	2136550.43	ÁLVARO OBREGÓN	PUEBLO SANTA ROSA XOCHIAIC
18	475620.00	2139341.00	ÁLVARO OBREGÓN	PUEBLO COLORADO
19	477557.00	2144363.00	ÁLVARO OBREGÓN	LIBERALES DE 1857
20	469548.17	2135485.50	ÁLVARO OBREGÓN	PUEBLO SANTA ROSA XOCHIAIC
21	472203.57	2138408.00	ÁLVARO OBREGÓN	EJIDO SAN MATEO
22	477521.14	2144358.70	ÁLVARO OBREGÓN	LIBERALES DE 1857
23	477619.26	2144446.05	ÁLVARO OBREGÓN	LIBERALES DE 1857
24	477400.23	2144427.06	ÁLVARO OBREGÓN	ZONA RUSTICA
25	477548.36	2144534.04	ÁLVARO OBREGÓN	EL CAPULIN
26	483018.65	2141582.83	BENITO JUÁREZ	SANTA CRUZ ATOYAC
27	485458.59	2142575.41	BENITO JUÁREZ	NATIVITAS
28	488764.37	2135733.43	COYOACÁN	EMILIANO ZAPATA FRACC POPULAR
29	486913.46	2137392.84	COYOACÁN	EX EJIDO SAN FRANCISCO CULHUACAN
30	489463.99	2134856.33	COYOACÁN	CULHUACAN CTM SECC IX-B
31	489251.01	2135492.24	COYOACÁN	CULHUACAN CTM SECC IX-B
32	487132.00	2136081.00	COYOACÁN	EX EJIDO SAN PABLO TEPETLAPA
33	483583.47	2137150.19	COYOACÁN	AJUSCO
34	470196.47	2139322.75	CUAJIMALPA DE MORELOS	CONTADERO
35	472552.96	2144559.73	CUAJIMALPA DE MORELOS	CHAMIZAL
36	472425.70	2143730.07	CUAJIMALPA DE MORELOS	CHAMIZAL
37	468191.45	2141160.64	CUAJIMALPA DE MORELOS	CUAJIMALPA
38	471584.16	2139120.87	CUAJIMALPA DE MORELOS	SIN NOMBRE
39	472015.07	2143996.14	CUAJIMALPA DE MORELOS	CHAMIZAL
40	471867.00	2143272.00	CUAJIMALPA DE MORELOS	CHAMIZAL
41	468056.25	2138731.50	CUAJIMALPA DE MORELOS	CONTADERO
42	472739.91	2144457.60	CUAJIMALPA DE MORELOS	BOSQUES DE LAS LOMAS
43	472455.50	2143014.91	CUAJIMALPA DE MORELOS	BOSQUES DE LAS LOMAS
44	472459.51	2143020.96	CUAJIMALPA DE MORELOS	BOSQUES DE LAS LOMAS
45	472743.00	2144456.00	CUAJIMALPA DE MORELOS	BOSQUES DE LAS LOMAS
46	472530.02	2143750.59	CUAJIMALPA DE MORELOS	CHAMIZAL
47	472887.19	2143375.29	CUAJIMALPA DE MORELOS	BOSQUES DE LAS LOMAS
48	471329.33	2138573.43	CUAJIMALPA DE MORELOS	SIN NOMBRE
49	472458.78	2143560.50	CUAJIMALPA DE MORELOS	BOSQUES DE LAS LOMAS
50	472915.54	2143655.65	CUAJIMALPA DE MORELOS	BOSQUES DE LAS LOMAS
51	469288.30	2136537.51	CUAJIMALPA DE MORELOS	ZONA RUSTICA
52	467272.68	2138479.26	CUAJIMALPA DE MORELOS	LOMA DEL PADRE
53	467281.03	2138429.54	CUAJIMALPA DE MORELOS	LOMA DEL PADRE
54	464695.11	2135360.38	CUAJIMALPA DE MORELOS	ZONA RUSTICA
55	464662.20	2135352.71	CUAJIMALPA DE MORELOS	ZONA RUSTICA
56	464655.71	2135192.43	CUAJIMALPA DE MORELOS	LA PILA
57	470495.00	2140761.11	CUAJIMALPA DE MORELOS	SANTA FE CUAJIMALPA
58	470408.35	2140671.11	CUAJIMALPA DE MORELOS	SANTA FE CUAJIMALPA
59	469408.00	2139268.00	CUAJIMALPA DE MORELOS	CONTADERO
60	463524.56	2133846.58	CUAJIMALPA DE MORELOS	ZONA RUSTICA
61	463414.84	2133812.82	CUAJIMALPA DE MORELOS	ZONA RUSTICA
62	472638.32	2143982.69	CUAJIMALPA DE MORELOS	CHAMIZAL
63	469047.91	0.00	CUAJIMALPA DE MORELOS	SANTA ROSA XOCHIAIC
64	482333.01	2149161.56	CUAUHTÉMOC	SAN RAFAEL

Fuente: Adaptado de PAOT, 2015

Ubicación de sitios de vertido clandestino (Continuación)

No.	COORDENADAS		ALCALDÍA	COLONIA
	X	Y		
65	488887.00	2156573.00	GUSTAVO A. MADERO	PN EL TEPEYAC
66	488722.00	2156614.00	GUSTAVO A. MADERO	PN EL TEPEYAC
67	488592.00	2156794.00	GUSTAVO A. MADERO	PN EL TEPEYAC
68	488728.00	2156501.00	GUSTAVO A. MADERO	
69	485107.60	2159335.23	GUSTAVO A MADERO	LA PASTORA
70	486428.12	2142839.03	IZTACALCO	MILITAR MARTE
71	492998.69	2146032.20	IZTACALCO	AGRICOLA PANTITLAN
72	486655.10	2141404.48	IZTAPALAPA	EL RETOÑO
73	494873.61	2136434.92	IZTAPALAPA	POLVORILLA
74	487464.26	2140272.91	IZTAPALAPA	PUEBLO MEXICALTZINGO
75	493851.30	2144148.25	IZTAPALAPA	TEPalcates
76	497142.42	2140280.85	IZTAPALAPA	STA MARIA AZTAHUACAN
77	495964.45	2138475.50	IZTAPALAPA	PUEBLO STA CRUZ MEYEHUALCO
78	489399.33	2137578.27	IZTAPALAPA	12 DE DICIEMBRE
79	491978.56	2136057.72	IZTAPALAPA	EL VERGEL
80	492478.22	2135378.97	IZTAPALAPA	BARRIO GUADALUPE
81	492742.67	2133258.20	IZTAPALAPA	USCOVI
82	488058.00	2139044.00	IZTAPALAPA	VALLE DEL SUR
83	492275.90	2140464.57	IZTAPALAPA	LEYES DE REFORMA 1A SECCION
84	490862.69	2134679.20	IZTAPALAPA	EL VERGEL
85	494684.55	2136141.65	IZTAPALAPA	EL TRIANGULO
86	495032.00	2135810.00	IZTAPALAPA	AMPLIACION LA POLVORILLA
87	489930.00	2139133.00	IZTAPALAPA	PARQUE NACIONAL CERRO DE LA ESTRELLA
88	474710.07	2134112.83	MAGDALENA CONTRERAS	PUEBLO SAN NICOLAS TOTOLAPAN
89	473210.85	2134987.74	MAGDALENA CONTRERAS	PUEBLO SAN BERNABE OCOTEPEC
90	474608.53	2135295.55	MAGDALENA CONTRERAS	LOMAS QUEBRADAS
91	473214.94	2133922.74	MAGDALENA CONTRERAS	LA CARBONERA
92	473218.95	2135563.06	MAGDALENA CONTRERAS	PUEBLO SAN BERNABE OCOTEPEC
93	473529.63	2136267.05	MAGDALENA CONTRERAS	LAS CRUCES
94	473807.09	2133229.16	MAGDALENA CONTRERAS	PUEBLO SAN NICOLAS TOTOLAPAN
95	473827.00	2135902.00	MAGDALENA CONTRERAS	BARROS SIERRA
96	474447.91	2146113.69	MIGUEL HIDALGO	BOSQUE DE LAS LOMAS
97	478806.74	2152982.51	MIGUEL HIDALGO	SAN LORENZO TLATENANGO
98	481315.18	2145672.64	MIGUEL HIDALGO	ESCANDON II SECCION
99	479034.82	2146984.19	MIGUEL HIDALGO	BOSQUE DE CHAPULTEPEC II SECCION
100	478937.00	2147400.00	MIGUEL HIDALGO	BOSQUE DE CHAPULTEPEC II SECCION
101	481551.00	2147218.00	MIGUEL HIDALGO	BOSQUE DE CHAPULTEPEC II SECCION
102	493702.09	2120153.75	MILPA ALTA	ZONA RUSTICA
103	502837.74	2124010.87	MILPA ALTA	LA CONCHITA
104	496391.00	2121140.00	MILPA ALTA	CARRETERA FEDERAL, VILLA MILPA ALTA
105	495116.00	2123742.00	MILPA ALTA	CARRETERA FEDERAL SAN PEDRO ATOCPAN
106	495804.00	2122140.00	MILPA ALTA	CARRETERA FEDERAL KM 20, VILLA MILPA ALTA
107	501677.00	2120140.00	MILPA ALTA	SAN JUAN TEPENAHUAC
108	491986.00	2122762.00	MILPA ALTA	SAN SALVADOR ATENCO
109	489902.00	2120455.00	MILPA ALTA	SAN SALVADOR ATENCO
110	501162.00	2119708.00	MILPA ALTA	SANTA ANA TLACOTENCO
111	491055.00	2121361.00	MILPA ALTA	SAN PABLO OZTOTEPEC
112	496415.00	2120551.00	MILPA ALTA	PUEBLO SAN LORENZO TLACOYUCAN
113	489458.01	2121237.17	MILPA ALTA	ZONA RUSTICA

Fuente: Adaptado de PAOT, 2015

Ubicación de sitios de vertido clandestino (Continuación)

No.	COORDENADAS		ALCALDÍA	COLONIA
	X	Y		
114	499510.5	2130761	TLÁHUAC	SAN PEDRO TLAHUAC
115	495112.8	2135224	TLÁHUAC	LAS ARBOLEDAS
116	497236.9	2134094	TLÁHUAC	SANTIAGO ZAPOTITLAN
117	499779.3	2127699	TLÁHUAC	EL ROSARIO BAJO
118	497184.7	2135997	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
119	498973.6	2130489	TLÁHUAC	BO GUADALUPE
120	499973.6	2133429	TLÁHUAC	SELENE
121	499779.3	2127699	TLÁHUAC	EL ROSARIO BAJO
122	496816.3	2131760	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
123	503588.3	2126345	TLÁHUAC	EL VADO
124	503297.7	2125951	TLÁHUAC	EL VADO
125	503254.4	2125954	TLÁHUAC	EL VADO
126	501461	2133500	TLÁHUAC	EJIDO SAN FRANCISCO TLALTENCO
127	495252.9	2132164	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
128	495216.4	2132312	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
129	499280.7	2134135	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
130	501115.8	2133101	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
131	501177	2133243	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
132	501151	2133318	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
133	497281	2135390	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
134	497286	2135459	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
135	503149.2	2133326	TLÁHUAC	HUMEDALES
136	497638.5	2132524	TLÁHUAC	LLANOS DE TLAHUAC
137	502948.7	2134543	TLÁHUAC	EJE 10
138	496252.1	2131591	TLÁHUAC	LA CONCHITA
139	496322.7	2134663	TLÁHUAC	EL TRIANGULO
140	497168.7	2135326	TLÁHUAC	SANTA CATARINA
141	497376.4	2135428	TLÁHUAC	SANTA CATARINA
142	497447.1	2134330	TLÁHUAC	LAS ANTENAS
143	500017.7	2128021	TLÁHUAC	SAN AGUSTIN
144	498976.8	2130723	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
145	477895.3	2127480	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
146	481129.1	2134406	TLÁHUAC	PENA POBRE
147	483157	2121716	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
148	475244.2	2131522	TLÁHUAC	PEDREGAL SAN NICOLAS 4A SECC
149	481071.2	2129798	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
150	471209.2	2123569	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
151	471211.7	2123566	TLÁHUAC	ZONA RUSTICA
152	483946	2126953	TLÁHUAC	AMPLIACIÓN PLAN DE AYALA
153	487686.8	2130934	XOCHIMILCO	AMPL SAN MARCOS
154	487419	2126475	XOCHIMILCO	SAN MATEO XALPA
155	489645.6	2135133	XOCHIMILCO	SAN GREGORIO ATLAPULCO
156	489811.4	2124428	XOCHIMILCO	ZONA RUSTICA
157	489812.8	2123491	XOCHIMILCO	PARAJE TLACHIULTEPEC AHUAYUCAN
158	487062	2128170	XOCHIMILCO	PBO SANTIAGO TEPALCATLAPAN
159	485407.1	2131667	XOCHIMILCO	SAN JUAN TEPEPAN
160	488904.3	2131973	XOCHIMILCO	SAN GREGORIO ATLAPULCO
161	488089.1	2131581	XOCHIMILCO	SAN GREGORIO ATLAPULCO
162	488809.7	2131785	XOCHIMILCO	SAN GREGORIO ATLAPULCO
163	487212.9	2126918	XOCHIMILCO	PROGRESO
164	487352	2126695	XOCHIMILCO	SAN MATEO XALPA
165	485091	2127597	XOCHIMILCO	ZONA RUSTICA
166	488239	2122941	XOCHIMILCO	ZONA RUSTICA
167	490896	2124490	XOCHIMILCO	SANTA CECILIA TEPETLAPA

Fuente: Adaptado de PAOT, 2015

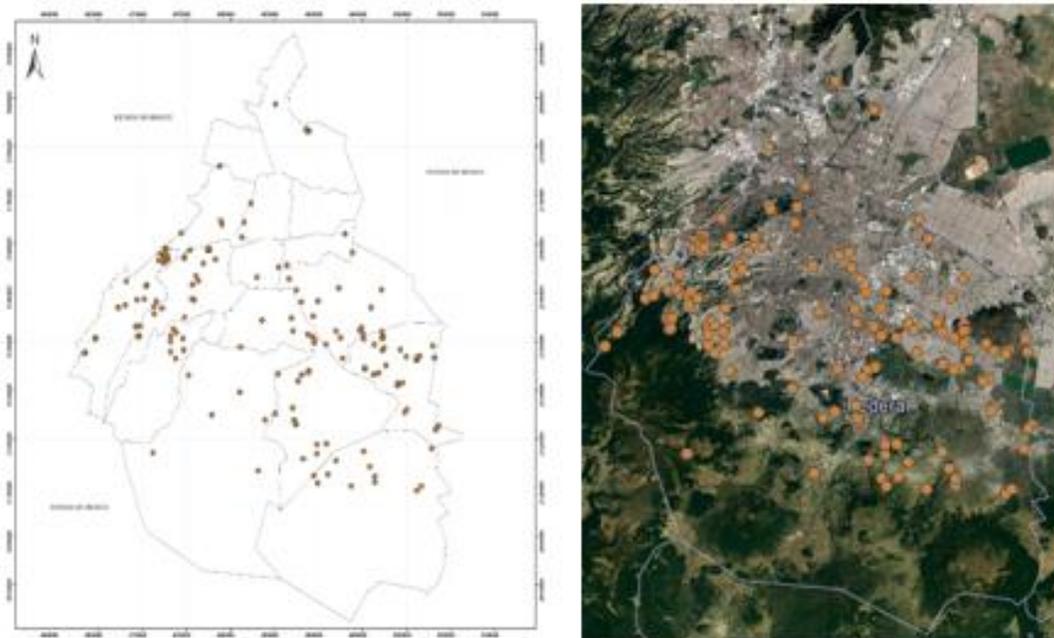


Fig. 2.10 Vertederos clandestinos en CDMX en SIG

Fuente: Adaptado de PAOT, 2015.

2.2.5. Impactos ambientales

A continuación, se presentan algunos impactos ambientales generados por las distintas actividades a partir de la construcción y demolición.

2.2.5.1. Contaminación del aire

Las emisiones al aire desde los distintos focos emisores de contaminantes pueden alterar su equilibrio hasta el punto de perturbar la estabilidad del medio y la salud de los seres vivos. Estos focos pueden estar dados por la generación de partículas suspendidas y emisión de gases (compuestos orgánicos volátiles).

2.2.5.2. Contaminación del agua

Las descargas al agua en las obras de construcción suelen estar provocadas por las tareas de limpieza y por los vertidos de productos peligrosos en sanitarios, desagües o en el suelo.

2.2.5.3. Contaminación del suelo

Los residuos de las obras de construcción pueden tener diferentes orígenes: la propia puesta en obra, el transporte interno desde la zona de acopio hasta el lugar específico para su aplicación, unas condiciones de almacenaje inadecuadas, embalajes que se convierten automáticamente en residuos.

2.2.5.4. Contaminación acústica

Las obras civiles son ruidosas por naturaleza, se puede definir el ruido como un sonido o conjuntos de sonidos desordenados molestos e intempestivos que producen efectos fisiológicos y psicológicos a una persona. La mayoría de los ruidos generados en la construcción, provienen del uso de equipos mecánicos, como algunos ejemplos se muestran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4
Ejemplos de decibeles por equipo

Equipo	dB (A)	Equipo	dB (A)
Martillo neumático	103-113	Aplanadora de tierra	90-96
Perforador neumático	102-111	Grúa	90-96
Sierra de cortar concreto	99-102	Martillo	87-95
Sierra industrial	88-102	Niveladora	87-94
Soldador de pernos	101	Cargador de tractor	86-94
Bulldozer	93-96	Retroexcavadora	84-93

Fuente: Adaptado de O.M.S, 2009

2.2.5.5. Materiales y residuos peligrosos

Es complicado encontrar una obra en construcción, reparación o demolición donde no sean generados residuos peligrosos, por lo general están relacionados con aceites y combustibles, así como la presencia de distintas sustancias químicas. Las sustancias químicas las podemos encontrar en: compuestos adhesivos, productos de limpieza, protectores de madera y metales, fungicidas, aislantes, selladores, pinturas, solventes etc. Dada la naturaleza de lo anterior y teniendo como base los parámetros de la NOM-052-SEMARNAT-2005 (ver tabla 2.5), podemos considerar que alguna fracción de los RCD son peligrosos.

Si bien, la mayor parte de los residuos que se generan en actividades de construcción y demolición no suelen revestir características de peligrosidad, su recolección de forma no selectiva provoca la mezcla de distintos tipos de residuos que no son peligrosos entre sí, pero que al mezclarse pueden dar lugar a residuos contaminados, lo que impide someterlo a un aprovechamiento apropiado o a que sean enviados a vertederos.

Entre los materiales y sustancias que pueden encontrarse entre los RCD y que pueden tener alguna característica de peligrosidad anteriormente descritas. Ver tabla 2.6

Tabla 2.5 Características CRETIB de acuerdo con la NOM-052-SEMARNAT-2005

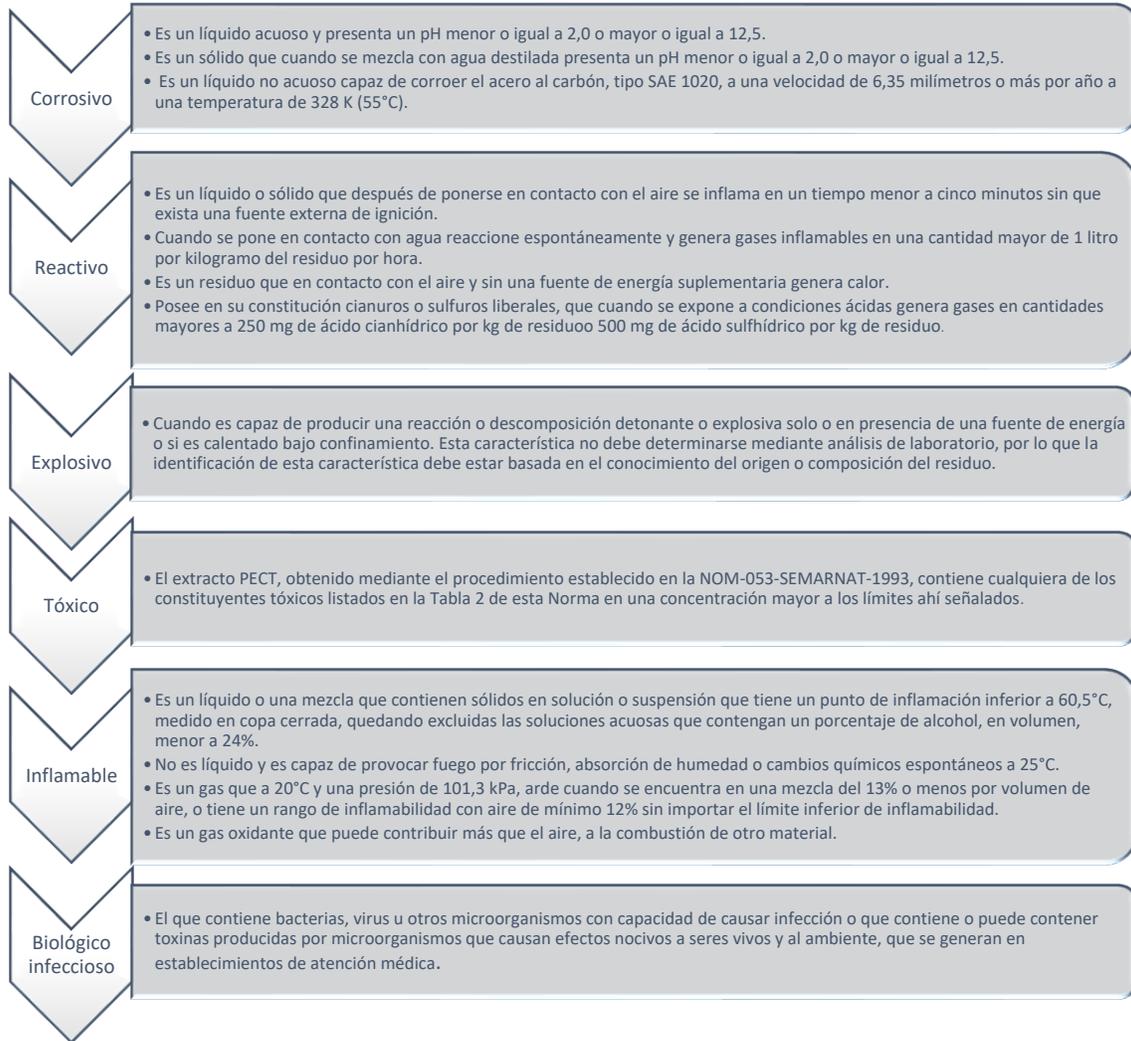


Tabla 2.6 Elementos peligrosos en los RCD

RESIDUOS	ELEMENTOS PELIGROSOS POSIBLEMENTE PRESENTES	PELIGROSIDAD
Aditivos para el concreto	Hidrocarburos disolventes	Inflamable
Residuos de madera tratada	Arsénico, plomo, formaldehído, pentaclorofenol	Tóxicos, inflamables
Envases de removedores de pinturas, aerosoles	Cloruro de metileno, tricloroetileno	Inflamable, tóxico
Envases removedores de aceites, adhesivos	Tricloroetileno	Tóxico, corrosivo
Envases de pesticidas	Formaldehído	Tóxico
Restos de tubos fluorescentes, transformadores, condensadores	Mercurio, Bifenilos Policlorados (PCB's)	Tóxico
Tuberías	Plomo, urea	Tóxico
Restos de PVC	Policloruro de vinilo	Inflamable, tóxico
Restos de asbesto	Amiantos	Tóxico (cancerígeno)
Envases de solventes	Benceno	Inflamable
Envases de preservadores de madera	Formaldehído, pentaclorofenol	Tóxicos, inflamables
Envases de pinturas	Cadmio y plomo	Tóxico
Restos de baterías	Niquel	Tóxico
Filtros de aceite	Hidrocarburos	Tóxicos, inflamables
Aislantes térmicos	Gases de compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Tóxico
Sistemas contra incendio	Clorofluorocarbono	Tóxico

Fuente: Elaboración propia

2.3. Sitios autorizados para la disposición de materiales de excavación y de construcción

En la Tabla 2.7 se citan los sitios autorizados para la disposición final de RCD por la SEDEMA para la Ciudad de México.

Tabla 2.7
Sitios autorizados para disposición de materiales de excavación y construcción

MUNICIPIO	EMPRESA	REPRESENTANTE	PROYECTO	UBICACIÓN	RESOLUCIÓN
CALIMAYA	CONSTRUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN HIDRA, SA. DE C.V.	JOSÉ HORACIO MIRANDA VALDES	SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL LA MAGADALENA SUP. 19,145 m2	CAMINO ANTIGUO A TOLUCA SIN NÚMERO, MUNICIPIO DE CALIMAYA	RESOL/051/10
HUIXQUILUCAN	EJIDO DE LA MAGDALENA CHICHICASPA	EDGAR MORENO GUTIÉRREZ	CENTRO DE DISPOSICIÓN FINAL DE MATERIALES 'DOS CERRITOS'	PARAJE DOS CERRITOS, EN EL EJIDO DE LA MAGDALENA CHICHICASPA	RESOL/113/06
HUIXQUILUCAN	EJIDO DE LA MAGDALENA CHICHICASPA	EDGAR MORENO GUTIÉRREZ	CENTRO DE DISPOSICIÓN FINAL DE MATERIALES "EL ESCOBAL"	PARAJE DENOMINADO EL ESCOBAL EN EL EJIDO DE LA MAGDALENA CHICHICASPA	RESOL/114/06
HUIXQUILUCAN	COMISARIADO EJIDAL DE SAN CRISTOBAL TEXCALUCAN	LAURA RUFINA LARA GUTIÉRREZ	TIRO LA RATONERA (DISPOSICIÓN DE DESACHOS SOLIDOS PRODUCTO DE LA CONSTRUCCIÓN)	'CARRETERA RIO HONDO HUIXQUILUCAN, EN EL PARAJE LA RATONERA	RESOL/310/06
IXTAPALUCA	JOSÉ GENARO BARRERA GERMAN	JOSÉ GENARO BARRERA GERMAN	REMEDIACIÓN TOPOGRÁFICA RESIDUOS DE EXCAVACIÓN Y DEMOLICIÓN, PRODUCTO DE LA CONSTRUCCIÓN	CARRETERA FEDERAL MÉXICO-PUEBLA, KM. 37.5	RESOU226/11
TEXCOCO	MAUR, SA DE C.V.	GABRIEL SORIA PADILLA	DISPOSICIÓN DE MATERIALES DE EXCAVACIÓN Y DE OBRAS DE CONSTRUCCIÓN SUPERFICIE 46,996.00 m2	CALLE SIN NOMBRE, SIN NÚMERO, POBLADO DE TEQUEXQUINAHUAC	RESOL/280/10
HUEHUETOCA	COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA; AHORA LUIS MANUEL RIVERA GARCÍA	MIGUEL GUEVARA TORRES	BANCO DE TIRO SALITRILLO	PARCELA No. 559 A UN COSTADO DEL BLVD. JOROBAS-HUEHUETOCA, BARRIO EL SALITRILLO	RESOL/Q66/12
ACOLMAN	MARTÍNEZ VILLEGAS, SA. DE C.V.	RUBÉN BAEZ FRAGOSO	PROYECTO REMEDIACIÓN TOPOGRÁFICA CON RESIDUOS DE EXCAVACIÓN DE LA MINA SAN ROMULO	CERRO TLAHUICO, EJIDO DE SAN MIGUEL TOTOLCINGO	RESOL/025/12
ACOLMAN	ARMANDO FRANCISCO MARTINEZ CHAVEZ	ARMANDO FRANCISCO MARTÍNEZ CHAVEZ	REHABILITACIÓN DE SOCAVON (MINA TEPETATERA) CON MATERIAL DE DESPALME, CASCAJO Y TIERRA EN GENERAL	PARCELAS No. 74 Z1P1/9 Y 75 Z1 P1/9 DEL EJIDO DE TEPEXPAN	RESOL/142/13
NAUCALPAN	COMISARIADO EJIDAL DE SAN FRANCISCO CHIMALPA	FEDERICO NABOR MANUEL	NIVELACIÓN DE TERRENO EN EL EJIDO DE SAN FRANCISCO CHIMALPA 20,840.00	A LA ALTURA DEL KM. 26.5 DE LA AUTOPISTA LECHERIA -CHIMALPA	RESOU486/13
HUIXQUILUCAN	COMISARIADO EJIDAL DE SAN CRISTOBAL TEXCALUCAN	IGNACIO GARCÍA	RECEPCIÓN DE MATERIAL, PARA NIVELACIÓN DE MINA	PARAJE LA MEZA, EJIDO DE SAN CRISTOBAL TEXCALUCAN	RESOU061/07
LERMA	MINA PICA PIEDRA, S.A. DE C.V.	VICENTE BARRANCO TOVAR	REMEDIACION TOPOGRAFICA CON RESIDUOS DE EXCAVACION Y DEMOLICIÓN PRODUCTO DE LA CONTRUCCIÓN	TERRENOS DE LOS BIENES COMUNALES DE LERMA, ENTRELAAV.DE LAS GARZAS Y LIBRAMIENTO AMOMOLUCO- EL LLANITO, A LA ALTURA DEL KM. 47 DE LA CARRETERA MEXICO TOLUCA	RESOU1681/14
CUAUTITLAN IZCALLI	RAYMUNDO PÉREZ MARTÍNEZ	RAYMUNDO PEREZ MARTINEZ	REHABILITACIÓN DE SOCAVON, MEDIANTE LA DISPOSICIÓN DE MATERIAL DE DESPLANTE, RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DE EXCAVACIONES	PARCELAS 157, 158 Y 161 DEL EJIDO DE SAN FRANCISCO TEPOJACO	RESOU994/14

Fuente: Elaboración propia adaptado de SEDEMA, 2018

MUNICIPIO	EMPRESA	REPRESENTANTE	PROYECTO	UBICACIÓN	RESOLUCIÓN
TEXCOCO	GRUPO SORIA Y EMILIO ZAPATA SALAZAR, SA. DE C.V.	CARLOS SORIA SILVA	RESTAURACIÓN DE LA MINA TEQUIXQUINAHUAC, NIVELACIÓN DEL TERRENO MEDIANTE LA DISPOSICIÓN DE MATERIALES DE EXCAVACIÓN Y DE OBRAS DE CONSTRUCCIÓN 752,852.07 m2	PORCION SUR DE LOS TERRENOS EJIDALES DE TEQU EXQUINAHUAC	RESOL/516/15
HUEHUETOCA	MIGUEL MEDARDO NARVAEZ MONROY Y/O JOSE JUAN ALMAGUER ARREDONDO	MIGUEL MEDARDO NARVAEZ MONROY Y/O JOSE JUAN ALMAGUER ARREDONDO	BANCO DE TIRO SAN MIGUEL JAGÜEYES	DOMICILIO CONOCIDO, COL. SAN MIGUEL DE LOS JAGÜEYES	RESOU824/15
TEPETLAOXTOC	OPERADORA ECIOBIPLANT, S.A. DE C.V.	JOSÉ MANUEL MEDINA	SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL PARA RESIDUOS INERTES DE LA CONSTRUCCIÓN 8,466.67 m2	CARRETERA MEXICO-VERACRUZ, KM. 49,	RESOL/660/16
TEXCOCO	AGREGADOS DE COCOYOC, SA DE C.V.	JOSÉ LUIS SAMPERIO LEPE	REMEDIACIÓN TOPOGRAFICA CON RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN SUPERFICIE 5 Has.	CAMINO A TEQUEXQUINAHUAC S/N, LOCALIDAD DE SAN LUIS HUEXCOTLA, COL. TEQUEXQUINAHUAC	RESOU906/15
ECATEPEC	J. LEÓN ROMERO MONTECILLO	J. LEON ROMERO MONTECILLO	REHABILITACIÓN DE SOCAVON MEDIANTE LA DISPOSICIÓN DE MATERIAL DE PRODUCTO DE EXCAVACIÓN Y DEMOLICIÓN SUPERFICIE 10,925.19 m2	PARCELA 63 EJIDO SANTA MARIA CHICONAUTLA	RESOU925/15
TEXCOCO	BIOAMBI BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL, SA DE C.V.	ALBERTO VILLALOBOS MONTANO	REHABILITACIÓN DE TAJOS MINADOS A CIELO ABIERTO MEDIANTE EL RELLENO CON RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN SUP. 16 Has.	TERRENOS DE BIENES EJIDALES DE SAN MIGUEL TLAXIPAN	RESOL/891/15
ACOLMAN	TRANSPORTES EXCAMAQ, S A DE C.V.	FELIPE PEREZ DE ROSAS	REHABILITACIÓN DE SOCAVON SUPERFICIE 54,840.00 m2	TIERRAS DE USO COMUN DEL EJIDO DE SANTA MARIA CHICONAUTLA SUP. 54,840.00 m2	RESOL/1018/15
ACOLMAN	C. EDILBERTO SERRANO AGUILAR	C. EDILBERTO SERRANO AGUILAR	REHABILITACIÓN DE TAJOS MINADOS A CIELO ABIERTO MEDIANTE EL RELLENO CON RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN SUPERFICIE 22,204.92 m2	EJIDO DE SAN MIGUEL TOTOLCINGO	RESOL/1036/15
CHICOLAPAN	SEBASTIAN GALINDO BUSTAMANTE	SEBASTIAN GALINDO BUSTAMANTE	DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL PROCEDENTE DE EXCAVACIONES Y MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN 35,264. m2	PARAJE LAS TRANCAS, DEL EJIDO DE SAN VICENTE CHICOLAPAN	RESOU175/16
TECAMAC	APPLEIKARYA CONSTRUCTORA E INMOBILIARIA. SA DE C.V.	LINO ENRIQUE AVILA NÚÑEZ	NIVELACIÓN DE SOCAVON 54,225.112 m2	CAMINO SIN NOMBRE. COMPUESTO POR TRES FRACCIONES DEL EJIDO DE OZUMBILLA	RESOL/314/16
TECAMAC	APPLEIKARYA CONSTRUCTORA E INMOBILIARIA, S.A. DE C.V.	MARÍA BEATRIZ HERNÁNDEZ ESPINOZA	RELLENO DE SOCAVON CUEVILLAS 54,225.112 m2	CARRETERA FEDERAL MEXICO-PACHUCA KM. 37.5, COL. HUEYOTENCO	RESOL/420/16
AXAPUSCO	PARQUE INDUSTRIAL AXAPUSCO, SA DE C.V.	FRANCISCO JAVIER CHECA ACRA	SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN 223.7 Ha.	EJIDO DE TEQUAUTITLAN	RESOL/414/16
IXTAPALUCA	JESUS TRUJILLO ZEPEDA	JESUS TRUJILLO ZEPEDA	REMEDIACIÓN TOPOGRÁFICA DE MINA SANTA CRUZ CON MATERIAL PRODUCTO DE EXCAVACIÓN 229,870.00 m2	CARRETERA SAN FRANCISCO ACUAUTU-COATEPEC, KM. 4.5 DEL EJIDO DE SAN FRANCISCO ACUAUTLA	RESOL/371/16
TEXCOCO	CAROLINA MORALES BARRIOS	CAROLINA MORALES BARRIOS	REMEDIACIÓN TOPOGRÁFICA CON RESIDUOS DE EXCAVACIÓN 1 ha.	CARRETERA MÉXICO-TEXCOCO, CALLE MIGUEL HIDALGO, COL. TEQUEXQUINAHUAC	RESOU398/16
TEXCOCO	GRUPO CONSTRUCTORES HACHI. S.A. DE C.V.	ROBERTO SORIA PADILLA	RESTAURACIÓN DE LA MINA SAN MIGUEL CONSISTENTE EN LA NIVELACIÓN CON MATERIAL DE EXCAVACIÓN Y MATERIALES DE LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN 27,156.20 m2	CARRETERA SANTA MARÍA NATIVITAS S/N, COL. POBUDO DE SAN MIGUEL TUIXPAN	RESOL/440/16
TEXCOCO	URBANUM, SA DE C.V.	DAVID ERNESTO BALTAZAR CASTAÑÓN	TIRO TLAMINCA, NIVELACIÓN CON MATERIAL DE EXCAVACIÓN Y MATERIALES DE US OBRAS DE CONSTRUCCIÓN POLIGONO A 12.89 ha POLIGONO B 3.17 Ha.	CARRETERA TEXCOCO - SAN NICOUS TUMICA S/N, EJIDO TUMINCA DE TEXCOTZINGO	RESOL/448/16
TEXCOCO	URBANUM, SA DE C.V.	DAVID BALTAZAR CASTAÑÓN	PROYECTO OPERACIÓN DE REMEDIACIÓN TOPOGRAFICA (LINDAVISTA) SUP. 18.5 has.	CARRETERA CHAPINGO-TEQUEXQUINAHUAC TEQUEXQUINAHUAC	RESOL/1616/14

Continuación de Tabla 2.7

Fuente: Elaboración propia adaptado de SEDEMA, 2018

2.3.1. Sitios autorizados para el reciclamiento de materiales pétreos de residuos de la construcción

La entonces Dirección General de Regulación y Vigilancia Ambiental, ahora Dirección General de Regulación Ambiental, emitió autorización en materia de impacto ambiental, (Concretos Reciclados, S. A. de C. V.), para el proyecto que se menciona en la tabla 2.8:

Tabla 2.8
Sitios autorizados para el reciclamiento de materiales pétreos de residuos de la construcción

Nº DE RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA	FECHA DE EMISIÓN	PROMOVENTE	PROYECTO	UBICACIÓN
SMA/DGRVA/DIR/9460/2004	03 DE AGOSTO DEL 2004	PERSONA FISICA	"PROYECTO DE OPERACIÓN "PLANTA PARA EL RECICLADO DE MATERIALES PÉTREOS DE DESECHO DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA CIUDAD DE MÉXICO" EN EL PREDIO CONOCIDO COMO LA ESPERANZA I, "EL YEHUALIQUE" EN LA DELEGACIÓN IZTAPALAPA, MÉXICO, D. F."	CALLE DEL ÁRBOL NO. 106, COLONIA EL TRIÁNGULO, DELEGACIÓN IZTAPALAPA, DISTRITO FEDERAL

Nota aclaratoria: En dicho sitio, se instaló una planta móvil para reciclado de materiales de desecho de la construcción, por lo que solo se reciben dichos residuos para ser reciclados.

Fuente: Elaboración propia adaptado de SEDEMA, 2018

2.3.2. Sitios autorizados para la transferencia y almacenamiento temporal de residuos de la construcción

La Dirección General de Regulación Ambiental de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México, autorizó el "Centro de Transferencia y Almacenamiento temporal de residuos de la construcción Cuemanco".

Tabla 2.9
Sitios autorizados para la transferencia y almacenamiento temporal de residuos de la construcción

Nº DE RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA	FECHA DE EMISIÓN	PROMOVENTE	PROYECTO	UBICACIÓN
SMA/DGRA/DEIA/005366/2011	16 DE AGOSTO DEL 2011	PERSONA FISICA	CENTRO DE TRANSFERENCIA Y ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN CUEMANCO	ANILLO PERIFÉRICO SUR NÚMERO 7555, COLONIA RINCONADA COAPA, DELEGACIÓN XOCHIMILCO, DISTRITO FEDERAL

Fuente: Elaboración propia adaptado de SEDEMA, 2018

2.4. Legislación de residuos, Nacional

El marco jurídico en la República Mexicana, en la cual dictaminan los procedimientos y gestión adecuada para los residuos provenientes de actividades relacionadas con la construcción, está compuesto por leyes, reglamentos y normas. Éstas son decretadas por diversos organismos, los cuales inspeccionan la verificación del cumplimiento en forma y tiempo, así como regular en todo momento acciones para control de los procesos.

En el año de 1993 son expedidas en el país normas con relación a la gestión de los residuos publicadas en el Diario Oficial de la Federación.

El órgano encargado de expedir la legislación que regula la generación, gestión y los sitios de disposición final es la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

2.4.1. Ley general de equilibrio ecológico y protección al ambiente, LEGEEPA

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA, 2017) establece en el Título Cuarto, Protección al ambiente, capítulo IV del Artículo 134 la prevención y control de la contaminación del suelo, que: “Deben ser controlado los residuos en tanto que constituyan la principal fuente de contaminación de los suelos” y “Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorpora técnicas y procedimientos para su reúso y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes”. Así mismo en su Artículo 137, capítulo cuarto, manifiesta: “Queda sujeto a la autorización de los Municipios o del Distrito Federal, conforme a sus leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reúso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales. La Secretaría expedirá las normas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales (DOF 13-12-1996).

2.4.2. Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. LGPGIR

Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre del 2003 con última reforma publicada el 22 de mayo del 2015. Teniendo como objetivo la prevención de la generación, valorización y gestión integral de los residuos peligrosos y residuos sólidos municipales, previniendo la contaminación de sitios con estos residuos llevando a cabo su recuperación.

2.4.3. Reglamento de construcciones para el Distrito Federal

De acuerdo con lo mencionado por el reglamento de construcción de la ciudad de México en cuanto a residuos sólidos, contiene los siguientes artículos.

Artículo. 236.- “Con la solicitud de la licencia de construcción especial para demolición considerada en el título cuarto de este reglamento, se debe presentar un programa en el que se indicará el orden, volumen estimado y fechas estimadas en que se demolerán elementos de la edificación. En caso de prever el uso de explosivos, el programa señalará con toda precisión el o los días y la hora o las horas en la que se realizarán las explosiones que estarán sujetas a la aprobación de la Delegación”.

Artículo 243.- “Los materiales, desechos y escombros provenientes de una demolición deben ser retirados en su totalidad en un plazo no mayor de 30 días hábiles contados a partir del término de la demolición y bajo las condiciones que establezcan las autoridades correspondientes en materia de vialidad, transporte y sitio de disposición final.”

2.4.4. Norma ambiental del Distrito Federal, NADF-007-RNAT-2013

Con referencia al objeto de estudio (Residuos de construcción y demolición) se dispone la Norma Ambiental “NADF-007-RNAT-2013”, la cual establece la clasificación y especificaciones para el manejo de residuos de la construcción del Distrito Federal, optimizar su control, fomentar su aprovechamiento y minimizar su disposición final inadecuada, de lo cual es importante destacar los siguientes puntos:

1. El plan de manejo de residuos de la construcción deberá ser presentado ante la secretaría del medio ambiente para su evaluación y autorización.
2. El generador y demás personas que intervengan en la gestión de los residuos de la construcción se considerarán responsables solidarios para el adecuado manejo de los mismos.
3. El generador de RCD en conjunto con el prestador de servicios deberá comprobar mediante un manifiesto de entrega el destino final de la totalidad de los residuos generados.
4. Para aprovechamiento de los RCD se considera reciclar por lo menos un 30% de éstos durante el primer año de aplicación de la norma, incrementando así un 15% anual hasta conseguir un 100% de reciclaje.
5. Los RCD pueden ser reutilizados por el generador en el sitio de origen en otro aprovechamiento, lo cual deberá estar indicado en el informe de plan de manejo de RCD.
6. En caso de aplicar otros usos para los materiales reciclados, éstos deberán sustentar su uso con análisis o pruebas correspondientes.
7. De acuerdo con el código penal del Distrito Federal, Artículo 34, se establece para una producción a partir de $3 m^3$ de volumen de cascajo depositado ilícitamente en barrancas, áreas verdes, áreas de valor ambiental, áreas naturales protegidas las siguientes sanciones:
 - 1 a 5 años de prisión y 300 a 1500 de salario mínimo diario (menos de $3 m^3$)
 - 3 a 9 años de prisión y 1000 a 5000 de salario mínimo diario (más de $3 m^3$)

2.4.5. Norma Oficial Mexicana, NOM-161-SEMARNAT-2011

Norma cuya naturaleza es obligatoria, publicada en el diario oficial de la federación y entró en vigor a partir del mes de agosto del 2011, “Que establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo; el listado de éstos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo”. En el anexo normativo “Listado de residuos de manejo especial sujetos a presentar plan de manejo” enlista en el punto VII “Residuos de construcción, mantenimiento y demolición en general, que se genere en una obra en una cantidad mayor a $80 m^3$ ”.

2.5. Legislación internacional relativa a lixiviados de RCD

Ante la inexistencia de una normativa específica a nivel nacional que regule el lixiviado resultante del RCD se tomó la decisión de revisar la normativa existente a nivel internacional y aprovechar aquellos criterios que puedan ser aplicables a esta investigación, desde el aspecto de contaminación, así como el de la peligrosidad.

En España, el anexo II del Real Decreto 1481/2001, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, estableció los requisitos generales sobre procedimientos y criterios de admisión de residuos en vertedero, con carácter temporal hasta que se establecieran de forma detallada y armonizada a nivel comunitario. Este desarrollo normativo se llevó a cabo mediante la Decisión 2003/33/CE del Consejo, de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y el anexo II de la Directiva 1999/31/CE, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos.

La decisión considera como principio básico la diversificación de los residuos, y por lo tanto separa su destino final en vertederos controlados específicos para Residuos Inertes (RI), Residuos No Peligrosos (RNP), Residuos Peligrosos (RP) y una combinación de Residuos Peligrosos y No Peligrosos (RP+RNP).

2.5.1. Residuos Inertes (RI)

Los residuos de la tabla 2.11 se consideran que cumplen los criterios establecidos en la definición de residuo inerte que figura en la letra b) del artículo 2 del Real Decreto 1481/2001 y los criterios enumerados en el apartado 2.1.2. Los citados residuos podrán admitirse en vertederos de residuos inertes sin realización previa de las pruebas de caracterización básica reguladas en el apartado 1.1.3.

El residuo deberá ser un flujo único (una única fuente) de un único tipo de residuo. Los residuos que se encuentren en la lista podrán ser admitidos conjuntamente siempre y cuando procedan de la misma fuente.

Tabla 2.10
Residuos inertes

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	RESTRICCIONES
101103	Residuos de materiales de fibra de vidrio	Solamente sin aglutinantes orgánicos
150107	Envases de vidrio	
170101	Hormigón	Solamente residuos seleccionados de construcción y demolición *.
170102	Ladrillos	Solamente residuos seleccionados de construcción y demolición *.
170103	Tejas y materiales cerámicos	Solamente residuos seleccionados de construcción y demolición *.
170107	Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos	Solamente residuos seleccionados de construcción y demolición *.
170202	Vidrio	
170504	Tierra y piedras	Excluidas la tierra vegetal, la turba, la tierra y las piedras de terrenos contaminados
191205	Vidrio	
200102	Vidrio	Solamente el vidrio procedente de la recogida selectiva
200202	Tierra y piedras	Solamente de residuos de parques y jardines. Excluidas la tierra vegetal y la turba.

(a)* Residuos seleccionados de la construcción y demolición con bajo contenido en materiales de otros tipos (como metales, plástico, residuos orgánicos, madera, caucho, etc). El origen del residuo debe ser conocido.

- Ningún residuo de la construcción y demolición contaminado con sustancias orgánicas o inorgánicas peligrosas a consecuencia de procesos de producción en la construcción, contaminación del suelo, almacenamiento y uso de plaguicidas u otras sustancias peligrosas, salvo si se deja claro que la construcción derribada no estaba contaminada de forma significativa.

- Ningún residuo de la construcción y demolición tratado, revestido o pintado con materiales que contengan sustancias peligrosas en cantidades significativas.

Fuente: Elaboración propia adaptado de Real Decreto 1481/2001

Las pruebas de conformidad se realizarán si se sospecha de contaminación del residuo con metales, amianto, plásticos o productos químicos en cantidades que pudieran aumentar el riesgo del residuo, por lo que deberán ser analizados y destinados a otro tipo de vertederos, tal como RP o para RNP+RP, de acuerdo con los valores límites de sus constituyentes específicos.

2.5.2. Residuos admisibles sin realización previa de pruebas en vertederos para residuos no peligrosos (RNP)

Los residuos domésticos y comerciales, con arreglo a las definiciones de las letras b) y c) del artículo 3 de la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados, clasificados como no peligrosos en el capítulo 20 de la lista europea de residuos (Orden MAM/304/2002), las fracciones no peligrosas recogidas separadamente de residuos domésticos y los mismos materiales no peligrosos de otros orígenes podrán ser admitidos en vertederos para residuos no peligrosos sin realización previa de las pruebas de caracterización básica reguladas en el apartado 1.1.3.

2.5.3. Eliminación de residuos peligrosos no reactivos estables en vertederos de residuos no peligrosos (RNP+RP)

Los residuos estables no reactivos son aquellos cuyo comportamiento de lixiviación no cambiará adversamente a largo plazo en las condiciones de diseño del vertedero, o en caso de accidentes previsibles:

- En el residuo considerado de forma aislada (por ejemplo, por biodegradación).
- Bajo los efectos de condiciones ambientales a largo plazo (por ejemplo, agua, aire, temperatura y restricciones mecánicas).
- Por el efecto de otros residuos (incluidos productos de residuos tales como lixiviados y gas).

2.5.4. Residuos admisibles en vertederos para residuos peligrosos (RP)

En su artículo 6 establece que la determinación de los residuos que han de considerarse como peligrosos y no peligrosos se hará de conformidad con la lista establecida en Decisión de la Comisión 2000/532/CE de 3 de mayo de 2000 (LER). (Esta Decisión ha sido modificada por la Decisión 2014/955/UE. En esta lista los residuos peligrosos aparecen identificados mediante un asterisco. En el caso de que un residuo esté codificado en la LER como residuo peligroso y como no peligroso, la determinación de si se trata de uno u otro se hará comprobando si debido a su composición reúne una o más de las características de peligrosidad enumeradas en el Reglamento 1357/2014, de 18 de diciembre por el que se modifica el anexo III de la Directiva 2008/98 /CE.

2.5.5. Límites de lixiviación

Dado lo anterior en dicha normativa cuenta con criterios de valores límite de lixiviación en la cual se resumen en las tablas 2.11 y 2.12.

Tabla 2.11 Límites máximos permisibles

COMPONENTE	RI (mg/L)	RNP (mg/L)	RP+RNP (mg/L)	RP (mg/L)
As	0.06	0.3	0.3	3
Ba	4	20	20	60
Cd	0.02	0.3	0.3	1.7
Cr	0.1	2.5	2.5	15
Cu	0.6	30	30	60
Hg	0.002	0.03	0.03	0.3
Mo	0.2	3.5	3.5	10
Ni	0.12	3	3	12
Pb	0.15	3	3	15
Sb	0.1	0.15	0.15	1
Se	0.4	0.2	0.2	3
Zn	1.2	15	15	60
Cloruro	450	8500	8500	15000
Fluoruro	2.5	40	40	120
Sulfato	1500	7000	7000	17000
Índice de fenol	0.3	-	-	-
COD*	160	250	250	320
STD**	-	-	-	-

* Si el residuo no cumple estos valores de carbono orgánico disuelto (COD) con su propio pH, podrá alternativamente probarse con una relación L/S = 10 l/kg y un pH entre 7,5 y 8,0. El residuo podrá considerarse conforme a los criterios de admisión de COD si el resultado de esta determinación no es superior a 500 mg/kg. (Existe un proyecto de método basado en la prenorma prEN 14429).

** Los valores de sólidos totales disueltos (STD) podrán utilizarse como alternativa a los valores de sulfato y cloruro.

Fuente: Elaboración propia adaptado de Real Decreto 1481/2001

Tabla 2.12 Valores límite de contenido total de parámetros orgánicos

PARÁMETRO	VALOR LÍMITE
COT (Carbono Orgánico Total)	30000*
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos)	6
PCB (Policlorobifenilos, 7 congéneres)	1
Aceite mineral (C10-C40)	500
HPA (Hidrocarburos policíclicos aromáticos, 16 congéneres)	55

*Suma de las siguientes sustancias: Acenafteno, Acenaftileno, Antraceno, Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(g,h,i)perileno, Benzo(k)fluoranteno, Criseno, Dibenzo(a,h)antraceno, Fenantreno, Fluoranteno, Fluoreno, Indeno(1,2,3-c,d)pireno, Naftaleno y Pireno

Fuente: Elaboración propia adaptado de Real Decreto 1481/2001

3. ANTECEDENTES

En esta sección se presentan el estado del arte, así como el proceso de lixiviación y los posibles componentes que se encuentran en el lixiviado de RCD.

3.1. Estado del arte

Algunos estudios han demostrado que los RCD, contienen fracciones valorizables, los cuales deben recuperarse o tener como objetivo la descomposición controlada en el suelo para que así puedan reincorporarse a un ciclo natural en las mejores condiciones posibles.

Gran porcentaje de los RCD son dispuestos en vertederos ilegales e inadecuados, barrancas, lechos de ríos, canales o tiraderos de basura, puesto que este tipo de residuos son considerados erróneamente inertes y no contaminantes peligrosos.

En cuanto a la producción de los RCD, está indicado que todo gran generador de RCD, es toda persona física o moral que genere en una obra una cantidad igual o mayor a $80 m^3$, mismos que estarán obligados a presentar planes de manejo ante la institución correspondiente (NOM-161-SEMARNAT-2011). Esto se ve reflejado en la actualidad pues se encuentra frente a un serio problema en cuanto a la obtención de información actualizada de la producción de RCD, información sobre las tasas de generación y recuperación son complicadas de estimar. Para el caso de México se han realizado cálculos basados en muestras de limitada representatividad, por ejemplo, por cada metro cúbico de obra construida se genera un promedio de 102 kg de residuos (Castells, 2000).

3.1.1. Estudios realizados respecto a los RCD, Internacional.

A nivel internacional se han realizado algunos estudios relacionados con lixiviados generados a partir de residuos de la construcción; entre los que se encuentran realizados en Colombia (Mejía et al., 2016), Dinamarca (Butera et al., 2014), EUA: (Yang, 2000), (Weber, 1999), (Thurn, 1997), (Meléndez, 1996), (EPA, 1995), (Norstrom et. al, 1991), (Hamel, 1989), (Ferguson and male, 1980) cuyas reseñas se muestran a continuación.

MEJÍA et al. (2016, Colombia)

Se caracterizó mediante análisis químico y mineralógico el concreto residual mediante una solución, ácido cítrico, por 2 días a 28 °C.

La caracterización permitió identificar como elementos mayoritarios el calcio y el silicio asociados a las fases del concreto como la calcita, portlandita y alumino-silicatos de calcio hidratados. Debido a la concentración de calcio y silicio en solución se pudo verificar que estos residuos luego de la acidificación podrían ser empleados como fuente de nutrientes para suelos degradados antropogénicamente.

BUTERA et al. (2014, Dinamarca)

Fueron empleados 33 muestras de RCD recogidos en 11 instalaciones de reciclaje en Dinamarca se caracterizaron en términos del contenido total y la lixiviación de elementos inorgánicos y la presencia de PCB y HAP con contaminantes orgánicos persistentes. Las muestras incluyeron (1) desechos de concreto "limpios" (es decir, sin mezclar), (2) mampostería y concreto mezclado, (3) asfalto y (4) corazones de concreto recién colado.

Se observó una variabilidad significativa en el contenido total de oligoelementos, incluso más pronunciada para la lixiviación, lo que indica que el número de muestras analizadas puede ser crítico en relación con las decisiones relativas a la gestión y la utilización de los materiales. Se observó una mayor lixiviación de cromo, sulfato y cloruro para muestras que contienen mampostería. En general, la lixiviación estaba en conformidad con los límites de lixiviación disponibles, excepto el selenio y, en algunos casos, el cromo, el sulfato y el antimonio.

JANG (2000, EUA)

El estudio se ha basado en determinar las características de los lixiviados simulando un vertedero en el laboratorio que contienen una composición típica de residuos de RCD, determinando las fuentes de contaminantes en el lixiviado de RCD a partir de los datos de calidad del lixiviado de los componentes individuales de desechos de RCD (pruebas de lotes y experimentos con lisímetros).

Con base en los análisis de sólidos y balance de iones, el calcio, el sulfato y la alcalinidad, fueron los iones predominantes observados en el lixiviado. Las altas concentraciones de estos iones fueron responsables de la mayoría de los sólidos disueltos en el lixiviado. El arsénico, el cromo, el hierro y el manganeso se lixiviaron a niveles apreciables. La fuente más probable de arsénico y cromo fue la madera tratada con arseniato de cobre cromado. Los últimos dos metales probablemente se filtraron del concreto, la madera y el metal en los desechos. El cobre, el hierro y el zinc se eliminaron principalmente en lixiviados mediante precipitación durante la etapa de descomposición activa de las bacterias reductoras de sulfato porque el sulfuro de hidrógeno reaccionó con los metales para formar precipitados de sulfuro insolubles.

WEBER (1999, EUA)

Weber (1999) realizó un experimento de lixiviación en pruebas de campo para residuos de construcción residencial recolectados en sitios de estos residuos. Para caracterizar el lixiviado de RCD, se construyeron celdas de prueba de residuos de construcción en el sitio del Relleno Sanitario del Suroeste en el Condado de Alachua, Florida. Las dimensiones de cada celda de prueba midieron aproximadamente 30 pies de largo por 20 pies de ancho. La profundidad máxima de cada celda era aproximadamente de 6 pies. Se instaló un revestimiento de fondo y un sistema de recolección de lixiviados en cada celda para proporcionar un medio de interceptar y recolectar lixiviados.

Se recolectaron muestras de lixiviados para el análisis de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles (VOC), metales y parámetros convencionales de calidad del agua. Muestreo de lixiviados de la Celda 1 y la Celda 2 realizados durante 161 días. Celda 3 y 4 fueron operados durante un período de 140 días.

Las concentraciones de contaminantes medidas en lixiviados de este estudio se compararon con los estándares de agua potable, algunos excedieron los límites apropiados. Los componentes incluían aluminio, arsénico, cobre, manganeso, hierro, sulfato y sólidos disueltos totales. El arsénico fue el único estándar primario de agua potable que se superó. El calcio y sulfato fueron iones predominantes en el lixiviado. Esto resultó de las características solubles del yeso. Los contaminantes del lixiviado que excedieron los estándares de agua potable secundario de la EPA fue el manganeso seguido por el hierro. La fuente más probable de cromo y arsénico fue la madera tratada con arseniato de cobre cromado (CCA). Los componentes orgánicos no volátiles fueron detectados a niveles elevados en el lixiviado.

THURN (1997, EUA)

Thurn realizó un estudio con lisímetros en el laboratorio con RCD. Los componentes incluían madera, metales ferrosos, yeso, concreto, tejas de asfalto, materiales de aislamiento y cartón. Los cuatro lisímetros de lixiviación contenían el mismo material. Se utilizó agua desionizada como fluido de lixiviación. Dos lisímetros fueron operados en condiciones de saturación constante durante un período de 12 días, después se drenaron y se rellenado con agua desionizada en condiciones saturadas, usados para simular el escenario de disposición, con lo que los residuos de RCD en el norte de Florida se vertían directamente en las canteras de arena. Los dos lisímetros restantes fueron operados bajo condiciones insaturadas. Se añadió una sexta parte del volumen saturado de un lisímetro a cada lisímetro cada dos días, momento en el cual se eliminó el lixiviado de la adición de agua anterior para el análisis. Esto dio como resultado el mismo volumen de agua que se agrega a los lisímetros cada 12 días. Este estudio se realizó durante un período de 72 días.

Los lisímetros saturados se mantuvieron constantes aproximadamente $\text{pH}=11$ durante todo el experimento, mientras que el pH de los lisímetros insaturados cayó bruscamente de $\text{pH}=11$ a un pH final de 6.8 (día 20 - día 30). Al mismo tiempo, el pH estaba disminuyendo, el color del lixiviado cambió de amarillo a transparente a gris y finalmente negro. El lixiviado saturado del lisímetro permaneció de color amarillo brillante durante todo el período experimental. La alcalinidad en el lixiviado del lisímetro saturado siguió un patrón de lixiviación decreciente, mientras que la alcalinidad en los lisímetros insaturados mostró niveles crecientes. La tendencia creciente en los lisímetros insaturados indicó que la actividad biológica estaba presente. La prueba de demanda química de oxígeno (DQO) y el análisis de carbono orgánico total (COT) exhibieron tendencias a la baja para los lisímetros saturados e insaturados a medida que pasaba el tiempo. Los resultados para los sólidos disueltos totales (TDS) también siguieron una tendencia a la baja para todos los lisímetros. Concentraciones de sulfato, que fue el mayor contribuyente a TDS, fueron relativamente altos como resultado de la disolución del yeso, los lisímetros saturados e insaturados exhibieron una concentración bastante constante de los iones sulfato.

El estudio concluyó que existe un potencial de contaminación de las aguas subterráneas cercanas, debido a la presencia de los sulfatos, TDS y el sulfuro de hidrógeno.

MELÉNDEZ (1996, EUA)

Meléndez (1996) revisó los datos disponibles sobre lixiviados generados a partir de vertederos de desechos de RCD en todo el país y realizó un análisis estadístico de los datos. Con base en el análisis estadístico, se determinó que los siguientes parámetros presentan un riesgo potencial para la salud humana y el ambiente: cloruro de metileno, 1,2-dicloroetano, cadmio, plomo, hierro, TDS, manganeso y sulfato. Los parámetros se

excedieron los estándares de agua subterránea primaria, estándares de agua subterránea secundarias. También se observaron varios parámetros que no tienen estándares de agua potable primarios o secundarios en altas concentraciones en algunos sitios. Estos parámetros, como la demanda biológica de oxígeno o el carbono orgánico total, también pueden afectar la calidad del agua subterránea (Meléndez, 1996).

Environmental Protection Agency (1995, EUA)

En 1996 se promulgó una norma que aborda las instalaciones no municipales que pueden recibir desechos peligrosos de generadores de pequeñas cantidades. Esta regla estableció normas relativas a restricciones de ubicación, monitoreo de aguas subterráneas y acciones correctivas. La regla no requería que tales instalaciones estuvieran cubiertas.

Se realizó caracterización de 305 parámetros de lixiviado en 21 vertederos seleccionados, con el fin de establecer requisitos reglamentarios estatales para vertederos de residuos de construcción y demolición. De los 305 parámetros seleccionados, 93 se detectaron al menos una vez. Casi todos los 212 parámetros que nunca se detectaron eran orgánicos. La mayoría de los parámetros inorgánicos y convencionales muestreados se detectaron una o más veces. Siete elementos fungen como común denominador (1,2-dicloroetano, cloruro de metileno, cadmio, hierro, plomo, manganeso y sólidos disueltos totales).

Los investigadores de la EPA creían que el lixiviado se diluiría por un factor a menudo en el momento en que llegara a los pozos de monitoreo de aguas subterráneas o pozos de agua potable que se encontraban en un vertedero de desechos de RCD. Si el lixiviado no fuera al menos diez veces mayor que el estándar de agua subterránea aplicable, la contaminación del agua subterránea resultante del lixiviado no excedería los estándares aplicables. Por lo tanto, la EPA no creía que ninguno de los siete parámetros enumerados anteriormente plantearía un problema en los vertederos de RCD (US EPA, 1995a).

NORSTROM et. al (1991, EUA)

Norstrom et al. (1991) estudiaron tres vertederos de residuos de RCD en Texas para identificar cualquier componente químico elevado para el seguimiento en un programa de monitoreo de aguas subterráneas. Los resultados se compararon con lixiviados de RSU. Se instalaron pozos de muestreo de lixiviados en cada sitio de desechos de RCD.

El estudio encontró que una o más muestras excedieron los estándares secundarios de agua potable para zinc, hierro, TDS, manganeso y sodio. Los niveles de bario, plomo, manganeso y zinc en el lixiviado de RCD también excedieron los límites permisibles de la planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Houston, COD alto, pH bajo y se observaron concentraciones relativamente bajas de metales en el lixiviado de RCD, lo que indica que la edad del vertedero de RCD era relativamente baja.

Los investigadores concluyeron que el lixiviado de RCD, en comparación con la calidad del agua subterránea natural en el área, representaba una amenaza para la calidad del agua subterránea si no se contenía adecuadamente (Norstrom et. al, 1991).

HAMEL (1989, EUA)

En Connecticut (EUA), el estudio consistió en recolectar el lixiviado generado en vertederos voluminosos (Hamel, 1989). Los desechos voluminosos incluyen desechos de RCD. El estudio se realizó durante un período

de seis meses y se obtuvieron muestras de cinco vertederos de residuos voluminosos diferentes en Connecticut. Las muestras de lixiviados se obtuvieron principalmente de filtraciones en la base de los vertederos. Se tomaron un total de 15 muestras de los vertederos y se analizaron los parámetros convencionales y metales pesados (Hamel, 1989).

Los componentes del lixiviado que excedieron los niveles máximos de contaminantes secundarios (SMCL) para los niveles de agua potable al menos una vez incluyeron pH, TDS, hierro y manganeso. Ocho muestras excedieron los niveles máximos primarios de contaminantes (MCL) para cadmio y 13 muestras excedieron los MCL para plomo (Hamel, 1989).

FERGUSON AND MALE (1980, EUA)

Ferguson y Male (1980) investigaron el lixiviado de RCD generado en laboratorio y de campo para evaluar el potencial de contaminación por la eliminación de desechos de demolición. Un estudio de laboratorio incluyó dos lisímetros de lixiviación, cada uno con una composición diferente de residuos de demolición. Los lisímetros se construyeron a partir de dos tambores de acero. La altura del lisímetro era de 5.8 pies y el diámetro interno era de 1.87 pies. Cada uno de estos lisímetros estaba revestido con poliuretano de 6 mm. Se colocó un filtro de grava de 3 pulgadas en la parte inferior del lisímetro (Ferguson y Male, 1980).

Un lisímetro contenía 50% (en volumen) de residuos de mampostería y solo una pequeña fracción de madera. El otro lisímetro contenía 50% (en volumen) de desechos de madera y solo una pequeña fracción de mampostería. El volumen restante de cada lisímetro se llenó con los otros elementos de los desechos de demolición como: yeso, techos, tejas, aislamiento, cableado eléctrico, hierro fundido, hierro, acero galvanizado, tapicería, aluminio y cobre. Los dos lisímetros fueron operados bajo condiciones insaturadas. El volumen de agua añadido a los lisímetros cada semana era equivalente a 2.5 cm de agua destilada y desionizada. Esta solución de lixiviación se acidificó a un pH de 4.50 para simular el agua de lluvia (Ferguson y Male, 1980). Las muestras se analizaron para determinar los parámetros convencionales de calidad del agua, metales y lignina-tanino.

Los resultados del experimento se muestran en la Tabla 3.1. Se encontró que el lixiviado en el estudio de laboratorio tiene un pH, alcalinidad y dureza ligeramente más bajos, y una conductividad ligeramente más alta que los resultados de campo. Se observaron metales en el mismo rango que los encontrados en las muestras de campo. Los estudios de lixiviado en el campo y en el laboratorio contenían altas concentraciones de alcalinidad, dureza, hierro y manganeso. Los autores concluyeron que los desechos de demolición deben eliminarse adecuadamente para reducir la posible degradación de la calidad del agua subterránea y superficial.

Tabla 3.1 Resultados de Ferguson and Male

<i>Parámetros</i>	<i>Lisímetro 1 (Basado en mampostería)</i>	<i>Lisímetro 2 (Basado en madera)</i>
pH	7.45	6.9
Conductividad (micrometros/cm)	2220	2000
Alcalinidad (mg/L CaCO3)	70	350
Dureza (mg/L CaCO3)	770	910
DQO (mg/L)	320	340
Carbono total (mg/L)	130	180
Lignina-Tanino (mg/L de ácido tánico)	17	40
Sólidos suspendidos (mg/L)	8	13
Residuo total (mg/L)	2000	1900
Residuo fijo (mg/L)	1600	1500
Total volátil (mg/L)	400	400
Hierro (mg/L)	1.6	16
Manganeso(mg/L)	6.4	28
Zinc (mg/L)	0.21	0.61

Fuente: Elaboración propia adaptado de Ferguson and Male, 1980

3.1.2. Estudios realizados respecto a los RCD, Nacional

En lo que concierne a México, cuenta con una única investigación referente a lixiviados (Nava,2006) que consiste en recrear lixiviados en tres lisímetros con distintos porcentajes de residuos de la construcción de casa-habitación a partir de tres soluciones con un pH distinto (solución lixivante): uno básico, uno neutro y uno ácido para posteriormente obtener los parámetros físicos, químicos y biológicos. Concluyendo que la principal estrategia para una correcta gestión de los RCD debe ser orientados a regular la capacidad de producir un lixiviado de carácter alcalino, el cual es un residuo altamente contaminante y peligroso; sobre todo que esta propiedad de comportamiento se presenta en aguas consideradas como neutras. De acuerdo a este estudio los constituyentes que merecen atención son: conductividad, DQO, COT y el nitrógeno amoniacal, por lo que los residuos combinados de construcción tienen efectos contaminantes y son peligrosos para el medio ambiente, por lo tanto, no son inertes.

3.2. Fenómeno de lixiviación

Se denomina lixiviado al líquido resultante de un proceso de percolación de un fluido a través de un sólido. El lixiviado se forma cuando la humedad ingresa a un vertedero y se filtra a través de los desechos. La principal fuente de humedad filtrante es la precipitación de la atmósfera.

Otras fuentes incluyen la intrusión de agua subterránea en el relleno sanitario, la escorrentía y, en menor medida, la humedad dentro de los desechos en la colocación. La Fig. 3.1 presenta la generación y flujo de lixiviado.

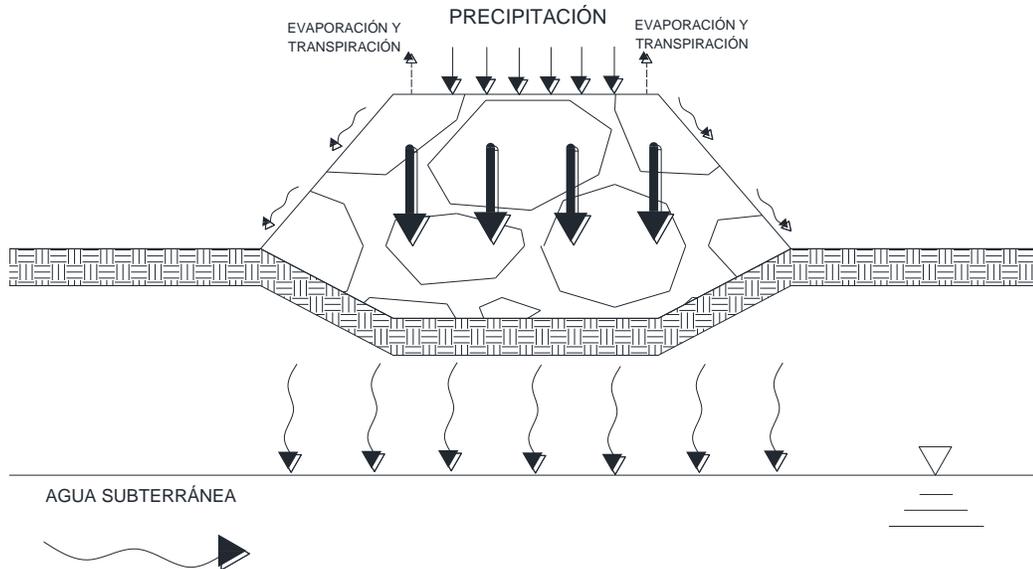


Fig. 3.1 Generación y flujo de lixiviado
Fuente: Elaboración propia

La precipitación de la atmósfera entra al vertedero en la superficie. Parte de la precipitación se evapora, transpira a través de la cubierta vegetal y forma escorrentía superficial. La humedad restante se infiltra en la superficie, llena el espacio vacío y satura los desechos depositados en un vertedero. Una vez que se alcanza la capacidad de campo, el resto de la humedad se mueve hacia abajo, lo que resulta en la formación de lixiviados. La migración de lixiviados también puede ocurrir como resultado de la canalización a través de vías altamente permeables o huecos en los desechos.

Cuando se construye un revestimiento y un sistema de recolección de lixiviados en la base del vertedero, el lixiviado se puede recolectar para su eliminación. El revestimiento está diseñado como una barrera para interceptar lixiviados y dirigirlos al sistema de recolección de lixiviados. En ausencia de estos sistemas, el lixiviado migra al suelo subyacente y al agua subterránea. La calidad y la cantidad de lixiviados producidos está en función del clima, el tipo de gestión, operación de los vertederos, el tipo de desechos y las actividades microbianas que ocurren en un vertedero.

3.2.1. Cuantificación de la generación de lixiviados

La generación del lixiviado en los sitios de disposición final ha sido motivo de estudios, por lo que se han desarrollado diversos métodos y herramientas para determinar la cantidad y composición de este fluido.

Para cuantificar y predecir la generación de lixiviados en un relleno sanitario, se han desarrollado varios modelos y programas, basados en modelos matemáticos (Vargas, 2009). La mayoría de estos modelos se basa en el Water Balance Method-WBM de la Environmental Protection Agency- EPA (Fenn et al., 1975). Este método consiste en la cuantificación de diversos parámetros que intervienen en la generación de lixiviado, tales como: precipitación, evapotranspiración, escurrimiento superficial, infiltración y percolación (Cruz et al., 1997).

Modelos hidrológicos

Para cuantificar los lixiviados que se generan en un vertedero puede emplearse un balance hidrológico global, el cual, teniendo en cuenta la capacidad de retención de los residuos, permite estimar la cantidad de lixiviado correspondiente (Vargas, 2009).

El balance hídrico admite distintos modelos para cuantificar cada uno de sus términos y por ello, existen distintas formulaciones para aplicarlo. El planteamiento básico del método es que toda el agua que se infiltra en la capa superficial del vertedero y no es evapotranspirada se convierte en lixiviado, lo que sólo ocurrirá en realidad cuando el vertedero haya alcanzado su capacidad de retención de humedad, que puede tardar un tiempo considerable (Vargas, 2009) (Lobo, 2003).

La teoría en la que se basan los programas, además del balance hídrico, es la teoría del flujo en medios porosos, a partir de la ley de Darcy. Este tipo de modelos o programas cada vez se perfecciona y calibra, con el fin de adaptarse a sitios reales de disposición final (Vargas, 2009).

Cálculo de la producción de lixiviado

Se dispone de varias metodologías para el cálculo teórico de la producción de lixiviados en un relleno sanitario, en este documento se presentará el método de balance de agua de la EPA (Environmental Protection Agency).

3.2.2. Método de balance de agua

Este método está basado en la investigación del climatólogo norteamericano C. Warren Thornthwaite, que estableció en 1948 un método de clasificación climática, en el que considera a la evapotranspiración potencial como elemento básico, mismo que calcula en función de la temperatura, de la duración del día y del número de días del mes.

En el uso de este método, existen tres factores críticos que hay que considerar en su desarrollo, estos son la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, del material de cubierta, la evapotranspiración potencial de la zona donde se ubica el vertedero y finalmente el escurrimiento que se presenta y que está íntimamente relacionado con las características del material de cubierta utilizado.

Explicado de manera sencilla, este método consiste en afectar la precipitación por factores ya determinados en laboratorio para precisar el escurrimiento, el cual es restado de la precipitación para encontrar así la infiltración de agua al relleno sanitario; a esta infiltración se le resta la evapotranspiración potencial de la zona para definir el agua que realmente se infiltra, con esta última información se pasa a obtener la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, posteriormente se determina el cambio en el almacenamiento de dicha agua en el suelo; posteriormente se calcula la evapotranspiración real y finalmente la producción de lixiviado en forma mensual y total anual.

3.3. Posibles componentes en el lixiviado de RCD

En esta investigación se recurre a una serie de resúmenes de salud pública sobre sustancias peligrosas y sus efectos sobre la salud que obtiene la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de enfermedades (ATSDR, por sus siglas en inglés). Esta información es importante porque se trata de una sustancia que podría ser nociva para la salud. Los efectos sobre la salud de la exposición a cualquier sustancia peligrosa van a depender de la dosis, la duración y el tipo de exposición, la presencia de otras sustancias químicas, así como de las características y los hábitos de la persona.

Los reglamentos y recomendaciones consultados pueden ser expresados como niveles que “no deben excederse”, en otras palabras, que no sobrepasen los niveles críticos que se basan generalmente en niveles que afectan a los animales. Estos niveles se ajustan para la protección de seres humanos. En algunas ocasiones estos niveles que “no deben excederse” difieren entre organizaciones federales debido a las diferentes duraciones de exposición (una jornada de 8 horas al día o de 24 horas al día), el uso de diferentes estudios en animales u otros factores.

3.3.1. Parámetros básicos

3.3.1.1. pH

Conforme con la NMX-AA-008-SCFI-2016 “Análisis de agua. - Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas”, lo define en términos de la actividad relativa de los iones de hidrógeno en la disolución

$$pH = -\log[H^+] \text{ pasa a } paH = -\log a_{H^+}$$

Así que $[H^+]$ y $f \pm [H^+]$ son las unidades que se utilizan con más frecuencia para expresar acidez de las soluciones acuosas, en donde $f \pm$ es el coeficiente de la actividad iónica media.

La medición del pH del agua es muy importante para muchos tipos de muestra. Los valores altos y bajos de pH son tóxicos para organismos acuáticos, ya sea directa o indirectamente. Es el parámetro más importante utilizado en la evaluación de las propiedades corrosivas de un medio ambiente acuático. Asimismo, es importante para el funcionamiento efectivo de los procesos de tratamiento de aguas y su control (por ejemplo, floculación y desinfección con cloro), el control de disolución de metales en canales y conductos y tratamiento biológico de aguas residuales y los vertidos de aguas residuales.

La presencia de ácidos débiles como dióxido de carbono, ácidos fuertes como: sulfúrico, clorhídrico y nítrico puede estar asociada a la acidez de un sistema acuoso. Por otro lado, la alcalinidad puede ser causada por bicarbonatos e hidróxidos presentes en forma de solución, también puede ser generada por la presencia de boratos, fosfatos y silicatos presentes en la muestra,

De acuerdo a la NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso, sitúa que para considerarse un residuo peligroso se debe encontrar en un rango de $2 \leq pH \leq 12$

3.3.1.2. Conductividad

Según la NMX-AA-093-SCFI-2016, determinación de la conductividad electrolítica: La conductividad electrolítica es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura. La determinación de conductividad es de gran importancia pues da una idea del grado de mineralización del agua natural, potable, residual, residual tratada, de proceso o bien del agua para ser usada en el laboratorio en análisis de rutina o para trabajos de investigación. El valor de conductividad es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descargas de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para contacto primario y para el consumo humano.

Este compuesto nos da una idea del grado de la mineralización del agua. La calidad del agua para el riego de cultivos se expresa en función de dos variables: la salinidad del agua mediante la medición de la conductividad eléctrica, la otra es con relación de absorción de sodio.

De acuerdo con la conductividad eléctrica y su relación con la salinidad de un suelo se obtiene la siguiente información:

Tabla 3.2
Conductividad eléctrica y su relación con la salinidad

CE $\mu S/cm$	Efectos
<1000	Efectos despreciables de la salinidad
1100-2000	Muy ligeramente salino
2100-4000	Moderadamente salino
4100-8000	Suelo salino
8100-16000	Fuertemente salino
>16000	Muy fuertemente salino

Fuente: Elaboración propia adaptado de NOM-021-SEMARNAT-2000

3.3.1.3. *Turbiedad*

De acuerdo con la NMX-AA-038-SCFI-2016, determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas: La turbiedad en agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas. Materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos. La transparencia del agua es muy importante cuando está destinada al consumo del ser humano, a la elaboración de productos destinados al mismo y a otros procesos de manufactura que requieren el empleo de agua con características específicas, razón por la cual, la determinación de la turbiedad es muy útil como indicador de la calidad del agua, y juega un papel muy importante en el desempeño de las plantas de tratamiento de agua, formando como parte del control de los procesos para conocer cómo y cuándo el agua debe ser tratada.

3.3.1.4. *Demanda química de oxígeno (DQO)*

La NMX-AA-030-SCFI-2012, análisis de agua, medición de la DQO en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, lo define como: La cantidad de materia orgánica e inorgánica en un medio acuoso susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte. Cuando existe abundante cantidad de materia orgánica el crecimiento bacteriano se ve favorecido y los niveles de oxígeno disuelto se reducen rápidamente a cero, ambos procesos son responsables de la acidificación progresiva del medio acuoso receptor, por lo que la DQO es usada para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos. Un valor alto de DQO puede propiciar a la liberación de reductores orgánicos o inorgánicos del residuo con el efecto del consumo del oxígeno del medio acuoso.

3.3.2. *Compuestos orgánicos*

3.3.2.1. *Hidrocarburos totales*

Los términos hidrocarburos totales de petróleo (abreviados TPH en inglés) se usan para describir una gran familia de varios cientos de compuestos químicos originados de petróleo crudo. El petróleo crudo es usado para manufacturar productos de petróleo, los que pueden contaminar el ambiente. Debido a que hay muchos productos químicos diferentes en el petróleo crudo y en otros productos de petróleo, no es práctico medir cada uno en forma separada. Sin embargo, es útil medir la cantidad total de TPH en un sitio.

Los TPH son una mezcla de productos químicos compuestos principalmente de hidrógeno y carbono, llamados hidrocarburos. Los científicos han dividido a los TPH en grupos de hidrocarburos de petróleo que se comportan en forma similar en el suelo o el agua.

3.3.2.2. *Fenoles*

Según la NMX-AA-050-SCFI-2001, determinación de fenoles totales en aguas naturales: Los fenoles, definidos como hidroxiderivados del benceno y sus núcleos condensados, pueden estar presentes en las aguas residuales domésticas e industriales (desinfectantes, fungicidas, germicidas y conservadores), en las aguas naturales y en los suministros de agua potable. La cloración de tales aguas puede producir clorofenoles olorosos, que producen mal sabor y que son carcinogénicos. Los procesos de eliminación de los fenoles en el tratamiento del agua incluyen la supercloración, tratamiento con dióxido de cloro o cloramina, la ozonización y adsorción con carbón activado. Para poder realizar de manera adecuada esta eliminación, el prevenir problemas y daños a los ecosistemas, así como de evitar los riesgos a la salud humana es muy importante el conocer cuantitativamente la presencia de éstos.

3.3.3. Compuestos inorgánicos

3.3.3.1. Cloruros totales

Acorde con la NMX-AA-073-SCFI-2001, análisis de agua, determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, lo define como: El ion cloruro es uno de los iones inorgánicos que se encuentran en mayor cantidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, su presencia es necesaria en aguas potables. En agua potable, el sabor salado producido por la concentración de cloruros es variable. En algunas aguas conteniendo $25 \text{ mg Cl}^- / \text{L}$ se puede detectar el sabor salado si el catión es sodio. Por otra parte, éste puede estar ausente en aguas conteniendo hasta $1 \text{ g Cl}^- / \text{L}$ cuando los cationes que predominan son calcio y magnesio. Un alto contenido de cloruros puede dañar estructuras metálicas y evitar el crecimiento de plantas. Las altas concentraciones de cloruro en aguas residuales, cuando éstas son utilizadas para el riego en campos agrícolas deteriora, en forma importante la calidad del suelo.

3.3.3.2. Fluoruros

Conforme la NMX-AA-077-SCFI-2001, análisis de agua, determinación de fluoruros en aguas naturales, residuales y residuales tratadas: Los iones fluoruro se encuentran en forma natural en el agua. El fluoruro forma complejos con silicio, aluminio y boro. Estos complejos pueden existir en el agua debido al uso de compuestos fluorados por la industria. En muchas comunidades la fluoración de aguas potables se utiliza para la prevención de caries dental. Sin embargo, en muchas regiones los niveles de fluoruro exceden con mucho los límites máximos permisibles y su presencia (natural) se convierte en un problema de salud pública. La determinación de fluoruros ha incrementado su importancia con el crecimiento de las prácticas de fluoración de aguas como una medida de salud pública. La mayoría de las aguas no contienen más allá de 0.3 mg/L de fluoruros, excepto cuando se contaminan con desechos industriales o aguas negras, sobre todo si provienen de industrias del acero, aluminio, fertilizantes, de la elaboración de esmaltes y vidrios, en la fabricación de gomas y almidones adhesivos, así como del pretratamiento de cueros y pieles.

3.3.3.3. Sulfatos

Según la NMX-AA-074-SCFI-2014, análisis de agua, determinación del ion sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas : Los sulfatos (SO_4^{2-}) están ampliamente distribuidos en la naturaleza y pueden estar presentes en aguas naturales, en concentraciones que varían desde pocos hasta miles de miligramos por litro, los desechos del drenaje de minas pueden contribuir con grandes cantidades de iones sulfatos (SO_4^{2-}) a través de la oxidación de pirita. Cabe destacar que el yeso es uno de los principales minerales de sulfatos.

3.3.3.4. Dureza

De acuerdo con la NMX-AA-072-SCFI-2001, análisis de agua, determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas: La dureza se entiende como la capacidad de un agua para precipitar al jabón y esto está basado en la presencia de sales de los iones calcio y magnesio. La dureza es la responsable de la formación de incrustaciones en recipientes y tuberías lo que genera fallas y pérdidas de eficiencia en diferentes procesos industriales como las unidades de transferencia de calor. El término dureza se aplicó en principio por representar al agua en la que era difícil (duro) de lavar y se refiere al consumo de jabón para lavado, en la mayoría de las aguas alcalinas esta necesidad de consumo de jabón está directamente relacionada con el contenido de calcio y magnesio.

3.3.3.5. *Alcalinidad total*

Se define la alcalinidad total como la capacidad del agua para neutralizar ácidos y representa la suma de las bases que pueden ser tituladas. Dado que la alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas.

3.3.3.6. *Carbonatos, Bicarbonatos e hidróxidos*

La presencia de carbonatos y bicarbonatos en una solución acuosa se usa para medir la acidez y alcalinidad de una muestra de agua, ambos conceptos determinan la capacidad de esa agua para neutralizar iones hidroxilo e hidrogeno respectivamente, se puede decir que los términos ácido y básico son propiedades intrínsecas del material y la acidez y alcalinidad son propiedades extensivas.

Los carbonatos generan el efecto de agua dura, por la presencia de bicarbonatos y carbonatos de magnesio y de calcio.

Los hidróxidos son un grupo de compuestos químicos formados por un metal y el grupo funcional OH, (ion hidróxido, OH⁻), denominado grupo hidróxido.

El hidróxido, combinación que deriva del agua por sustitución de uno de sus átomos de hidrógeno por un metal, está presente en muchas bases.

En la reacción de metales alcalinos, muchos de estos se encuentran presentes en los RCD se liberan los hidróxidos.

La consideración de estos elementos fue fundamental para determinar su participación. Su liberación se puede considerar como un factor de peligrosidad al participar en proporcionar las condiciones de corrosividad del lixiviado.

3.3.3.7. *Nitrógeno total*

Según la NMX-AA-026-SCFI-2010, análisis de agua, medición de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas: Los compuestos nitrogenados se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza. Las fuentes de nitrógeno incluyen además de la degradación natural de la materia orgánica, fertilizantes, productos de limpieza y tratamiento de aguas potables. Debido a que el nitrógeno es un nutriente esencial para organismos fotosintéticos, es importante el monitoreo y control de descargas del mismo al ambiente.

3.3.3.8. *Carbono orgánico total (COT)*

El Carbono Orgánico Total es todo aquel carbono presente en la materia orgánica que se disuelve o se suspende en el agua.

Las razones para la medición de COT varían dependiendo del sector, pero suelen pertenecer a dos categorías: el control de procesos o el cumplimiento de las normativas. Las aplicaciones más habituales de la medición de COT incluyen:

Agua potable municipal: el carbono orgánico reacciona con los compuestos químicos que se utilizan para la desinfección, como el cloro, y forma subproductos de la desinfección que pueden ser cancerígenos. La reducción del carbono orgánico antes de realizar la desinfección puede disminuir de forma significativa la exposición perjudicial del público a subproductos de desinfección.

Aguas residuales municipales: la monitorización del carbono orgánico del influente facilita el control de los procesos para maximizar la eficacia de la planta, mientras que la monitorización del vertido suele ser un requisito para la descarga en aguas superficiales.

3.3.4. Metales

3.3.4.1. *Aluminio*

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la Tierra y en la Luna, pero no se encuentra en forma libre en la naturaleza. Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de silicato de aluminio. Cuando estos minerales se disuelven, según las condiciones químicas, es posible precipitar el aluminio en forma de arcillas minerales, hidróxidos de aluminio o ambos.

Su aplicación en la construcción representa el mercado más grande de la industria del aluminio. Es muy común emplear el aluminio en puertas, cerraduras, ventanas, pantallas, boquillas y canales de desagüe. El aluminio es también uno de los productos más importantes en la construcción industrial

La ingesta de aluminio puede tener lugar a través de la comida, respirarlo y por contacto en la piel. La toma de concentraciones significantes de Aluminio puede causar un efecto serio en la salud como: Daño al sistema nervioso central, demencia y pérdida de la memoria.

La EPA ha recomendado un Nivel de Contaminación Máximo Secundario (SMCL) de 0.05 a 0.2 mg/L para aluminio en el agua potable. El SMCL no está basado en niveles que pueden afectar la salud de seres humanos o animales, sino en sabor, olor o color.

3.3.4.2. *Vanadio*

En su forma pura es blando y dúctil. Puede trabajarse en caliente y frío fácilmente, pero debe calentarse en una atmósfera inerte o al vacío a causa de que se oxida rápido a temperaturas por encima del punto de fusión de su óxido. El metal retiene muy bien su fuerza a temperaturas elevadas.

Es un metal que se utilizó inicialmente en aleaciones con hierro y acero. El vanadio se usa en la producción de resortes y herramientas de acero de alta velocidad resistentes a la corrosión. Es un estabilizador importante en la producción de acero.

Varios de los compuestos de vanadio se emplean en la industria química, sobre todo en la fabricación de catalizadores de oxidación, y en la industria cerámica como agentes colorantes.

Los efectos graves del Vanadio son irritación de pulmones, garganta, ojos y cavidades nasales. Otros efectos sobre la salud cuando se toma Vanadio son: daño cardiaco y vascular, inflamación del estómago e intestinos, daño en el sistema nervioso, sangrado del hígado y riñones, irritación de la piel y parálisis.

Se han reportado ingestas diarias de vanadio a través de la dieta de 0.01 a 0.02 mg. La concentración media en agua de grifo es de 0.001 mg/L. Asumiendo que usted toma aproximadamente 2 L de agua al día, la ingesta diaria de vanadio a través del agua de grifo sería de 0.002 mg para adultos.

La población general también puede estar expuesta a vanadio en el aire que se inhala, particularmente en áreas donde un número alto de plantas de energía de petróleo usan aceites pesados para producir energía.

Las personas expuestas a humo de cigarrillo también pueden estar expuestas a niveles de vanadio más altos que lo normal. El humo de un cigarrillo libera cerca de 0.0004 mg de vanadio

Las concentraciones de vanadio en el agua de superficie pueden variar desde aproximadamente 0.04 a 220 µg/L, dependiendo de la localidad.

3.3.4.3. *Cromo*

Sus principales usos son la producción de aleaciones anticorrosivas de gran dureza y resistentes al calor y como recubrimiento para galvanizados. El cromo elemental no se encuentra en la naturaleza.

La gente puede estar expuesta al Cromo a través de respirarlo, comerlo o beberlo y a través del contacto con la piel con Cromo o compuestos del Cromo. El nivel de Cromo en el aire y el agua es generalmente bajo. En agua para beber el nivel de cromo es usualmente bajo como en el agua de pozo, pero el agua de pozo contaminada puede contener el peligroso Cromo (VI); Cromo hexavalente.

El Cromo (VI) es un peligro para la salud humana, principalmente para los que trabajan en la industria del acero y textil. Las personas que fuman tabaco también pueden tener un alto grado de exposición al Cromo. El Cromo (VI) es conocido porque causa varios efectos sobre la salud. Cuando es un compuesto en los productos de la piel, puede causar reacciones alérgicas. Otros problemas de salud que son causado por el Cromo (VI) son: Erupciones cutáneas, úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, cáncer de pulmón y la muerte.

3.3.4.4. *Hierro*

Un aspecto interesante de la química del hierro es el arreglo de los compuestos con enlaces al carbono. Los complejos con cianuro, tanto del ion ferroso como del férrico, son muy estables y no son intensamente magnéticos, en contraposición a la mayor parte de los complejos de coordinación del hierro.

El uso más extenso del hierro (fierro) es para la obtención de aceros estructurales; también se producen grandes cantidades de hierro fundido y de hierro forjado. Entre otros usos del hierro y de sus compuestos se tienen la fabricación de imanes, tintes (tintas, papel para heliográficas, pigmentos pulidores) y abrasivos.

El Hierro puede ser encontrado en carne, productos integrales, patatas y vegetales. El cuerpo humano absorbe Hierro de animales más rápido que el Hierro de las plantas. El Hierro es una parte esencial de la hemoglobina: el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través de nuestros cuerpos.

La inhalación crónica de concentraciones excesivas de vapores o polvos de óxido de hierro puede resultar en el desarrollo de una neumoconiosis benigna. La inhalación de concentraciones excesivas de óxido de hierro puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón en trabajadores expuestos a carcinógenos pulmonares. LD50 (oral, rata) =30 g/kg.

3.3.4.5. *Cobalto*

Se encuentra distribuido con amplitud en la naturaleza y forma, aproximadamente, el 0.001% del total de las rocas ígneas de la corteza terrestre, en comparación con el 0.02% del níquel. Se halla en meteoritos, estrellas, en el mar, en aguas dulces, suelos, plantas, animales y en los nódulos de manganeso encontrados en el fondo del océano. El cobalto y sus aleaciones son resistentes al desgaste y a la corrosión, aún a temperaturas elevadas. Entre sus aplicaciones comerciales más importantes están: la preparación de aleaciones para uso a temperaturas elevadas, aleaciones magnéticas, aleaciones para máquinas y herramientas.

El cobalto es beneficioso para los humanos porque forma parte de la vitamina B12, la cual es esencial para la salud humana. El cobalto es usado para tratar la anemia en mujeres embarazadas, porque este estimula la producción de glóbulos rojos.

De cualquier manera, muy alta concentración de cobalto puede dañar la salud humana. Cuando respiramos elevadas concentraciones de cobalto a través del aire experimentamos efectos en los pulmones, como asma y neumonía.

Efectos sobre la salud pueden también ser causado por los Isótopos radiactivos del cobalto. Éste causa esterilidad, vómitos, sangrado e incluso la muerte. Esta radiación es algunas veces usada en pacientes con cáncer para destruir tumores.

La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de EE. UU. (OSHA, por sus siglas en inglés) ha establecido un límite de 0.1 miligramos de cobalto no radiactivo por metro cúbico de aire (0.1 mg/m^3) en el trabajo durante una jornada de 8 horas diarias, 40 horas semanales.

3.3.4.6. *Níquel*

El níquel es un elemento bastante abundante, constituye cerca de 0.008% de la corteza terrestre y 0.01% de las rocas ígneas. En algunos tipos de meteoritos hay cantidades apreciables de níquel, y se piensa que existen grandes cantidades en el núcleo terrestre

La mayor parte del níquel comercial se emplea en el acero inoxidable y otras aleaciones resistentes a la corrosión. También es importante en monedas como sustituto de la plata. El níquel finamente dividido se emplea como catalizador de hidrogenación.

El níquel metálico es fuerte y duro (3.8 en la escala de Mohs). Resiste la corrosión alcalina y no se inflama en trozos grandes, pero los alambres muy finos pueden incendiarse.

Los alimentos naturalmente contienen pequeñas cantidades de níquel. El chocolate y las grasas son conocidos por contener altas cantidades. El níquel es tomado y este aumentará cuando la gente come grandes cantidades de vegetales procedentes de suelos contaminados. Los humanos pueden ser expuestos al níquel al respirar el aire, beber agua, comer o fumar cigarrillos.

La toma de altas cantidades de níquel tiene las siguientes consecuencias: Elevadas probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata.

3.3.4.7. *Cobre*

Elemento químico, de símbolo Cu, con número atómico 29; uno de los metales de transición e importante metal no ferroso. Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, así como a sus propiedades eléctricas y su abundancia. El cobre fue uno de los primeros metales usados por los humanos.

El cobre no es magnético; o más exactamente, es un poco paramagnético. Su conductividad térmica y eléctrica son muy altas. Es uno de los metales que puede tenerse en estado más puro, es moderadamente duro, es tenaz en extremo y resistente al desgaste. La fuerza del cobre está acompañada de una alta ductilidad.

El Cobre puede ser encontrado en muchas clases de comidas, en el agua potable y en el aire. Debido a que absorbemos una cantidad eminente de cobre cada día por la comida, bebiendo y respirando.

La mayoría de los compuestos del cobre se depositarán y se enlazarán tanto a los sedimentos del agua como a las partículas del suelo. Compuestos solubles del cobre forman la mayor amenaza para la salud humana.

Exposiciones de largo periodo al cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una ingesta alta de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte.

El Cobre puede interrumpir la actividad en el suelo, su influencia negativa en la actividad de microorganismos y lombrices de tierra. La descomposición de la materia orgánica puede disminuir debido a esto.

3.3.4.8. Zinc

El zinc es uno de los elementos menos comunes; se estima que forma parte de la corteza terrestre en un 0.0005-0.02%. Ocupa el lugar 25 en orden de abundancia entre los elementos. Los usos más importantes del zinc los constituyen las aleaciones y el recubrimiento protector de otros metales. El hierro o el acero recubiertos con zinc se denominan galvanizados, y esto puede hacerse por inmersión en zinc fundido, depositando zinc electrolíticamente sobre el artículo como un baño chapeado (electro galvanizado), exponiendo el artículo a zinc en polvo cerca de su punto de fusión o rociándolo con zinc fundido (metalizado).

Tanto los alimentos como el agua potable también contienen cierta cantidad de zinc. La cual puede ser mayor cuando es almacenada en tanques de metal. Por otra parte, los humanos pueden manejar proporcionalmente largas cantidades de zinc, demasiada cantidad de zinc puede también causar problemas de salud, como es úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia.

El zinc puede también incrementar la acidez de las aguas. Algunos peces pueden acumular zinc en sus cuerpos, cuando viven en aguas contaminadas con zinc, cuando el zinc entra en los cuerpos de estos peces este es capaz de biomagnificarse en la cadena alimentaria.

3.3.4.9. Plata

La plata es un elemento bastante escaso. Algunas veces se encuentra en la naturaleza como elemento libre (plata nativa) o mezclada con otros metales. Sin embargo, la mayor parte de las veces se encuentra en minerales que contienen compuestos de plata. Los principales minerales de plata son la argentita, la ceragirita o cuerno de plata y varios minerales en los cuales el sulfuro de plata está combinado con los sulfuros de otros metales.

En la mayor parte de sus aplicaciones, la plata se alea con uno o más metales. La plata, que posee las más altas conductividades térmica y eléctrica de todos los metales, se utiliza en puntos de contacto eléctricos y electrónicos. También se emplea mucho en joyería y piezas diversas. Entre las aleaciones en que es un componente están las amalgamas dentales y metales para cojinetes y pistones de motores.

Las sales solubles de plata, especialmente el nitrato de plata, $AgNO_3$, son letales en concentraciones de hasta 2 g. Los compuestos de plata pueden ser absorbidos lentamente por los tejidos corporales, con la consecuente pigmentación azulada o negruzca de la piel (argiria).

La EPA recomienda que la concentración de la plata en el agua potable no exceda 0.10 miligramos por litro de agua (0.10 mg/L) para evitar el descoloramiento de la piel que puede ocurrir.

3.3.4.10. Cadmio

Elemento químico relativamente raro, tiene relación estrecha con el zinc, con el que se encuentra asociado en la naturaleza. Es más blando y maleable que el zinc, pero poco más duro que el estaño y no se encuentra en estado libre en la naturaleza.

En el pasado, un uso comercial importante del cadmio fue como cubierta electrodepositada sobre hierro o acero para protegerlos contra la corrosión. La segunda aplicación es en baterías de níquel-cadmio y la tercera como reactivo químico y pigmento.

La ingesta por los humanos de Cadmio tiene lugar mayormente a través de la comida. Los alimentos que son ricos en cadmio pueden en gran medida incrementar la concentración en los humanos, por ejemplo: patés, champiñones, mariscos, mejillones, cacao y algas secas.

Una exposición a niveles significativamente altas ocurre cuando la gente fuma. El humo del tabaco transporta el cadmio a los pulmones. La sangre transportará el cadmio al resto del cuerpo donde puede incrementar los efectos por potenciación del cadmio que está ya presente. El Cadmio primero es transportado hacia el hígado por la sangre. Allí es unido a proteínas para formar complejos que son transportados hacia los riñones. El Cadmio se acumula en los riñones, donde causa un daño en el mecanismo de filtración. Esto causa la excreción de proteínas esenciales y azúcares del cuerpo y el consecuente daño de los riñones. Algunos efectos sobre la salud son: fracturas de huesos, infertilidad, daño al sistema nervioso central y desarrollo de cáncer.

3.3.4.11. Bario

El bario ocupa el decimotercero lugar en abundancia en la corteza terrestre, en donde se encuentra en un 0.04%, valor intermedio entre el calcio y el estroncio, los otros metales alcalinotérreos.

El carbonato de bario es útil en la industria de la cerámica para prevenir la eflorescencia en arcillas para loza. Se usa también como vidriado en alfarería, en vidrio óptico y como veneno para ratas. El óxido de bario, conocido como barita, o barita calcinada, se utiliza como agente de secado en la industria y en el endurecimiento de aceros.

De forma natural los niveles de bario en el medio ambiente son muy bajos. Altas cantidades de bario pueden sólo ser encontradas en suelos y en comida, como son los frutos secos, algas, pescados y ciertas plantas.

Los efectos sobre la salud dependen de la solubilidad de los compuestos. Compuestos que se disuelven en agua pueden ser dañino para la salud humana. La ingesta de gran cantidad que es soluble puede causar parálisis y en algunos casos incluso la muerte.

Debido al uso extensivo en las industrias, el bario ha sido liberado al ambiente en grandes cantidades. Algunos compuestos del bario que son liberado durante procesos industriales se disuelven fácilmente en agua y son encontrados en lagos, ríos y arroyos. Debido a sus solubilidades estos compuestos pueden alcanzar largas distancias desde sus puntos de emisión. Cuando peces y otros organismos acuáticos absorben los compuestos, el bario se acumulará en sus cuerpos. Los compuestos que son persistentes usualmente permanecen en la superficie del suelo, o en el sedimento de las aguas. El bario es encontrado en la mayoría de los suelos en bajos niveles. Estos niveles pueden ser más altos en vertederos de residuos peligrosos.

3.3.4.12. *Plomo*

El plomo es un metal pesado de color azulado, flexible, inelástico, se funde con facilidad. Industrialmente, sus compuestos más importantes son los óxidos de plomo y el tetraetilo de plomo. El plomo puede combinarse con otros metales para formar aleaciones. El plomo y las aleaciones de plomo son componentes comunes de cañerías, baterías, pesas, proyectiles y municiones, revestimientos de cables y láminas usadas para protegernos de la radiación. El principal uso del plomo es en baterías para automóviles y otros vehículos. Los compuestos de plomo se usan como pigmentos en pinturas, en barnices para cerámicas y en materiales de relleno.

El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%).

Las comidas como fruta, vegetales, carnes, granos, mariscos, refrescos y vino pueden contener cantidades significantes. El humo de los cigarrillos también contiene pequeñas cantidades de plomo y puede causar efectos no deseados como: perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia, daño a los riñones, abortos y perturbación del sistema nervioso

Las funciones del suelo son perturbadas por la intervención del plomo, especialmente cerca de las autopistas y tierras de cultivos, donde concentraciones extremas pueden estar presente. Los organismos del suelo también sufren envenenamiento por Plomo. Es un elemento químico particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias.

3.3.4.13. *Mercurio*

Es un líquido blanco plateado a temperatura ambiente, es un metal noble, soluble únicamente en soluciones oxidantes. El mercurio sólido es tan suave como el plomo. El metal y sus compuestos son muy tóxicos.

El mercurio metálico se usa en interruptores eléctricos como material líquido de contacto, como fluido de trabajo en bombas de difusión en técnicas de vacío, en la fabricación de rectificadores de vapor de mercurio, termómetros, barómetros, tacómetros, termostatos y en la manufactura de lámparas de vapor de mercurio.

El mercurio no es encontrado de forma natural en los alimentos, pero este puede aparecer en la comida, así como ser expandido en las cadenas alimentarias por pequeños organismos que son consumidos por los humanos, por ejemplo, a través de los peces.

El mercurio tiene un número de efectos sobre los humanos, que pueden ser todos simplificados en las siguientes: daño al sistema nervioso, daño a las funciones del cerebro, daño al ADN y cromosomas, efectos negativos en la reproducción y defectos de nacimientos y abortos

En las aguas superficiales ácidas pueden contener significantes cantidades de Mercurio. Cuando los valores de pH están entre cinco y siete, las concentraciones de mercurio en el agua se incrementarán debido a la movilización del elemento en el suelo. El mercurio que ha alcanzado las aguas superficiales o suelos los microorganismos pueden convertirlo en metil mercurio, una substancia que puede ser absorbida rápidamente por la mayoría de los organismos y es conocido que daña al sistema nervioso.

3.4. Procesos físicos de tratamiento de lixiviado

Las operaciones en las que los cambios en las características y propiedades del agua se realizan mediante la aplicación de las fuerzas físicas, son conocidas como operaciones físicas unitarias.

3.4.1. Separación de densidades

La separación de densidad, incluye la sedimentación y flotación porque son las técnicas más utilizadas para la separación de sólidos / líquidos en aguas residuales.

Los procesos de sedimentación han estado en uso durante muchos años, son fáciles de operar, tienen un bajo costo y consumen poca energía. El equipo requerido es relativamente simple y comercialmente disponible. El proceso se puede aplicar a casi cualquier flujo de residuos líquidos que contenga material sedimentable. Se considera que tiene un alto potencial para el tratamiento de lixiviados. Sin embargo, es un proceso auxiliar que se utilizará principalmente junto con alguna otra técnica, como la precipitación química. Puede ser usado como una técnica de pretratamiento antes de otro proceso como la adsorción de carbono o resina.

La flotación es una técnica probada de separación de sólidos / líquidos para ciertas aplicaciones industriales. Se caracteriza por costos de operación más altos y requisitos de mantenimiento más calificados que la sedimentación por gravedad. Se considera que esta técnica es potencialmente aplicable, pero probablemente solo en situaciones donde el lixiviado contiene altas concentraciones de aceite y grasa.

3.4.2. Filtración

Tanto la filtración en medios granulares como flexibles son de los procesos que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones. Un amplio espectro de sistemas de filtración es común. La economía de la filtración es razonable para muchas aplicaciones. Los requerimientos de energía son relativamente bajos y los parámetros operativos están bien definidos. Por lo tanto, la filtración se considera que es buena técnica para el tratamiento de lixiviados. Sin embargo, no es un proceso de tratamiento primario, sino que se utilizará para respaldar otros procesos como una etapa de pulido (medios granulares) posterior a la precipitación y la sedimentación o como un proceso de deshidratación (medios flexibles) para la producción de lodos.

3.4.3. Aireación

Se considera que la extracción de aire tiene potencial para el tratamiento de lixiviados principalmente cuando se desea eliminar el amoníaco y solo cuando las concentraciones de otros compuestos volátiles son lo suficientemente bajas como para evitar impactos ambientales inaceptables por las emisiones al aire. El proceso sería difícil de optimizar para lixiviados que contienen un espectro de componentes volátiles y no volátiles. La extracción con aire tiene atractivo como tratamiento previo antes de otro proceso, como la adsorción, para extender la vida útil del absorbente mediante la eliminación de los componentes orgánicos. Sin embargo, es probable que los requisitos de control de la contaminación del aire sean severos, lo que hace que la economía

sea menos atractiva. Durante el transcurso de cualquier tratamiento se producirá una separación de aire de componentes volátiles y puede dar lugar a riesgos de seguridad o problemas de calidad del aire.

3.5. Procesos químicos de tratamiento de lixiviado

Los procesos empleados en los que las transformaciones se producen mediante reacciones químicas reciben el nombre de procesos químicos unitarios. Algunas de ellas son: precipitación química, floculación, intercambio iónico, adsorción de resina, oxidación química, reducción química y ósmosis inversa, que se describen brevemente a continuación.

3.5.1. Precipitación química

Los procesos de precipitación han estado en operación a gran escala durante muchos años. La técnica se puede aplicar a casi cualquier flujo de residuos que contiene un constituyente peligroso precipitable. Los costos asociados son relativamente bajos y, por lo tanto, la precipitación se puede aplicar a volúmenes relativamente grandes de desechos líquidos. El consumo de energía también es relativamente bajo.

Los procesos de precipitación dan como resultado la producción de un lodo húmedo que puede considerarse peligroso y debe procesarse más antes de su eliminación final. En algunos casos, existe la posibilidad de que el material se recupere de este lodo. Sin embargo, muy a menudo, los materiales no objetivo se precipitan juntos con el material de interés, lo que complica o elimina la viabilidad de la recuperación del material.

Por lo general, los estudios de tratabilidad simple se llevan a cabo antes de aplicar el proceso a un flujo de desechos para determinar el químico de elección, el grado de eliminación y la dosis química requerida.

En la mayoría de los casos, se considera que la precipitación es la técnica de elección de eliminación de metales (arsénico, cadmio, cromo, cobre, fluoruro, plomo, manganeso, mercurio, níquel) y ciertas especies aniónicas (fosfatos, sulfatos, fluoruros) de productos acuosos peligrosos.

3.5.2. Floculación

La floculación se debe realizar junto con un proceso de separación sólido / líquido, generalmente sedimentación. A menudo, la floculación está precedida por la precipitación.

Es un proceso relativamente simple de operar y se ha utilizado durante muchos años para mejorar la sedimentación de partículas. Tanto los costos como el consumo de energía son relativamente bajos. El proceso se puede aplicar a casi cualquier corriente de desecho acuoso que contenga material precipitable y / o suspendido.

Se considera que la floculación seguida de sedimentación es un proceso candidato viable para el tratamiento de lixiviados de desechos peligrosos particularmente donde los sólidos suspendidos y / o la

remoción de metales pesados es un objetivo. Puede ser utilizado en conjunto con sedimentación como paso previo al tratamiento posterior a un proceso como la adsorción de carbón activado.

En la mayoría de los casos, la aplicabilidad de la técnica, los productos químicos flocculantes que sean usados y la dosis química se pueden determinar según la experiencia y realizando la prueba de tratabilidad en laboratorio.

3.5.3. Intercambio iónico

El intercambio de iones eliminará las sales disueltas, principalmente inorgánicas, de las soluciones acuosas. Para muchas aplicaciones, particularmente donde la recuperación del producto es posible, el intercambio iónico es un proceso relativamente económico. Además, se caracteriza por bajos requerimientos energéticos.

Se considera que el intercambio iónico tiene cierto potencial para el tratamiento de lixiviados en situaciones donde es necesario eliminar las especies inorgánicas disueltas. Sin embargo, otros procesos en competencia (precipitación, floculación, y sedimentación) son más ampliamente aplicables a flujos de residuos mixtos que contienen sólidos suspendidos, y un espectro de especies orgánicas e inorgánicas. Estos procesos en competencia también suelen ser más económicos. Además, el límite de concentración superior para los iones intercambiables para un funcionamiento eficiente es generalmente de 2.500 mg/l, expresado como carbonato de calcio (0.05 equivalentes/l). Este límite superior se debe principalmente a los requisitos de tiempo del ciclo de operación. Una alta concentración de iones intercambiables resulta en un rápido agotamiento durante el ciclo de servicio.

Las resinas sintéticas pueden dañarse con agentes oxidantes y calor, además, la corriente a tratar no debe contener materia suspendida u otros materiales que ensucien la resina o que no puedan eliminarse con la operación de retrolavado. Algunos compuestos orgánicos, particularmente los aromáticos, serán adsorbidos irreversiblemente por las resinas, y esto resultará en una menor capacidad, como por ejemplo en el caso de los aditivos para baños de galvanoplastia.

Por lo tanto, aunque se cree que el intercambio iónico tiene cierto potencial, no es un proceso que normalmente debería recibir una consideración primaria.

3.5.4. Adsorción de resina

Los estudios de laboratorio sobre la adsorción de resinas han demostrado que los ésteres de ftalato, los aldehídos y las cetonas, los alcoholes, los aromáticos clorados, los aromáticos, los ésteres, las aminas, los alcanos y los alquenos clorados y los plaguicidas son absorbibles. Las resinas se adhieren ciertas aminas y compuestos aromáticos mejor que el carbón activado.

La adsorción de resina tiene la mayor aplicabilidad:

- Cuando se debe eliminar el color debido a moléculas orgánicas.
- Cuando la recuperación de solutos es práctica o la regeneración térmica no es práctica

- Donde se desea la adsorción selectiva
- Donde se requieren bajas fugas.
- Donde las aguas residuales contienen altos niveles de compuestos inorgánicos disueltos.

Los adsorbentes poliméricos son no polares con una afinidad por solutos no polares en solventes polares o de polaridad intermedia capaz de separar solutos no polares de solventes polares y solutos polares de solventes no polares. Las resinas carbonosas tienen una composición química que es intermedia entre los adsorbentes poliméricos y el carbón activado y están disponibles en un rango de polaridades superficiales.

Debido a la selectividad, la cinética de adsorción rápidos, y regeneración química, adsorción de resina ha sido una amplia gama de aplicaciones potenciales para los flujos de residuos orgánicos. La desventaja principal es el alto costo inicial. Aunque no es económicamente competitiva con el carbono para alto volumen, alta concentración, mixtos beneficios residuos constituyentes pueden ser adquirida por resina secuencial y adsorción por carbono.

Los requerimientos de energía dependen en gran medida de si se practica la recuperación de soluto del lavado con solvente. Sin recuperación de solutos, los costos de energía representan el 5% de los costos operativos; sin embargo, con la recuperación de solutos usando destilación, costos de energía. podría representar el 50% de los costos operativos, pero los costos de solventes se reducen notablemente.

Como carbón activado, los únicos impactos ambientales importantes se relacionan con el proceso de regeneración. Si no se reutiliza, el regenerante gastado requiere su eliminación, frecuentemente por incineración.

3.5.5. Oxidación química

Las eliminaciones relativamente pobres de la mayoría de los compuestos orgánicos se ven afectadas por la oxidación química; aunque, pueden ocurrir transformaciones químicas que podrían facilitar el tratamiento por otros procesos. Los compuestos inorgánicos pueden transferirse a un estado de valencia que es menos tóxico o que facilita la precipitación. La mayoría de las tecnologías de oxidación química (incluido el ozono) están bastante bien desarrolladas y se han demostrado con éxito a gran escala en varias aguas residuales industriales y a escala de laboratorio en numerosos compuestos orgánicos que representan varias clasificaciones químicas. Sin embargo, las aplicaciones han sido generalmente en flujos de residuos diluidos.

Se considera que la ozonización, especialmente, tiene potencial para el tratamiento de residuos peligrosos acuosos. Puede servir como un proceso de tratamiento previo antes del tratamiento biológico. También se puede utilizar solo o con la radiación UV como proceso de tratamiento primario. La combinación de ozonización y carbón activado granular ha dado resultados. Parece que la composición de las aguas residuales influye en gran medida en el rendimiento de este tren de proceso.

Una ventaja potencial importante de la oxidación con ozono o peróxido de hidrógeno es que no se generan residuos dañinos. Sin embargo, la naturaleza de los productos intermedios debe evaluarse individualmente, la oxidación con ozono o peróxido de hidrógeno no tiene como resultado la formación de compuestos orgánicos clorados, lo que puede ser un problema cuando se utiliza la cloración alcalina. El ozono

residual en el efluente se descompone, pero los gases de desecho que contienen ozono residual deben pasar a través del carbón activado para descomponer el ozono.

3.5.6. Reducción química

Al igual que con la oxidación química, la reducción es un medio eficaz para eliminar compuestos inorgánicos o reducir su toxicidad.

Sin embargo, debido a que los compuestos se concentran en un lodo precipitado, este residuo puede requerir un manejo cuidadoso. La introducción de iones extraños en los desechos es una desventaja con muchos de los agentes reductores. Una aplicación importante para la reducción química sería la reducción de un cromo hexavalente a cromo trivalente utilizando dióxido de azufre, sales de sulfito o sulfato ferroso. La precipitación de cromo trivalente como $Cr(OH)_3$ con cal o carbonato de sodio generalmente sigue a la reducción. El proceso tiene poca efectividad para flujos con residuos orgánicos.

3.5.7. Ósmosis inversa

La ósmosis inversa es un proceso relativamente nuevo que se ha reducido a la práctica para algunas aplicaciones de tratamiento de aguas residuales industriales, como la eliminación de sales inorgánicas. La ósmosis inversa es un proceso relativamente costoso, pero es capaz de producir agua de alta pureza. La aplicación es a concentración de soluciones diluidas y algunos solutos orgánicos. Los problemas asociados con la polarización de concentración RO (disminución de la producción de agua por unidad de área de membrana), la necesidad de tratamiento previo a sólidos eliminados (coloidal y en suspensión), la necesidad de dicloración en el uso de membranas de poliamida, y ensuciamiento de la membrana debido a la precipitación de sales insolubles, así como la importancia del control del pH. El estado de desarrollo es tal que requiere pruebas exhaustivas de escala piloto antes de casi cualquier aplicación potencial para determinar la factibilidad. Por lo tanto, se considera que la ósmosis inversa tiene un potencial limitado para el tratamiento de lixiviados. Su uso probablemente se limitaría a operaciones de pulido posteriores a otros procesos más convencionales o a la concentración de contaminantes (cationes y aniones multicompartidos y compuestos orgánicos de peso molecular moderado y alto).

3.6. Procesos biológicos de tratamiento de lixiviado

Es posible tratar biológicamente con un análisis y control adecuado del entorno, por lo que resulta necesario conocer perfectamente las características y funcionamiento los procesos de tratamiento biológico con el fin de asegurar la eficiencia y control del ambiente en el que se desarrolle el proceso biológico. Los procesos biológicos son, en general, los más rentables. Técnicas para el tratamiento de flujos de residuos acuosos que contienen constituyentes orgánicos. Se han aplicado con éxito a gran escala a una amplia variedad de desechos industriales y rellenos sanitarios, aunque no se conocen instalaciones de tratamiento de desechos peligrosos a gran escala. Los impactos ambientales asociados con los procesos biológicos son limitados. Probablemente, una de las más importantes en este sentido es la posible liberación de volátiles orgánicos a la atmósfera como resultado de la aireación. Los lixiviados de desechos peligrosos pueden contener compuestos orgánicos que no son fácilmente biodegradables. Por lo tanto, puede ser necesario aclimatar un sistema biológico a los desechos

a tratar antes de la operación rutinaria del proceso. Además, los lixiviados pueden contener compuestos que son refractarios y / o tóxicos para los sistemas biológicos. La presencia de tales compuestos en altas concentraciones puede impedir el uso de un tratamiento o proceso biológico o puede requerir el uso de otro proceso de tratamiento junto con un tratamiento biológico. Para que funcionen los procesos biológicos, se deben cumplir varios requisitos operativos. Debe mantenerse el pH, casi neutro, y deben cumplirse los requisitos de nutrientes (carbono, nitrógeno y fósforo,). Además, deben evitarse los cambios repentinos en la carga (tanto la concentración como el flujo).

De las opciones de tratamiento biológico, el proceso de lodos activados, en una de sus modificaciones, parece tener el mayor potencial para el tratamiento de lixiviados porque se puede controlar en la mayor medida. Sin embargo, la filtración anaerobia o las lagunas anaerobia debido a la facilidad de operación, la producción mínima de lodos y la eficiencia energética merecen consideración en algunas situaciones. Por lo tanto, el tratamiento biológico se considera una tecnología viable que debe considerarse para el tratamiento de lixiviados que contienen residuos peligrosos y sustancias orgánicas.

4. METODOLOGÍA

Para la elaboración del presente punto se recurrió a la revisión de bibliográfica. En cuanto al marco legal, México, en comparación con otros países, no cuenta con una normativa específica para la caracterización de los RCD y sus lixiviados. Por otra parte, se encontró que México no dispone con datos oficiales actualizados de la generación de RCD y se encontraron pocos estudios de generación en donde se toma en cuenta el porcentaje de residuos peligrosos en los RCD, pero no se especifica la naturaleza de éstos.

4.1. Criterios de evaluación

Como se mencionó en el capítulo de antecedentes, dada la posible naturaleza del lixiviado a analizar, los parámetros seleccionados fueron:

- Compuestos básicos: pH, conductividad eléctrica, turbiedad y DQO.
- Compuestos orgánicos: Hidrocarburos totales y fenoles.
- Compuestos inorgánicos: Cloruros, fluoruros, sulfatos, dureza, carbonato, bicarbonato, hidróxido, nitrógeno y alcalinidad.
- Metales: Aluminio, vanadio, cromo, hierro, cobalto, níquel, cobre, zinc, plata, cadmio, bario, plomo y mercurio.

Ante la inexistencia de un marco normativo que permita la comparación de los resultados del lixiviado, la contrastación se realizó con respecto a criterios establecidos bajo las siguientes normas:

1. NOM-052-SEMARNAT-2005: Como se ha mencionado anteriormente, esta norma establece las características, listados y límites que hacen a un residuo peligroso, entre los que destacan los relacionados con los RCD: acabados de metales y galvanoplastia, pinturas y productos relacionados, metales plásticos y resinas sintéticas, preservación de la madera, producción de pigmentos, solventes, bifenilos policlorados, asbesto, grasas, aceites y lubricantes usados, por lo tanto es posible asumir la presencia de los elementos antes mencionados en los RCD, es posible.

En lo que concierne a la comunidad europea, se encontró legislación (BOE-España) referente a los residuos:

2. Orden AAA/661/2013 (España): Por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Considera la diversificación de los residuos y en los vertederos, como: residuos inertes (RI), residuos peligrosos (RP) y una combinación de los residuos anteriores (RI+RP) para la evaluación de ciertos compuestos. En el punto 2.1, criterios de admisión en los vertederos para residuos inertes, enlistan algunos materiales procedentes de RCD, cuenta con valores límite de lixiviación de algunos elementos orgánicos e inorgánicos.
3. Para los compuestos propuestos que no se encuentren en las listas antes mencionadas, se consideran valores límites a partir de estudios realizados por la agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades (ATSDR, por sus siglas en inglés).

4.2. Diseño experimental

Debido a que en México no se cuenta con una normativa que regule los sitios de disposición de los RCD, como en el caso de los rellenos sanitarios, no existe un prototipo de la estructura ingenieril para un buen control de dichos residuos por lo que el muestreo de suelos y lixiviados se vuelve complicado.

Se realizaron tres experimentos separados a partir de lisímetros. El objetivo general del uso de los lisímetros es para usar distintos porcentajes de RCD y tener un mejor control del lixiviado generado. Por lo anterior, para el desarrollo del experimento se empleó el uso de éste, que es una representación a escala y simulación de un sitio de tiro. Los lisímetros se construyeron con material de fibra de vidrio de 80 cm de diámetro y una altura de 135 cm. Se adaptó un drenaje de PVC en la parte inferior con su respectiva válvula para un mejor control del lixiviado generado, ver Fig. 4.1.

Antes de agregar cualquier residuo a los lisímetros. Los lisímetros fueron limpiados y enjuagados con agua desionizada.

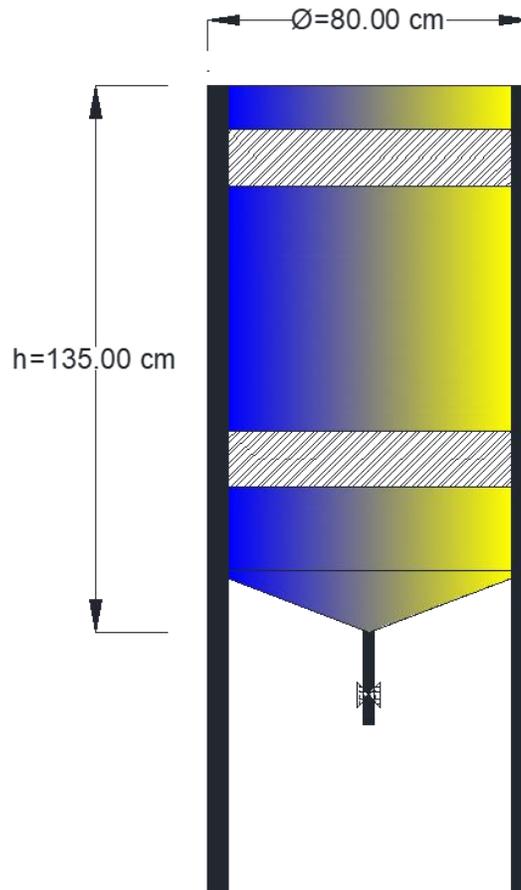


Fig. 4.1 Dimensiones de lisímetro, en cm
Fuente: Elaboración propia, 2018

4.2.1. Obtención y preparación de las unidades experimentales de RCD

Para realizar el estudio de los constituyentes, pesos y porcentajes de los residuos para cada lisímetro, se realizó una búsqueda bibliográfica referente a los porcentajes generados que tomaron en cuenta el porcentaje generado de residuos peligrosos en los RCD y así realizar un comparativo con la información obtenida en el plan de manejo (México).

- Lisímetro No. 1

De acuerdo con la información obtenida anteriormente, para el primer lisímetro, se propusieron los siguientes valores, éste funcionará como testigo o blanco, ver tabla 4.1.

Tabla 4.1
Pesos propuestos de RCD

RESIDUO	PORCENTAJE (%)	PESO (kg)
<i>Material de excavación</i>	43.16%	43.16
<i>Concreto</i>	24.38%	24.38
<i>Block tabique</i>	23.33%	23.33
<i>Tablaroca de Yeso</i>	4.05%	4.05
<i>Madera</i>	1.52%	1.52
<i>Cerámica</i>	0.85%	0.85
<i>Plástico</i>	0.72%	0.72
<i>Piedra</i>	0.62%	0.62
<i>Papel</i>	0.49%	0.49
<i>Varilla</i>	0.48%	0.48
<i>Asfalto</i>	0.25%	0.25
<i>Lámina</i>	0.09%	0.09
<i>Otros</i>	0.06%	0.06
Total	100%	100

Fuente: Adaptado SEMARNAT 2009, México

- Lisímetro No. 2

Para el segundo lisímetro, se utilizaron los datos obtenidos por la comunidad autónoma de Madrid, que se muestran en el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006, Ver tabla 4.2.

Tabla 4.2
Pesos propuestos de RCD

NATURALEZA	RESIDUO	PORCENTAJE (%)	PESO (kg)
No pétreos (14%)	Asfalto	5.0%	5.00
	Madera	4.0%	4.00
	Metales	2.5%	2.50
	Papel	0.3%	0.30
	Plástico	1.5%	1.50
	Vidrio	0.5%	0.50
	Yeso	0.2%	0.20
Pétreos (75%)	Arena, grava y otros	4.0%	4.00
	Concreto	12.0%	12.00
	Tabique y cerámicos	54.0%	54.00
	Rocas	5.0%	5.00
Residuos (11%)	Municipales	7.0%	7.00
	Peligrosos	4.0%	4.00
	Estopas impregnadas	0.20%	0.20
	Pilas	0.20%	0.20
	Lámparas	0.20%	0.20
	Botes de pintura y barniz	1.0%	1.00
	Envases de adhesivos, aceites y aerosoles	1.0%	1.00
	Tubería de PVC	0.20%	0.20
	Residuos de madera tratada con productos tóxicos	0.20%	0.20
	Asbesto	1.0%	1.00
Total		100%	100.00

Fuente: Adaptado de Barroso D. (2013), Andalucía

- Lisímetro No. 3

En lo que concierne al tercer lisímetro, de acuerdo con “Programa de saneamiento de Montevideo y área metropolitana”, se adaptaron los porcentajes de composición de los residuos de construcción y demolición concluyendo con la tabla 4.3.

Tabla 4.3
Pesos propuestos de RCD

RESIDUO	PORCENTAJE (%)	PESO (kg)
Ladrillos, azulejos y cerámicos	43.2%	43.20
Concreto	32.8%	32.80
Agregados	13.5%	13.50
Madera	0.1%	0.10
Metales	1.0%	1.00
Residuos Municipales	4.7%	4.70
Otros (generalmente jardinería)	4.2%	4.20
Peligrosos	0.5%	0.50
Estopas impregnadas	0.1%	0.10
Pilas	0.1%	0.10
Botes de pintura y barniz	0.1%	0.10
Envases de adhesivos, aceites y aerosoles	0.1%	0.10
Residuos de madera tratada con productos tóxicos	0.1%	0.10
Total	100%	100.00

Fuente: Adaptado Plan Director de Residuos Sólidos de Montevideo (2004), Uruguay.

Una vez montada la unidad experimental, se procedió a la simulación del entorno del lugar para generar el fenómeno de lixiviación. Esto fue realizado en condiciones ambientales naturales, es decir, a la intemperie y simulado durante la temporada de lluvias, del mes de mayo al mes de septiembre del 2018.

4.3. Metodología experimental

En este apartado se describe la implementación del diseño experimental propuesto.

4.3.1. Obtención y preparación de las muestras

Para realizar el muestreo de los RCD se tuvo acceso al relleno “Av. Estado de Puebla”, ubicado en el municipio de Cuernavaca en el Estado de Morelos (Fig. 4.2). Dada la ubicación del lugar, recibe en su mayoría residuos provenientes de la zona metropolitana del valle de México.

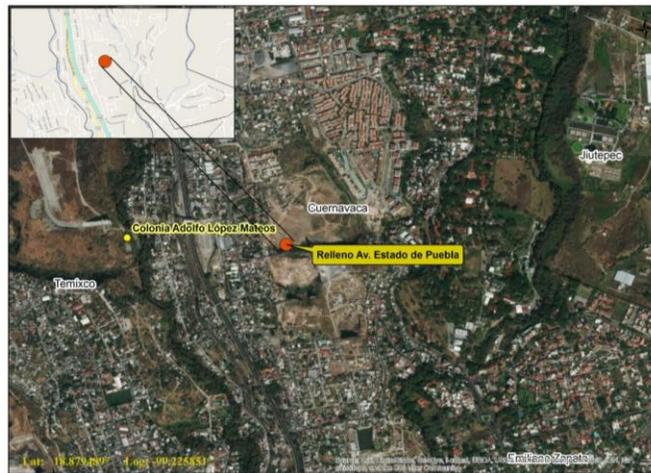


Fig. 4.2 Ubicación

Fuente: Adaptado de Edo. Morelos, 2018

Una vez en el lugar, se procedió a muestrear la cantidad necesaria de los subproductos para cada uno de los lisímetros propuestos.



Fig. 4.3 Toma y zona de muestreo

Fuente: Elaborada por el autor

Cuando se obtuvieron los porcentajes de residuos, se trasladaron al posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en donde se seleccionaron los porcentajes de los subproductos de RCD de acuerdo con las tablas propuestas.



Fig. 4.4 Selección y pesaje de subproductos
Fuente: Elaborado por el autor

Posteriormente, los residuos se vaciaron en una lona de 4x4 m y se procedió a realizar una mezcla homogénea de los residuos.



Fig. 4.5 Mezcla de subproductos
Fuente: Elaborado por el autor

Se realizaron los procedimientos anteriores y se vertieron en sus correspondientes lisímetros.



Fig. 4.6 Vertido de subproductos en lisímetros

Fuente: Elaborado por el autor

Los lisímetros se dejaron abiertos para la captación de agua durante la temporada de lluvias, durante los meses de mayo a septiembre, esto con el fin de generar los lixiviados.



Fig. 4.7 Captación de agua pluvial

Fuente: Elaborado por el autor

Una vez generado el fenómeno de lixiviación (mayo a septiembre), se prosiguió a la recolección del lixiviado de cada uno de los lisímetros para preparar y preservar las muestras según fue solicitado por el laboratorio particular especializado que fue contratado para los análisis químicos.

4.3.2. Caracterización de lixiviados

Para la caracterización de los lixiviados resultantes de los lisímetros del trabajo experimental, se realizó el análisis de los parámetros en el laboratorio Calidad del Agua del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), ubicado en el municipio de Jiutepec, Morelos.

4.3.2.1. Muestreo y preservación de los lixiviados

Los lixiviados se obtuvieron de cada uno de los tres lisímetros como se muestra en la Fig. 4.8, dichas muestras se colectaron con una cubeta de plástico con capacidad de 20 L. Las cuales fueron transportadas al laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UNAM, para su preservación.



Fig. 4.8 Recolección de lixiviado
Fuente: Elaborado por el autor

La preservación de los lixiviados para los análisis de los compuestos orgánicos e inorgánicos se llevaron a cabo bajo las especificaciones solicitadas por el laboratorio de calidad el agua del IMTA, las cuales se realizaron una por cada lisímetro.

- 3 L en envases de plástico (PET o polietileno) a 4 °C (preservado con hielo)
- 500 mL en envase de plástico a 4°C y $pH < 2$ (H_2SO_4)
- 2 L en envase de plástico a 4°C, $pH < 2$ con H_2SO_4 + 5 mL de solución $CuSO_4$ por litro de muestra (solución preparada con 100 g de reactivo en 1 litro de agua destilada)
- Mínimo 800 mL en envase de vidrio a 4°C, $pH < 2$ con solución 1:1 de HCl
- Mínimo 300 mL en envase de plástico a 4°C, $pH < 2$ con HNO_3
- Mínimo 250 mL en frasco de vidrio ámbar a 4°C y $pH < 2$ con H_2SO_4

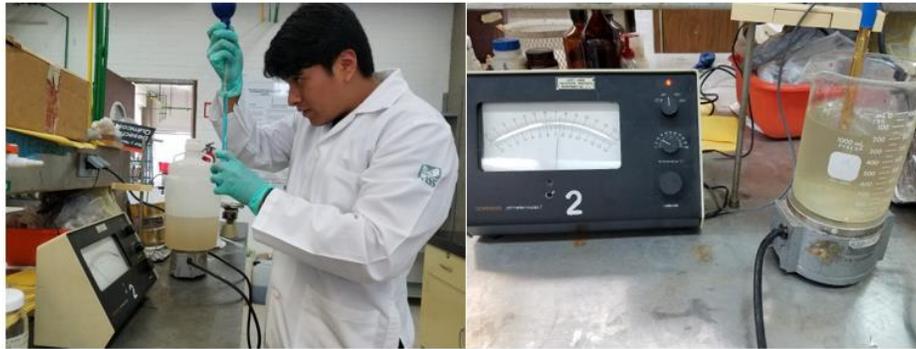


Fig. 4.9 Preservación de lixiviado para compuestos orgánicos

Fuente: Elaborado por el autor

Para los análisis de los metales, la preparación de las muestras, se llevó a cabo una digestión con ácido nítrico y se realizó la siguiente metodología:

1. Se mezcló bien la muestra y transfirió un volumen de 100 mL a un matraz de 125mL.
2. Se añadió 5 mL de ácido nítrico concentrado (HNO_3) y perlas de ebullición.
3. Se calentó hasta realizar una ebullición lenta y lograr la evaporación, hasta tener un volumen de 20 mL sin llegar a la precipitación.
4. Se continuó agregando HNO_3 concentrado, hasta haber logrado la digestión completa. No se dejó secar la muestra durante la digestión.
5. Se lavó las paredes del matraz con agua destilada.
6. Se filtró con papel filtro del #40, #42 y finalmente de 0.45 μm de nitrocelulosa.
7. Se transfirió el filtrado un matraz volumétrico de 100 mL con 10 mL de agua, realizando varios lavados al matraz y agregándolos.
8. Se aforó a la marca.



Fig. 4.10 Preservación de lixiviado para componentes inorgánicos y metales

Fuente: Elaborado por el autor

5. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la caracterización de los lixiviados generados dentro de los lisímetros experimentales.

5.1. Generación de lixiviado

Los datos necesarios para trabajar con este sistema son las temperaturas medias mensuales en grados Celsius (°C) y las precipitaciones mensuales en milímetros (mm), del lugar. Por lo que se refiere a la duración del día, lo que interesa es el tiempo de iluminación solar y el factor de corrección el cual se calcula para cada mes según la latitud. Los valores de temperatura y precipitación se obtuvieron de los registros proporcionados por la red universitaria de observatorios atmosféricos (RUOA), perteneciente a la estación climatológica del centro de ciencias de la atmósfera (CCA), ver tabla 5.1.

Tabla 5.1
Promedios mensuales de temperatura y precipitación

Temperatura Media Mensual (°C)		Precipitación Media Mensual (mm)	
Mes	Promedio	Mes	Promedio
Enero	12.19	Enero	16.80
Febrero	16.20	Febrero	1.90
Marzo	18.10	Marzo	15.40
Abril	18.14	Abril	39.40
Mayo	19.41	Mayo	47.60
Junio	17.84	Junio	127.30
Julio	17.77	Julio	47.20
Agosto	16.60	Agosto	383.50
Septiembre	17.21	Septiembre	270.10
Octubre	16.50	Octubre	72.40
Noviembre	14.98	Noviembre	21.50
Diciembre	14.17	Diciembre	0.00

Fuente: Elaborado por el autor

1) Determinación de las evapotranspiraciones ajustadas

Evapotranspiración potencial es la cantidad de agua que se perdería por evaporación y transpiración si el suelo estuviese saturado de agua. Thornthwaite realizó una serie de medidas de evapotranspiración potencial en varios lugares de Estados Unidos y encontró que:

$$EP_j = 16 \left(\frac{10T_j}{I} \right)^a \quad \text{Ec. (1)}$$

I = Índice de calor anual que es igual a la suma de los doce índices de calor mensual

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j = \sum_{j=1}^{12} \frac{T_j^{1.514}}{5} \quad \text{Ec. (2)}$$

T_j = Temperatura media mensual

a = Coeficiente experimental de ajuste

$$a = (675 * 10^{-9})I^3 - (771 * 10^{-7})I^2 + (1792 * 10^{-5})I + 0.49239$$

Lo anterior permite calcular la evapotranspiración potencial no ajustada, la evapotranspiración potencial mensual ajustada (EC_j) se obtiene introduciendo una corrección para la duración de la luz del sol en el lugar estudiado, esto es, multiplicando la evapotranspiración no ajustada por un factor de corrección K_c , ver anexo Tabla 1:

$$EC_j = EP_j * k_c \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

EC_j = Evapotranspiración ajustada (mm)

EP_j = Evapotranspiración no ajustada (mm)

k_c = Factor de corrección que depende de la latitud del lugar de estudio y del mes

Tabla 5.2
Evapotranspiración ajustada mensual

Mes	Temperatura media mensual (T_j) (°C)	$i_j=(T_j/5)^{1.514}$	$EP_j=16(10T_j/i)^a$ (mm)	K_c	$EC_j=K_{c_j}*EP_j$
Enero	12.19	3.85	36.74	0.95	34.90
Febrero	16.20	5.93	59.12	0.91	53.80
Marzo	18.10	7.01	71.17	1.03	73.30
Abril	18.14	7.04	71.43	1.05	75.00
Mayo	19.41	7.80	79.99	1.13	90.39
Junio	17.84	6.86	69.46	1.10	76.41
Julio	17.77	6.82	69.01	1.14	78.67
Agosto	16.60	6.15	61.58	1.10	67.74
Septiembre	17.21	6.50	65.41	1.02	66.72
Octubre	16.50	6.10	60.96	1.00	60.96
Noviembre	14.98	5.27	51.86	0.93	48.23
Diciembre	14.17	4.84	47.26	0.95	44.89
I= Sij		74.16			
$a = 675 \times 10^{-9} i^3 - 771 \times 10^{-7} i^2 + 1792 \times 10^{-5} i + 0.49239$					
a=	1.67				

Fuente: Elaborado por el autor

2) Determinación de la infiltración potencial y real

El agua de infiltración es aquella que no ha sido evaporada o no ha escurrido en el suelo, es decir, la que se introduce a través de éste. Esta infiltración depende de varios factores entre los cuales destaca la naturaleza del suelo, el clima y la vegetación. Esta componente se determina mediante la siguiente ecuación:

$$I_j = P_j - Es_j \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

$$I_j = \text{Infiltración mensual potencial (mm)}$$

$$Es_j = \text{Esgurrimiento superficial mensual (mm)}$$

$$P_j = \text{Precipitación pluvial mensual (mm)}$$

Por otra parte, para la determinación de infiltración es necesario determinar el coeficiente de escurrimiento superficial (k_{ej}) para este caso se propone una grava arcillosa con una pendiente menor al 2%; por lo que de acuerdo con Chow, 1974; el coeficiente K_{ej} será de 0.13 y 0.17, utilizando el valor de 0.13 para los meses de sequía y 0.17 para los meses con una mayor precipitación (Ver Anexo, Tabla 2).

Una vez obtenido los datos de la infiltración potencial se obtienen la infiltración real, que está dada por la siguiente ecuación:

$$I_{jR} = I_j - EC_j \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

$$I_{jR} = \text{Infiltración mensual real (mm)}$$

$$I_j = \text{Precipitación pluvial mensual potencial (mm)}$$

$$EC_j = \text{Evapotranspiración ajustada (mm)}$$

Tabla 5.3
Infiltración potencial y real

Mes	Altura de precipitación total (P_j) (mm)	K_{ej}	$Es_j = P_j * K_{ej}$	$I_j = P_j - Es_j$	$EC_j = K_{Cj} * EP_j$	$I_{jR} = I_j - EC_j$
Enero	16.80	0.13	2.18	14.62	34.90	-20.29
Febrero	1.90	0.13	0.25	1.65	53.80	-52.14
Marzo	15.40	0.13	2.00	13.40	73.30	-59.90
Abril	39.40	0.13	5.12	34.28	75.00	-40.72
Mayo	47.60	0.13	6.19	41.41	90.39	-48.98
Junio	127.30	0.17	21.64	105.66	76.41	29.25
Julio	47.20	0.13	6.14	41.06	78.67	-37.61
Agosto	383.50	0.17	65.20	318.31	67.74	250.57
Septiembre	270.10	0.17	45.92	224.18	66.72	157.46
Octubre	72.40	0.13	9.41	62.99	60.96	2.03
Noviembre	21.50	0.13	2.80	18.71	48.23	-29.53
Diciembre	0.00	0.13	0.00	0.00	44.89	-44.89
TOTAL	1043.10					

Fuente: Elaborado por el autor

3) Determinación del agua disponible y de almacenamiento de humedad en el suelo

Uno de los factores, mediante el cual la cubierta de suelo del sitio de disposición final influye sobre la cantidad de percolación, es a través de su capacidad de almacenamiento de humedad. Esta depende del tipo, estructura, capacidad de campo y profundidad de la capa de cubierta final.

Para determinar la capacidad de almacenamiento de agua en la cubierta diaria que tendrán las celdas en el vertedero que se realizó el muestreo, se consideró una capacidad de campo de 200 mm/m, que es el valor aproximado del material arcilloso - arenoso que es representativo de la zona metropolitana en los sitios de tiro a cielo abierto. Se consideró un espesor del material de cobertura de los residuos de 0.20 m, por lo que:

$$\text{Capacidad de campo} = 200 \frac{\text{mm}}{\text{m}} * 0.20 \text{ m} = 40 \text{ mm}$$

4) Percolación

Después de que se alcanza un máximo en la humedad de la capa final, existirá un exceso en la infiltración y, por lo tanto, se provocará la percolación a través de la cubierta para posteriormente, pasar a los estratos de residuos en donde se formarán los lixiviados.

En este punto, al calcular el balance mes a mes se deben tomarse en cuenta las siguientes reglas:

Capacidad de absorción del suelo en mm (H_s):

- Si $I_{jR} > 0 \rightarrow H_s = \text{capacidad de campo}$
- Si $I_{jR} < 0 \rightarrow H_s = 0$

Diferencia de capacidades mes a mes (DH_{sj}):

- Si $EC_j < P_j \rightarrow DH_{sj} = 0$
- Si $EC_j > P_j \rightarrow DH_{sj} = \text{capacidad de campo}$

Evapotranspiración real, mm (ER_j):

- Si $I_j - EC_j > 0 \rightarrow ER_j = EC_j$
- Si $I_j - EC_j < 0 \rightarrow ER_j = I_j$

Por lo tanto, la percolación está dada por:

$$\text{Perc}_j = I_j - DH_{sj} - ER_j \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

$I_j = \text{Precipitación pluvial mensual potencial (mm)}$

$DH_{sj} = \text{Diferencia de capacidades (mm)}$

$ER_j = \text{Evapotranspiración (mm)}$

La percolación la podemos observar en la Tabla 5.4 y se tiene como resultado de $439.31 \frac{mm}{m^2}$ por lo que es necesario desarrollar una metodología para el control de los lixiviados generados a partir de RCD.

5) Gasto diario

Para proponer algún tipo de tratamiento es necesario conocer el gasto diario, el área de vertedero es de $10000 m^2$.

$$Q = \frac{AxI}{1000} \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

$$Q = \text{Gasto de diseño de lixiviado} \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right)$$

$$A = \text{Área neta del vertedero (m}^2\text{)}$$

$$I = \text{Percolación} \left(\frac{mm}{\text{día}} \right)$$

$$I = \frac{439.31}{365} = 1.20 \left(\frac{mm}{\text{día}} \right)$$

$$Q = \frac{10000 (m^2) \times 1.20 \left(\frac{mm}{\text{día}} \right)}{1000} = 12.00 \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right)$$

$$Q = 12.00 \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right)$$

Tabla 5.4
Generación estimada de lixiviado

Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Precipitación en mm (P_j)	16.80	1.90	15.40	39.40	47.60	127.30
Escurrimiento en mm ($ES_j=K_{e_j}*P_j$)	2.18	0.25	2.00	5.12	6.19	21.64
Infiltración en mm ($I_j=P_j - ES_j$)	14.62	1.65	13.40	34.28	41.41	105.66
Evapotranspiración potencial ajustada en mm ($EC_j=K_{c_j}*E_{pj}$)	34.90	53.80	73.30	75.00	90.39	76.41
Diferencia (I_{j_a}) en mm (I_j-EC_j)	-20.29	-52.14	-59.90	-40.72	-48.98	29.25
Capacidad de absorción del suelo en mm (Hs)	0	0	0	0	0	40
Diferencia de capacidades mes a mes en mm (DHSj)	40	40	40	40	40	0
Evapotranspiración real en mm ERj=ECj ; SI Ij-ECj>0 ERj=Ij-DHSj ; SI Ij-ECj<0	-25.38	-38.35	-26.60	-5.72	1.41	76.41
Percolación mensual en mm PERC.j = Ij-DHSj-ERj	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.25

Parámetro	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación en mm (P_j)	47.20	383.50	270.10	72.40	21.50	0.00
Escurrimiento en mm ($ES_j=K_{e_j}*P_j$)	6.14	65.20	45.92	9.41	2.80	0.00
Infiltración en mm ($I_j=P_j - ES_j$)	41.06	318.31	224.18	62.99	18.71	0.00
Evapotranspiración potencial ajustada en mm ($EC_j=K_{c_j}*E_{pj}$)	78.67	67.74	66.72	60.96	48.23	44.89
Diferencia (I_{j_a}) en mm (I_j-EC_j)	-37.61	250.57	157.46	2.03	-29.53	-44.89
Capacidad de absorción del suelo en mm (Hs)	0	40	40	40	0	0
Diferencia de capacidades mes a mes en mm (DHSj)	40	0	0	0	40	40
Evapotranspiración real en mm ERj=ECj ; SI Ij-ECj>0 ERj=Ij-DHSj ; SI Ij-ECj<0	1.06	67.74	66.72	60.96	-21.30	-40.00
Percolación mensual en mm PERC.j = Ij-DHSj-ERj	0.00	250.57	157.46	2.03	0.00	0.00
Percolación anual en mm	439.31					

Fuente: Elaborado por el autor

5.2. Parámetros básicos

En este apartado se presentan los resultados de los parámetros básicos, así como su análisis, y su normativa de la metodología del análisis del parámetro. Los resultados enviados por parte del Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua se presentan en el apartado de anexos de este documento.

5.2.1. pH

El lixiviado resultante en los tres casos fue de una media de 8, esto debido a las condiciones de lluvia ácida y al entrar en contacto con materiales alcalinos se tiene como resultado un pH neutro. De acuerdo a la normativa aplicable, el lixiviado cumple con el rango permitido para considerarlo como un residuo no peligroso en función de su corrosividad.

Normatividad propuesta aplicable:

- NOM-052-SEMARNAT-2005: Es un líquido acuoso y se encuentra en un rango $2 \leq pH \leq 12.5$, se considera peligroso por su corrosividad

Tabla 5.5
Resultados pH

	pH	NOM-052-SEMARNAT-2005
Lisímetro 1	8.25	Cumple
Lisímetro 2	8.06	Cumple
Lisímetro 3	8.18	Cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.2.2. Conductividad

Se produce un lixiviado que se puede caracterizar como altamente salino por su conductividad. Relacionando la conductividad con los suelos, en los tres casos tenemos un resultado de suelo moderadamente salino por lo que el rendimiento de vegetación sensible puede verse afectado.

Normatividad propuesta aplicable:

- NOM-021-SEMARNAT-2000 "Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis"

Tabla 5.6
Resultados de conductividad

	Conductividad ($\mu S/cm$)	NOM-021-SEMARNAT-2000
Lisímetro 1	3400	Moderadamente salino
Lisímetro 2	3020	Moderadamente salino
Lisímetro 3	3630	Moderadamente salino

Fuente: Elaborado por el autor

5.2.3. Turbiedad

De acuerdo con los resultados, el lisímetro tres cuenta con mayor grado de turbiedad esto debido a que en su composición cuenta con RSU y residuos de jardinería, siendo el de menor grado el lisímetro dos debido que cuenta con el 7% de RSU.

Normatividad propuesta aplicable:

- No existe algún referente normativo.

Tabla 5.7
Resultados UNT

	Turbiedad UNT
<i>Lisímetro 1</i>	160
<i>Lisímetro 2</i>	45
<i>Lisímetro 3</i>	300

Fuente: Elaborado por el autor

5.2.4. Demanda química de oxígeno (DQO)

Como se observa en la tabla 5.8, el lisímetro tres y uno los resultados son muy cercanos, siendo el de menor el lisímetro 2, esto debido a la concentración de materia orgánica, aunque pudo sufrir interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles a ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros, etc.)

Normatividad propuesta aplicable:

- No existe algún referente normativo.

Tabla 5.8
Resultados D.Q.O

	D.Q.O (mg/L)
<i>Lisímetro 1</i>	239
<i>Lisímetro 2</i>	42
<i>Lisímetro 3</i>	244

Fuente: Elaborado por el autor

5.3. Compuestos orgánicos

En este apartado se presentarán los resultados de los parámetros orgánicos, así como su análisis, y su normativa de la metodología del análisis del parámetro.

5.3.1. Hidrocarburos totales

Este compuesto es seleccionado por la presencia de asfaltos en los RCD. En la tabla 5.9 el lisímetro uno fue el más alto, esto debido que en comparación con los dos restantes, en su composición éste sí cuenta con asfaltos. No hay normativa específica para los TPH, pero existen recomendaciones para algunos compuestos y fracciones de estos.

Normatividad propuesta aplicable:

- No existe algún referente normativo.

Tabla 5.9
Resultados TPH

	Hidrocarburos totales de petróleo (mg/L)
Lisímetro 1	13
Lisímetro 2	2.86
Lisímetro 3	8.45

Fuente: Elaborado por el autor

5.3.2. Fenoles

De acuerdo con los resultados se considera que no se liberan fenoles.

Normatividad propuesta aplicable:

- AAA/661/2013: El límite máximo permisible es de $0.3 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.10
Resultados fenoles

	Fenoles totales (mg/L)	AAA/661/2013
Lisímetro 1	<0.0100	Cumple
Lisímetro 2	<0.0100	Cumple
Lisímetro 3	<0.0100	Cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.4. Compuestos inorgánicos

En este apartado se presentarán los resultados de los parámetros orgánicos, así como su análisis, y su normativa de la metodología del análisis del parámetro.

5.4.1. Cloruros totales

Los cloruros se encuentran principalmente en el concreto y se pueden subdividir químicamente en ligados y libres. Esta distinción resulta importante ya que los cloruros libres son los responsables de causar corrosión. De acuerdo con los resultados, cumple con los límites permisibles por lo que no existe riesgo ambiental.

Normatividad propuesta aplicable:

- AAA/661/2013: El límite máximo permisible es de $450 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.11
Resultados cloruros

	Cloruros (mg/L)	AAA/661/2013
Lisímetro 1	61	Cumple
Lisímetro 2	22.9	Cumple
Lisímetro 3	195	Cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.4.2. Fluoruros

Conforme se muestra en la tabla 5.12, se cumple con la normativa, por lo que se considera con respecto a los fluoruros no es contaminante, esto debido a que en su composición había poco vidrio y ladrillos (principales elementos que contienen fluoruros).

Normatividad propuesta aplicable:

- AAA/661/2013: El límite máximo permisible es de $2.5 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.12
Resultados fluoruros

	Fluoruros (mg/L)	AAA/661/2013
Lisímetro 1	< 0.200	Cumple
Lisímetro 2	0.224	Cumple
Lisímetro 3	0.335	Cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.4.3. Sulfatos

El yeso es uno de los principales minerales de sulfatos presentes en el sector constructivo, principalmente en el cemento, esto con el fin de retrasar el fraguado durante los procesos constructivos, se puede observar en la tabla 5.13 que ningún lisímetro cumple con la normativa propuesta por lo que se debe considerar como factor de contaminación.

Normatividad propuesta aplicable:

- AAA/661/2013: El límite máximo permisible es de $1500 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.13
Resultados sulfatos

	Ión sulfato (mg/L)	AAA/661/2013
<i>Lisímetro 1</i>	2216	No cumple
<i>Lisímetro 2</i>	2051	No cumple
<i>Lisímetro 3</i>	1983	No cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.4.4. Dureza

Respecto a la dureza no cuenta con límites de comparación, sin embargo por la naturaleza de los residuos era de esperar un agua altamente dura, resultando ser necesario darle más seguimiento a esta variable desde el punto de vista que pueda producirse en el medio.

Normatividad propuesta aplicable:

- No existe algún referente normativo

Tabla 5.14
Resultados dureza

	Dureza total mg/L CaCO₃
<i>Lisímetro 1</i>	1710
<i>Lisímetro 2</i>	1554
<i>Lisímetro 3</i>	1012

Fuente: Elaborado por el autor

5.4.5. Carbonatos, Bicarbonatos e hidróxidos

La consideración de estos elementos fue fundamental para determinar su participación en la alcalinidad del lixiviado, así como su participación en la dureza del agua. Su liberación se puede considerar como un factor de peligrosidad al participar en proporcionar las condiciones de corrosividad del lixiviado.

Normatividad propuesta aplicable:

- No existe algún referente normativo.

Tabla 5.15
Resultados Bicarbonatos, Carbonatos e Hidróxidos

	Bicarbonatos (mg/L)	Carbonatos (mg/L)	Hidróxidos (mg/L)
Lisímetro 1	341	< 1.31	0
Lisímetro 2	217	< 1.31	0
Lisímetro 3	163	< 1.31	0

Fuente: Elaborado por el autor

5.4.6. Alcalinidad total

No aplica con alguna normativa, sin embargo, es necesario darle seguimiento a este compuesto.

Normatividad propuesta aplicable:

- No existe algún referente normativo

Tabla 5.16
Resultados Alcalinidad

	Alcalinidad Total mg/L CaCO3
Lisímetro 1	279
Lisímetro 2	178
Lisímetro 3	134

Fuente: Elaborado por el autor

5.4.7. Nitrógeno total

Para el nitrógeno no hay alguna normativa para realizar comparación, a pesar de ello se puede considerar contaminante como puede ser la vida acuática.

Normatividad propuesta aplicable:

- No existe algún referente normativo

Tabla 5.17
Resultados nitrógeno

	Nitrógeno total (mg/L)
Lisímetro 1	4
Lisímetro 2	1.63
Lisímetro 3	3.65

Fuente: Elaborado por el autor

5.4.8. Carbono orgánico total

Como se puede observar en la tabla 5.18, solo el lisímetro dos cumple con la normativa propuesta, considerando que para el lisímetro uno y tres sean considerado como contaminante.

Normatividad propuesta aplicable:

- AAA/661/2013: El límite máximo permisible es de $30 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.18
Resultados C.O.T

	C.O.T (mg/L)	AAA/661/2013
<i>Lisímetro 1</i>	78	No cumple
<i>Lisímetro 2</i>	14.83	Cumple
<i>Lisímetro 3</i>	58.56	No cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.5. Metales

En esta sección se presentarán los resultados de los metales, así como su análisis, y su normativa de la metodología del análisis del parámetro. Los resultados fueron realizados por el instituto de ciencias del mar y limnología de la UNAM.

5.5.1. Aluminio

De acuerdo con los resultados en la tabla 5.19 el aluminio se encuentra dentro de los límites permisibles, sin embargo, el lisímetro uno se encuentra muy cerca de éste. Con lo que respecta al aluminio no es contaminante.

Normatividad propuesta aplicable:

- ATSDR: El límite máximo permisible es de $0.2 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.19
Resultados Al

	AL (mg/L)	ATSDR
<i>Lisímetro 1</i>	1.81559	Cumple
<i>Lisímetro 2</i>	0.68995	Cumple
<i>Lisímetro 3</i>	0.90622	Cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.5.2. Vanadio

Concorde a los resultados obtenidos, el vanadio se encuentra por debajo del límite permisible en los tres casos por lo que, para este elemento se considera como no contaminante.

Normatividad propuesta aplicable:

- ATSDR: El límite máximo permisible es de $0.22 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.20
Resultados V

	V (mg/L)	ATSDR
<i>Lisímetro 1</i>	<0.0000918	Cumple
<i>Lisímetro 2</i>	<0.0000918	Cumple
<i>Lisímetro 3</i>	<0.0000918	Cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.5.3. Cromo

Acorde a los resultados obtenidos en la tabla 5.21, se cumple los límites permisibles pero el lisímetro uno y tres los valores están muy cercanos de acuerdo a lo que estipula la normativa española. Por lo que se puede considerar que la probabilidad de liberación de este metal no es peligroso ni contaminante.

Normatividad propuesta aplicable:

- NOM-052-SEMARNAT-2005: El límite máximo permisible es de $5.0 \frac{mg}{L}$
- AAA/661/2013: El límite máximo permisible es de $0.1 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.21
Resultados Cr

	Cr (mg/L)	NOM-052-SEMARNAT-2005	AAA/661/2013
<i>Lisímetro 1</i>	0.07647	Cumple	Cumple
<i>Lisímetro 2</i>	0.02939	Cumple	Cumple
<i>Lisímetro 3</i>	0.09207	Cumple	Cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.5.4. Hierro

Para el hierro se puede observar en la tabla 5.22 que en ningún caso cumple por lo que para este elemento se puede considerar como contaminante.

Normatividad propuesta aplicable:

- ATSDR: El límite máximo permisible es de $3.0 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.22
Resultados Fe

	Fe (mg/L)	ATSDR
<i>Lisímetro 1</i>	6.10610	No cumple
<i>Lisímetro 2</i>	6.04110	No cumple
<i>Lisímetro 3</i>	4.51897	No cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.5.5. Cobalto

En el caso del cobalto se puede observar que está por debajo del límite de detección instrumental ocasionando que no cumpla con la normativa considerándolo como contaminante. Se deben realizar pruebas más minuciosas para este elemento.

Normatividad propuesta aplicable:

- ATSDR: El límite máximo permisible es de $0.0001 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.23
Resultados Co

	Co (mg/L)	ATSDR
<i>Lisímetro 1</i>	<0.0002186	No cumple
<i>Lisímetro 2</i>	<0.0002186	No cumple
<i>Lisímetro 3</i>	<0.0002186	No cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.5.6. Níquel

De acuerdo con la tabla 5.24 el lisímetro uno y el lisímetro tres no cumple con la normativa española por lo que se considera como contaminante caso contrario a la NOM-052-SEMARNAT-2005 que es un elemento no peligroso.

Normatividad propuesta aplicable:

- NOM-052-SEMARNAT-2005: El límite permisible es de $5.0 \frac{mg}{L}$
- AAA/661/2013: El límite permisible es de $0.12 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.24
Resultados Ni

	Ni (mg/L)	NOM-052-SEMARNAT-2005	AAA/661/2013
<i>Lisímetro 1</i>	0.13302	Cumple	No cumple
<i>Lisímetro 2</i>	0.07905	Cumple	Cumple
<i>Lisímetro 3</i>	0.13397	Cumple	No cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.5.7. Cobre

Para el cobre se cumple con la normatividad propuesta, sin embargo, el lisímetro dos y tres se encuentran por debajo del límite de detección instrumental por lo que el cobre no es contaminante.

Normatividad propuesta aplicable:

- AAA/661/2013: El límite permisible es de $0.6 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.25
Resultados Cu

	Cu (mg/L)	AAA/661/2013
<i>Lisímetro 1</i>	0.13243	Cumple
<i>Lisímetro 2</i>	<0.000296	Cumple
<i>Lisímetro 3</i>	<0.000296	Cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.5.8. Zinc

Acorde a los resultados obtenidos en la tabla 5.26 no cumple con la normatividad propuesta, esto se debe a que el zinc es muy usado en la industria de la construcción para resistir la corrosión por lo que este elemento se considera como contaminante.

Normatividad propuesta aplicable:

- AAA/661/2013: El límite permisible es de $1.2 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.26
Resultados Zn

	Zn (mg/L)	AAA/661/2013
<i>Lisímetro 1</i>	8.13730	No cumple
<i>Lisímetro 2</i>	6.64144	No cumple
<i>Lisímetro 3</i>	10.15318	No cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.5.9. Plata

En el caso de la plata cumple con los límites permisibles por lo que se considera no peligroso y no contaminante.

Normatividad propuesta aplicable:

- NOM-052-SEMARNAT-2005: El límite permisible es de $5.0 \frac{mg}{L}$
- ATSDR: El límite permisible es de $0.10 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.27
Resultados Ag

	Ag (mg/L)	NOM-052-SEMARNAT-2005	ATSDR
<i>Lisímetro 1</i>	<0.0009	Cumple	Cumple
<i>Lisímetro 2</i>	<0.0009	Cumple	Cumple
<i>Lisímetro 3</i>	<0.0009	Cumple	Cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.5.10. Cadmio

Para el cadmio también se cumple con la normativa por lo que no se debe considerar un factor de riesgo ya que no es peligroso y no es contaminante.

Normatividad propuesta aplicable:

- NOM-052-SEMARNAT-2005: El límite permisible es de $1.0 \frac{mg}{L}$
- AAA/661/2013: El límite permisible es de $1.7 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.28
Resultados Cd

	Cd (mg/L)	NOM-052-SEMARNAT-2005	AAA/661/2013
<i>Lisímetro 1</i>	0.00633	Cumple	Cumple
<i>Lisímetro 2</i>	0.00126	Cumple	Cumple
<i>Lisímetro 3</i>	0.00124	Cumple	Cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.5.11. Bario

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 5.29, el bario se encuentra muy bajo por lo que cumple con la normativa aplicable. El bario no se considera peligroso y contaminante.

Normatividad propuesta aplicable:

- NOM-052-SEMARNAT-2005: El límite permisible es de $100 \frac{mg}{L}$
- AAA/661/2013: El límite permisible es de $60 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.29
Resultados Ba

	Ba (mg/L)	NOM-052-SEMARNAT-2005	AAA/661/2013
<i>Lisímetro 1</i>	0.31172	Cumple	Cumple
<i>Lisímetro 2</i>	0.09367	Cumple	Cumple
<i>Lisímetro 3</i>	0.06013	Cumple	Cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.5.12. Plomo

En el caso del plomo solo el lisímetro uno no cumple con la normativa española ocasionando que para este lisímetro sea considerado como contaminante, pero no peligroso.

Normatividad propuesta aplicable:

- NOM-052-SEMARNAT-2005: El límite permisible es de $5 \frac{mg}{L}$
- AAA/661/2013: El límite permisible es de $0.15 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.30
Resultados Pb

	Pb (mg/L)	NOM-052-SEMARNAT-2005	AAA/661/2013
<i>Lisímetro 1</i>	0.30764	Cumple	No cumple
<i>Lisímetro 2</i>	0.08232	Cumple	Cumple
<i>Lisímetro 3</i>	0.10472	Cumple	Cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.5.13. Mercurio

De acuerdo con los resultados del mercurio solo el lisímetro uno no cumple con la normativa española por lo que para éste se considera como no peligroso, pero si contaminante.

Normatividad propuesta aplicable:

- NOM-052-SEMARNAT-2005: El límite permisible es de $0.2 \frac{mg}{L}$
- AAA/661/2013: El límite permisible es de $0.002 \frac{mg}{L}$

Tabla 5.31
Resultados Hg

	Hg (mg/L)	NOM-052-SEMARNAT-2005	AAA/661/2013
<i>Lisímetro 1</i>	0.00774	Cumple	No cumple
<i>Lisímetro 2</i>	<0.0005578	Cumple	Cumple
<i>Lisímetro 3</i>	0.00065	Cumple	Cumple

Fuente: Elaborado por el autor

5.6. Conclusiones sobre evaluación de lixiviado

5.6.1. Parámetros básicos

Como se puede observar en la Tabla 5.32 el lixiviado para los parámetros básicos resulta ser contaminante. En estos parámetros se debe tener en cuenta la conductividad pues de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000 resulta ser una sustancia moderadamente salina, ocasionando que la vegetación puede verse afectada en sus rendimientos. Al ser una sustancia producto del fenómeno de lixiviación las unidades de turbiedad se encuentran muy altas.

Tabla 5.32
Compuestos básicos

Lisímetro 1			Lisímetro 2			Lisímetro 3		
BÁSICOS	PELIGROSO	CONTAMINANTE	BÁSICOS	PELIGROSO	CONTAMINANTE	BÁSICOS	PELIGROSO	CONTAMINANTE
pH	No	No	pH	No	No	pH	No	No
Conductividad	N/A	Si	Conductividad	N/A	Si	Conductividad	N/A	Si
Turbiedad	N/A	Si	Turbiedad	N/A	Si	Turbiedad	N/A	Si
DQO	N/A	No	DQO	N/A	No	DQO	N/A	No

Fuente: Elaborado por el autor

5.6.2. Compuestos orgánicos

En cuanto a los compuestos orgánicos, los hidrocarburos totales no cuentan con una normatividad reguladora, dada la naturaleza de éstos se consideran contaminantes, principalmente el lisímetro 1 pues rebasa por mucho el valor límite permisible en comparación a los lisímetros restantes, esto debido que se encontraron materiales impregnados cuyos componentes son hidrocarburos.

Tabla 5.33
Compuestos orgánicos

Lisímetro 1			Lisímetro 2			Lisímetro 3		
ORGÁNICOS	PELIGROSO	CONTAMINANTE	ORGÁNICOS	PELIGROSO	CONTAMINANTE	ORGÁNICOS	PELIGROSO	CONTAMINANTE
Hidrocarburos totales	N/A	Si	Hidrocarburos totales	N/A	Si	Hidrocarburos totales	N/A	Si
Fenoles	N/A	No	Fenoles	N/A	No	Fenoles	N/A	No

Fuente: Elaborado por el autor

5.6.3. Compuestos inorgánicos

Con relación a los carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos se utilizó como referente a la alcalinidad del residuo, resultando que para este parámetro no es peligroso y no es contaminante. En el caso de sulfatos, dureza, nitrógeno total y carbono orgánico total (no aplica para el lisímetro 2) resulta ser contaminante pero no peligroso.

Tabla 5.34
Compuestos inorgánicos

Lisímetro 1			Lisímetro 2			Lisímetro 3		
INORGÁNICOS	PELIGROSO	CONTAMINANTE	INORGÁNICOS	PELIGROSO	CONTAMINANTE	INORGÁNICOS	PELIGROSO	CONTAMINANTE
Cloruros totales	N/A	No	Cloruros totales	N/A	No	Cloruros totales	N/A	No
Fluoruros	N/A	No	Fluoruros	N/A	No	Fluoruros	N/A	No
Sulfatos	N/A	Si	Sulfatos	N/A	Si	Sulfatos	N/A	Si
Dureza	N/A	Si	Dureza	N/A	Si	Dureza	N/A	Si
Alcalinidad total	N/A	No	Alcalinidad total	N/A	No	Alcalinidad total	N/A	No
Carbonatos	N/A	N/A	Carbonatos	N/A	N/A	Carbonatos	N/A	N/A
Bicarbonatos	N/A	N/A	Bicarbonatos	N/A	N/A	Bicarbonatos	N/A	N/A
Hidróxidos	N/A	N/A	Hidróxidos	N/A	N/A	Hidróxidos	N/A	N/A
Nitrógeno total	N/A	No	Nitrógeno total	N/A	No	Nitrógeno total	N/A	No
COT	N/A	Si	COT	N/A	No	COT	N/A	Si

Fuente: Elaborado por el autor

5.6.4. Metales

Referente a los metales, el hierro, cobalto, níquel, zinc, plomo y mercurio (no aplica para lisímetro 2 y 3) resulta ser no peligroso, pero si contaminante. En el caso de los lisímetros 2 y 3 los valores fueron variables, pero cercanos en comparación con el lisímetro 1 que por su toxicidad resulta ser de mayor interés el plomo y mercurio.

Tabla 5.35
Metales

Lisímetro 1			Lisímetro 2			Lisímetro 3		
METALES	PELIGROSO	CONTAMINANTE	METALES	PELIGROSO	CONTAMINANTE	METALES	PELIGROSO	CONTAMINANTE
Aluminio	N/A	No	Aluminio	N/A	No	Aluminio	N/A	No
Vanadio	N/A	No	Vanadio	N/A	No	Vanadio	N/A	No
Cromo	No	No	Cromo	No	No	Cromo	No	No
Hierro	N/A	Si	Hierro	N/A	Si	Hierro	N/A	Si
Cobalto	N/A	Si	Cobalto	N/A	Si	Cobalto	N/A	Si
Níquel	No	Si	Níquel	No	No	Níquel	No	Si
Cobre	N/A	No	Cobre	N/A	No	Cobre	N/A	No
Zinc	N/A	Si	Zinc	N/A	Si	Zinc	N/A	Si
Plata	No	No	Plata	No	No	Plata	No	No
Cadmio	No	No	Cadmio	No	No	Cadmio	No	No
Bario	No	No	Bario	No	No	Bario	No	No
Plomo	No	Si	Plomo	No	No	Plomo	No	No
Mercurio	No	Si	Mercurio	No	No	Mercurio	No	No

Fuente: Elaborado por el autor

De acuerdo con los resultados obtenidos en los antecedentes y realizando una comparación resultan ser variables, esto debido a los distintos tipos de porcentajes usados para cada trabajo realizado. Por lo que se concluye, de acuerdo a la normativa aplicada, que el lixiviado no es peligroso, pero si contaminante, sin olvidar la atención principal en el lisímetro uno resultando ser el más contaminante de los tres, haciendo énfasis al plomo y mercurio por la toxicidad que estos representan.

6. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

Si bien, en la actualidad existen diversos procesos para el tratamiento del lixiviados, en este capítulo solo se abordarán a nivel descriptivo los posiblemente aplicables.

6.1. Modelado y simulación empleando software GPS-X

El software de simulación permite a los usuarios probar diferentes configuraciones según la planta de tratamiento que se desee simular.

Para la realización de esta sección se empleó el uso del software GPS-X (General Purpose Simulator) fue desarrollado por Hydromantis, Inc. empresa canadiense fundada en 1985, especializada en la ingeniería ambiental. La primera versión data de 1991 y actualmente la versión más reciente es la 7.0.1.

La simulación se puede desarrollar en estado estacionario y simulación dinámica con presentación en tiempo real de las gráficas de evolución de las variables seleccionadas. Permite generar esquemas de la planta piloto, soporte y conversión de unidades, desarrollo matemático mediante análisis numérico, así como la simulación de plantas.

Resulta de interés conocer la capacidad del software, así como el propósito y los alcances que tendrá la simulación. Por las necesidades y la característica del efluente a analizar, en el presente trabajo se utilizó el modelo Process Water treatment.

Se proponen dos alternativas para el tratamiento del lixiviado.

6.1.1. Primera alternativa de tratamiento

En la Fig 6.1 se muestra el diagrama de flujo de la primera alternativa de tratamiento:

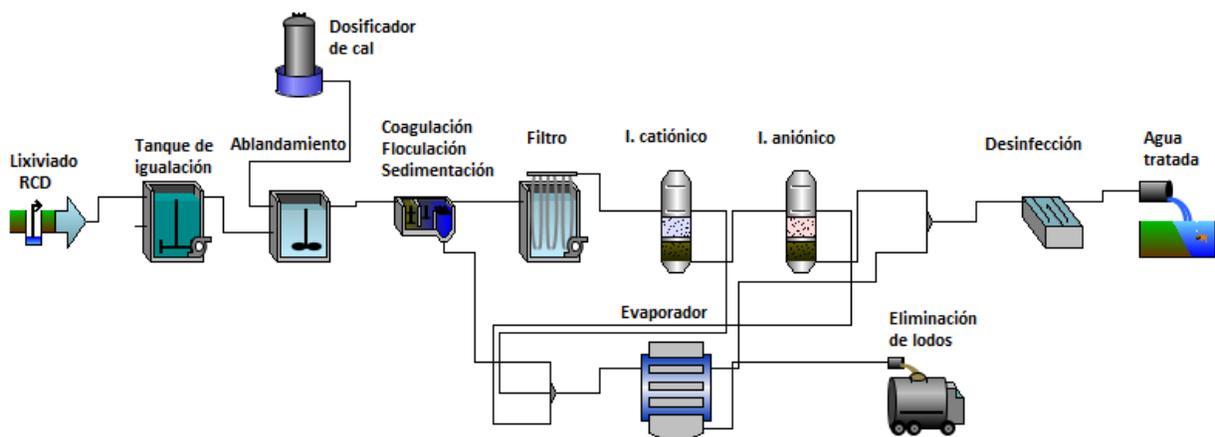


Fig. 6.1 Primera alternativa de tratamiento

Fuente: Elaborada por el autor

Tanque de igualación

Inicialmente se propone un tanque de homogenización debido a que las variaciones del caudal, son considerables; ya que los valores no son constantes y se producirá más en temporadas de lluvias. La regulación u homogenización de caudales amortigua las variaciones del caudal, de manera que se alcance un caudal de salida constante.

Las funciones principales que desempeñará el tanque de homogenización son:

- Controlar las variaciones de caudal y características variables del lixiviado de RCD
- Estabilizar valores de pH
- Brindar un flujo continuo a los sistemas de tratamiento posteriores

Ablandamiento de lixiviado

Al tener un lixiviado con un alto nivel de dureza, resulta necesario el ablandamiento. Denominamos ablandamiento al conjunto de operaciones que tienen como finalidad reducir las concentraciones de calcio y magnesio, es decir, reducir o eliminar la dureza del agua.

Coagulación-floculación-sedimentación

En el proceso convencional de coagulación-floculación-sedimentación, se añadirá un coagulante al lixiviado resultante para crear una atracción entre las partículas en suspensión. Se realizará una mezcla rápida para la desestabilización de la partícula, posterior a esto la mezcla se agitará lentamente para inducir la agrupación de partículas entre sí para formar "flóculos". El agua se traslada entonces a un depósito tranquilo de sedimentación para sedimentar los sólidos. En este proceso se removerán algunos metales, turbiedad y sólidos suspendidos. Es importante tener presente que en este proceso pues será generado un lodo químico de carácter especial por lo que será necesario realizar un tratamiento.

Sistema de filtración

La filtración es una técnica excelente de bajo costo para la purificación de aguas contaminadas. Se propone el uso filtración en arena, su rendimiento y aplicabilidad, para reducir y remover la turbiedad, así como los virus y bacterias.

Técnicamente, los granos de arena forman una capa atravesada por el agua y que detiene por simple efecto de tamizado las partículas de tamaño superior al de los espacios existentes entre dichos granos. Si a lo largo de su avance tocan un grano, las partículas más pequeñas también quedarán retenidas sobre la superficie de estos por el efecto pared. La capacidad de frenado del filtro será tanto mayor cuanto menor sea el diámetro de sus granos y más largo sea el tiempo de permanencia de las partículas.

Intercambio iónico

Se propone intercambio catiónico para disminuir o eliminar los metales, principalmente cadmio, plomo y mercurio por sus características peligrosas. Por otra parte, con el uso de intercambio aniónico quedarán retenidos los sulfatos y cloruros.

Desinfección

Se plantea el uso de desinfección para desactivar o eliminar los microorganismos patógenos que pudiesen resistir durante el proceso de tratamiento.

Tratamiento de lodos

Durante el proceso de tratamiento del lixiviado se debe tomar en cuenta la generación de lodos. Los lodos son sólidos con un contenido variable de humedad provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización (NOM-004-SEMARNAT-2002).

Los lodos primarios se producen en la sedimentación primaria, en la cual se remueven sólidos sedimentables. La cantidad depende de la carga superficial o tiempo hidráulico de retención. En la sedimentación primaria con químicos se produce más lodo, producto de una mayor remoción y de la precipitación química de la materia coloidal.

Los lodos secundarios se producen en los reactores biológicos y se sedimentan o separan del agua en los sedimentadores secundarios. Estos sedimentadores tienen en su base una tolva para almacenar y concentrar los lodos sedimentados. La extracción del lodo sedimentado se efectúa por carga hidráulica y por el accionamiento mecánico de las rastras que limpian el fondo del tanque, empujando los lodos sedimentados.

Dado lo anterior, se propone el uso de un evaporador para deshidratar el lodo y minimizar el volumen de éste, así como concentrar los residuos corrosivos e incrustantes. Por la naturaleza que este lodo presentará (elevados niveles de metales y minerales) se enviará a disposición final (relleno sanitario).

6.1.1.1. Resultados

Los datos introducidos al simulador fueron los valores obtenidos en la caracterización del influente realizada anteriormente, así como el flujo y temperatura calculada.

Los resultados obtenidos en la simulación del proceso de tratamiento propuesto, son proporcionados por el software, así como el diagrama de flujo del influente durante el tratamiento entre cada proceso, los cuadros representan cambios de flujo, como se muestran en la Fig 6.2.

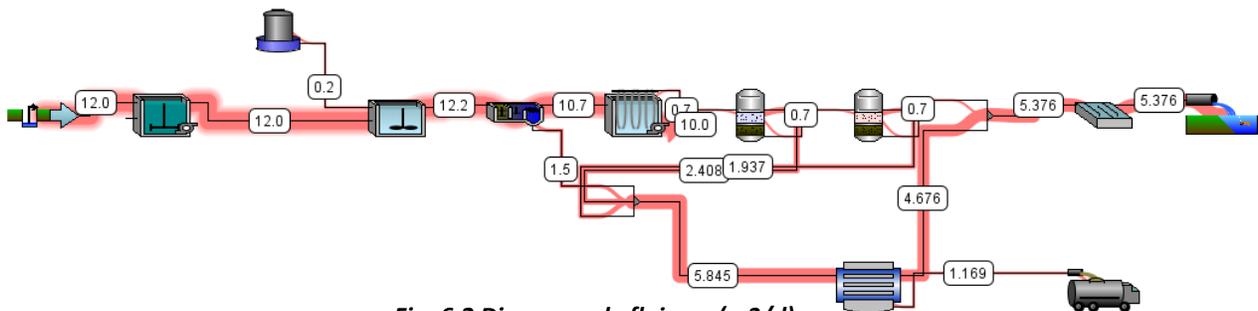


Fig. 6.2 Diagrama de flujo en (m³/d)
Fuente: Elaborada por el autor

De acuerdo con los resultados obtenidos en la simulación Fig.6.3 podemos observar que los valores se encuentran por debajo de la normatividad por lo que el tratamiento propuesto cumple con lo estipulado.

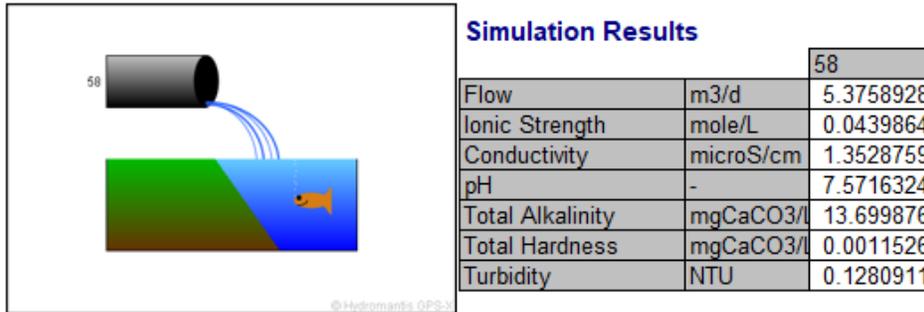


Fig. 6.3 Resultados de la simulación
Fuente: Elaborada por el autor

6.1.2. Segunda alternativa de tratamiento

A diferencia del tren propuesto anterior y a manera de comparación en resultados se plantea ablandar el lixiviado con base álcali, coagulación, floculación, sedimentación, filtro de membrana y ósmosis inversa, en la Fig 6.4 se muestra el diagrama de flujo propuesto.

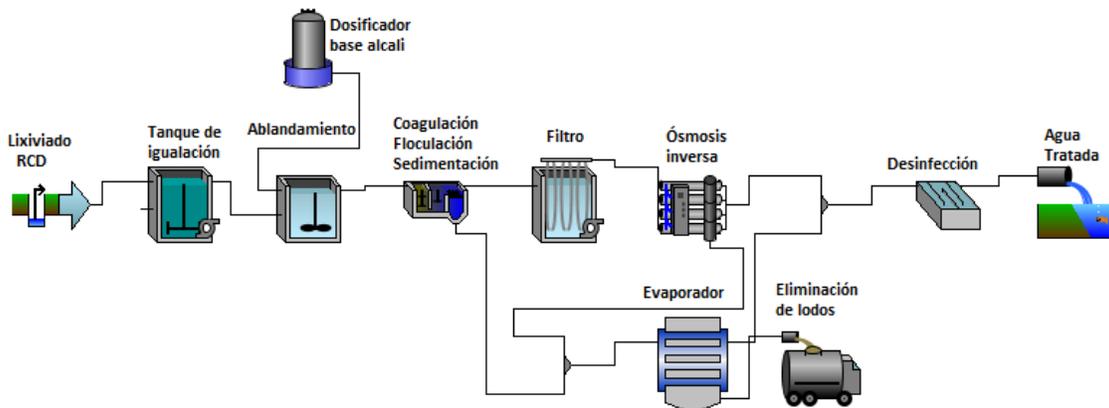


Fig. 6.4 Segunda alternativa de tratamiento
Fuente: Elaborada por el autor

Coagulación-floculación-sedimentación

Al igual que el tratamiento propuesto anterior se usará este sistema para desestabilizar coloides y remover sólidos suspendidos por sedimentación aproximadamente del orden del 90% dependiendo de la facilidad con que sedimenten los sólidos.

Filtro de membrana (ultrafiltración)

Entre los procesos que más se han desarrollado en las últimas décadas se encuentran los de filtración a través de membrana. Como se mencionó anteriormente, de forma general, éstos consisten en forzar el paso del líquido a filtrar a través de una membrana colocada sobre un soporte sólido.

Por otra parte. la Fig. 6.7, se observa en los resultados que cuenta con una eficiencia de tratamiento mayor.

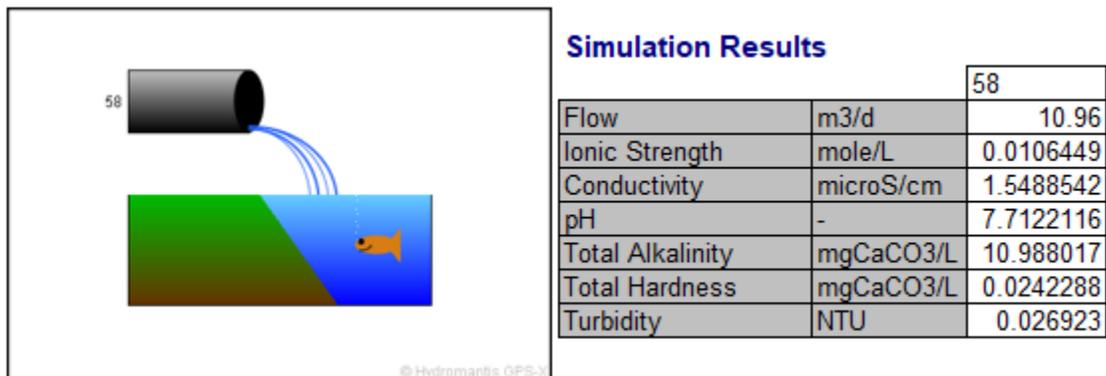


Fig. 6.7 Resultados de la simulación
Fuente: Elaborada por el autor

De acuerdo con los resultados de las simulaciones realizadas, ambas cumplen los límites máximos permisibles en las aguas residuales. Por lo que se propone que el uso de ésta sea para riego de la zona.

7. CONCLUSIONES

Como resultado de la realización del trabajo presentado en los capítulos anteriores, en este capítulo se presentan las conclusiones. Se considera importante atenderlas para la continuación de estudios y posteriores trabajos que se realicen a partir del presente.

Los estudios referentes a iniciativas ambientales de residuos de la construcción y demolición son escasos y no cubren alguna investigación acerca de la generación de lixiviados en sitios de disposición final de estos residuos. No se han encontrado datos actualizados referentes a la generación y flujo por lo que es necesario contar con fuentes actualizadas.

En este estudio se localizaron los sitios de disposición final, encontrando que los sitios autorizados no realizan la gestión adecuada, esto a causa de la ausencia de legislación aplicable. Posterior a la realización de la toma de muestras se observó la presencia de RCD de carácter peligroso (asfalto, asbesto, recipientes de pinturas, aceites, etc.) por lo que es necesario realizar separación selectiva y darle el tratamiento adecuado. Resultando necesario contar con una norma oficial mexicana de alcance nacional con relación a éstos, desde su generación hasta su disposición final.

Es indispensable la orientación con metodologías, planes de manejo y la implementación de normatividad para evitar la proliferación de vertederos clandestinos incontrolados para reducir los impactos ambientales. Es indispensable realizar jerarquización de la gestión de los RCD, indicando que la gestión debe realizarse de acuerdo con el nivel jerárquico, enfatizando las acciones que eviten y reduzcan la generación, continuando con la valorización realizada por el reciclaje, así como el reúso y finalizando por las disposiciones de poco o nulo valor ambiental como el tratamiento o eliminación en vertederos.

A partir de la información meteorológica proporcionada por el centro de ciencias de la atmósfera, UNAM, y con información de modelos matemáticos se calculó el volumen aproximado de generación de lixiviados el cual fue de 439.31 mm anuales.

Con el desarrollo del estudio se concluye que el volumen generado de lixiviado y lo que se infiltra al subsuelo, es considerable, por lo que es necesario diseñar vertederos que cuenten con estructuras necesarias para el control de éstos (drenajes, barreras impermeables y monitoreo).

Una vez realizada la caracterización de los compuestos de los lixiviados, aquellos que merecen mayor atención son: conductividad, sulfatos, COT, hidrocarburos totales, dureza, sulfatos, hierro, cobalto, níquel, zinc, plomo y mercurio. Concluyendo que, de acuerdo con la legislación aplicada en este trabajo, los lixiviados de los RCD son contaminantes, pero no peligrosos.

Es necesario contar con especificaciones técnicas para el muestreo, metodología de experimentación, así como los valores máximos permisibles de lixiviación. Así como realizar pruebas de tratabilidad fisicoquímicas.

Una vez analizadas las propuestas de tratamiento de los lixiviados, se propusieron dos trenes de tratamiento, de los cuales se concluye que el segundo es más eficiente. Por otra parte, resulta necesario realizar análisis de costo-beneficio.

ANEXO

Latitud Norte	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0°	31,2	28,2	31,2	30,3	31,2	30,3	31,2	31,2	30,3	31,2	30,3	31,2
1	31,2	28,2	31,2	30,3	31,2	30,3	31,2	31,2	30,3	31,2	30,3	31,2
2	31,2	28,2	31,2	30,3	31,5	30,6	31,2	31,2	30,3	31,2	30,0	30,9
3	30,9	28,2	30,9	30,3	31,5	30,6	31,5	31,2	30,3	31,2	30,0	30,9
4	30,9	27,9	30,9	30,6	31,8	30,9	31,5	31,5	30,3	30,9	30,0	30,6
5	30,6	27,9	30,9	30,6	31,8	30,9	31,8	31,5	30,3	30,9	29,7	30,6
6	30,6	27,9	30,9	30,6	31,8	31,2	31,8	31,5	30,3	30,9	29,7	30,3
7	30,3	27,6	30,9	30,6	32,1	31,2	32,1	31,8	30,3	30,9	29,7	30,3
8	30,3	27,6	30,9	30,9	32,1	31,5	32,1	31,8	30,6	30,6	29,4	30,0
9	30,0	27,6	30,9	30,9	32,4	31,5	32,4	31,8	30,6	30,6	29,4	30,0
10	30,0	27,3	30,9	30,9	32,4	31,8	32,4	32,1	30,6	30,6	29,4	29,7
11	29,7	27,3	30,9	30,9	32,7	31,8	32,7	32,1	30,6	30,6	29,1	29,7
12	29,7	27,3	30,9	31,2	32,7	32,1	33,0	32,1	30,6	30,3	29,1	29,4
13	29,4	27,3	30,9	31,2	33,0	32,1	33,0	32,4	30,6	30,3	28,8	29,4
14	29,4	27,3	30,9	31,2	33,0	32,4	33,3	32,4	30,6	30,3	28,8	29,1
15	29,1	27,3	30,9	31,2	33,3	32,4	33,6	32,4	30,6	30,3	28,5	29,1
16	29,1	27,3	30,9	31,2	33,3	32,7	33,6	32,7	30,6	30,3	28,5	28,8
17	28,8	27,3	30,9	31,5	33,6	32,7	33,9	32,7	30,6	30,0	28,2	28,8
18	28,8	27,0	30,9	31,5	33,6	33,0	33,9	33,0	30,6	30,0	28,2	28,5
19	28,5	27,0	30,9	31,5	33,9	33,0	34,2	33,0	30,6	30,0	27,9	28,5
20	28,5	27,0	30,9	31,5	33,9	33,3	34,2	33,3	30,6	30,0	27,9	28,2
21	28,2	27,0	30,9	31,5	33,9	33,3	34,5	33,3	30,6	30,0	27,6	28,2
22	28,2	26,7	30,9	31,8	34,2	33,6	34,5	33,3	30,6	29,7	27,6	27,9
23	27,9	26,7	30,9	31,8	34,2	33,9	34,8	33,8	30,6	29,7	27,6	27,6
24	27,9	26,7	30,9	31,8	34,5	34,2	34,8	33,8	30,6	29,7	27,3	27,6
25	27,9	26,7	30,9	31,8	34,5	34,2	35,1	33,6	30,6	29,7	27,3	27,3
26	27,6	26,4	30,9	32,1	34,8	34,5	35,1	33,6	30,6	29,7	27,3	27,3
27	27,6	26,4	30,9	32,1	34,8	34,5	35,4	33,9	30,6	29,7	27,0	27,0
28	27,3	26,4	30,9	32,1	35,1	34,8	35,4	33,9	30,9	29,4	27,0	27,0
29	27,3	26,1	30,9	32,1	35,1	34,8	35,7	33,9	30,9	29,4	26,7	26,7
30	27,0	26,1	30,9	32,4	35,4	35,1	36,0	34,2	30,9	29,4	26,7	26,4
31	27,0	26,1	30,9	32,4	35,4	35,1	36,0	34,2	30,9	29,4	26,4	26,4
32	26,7	25,8	30,9	32,4	35,7	35,4	36,3	34,5	30,9	29,4	26,4	26,1
33	26,4	25,8	30,9	32,7	35,7	35,7	36,3	34,5	30,9	29,1	26,1	25,8
34	26,4	25,8	30,9	32,7	36,0	36,0	36,6	34,8	30,9	29,1	26,1	25,3
35	26,1	25,5	30,9	32,7	36,3	36,3	36,9	34,8	30,9	29,1	25,8	25,5
36	26,1	25,5	30,9	33,0	36,3	36,6	37,2	34,8	30,9	29,1	25,8	25,2
37	25,8	25,5	30,9	33,0	36,6	36,9	37,5	35,1	30,9	29,1	25,5	24,9
38	25,5	25,2	30,9	33,0	36,9	37,2	37,5	35,1	31,2	28,8	25,2	24,9
39	25,5	25,2	30,9	33,3	36,9	37,2	37,8	35,4	31,2	28,8	25,2	24,6
40	25,2	24,9	30,9	33,3	37,2	37,5	38,1	35,4	31,2	28,8	24,9	24,3
41	24,9	24,9	30,9	33,3	37,5	37,8	38,1	35,7	31,2	28,8	24,6	24,0
42	24,6	24,6	30,9	33,6	37,8	38,1	38,4	35,7	31,2	28,5	24,6	23,7
43	24,3	24,6	30,6	33,6	37,8	38,4	38,7	36,0	31,2	28,5	24,3	23,1
44	24,3	24,3	30,6	33,6	38,1	38,7	39,0	36,0	31,2	28,5	24,0	22,8
45	24,0	24,3	30,6	33,9	38,4	38,7	39,3	36,3	31,2	28,2	23,7	22,5
46	23,7	24,0	30,6	33,9	38,7	39,0	39,6	36,6	31,2	28,2	23,7	22,2
47	23,1	24,0	30,6	34,2	39,0	39,6	39,9	36,6	31,5	27,9	23,4	21,9
48	22,8	23,7	30,6	34,2	39,3	39,9	40,2	36,9	31,5	27,9	23,1	21,6
49	22,5	23,7	30,6	34,5	39,6	40,2	40,5	37,2	31,5	27,6	22,8	21,3
50	22,2	23,4	30,6	34,5	39,9	40,8	41,1	37,5	34,8	27,6	22,8	21,9

Tabla. 1 Índice de iluminación mensual en el hemisferio norte, expresado en unidades de 12 horas

CONDICIONES DE SUPERFICIE	PENDIENTE	COEFICIENTE K _e
SUELO ARENOSO PLANO	S = 2%	0.05 - 0.10
SUELO ARENOSO MEDIO	S = 2 - 7%	0.10 - 0.15
SUELO ARENOSO INCLINADO	S = 7%	0.15 - 0.20
SUELO ARCILLOSO PLANO	S = 2%	0.13 - 0.17
SUELO ARCILLOSO MEDIO	S = 2 - 7%	0.18 - 0.22
SUELO ARCILLOSO INCLINADO	S = 7%	0.23 - 0.35

Fuente: Chow.1974.

Tabla. 2 Valores para los coeficientes de escurrimiento Ke

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

299

RESULTADOS

AREA: QUÍMICA ANALÍTICA, ORGÁNICOS, CROMATOGRAFÍA DE LIQUIDOS Y COT													
CLIENTE Y/O PROYECTO: CLAUDIA ALEJANDRA GAYTÁN COLLADO													
DOMICILIO: EDIFICIO BERNARDO QUINTANA, CIUDAD UNIVERSITARIA C.P. 04510, COYOACÁN, CDMX													
No. DE CONTROL: 299/2018	TIPO DE MUESTRA: AGUA RESIDUAL												
	FECHA MUESTREO: 2018/10/10 FECHA RECEPCIÓN: 2018/10/11												
No	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS											
		CARBÓN ORGÁNICO TOTAL mg/L											
1	LISIMETRO DE RCD - 1	77,72											
2	LISIMETRO DE RCD - 2	14,83											
3	LISIMETRO DE RCD - 3	58,62											
FECHA DE ANÁLISIS		2018/10/31											
MÉTODO DE ANÁLISIS		CAGA05-14											
FECHA DE EMISIÓN DE RESULTADOS		2018/11/01											
<small>1) Número de acreditación ante AQ-177-83268. 2) Número de aprobación CONADUA, CMA-GCA-1837. 3) Probeta no acreditada por la area y otro organización o institución, sin embargo, se realiza de conformidad con nuestro Sistema de Gestión de Calidad, basado en la NMX-CC-17825-IMNC-2008.</small>													
OBSERVACIONES:													
<small>ESTE REPORTE NO PODRÁ SER ALTERADO NI REPRODUCIDO PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACIÓN PREVIA DEL LABORATORIO. LOS RESULTADOS EMITIDOS SOLAMENTE AMPARAN LAS MUESTRAS RECIBIDAS EN ESTE LABORATORIO.</small>													
 M. en C. MARTHA AVILES FLORES RESPONSABLE DE AREA													
Edición:	D 01	M 03	A 2018	Sustituye a:	D 30	M 03	A 2017	Revisión:	12	Página:	1	de:	1

FM-COS-B

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
299
RESULTADOS

ÁREA: QUÍMICA ANALÍTICA, FÍSICOQUÍMICOS													
CLIENTE Y/O PROYECTO: CLAUDIA ALEJANDRA GAYTÁN COLLADO													
DOMICILIO: EDIFICIO BERNARDO QUINTANA, CIUDAD UNIVERSITARIA C.P. 04510, COYOACÁN, CDMX.													
No. DE CONTROL: 299/2018		TIPO DE MUESTRA: AGUA RESIDUAL		FECHA MUESTREO: 2018/10/10 FECHA RECEPCIÓN: 2018/10/11									
PARÁMETROS													
No	DESCRIPCIÓN	ALCALINIDAD TOTAL mg/L CaCO ₃	BICARBONATOS mg/L	CARBONATOS mg/L	CLORUROS TOTALES mg/L								
1	L/SIMETRO DE RCD - 1	279	341	<1,31	60,5								
2	L/SIMETRO DE RCD - 2	178	217	<1,31	22,9								
3	L/SIMETRO DE RCD - 3	134	163	<1,31	195								
FECHA DE ANÁLISIS		2018/10/11	2018/10/11	2018/10/11	2018/10/11								
MÉTODO DE ANÁLISIS		¹² NMX-AA-026-SCFI-2007	³ CADAF6-08	³ CADAF6-08	¹² NMX-AA-073-SCFI-2007								
FECHA DE EMISIÓN DE RESULTADOS		2018/10/25											
(1) Número de acreditación con: AG-777-03208. (2) Número de aprobación COMAGUA, OMA-GCA-1837. (3) Prueba no acreditada por la zona y esta organización o institución, sin embargo, se realiza de conformidad con nuestro Sistema de Garantía de Calidad, basado en la NMX-EC-17325-IMNC-2006.													
OBSERVACIONES:													
LA MUESTRA FUE COLECTADA POR EL CLIENTE POR LO QUE EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE DEL ORIGEN DE LA MUESTRA. LOS RESULTADOS COMPAREN AL ANÁLISIS DE LOS LIQUIDOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DOMICILIO, GENERADOS EN SU LISMETRO CORRESPONDIENTE DEL PROYECTO: "CARACTERIZACIÓN DE LIQUIDOS DE UN SITIO DE DISPOSICION DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCION Y ANALISIS DE TRATAMIENTO".													
ESTE REPORTE NO PODRA SER ALTERADO NI REPRODUCIDO PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION PREVIA DEL LABORATORIO. LOS RESULTADOS PERTENECEN SOLO ABRIBAN LAS MUESTRAS RECIBIDAS EN ESTE LABORATORIO.													
 M. en I. MINERVA MANCHEZ GUZMAN RESPONSABLE DE AREA													
Edición:	D	M	A	Sustituye a:	D	M	A	Revisión:	12	Página:	7	de:	4

FALC08-B

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

299

RESULTADOS

ÁREA: QUÍMICA ANALÍTICA, FISICOQUÍMICOS									
CLIENTE Y/O PROYECTO: CLAUDIA ALEJANDRA GAYTÁN COLLADO									
DOMICILIO: EDIFICIO BERNARDO QUINTANA, CIUDAD UNIVERSITARIA C.P. 04510, COYOACÁN, CDMX.									
No. DE CONTROL: 299/2018		TIPO DE MUESTRA: AGUA RESIDUAL		FECHA MUESTREO: 2018/10/10					
				FECHA RECEPCIÓN: 2018/10/11					
No	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS							
		DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO mg/L	DUREZA TOTAL mg/L CaCO ₃	FENÓLES TOTALES mg/L	FLUORUROS mg/L				
1	LISMETRO DE RCD - 1	239	1710	<0,0100	<0,200				
2	LISMETRO DE RCD - 2	42,0	1554	<0,0100	0,224				
3	LISMETRO DE RCD - 3	244	1012	<0,0100	0,335				
FECHA DE ANÁLISIS		2018/10/24	2018/10/15	2018/10/19	2018/10/17-18				
MÉTODO DE ANÁLISIS		¹² NMX-AA-093-SOPL-2011	¹² NMX-AA-072-SOPL-2001	¹² NMX-AA-050-SOPL-2001	¹² NMX-AA-077-SOPL-2001				
FECHA DE EMISIÓN DE RESULTADOS		2018/10/25							
<p>(1) Número de acreditación ante AS-177-83206. (2) Número de aprobación CONAGUA, OIA-GCA-1837. (3) Prueba no acreditada por la norma o ente organizador o institución, sin embargo, se realizó de conformidad con nuestro Sistema de Garantía de Calidad, basado en la NMX-EC-17925-AMPC-2005.</p>									
OBSERVACIONES:									
<p>ESTE REPORTE NO PUEDE SER ALTERADO NI REPRODUCCION PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION PREVIA DEL LABORATORIO. LOS RESULTADOS EMITIDOS SOLO APLICAN LAS MUESTRAS RECIBIDAS EN ESTE LABORATORIO.</p>									
 M en I MINERVA SANCHEZ GUZMAN RESPONSABLE DE AREA									
Edición:	D 01	M 03	A 2018	Sustituye a:	D 30	M 03	A 2017	Revisión: 12	Folios: 2 de 4

FALC08-B

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

299

RESULTADOS

AREA: QUÍMICA ANALÍTICA, FISIQUÍMICOS									
CLIENTE Y/O PROYECTO: CLAUDIA ALEJANDRA GAYTÁN COLLADO									
DOMICILIO: EDIFICIO BERNARDO QUINTANA, CIUDAD UNIVERSITARIA C.P. 04510, COYOACÁN, CDMX									
No. DE CONTROL: 299/2018		TIPO DE MUESTRA: AGUA RESIDUAL		FECHA MUESTREO: 2018/10/10					
				FECHA RECEPCIÓN: 2018/10/11					
No	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS							
		HIDRÓXIDOS mg/L	NITRÓGENO TOTAL mg/L	IÓN SULFATO mg/L					
1	LISIMETRO DE RCD - 1	0	4,12	2216					
2	LISIMETRO DE RCD - 2	0	1,63	2051					
3	LISIMETRO DE RCD - 3	0	3,65	1983					
FECHA DE ANÁLISIS		2018/10/11	2018/10/11	2018/10/17					
MÉTODO DE ANÁLISIS		¹ CAQNS-08	¹¹ IMTA-CAQAF6-01, NMX-AA-079-SCFI-2001, NMX-AA-099-SCFI-2006	¹² NMX-AA-074-SCFI-2014					
FECHA DE EMISIÓN DE RESULTADOS		2018/10/25							
<p>1) Número de acreditación ena: 75-177-33306. 2) Número de aprobación CONAGUA: CNA-OCA-1837. 3) Proceso no acreditado por la ena u otra organización o institución, sin embargo, se realizó de conformidad con nuestro Sistema de Gestión de Calidad, basado en la NMX-CC-17825-IRM-2005.</p>									
OBSERVACIONES:									
<p>ESTE REPORTE NO PODRÁ SER AL TERCO NI REPRODUCIDO PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACIÓN PREVIA DEL LABORATORIO. LOS RESULTADOS EMITIDOS SOLO APLICAN A LAS MUESTRAS RECIBIDAS EN ESTE LABORATORIO.</p>									
 M. en C. MIRENKA SÁNCHEZ GUZMÁN RESPONSABLE DE ÁREA									
Ejeción:	D 01	M 03	A 2018	Sustituye a:	D 30	M 03	A 2017	Revisión: 12	Hoja: 3 de 4

FALC08-B

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

299

RESULTADOS

ÁREA: QUÍMICA ANALÍTICA, FÍSICOQUÍMICOS												
CLIENTE Y/O PROYECTO: CLAUDIA ALEJANDRA GAYTÁN COLLADO												
DOMICILIO: EDIFICIO BERNARDO QUINTANA, CIUDAD UNIVERSITARIA C.P. 04510, COYDACÁN, COMEX.												
No. DE CONTROL: 299/2018	TIPO DE MUESTRA: AGUA RESIDUAL	FECHA MUESTREO: 2018/10/10	FECHA RECEPCIÓN: 2018/10/11									
No	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS										
		TURBIEDAD	HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO									
		UNT	mg/L									
1	LISIMETRO DE RCD - 1	160	13,0									
2	LISIMETRO DE RCD - 2	45	2,85									
3	LISIMETRO DE RCD - 3	300	8,45									
FECHA DE ANÁLISIS		2018/10/11	2018/10/23-25									
MÉTODO DE ANÁLISIS		¹ CAQAF-08	² PROCESO ESPECIAL 005									
FECHA DE EMISIÓN DE RESULTADOS		2018/10/25										
<small>(1) Número de acreditación con: AS-177-03208 <small>(2) Número de aprobación CONAGUA: CMA-024-1837. <small>(3) Aunque no acreditado por la casa o otra organización o institución, se realiza de conformidad con nuestro Sistema de Gestión de Calidad basado en la norma ISO-17025-1:2005-1:2005.</small> </small> </small>												
OBSERVACIONES:												
<small>ESTE REPORTE NO PODRÁ SER AL TERADO NI REPRODUCIDO PARCIAL, O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACIÓN PREVIA DEL LABORATORIO <small>LOS RESULTADOS EMITIDOS SOLO AMPARAN LAS MUESTRAS RECIBIDAS EN ESTE LABORATORIO.</small> </small>												
 M. E. MNERVA SANCHEZ GUZMAN RESPONSABLE DE ÁREA												
Edición:	D	M	A	Sustituye a:	D	M	A	Revisión:	Hoja:	4	de:	4
	01	03	2018		30	03	2017	13				

FMCC06-B

BIBLIOGRAFÍA

- AAA/661/2013. (2013). Por el que se Regula la eliminación de Residuos Mediante Depósito en Vertedero. España.
- Ambiental, S. d. (2009). *Estudio de análisis y definición de estrategias de solución de la corriente de residuos generada por las actividades de construcción en México.*
- Arévalo, A. M. (2006). *La recirculación de los lixiviados y sus efectos en la compactación de rellenos sanitarios.* Ciudad de México.
- ATSDR. (1990). Toxicological profile for Silver. U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR. (1999). Toxicological Profile for Mercury. Atlanta: U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR. (2004). Toxicological profile for Cobalt. Atlanta: U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR. (2004). Toxicological Profile for Cooper. Atlanta: U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR. (2005). Toxicological Profile for Zinc. Atlanta: U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR. (2007). Toxicological Profile for Barium. Atlanta: U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR. (2008). Toxicological Profile for Aluminum. Atlanta: U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR. (2008). Toxicological Profile for Cadmium . Atlanta: U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR. (2012). Toxicological Profile for Chromium. Atlanta: U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR. (2012). Toxicological Profile for Nickel. Atlanta: U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR. (2012). Toxicological Profile for Vanadium. Atlanta: U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR. (2019). Toxicological Profile for Lead. Atlanta: U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- Azamar, R. E. (2001). *Reciclaje y reaprovechamiento de residuos de la construcción y demolición.* Ciudad de México.

- Barroso Dominguez, V. (2013). Análisis de la Gestión de Residuos de Construcción y Demolición en la comunidad Autónoma de Andalucía. España.
- Butera, S., & H., T. (Marzo de 2014). Composition and leaching of construction and demolition waste: Inorganic elements and organic compounds. *Journal of Hazardous Materials*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.05.033>
- César Valdez, E., & Vázquez González, A. (2003). *Ingeniería de los Sistemas de tratamiento y Disposición de Aguas Residuales*. México.
- Chávez Porras, Á., Palacio León, Ó., & Guarín Cortés, N. L. (2014). Unidad logística de recuperación de residuos de construcción y demolición: Estudio de caso Bogotá D.C. Bogotá, Colombia.
- CMIC . (2011). Plan Nacional de Manejo de Residuos de la Construcción y la Demolición. México.
- CMIC . (2013). *Plan de manejo de residuos de la construcción y la demolición* . México.
- CMIC. (mayo de 2014). Gestión de Residuos de Construcción y Demolición en los Estados Unidos de Norte América. Massachusetts: CMIC, FIC.
- Coelho , A., & de Brito, J. (10 de Septiembre de 2012). Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal e part I: location, materials, technology and economic analysis. Portugal: ELSEVIER.
- Coelho, A., & de Brito, J. (Diciembre de 2011). Influence of construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings. Portugal: ELSEVIER.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.11.011>
- COWAM. (octubre de 2006). Construction and Demolition Waste Management in Germany. Alemania: EU-ASIA PRO ECO II B Post-Tsunami PROGRAMME.
- Cruz Vázquez, S. A. (2016). Propuesta del plan de manejo de residuos especiales y peligrosos para un depósito de materiales de la construcción. Ciudad de México: UNAM.
- Cuchi, A., & Sagera, A. (mayo de 2007). Reutilización y reciclaje de los residuos del sector de la construcción . Barcelona.
- Deutz, P., McGuire, M., & Neighbour, G. (27 de Agosto de 2012). Eco-design practice in the context of a structured design process: an interdisciplinary empirical study of UK manufacturers. Reino Unido: ELSEVIER.
- Dietrich Paul, K. R. (2015). Problemática de los residuos de la construcción y demolición. Ciudad de México : UNAM.
- DOF. (8 de Octubre de 2003). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. México.
- ECORYS. (2016). *EU Construction and demolition waste management protocol*.
- European Commission (DG ENV). (Febrero de 2011). Service contract on management of construction and demolition waste - SR1.

- Ferguson, D., & Male, J. (1980). The Water Pollution Potential From Demolition Waste Disposal. *Journal of Environmental Science and Health*, 545-559.
- FICHTNER-LKSUR. (2004). *Plan director de residuos sólidos de monteideo y área metropolitana*. Montevideo, Uruguay.
- G. Townsend , T. (15 de junio de 1998). Characteristics of leachate from construction and demolition waste landfills. Florida: University of Florida.
- G., T., & Jang, Y.-C. (2000). Continued Research Into The Characteristics of Leachate From Construction and Demolition Waste Landfills. Florida: University of Florida.
- Guerrero, M. V. (2009). *Modelo de balance hídrico para la estimación de los caudales de lixiviados generados en la operación del relleno sanitario del centro industrial del sur* . Medellín .
- Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de Residuos de Construcción y Demolición (RCD). (2011). España.
- Hammel, M. (1989). *Water Compliance Unit of the Connecticut Department of Environmental Protection*. Hartford, CT: Bulky Waste Leachate Characterization Survey.
- J. Weber., W., Jang, Y.-C., G. Townsend, T., & Laux, S. (Marzo de 2002). Leachate from Land Disposed Residential Construction Waste. *Journal of Environmental Engineering* .
- kartam, N., Al - Mutairi, N., & Al-Ghusain, I. (2004). Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait. Kuwait: ELSEVIER. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.06.003>
- Laiseca Rodriguez, H. (2016). Ventajas y Desventajas del Manejo de Materiales y Residuos de la Construcción en el Distrito Federal. Ciudad de México: UNAM.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. (2003). México.
- LGEEPA Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (2018). México.
- López Martínez, A., & Lobo García de Cortázar , A. (2013). Emisiones en vertederos de residuos de construcción y demolición: un caso de estudio. España : REDISA .
- López, A., & Lobo, A. (Mayo de 2014). Emissions of C&D refuse in landfills: A European Case. Córdoba, España: ELSEVIER. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.04.004>
- Martínez Daniel, I. (Agosto de 2013). Residuos de construcción y demolición (RCD) Situación actual y correcta gestión para el proceso de reciclaje en la industria mexicana. Ciudad de México: UNAM .
- Martínez, A. G. (2017). *Modelado y simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) empleando el software GPS-X*. San Luis Potosí.
- Mejía, E., Navarro, P., Vargas, C., Tobón, J., & Osorio, W. (2016). Caracterización de un Residuo de construcción y Demolición par la Obtención de Ca y Si Mediante Tratamiento con Ácido Nítrico. Colombia. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v83n199.56394>

- Melendez, B. A. (1996). *A study of Leachate Generated from Construction and Demolition Landfills*. Florida: Master's project report.
- Mercante, I. (Septiembre de 2015). Residuos de construcción y demolición. Argentina: Universidad Nacional de Cuyo UNCUYO.
- Mercante, I. T. (Febrero de 2007). Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación de los índices de generación a la gestión ambiental. *Revista Científica*, Vol. XI N° 2.
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater engineering, treatment and resource recovery*.
- Monier, V., Mudgal, S., Hestin, M., & Trarieux, M. (2011). *Service contract on management of construction and demolition waste*. European Commission.
- NADF-007-RNAT-2013. (2013). *Clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción y demolición, en el Distrito Federal*. México.
- Natalini, B. - Kless, M., R. - Tirner, D., & Jirina . (2000). Reciclaje y reutilización de materiales residuales de construcción y demolición. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste.
- Nava Vera, C. (octubre de 2003). Caracterización y evaluación de los lixiviados de residuos de construcción, pétreos, cerámicos y de hormigón. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- NMX-AA-008-SCFI-2016. (2016). Medición de pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. México.
- NMX-AA-026-SCFI-2010. (2010). Análisis de Agua- Medición de Nitrógeno Total Kjeldahl en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. México.
- NMX-AA-030-SCFI-2016. (s.f.). Análisis de Agua- Medición de la Demanda Química de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. México.
- NMX-AA-038-SCFI-2001. (2001). Análisis de agua- Determinación de Turbiedad en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. México.
- NMX-AA-050-SCFI-2001. (2001). Análisis de Agua- Determinación de Fenoles Totales en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas. México.
- NMX-AA-072-SCFI-2001. (2001). Análisis de Agua- Determinación de Dureza Total en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. México.
- NMX-AA-073-SCFI-2016. (2016). Análisis de Agua- Determinación de Cloruros Totales en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. México.
- NMX-AA-074-SCFI-2014. (2014). Análisis de Agua- Medición del Ión Sulfato en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. México.
- NMX-AA-077-SCFI-2016. (s.f.). Análisis de Agua- Determinación de Fluoruros en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. México.
- NMX-AA-093-SCFI-2000. (2000). Análisis de Agua- Determinación de la Conductividad Electrolítica. México.

- NOM-161-SEMARNAT-2011. (2011). Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos . México.
- Norstrom, J., Williams, C., & Pabor, P. (1991). *Properties of Leachate from Contrsuction/Demolition Waste Landfills*. Madison WI: University of Wisconsin-Madison.
- Pacheco - Torgal, F., Tam, V., Labrincha, J. A., & de Brito, J. (2013). *Handbook of recycled concrete and demolition waste*. Woodhead publishing .
- Pacheco , F., Tam, V., & Labrincha, J. (2013). *Handbook of recycled concrete and demolition waste* . UK.
- PAIDI, CEMOSA, AGRECA. (2011). Gestión y tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD). Córdoba, España: Universidad de Córdoba.
- Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR). (Noviembre de 2006). Madrid, España.
- Powell, J. T., Jain, P., & Smith, J. (2015). Does Disposing of Construction and Demolition Debris in Unlined Landfills Impact Groundwater Quality? Evidence from 91 Landfill Sites in Florida. Florida: American Chemical Society.
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. (Enero de 2004). México.
- Sánchez García, J. (2017). Análisis de Residuos de la Construcción Producto de la Excavación Para el Subsector de Construcción de Vivienda ed la Ciudad de México. Ciudad de México: UNAM.
- SEMARNAT, & INECC. (2012). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos*. México.
- Thurn, L. (1997). *Leaching Behavior of Construction and Demolition Waste*. Gainesville, Florida: Master's Thesis Univeristy of Florida.
- UICN Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales. (2011). *Guía de manejo de escombros y otros residuos de la construcción*. San José, Costa Rica.: Unicornio.
- United States Enviromental Protection Agency . (1998). *Characterization of building -related construction and demolition debris in the United States*. Washington DC.
- United States Enviromental Protection Agency. (1995). *Contruction and Demolition Waste Landfills*. Washington DC: Report No. 53OR95-018, Office of Solid Waste.
- University of Florida. (6 de Abril de 2001). Deconstruction and Materials Reuse: Technology, Economic, and Policy. Wellington, Nueva Zelanda : University of Florida.
- University of Florida. (9 de abril de 2002). Design for Deconstruction and Materials Reuse. Florida: University of Florida.
- Valdez, E. C., & González, A. V. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*. Ciudad de México.
- Vázquez, S. A. (2016). *Propuesta del plan de manejo de residuos especiales y peligrosos para un depósito de materiales de la construcción*. Ciudad de México.

- Villoria Sáez, P. (2014). Sistema de gestión de residuos de construcción y demolición en obras de edificación residencial. Buenas prácticas en la ejecución de obra. *Tesis doctoral*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Weisleder, S., & Nasser, D. (2006). *Construction and demolition waste management in germany*. Hamburg.
- Wu, Z., T.W. Yu, A., Shen, L., & Liu, G. (junio de 2014). Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. Hong Kong, China. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.05.010>
- Yucai, Z., & Sheng, H. (2016). *Pollution control and resource recovery: industrial construction and demolition wastes*. Shanghai.
- Zhang, J., Dubey, B., & Townsend, T. (22 de septiembre de 2004). Effect of Moisture Control and Air Venting on H₂S Production and Leachate Quality in Mature C&D Debris Landfills. *Environmental Science and Technology*. Canadá: ACS.