

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL CONCORDIA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PROBLEMAS GEOTÉCNICOS EN LOS RELLENOS SANITARIOS



ALUMNO: MARÍA EMILIA MEDINA

DIRECTOR: ADRIAN SILVA BUSSO

RESUMEN

En el presente trabajo se indagó sobre los problemas de tipo geotécnico que se generan en los rellenos sanitarios, siendo éstos una obra de ingeniería realizada para la disposición final de los residuos sólidos urbanos cuidando el entorno ambiental y la salud de la población en general. Se hace un compilado sobre la normativa ambiental y una breve reseña de la geotecnia ambiental. Luego se desarrolla cómo se construye un relleno sanitario, los problemas de origen geotécnico e hidrogeológico que pueden surgir y las variables que influyen en los mismos, desde la composición de los residuos sólidos depositados hasta las pendientes dadas a los taludes. Se hace hincapié en la obtención de los parámetros de resistencia al corte.

PALABRAS CLAVES: Rellenos sanitarios, Parámetros de resistencia al corte, Deslizamiento de taludes.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	-1-
Objetivos del trabajo	-2-
Breve reseña sobre la geotecnia ambiental y los rellenos sanitarios	-2-
NORMATIVA LEGAL	-4-
Legislación nacional	-4-
Constitución nacional	-4-
Leyes de presupuestos mínimos	-5-
Legislación provincial	-6-
Constitución provincial	-6-
Leyes de Entre Ríos	-7-
Legislación del municipio de Concordia	-7-
RELLENO SANITARIO	-8-
Descripción y proceso constructivo	-8-
Componentes de los Residuos Sólidos	-10-
GEOTECNIA E HIDROGEOLOGÍA EN RELLENOS SANITARIOS	-12-
Compresibilidad primaria y secundaria	-13-
Generación de lixiviados	-15-
Capacidad de carga de un Relleno Sanitario	-17-
Estabilidad de taludes	-17-
Comportamiento geotécnico de un Relleno Sanitario	-18-
Parámetros de resistencia al corte	-20-
CONCLUSIONES	-23-
BIBLIOGRAFÍA	-24-

INTRODUCCIÓN

Desde los días de la sociedad primitiva, animales y humanos han utilizado los recursos de la tierra para sostener la vida y desechar sus residuos, en un principio esto no generaba mayores problemas: la población era pequeña y la tierra disponible para la asimilación de los desechos era grande.

Los problemas con la disposición de los desechos han surgido cuando los seres humanos comenzaron a congregarse en sociedad, donde la acumulación de residuos se convierte en una consecuencia de vida. En las ciudades medievales, donde se depositaban todos los desechos en las calles y terrenos libres condujo a la proliferación de insectos y roedores, vectores de diferentes pestes, tal como la peste bubónica. La falta de gestión de los residuos condujo a grandes epidemias, como la Peste Negra, la cual en el siglo catorce causó gran cantidad de víctimas.

No fue hasta el siglo diecinueve que las medidas de salud pública se convierten en un tema vital para los gobernantes y se dan cuenta de que los residuos alimentarios deben ser colectados y depositados alejados del asentamiento urbano, alejando los vectores.

Posteriormente se comenzó con la quema a cielo abierto que eran sitios donde se incineraban los residuos, generando contaminación del aire y dejando las cenizas como pasivo ambiental. En la ciudad de Buenos Aires se utilizaron luego hornos de cremación los que fueron demolidos alrededor de 1977, etapa en que se comenzaron a utilizar los rellenos sanitarios y se creó el "Cinturón Ecológico Área Metropolitana del Estado (CEAMSE)".

En Argentina, en el año 2004, se sancionó la ley N° 25.916 de Gestión Integral de Residuos Domiciliarios. El GIRSU contempla todas las etapas del manejo de los residuos sólidos: producción, almacenamiento, recolección, transferencia, transporte, procesado, disposición final, cierre y abandono. A su vez se entiende como disposición final a varios procesos: vertido directo (los llamados basurales a cielo abierto), vertido en cursos de agua (sucede por lo general con los residuos líquidos industriales), incineración, compostaje y el relleno sanitario.

Los rellenos sanitarios surgen como respuesta a la necesidad de disponer de manera segura para la población y el medio ambiente los residuos generados, sean éstos domiciliarios, industriales, etc. Son una obra de ingeniería, en la que se emplean técnicas y maquinaria de movimiento de suelos para construir rellenos artificiales.

Las características y heterogeneidad de los residuos depositados influyen en el comportamiento geotécnico de estos rellenos. Los problemas de tipo geotécnico que se pueden llegar a presentar son los siguientes:

- Asentamientos, resultante de la compresibilidad del suelo sobre el cual se asienta el relleno y compresibilidad de los residuos por descomposición;
- Percolación del lixiviado hacia las napas freáticas;
- Deslizamiento de taludes, por alturas y/o pendientes incorrectas.

En el presente trabajo se indagará sobre la estabilidad de los taludes de los rellenos sanitarios, particularmente en la adopción de los parámetros de corte utilizados en éste tipo de obra.

Motivó este trabajo monográfico el proyecto de Relleno Sanitario en la ciudad de Concordia, que generó curiosidad con respecto a los problemas geotécnicos que se pueden llegar a presentar en este tipo de obras y el hecho de que el componente suelo es una de las esferas ambientales, que muchas veces actúa de amortiguador de la contaminación de las aguas subterráneas.

Objetivos del trabajo

General:

- Conocer los diferentes problemas geotécnicos que se presentan en los rellenos sanitarios.

Específicos:

- Caracterizar geotécnicamente el relleno sanitario
- Analizar la estabilidad de los taludes de un relleno sanitario, que factores influyen y con qué criterio se adoptan los parámetros de resistencia al corte.

Breve reseña sobre la geotecnia ambiental y los rellenos sanitarios

A la geotecnia ambiental le corresponde una activa participación tanto en la etapa de selección del emplazamiento, como en las de diseño, construcción, operación, cierre y rehabilitación de los rellenos sanitarios.

Según Espinace (2002), las primeras referencias específicas sobre el tema se encuentran en los años setenta, con la creación de un subcomité de la ASTM, con el título de "geotechnics of waste management". El primer evento, donde se trata más profundamente el tema, es en el IX Congreso Internacional de la ISSMFE (Tokio, 1977), donde se dedicó a este una sesión especial.

Los rellenos sanitarios se han concebido desde el punto de vista ambiental y sanitario. A raíz de deslizamientos ocurridos en varios de ellos a nivel internacional, se ha tomado conciencia de lo importante de considerar estos depósitos como obras civiles, asimilando el residuo depositado como material geotécnico.

Altabella et al. (2016), expone en su trabajo dos tablas listando los accidentes en rellenos sanitarios. En la tabla N°1 se le atribuyó la falla a la pendiente excesiva del talud y en la tabla N° 2 a una deficiencia en la extracción de los lixiviados (saturación del relleno).

Tabla N° 1: Registro histórico por accidentes por pendiente excesiva de taludes (1977-2016)

Año	Relleno Sanitario	País	Referencias
2016	Hrybovichi	Ucrania	UNIAN 2016a, UNIAN 2016b
2005	Abanilla	España	Colomer & Gallardo 2005
1998	Hiriva	Israel	Klein 2003
1995	Beirolas	Portugal	Santayana & Veiga 1998; Castelao et al. 1999
1993	Umraniye- Hekimbasi	Turquía	Kocasoy & Curi 1995; Rushbrook 1999; Fahey et al. 2002; Blight & Fourie 2003; Díza et al. 2003; Cointreau 2006; Quian et al. 2002
1977	Sarajevo	Bosnia	Econs s.a. 2003; UNECE 2004

Tabla N° 2: Registro histórico por accidentes por saturación (1977-2016)

Año	Relleno Sanitario	País	Referencias
2016	Guatemala	Guatemala	Muniguate 2006; Muniguate 2008; Press 2016; EFE-Guatemala 2016
2011	Baguio	Filipinas	Moran 2011; EFE 2011
2005	Bandung	Indonesia	EFE 2005a; EFE 2005b; Koelsch et al. 2005; Lavigne et al.2014
2003	Guadalupe	Brasil	Seward 2000; Prois 2003
2003	Ano Liossia	Grecia	Colomer & Gallardo 2005
2001	Loma Los Colorados	Chile	Colomer & Gallardo 2005
2002	Chongqing	China	Colomer & Gallardo 2005
2002	Mpewere	Uganda	Johannessen et al 1999; Lemoine 2003
2001	Navarro	Colombia	Espinace 2003
2000	Payatas	Filipinas	MUNDO 2000; Kölsch 2000; Merry et al. 2005; Jafari et al. 2013; Cointreau 2006
1997	Doña Juana	Colombia	Hendron et al. 2009; Johannessen et al. 1999; Econs S.A. 2003
1996	Bens	España	Colomer & Gallardo 2005

La estabilidad de taludes de la mecánica clásica se encuentra bajo el criterio de rotura de Mohr – Coulomb, donde se determinan los parámetros resistentes del suelo: ángulo de fricción y cohesión. Es sabido que las características de los residuos son sumamente variables al momento de su disposición y continúa variando en el relleno: la materia orgánica se descompone, absorbe humedad, etc.

Las siguientes figuras muestran diferentes casos de rotura de rellenos sanitarios.



Figura N° 1: Grieta previa a rotura en relleno sanitario Santa Marta, Santiago de Chile – fotografía tomada de la publicación Altabella et al. (2016).



Figura N° 2: Rotura en relleno sanitario Santa Marta, Santiago de Chile – fotografía tomada de la publicación Altabella et al. (2016).



Figura N° 3: Rotura en relleno sanitario Bucaramanga, Santander, Colombia – fotografía tomada del diario El Espectador del 13 de octubre de 2018

NORMATIVA LEGAL

Legislación Nacional

Los Convencionales Constituyentes en la reforma de 1994 de la Constitución Nacional delegaron en la Nación la facultad de legislar sobre temas ambientales:

“Artículo 41- Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano equilibrado apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer según lo establezca la ley.

Las autoridades proveerán a la protección de éste derecho a la utilización racional de los recursos naturales a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica y a la información y educación ambientales.

Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección y a las provincias las necesarias para complementarlas sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales.

Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos y de los radioactivos”.

La Nación aprueba las leyes que contengan los presupuestos mínimos de protección pero las provincias pueden aumentar, pero no disminuir, las exigencias proteccionistas, quedando esto último al arbitrio del Poder Legislativo local. Pero tanto la administración como la jurisdicción en materia ambiental serán provinciales.

Leyes de presupuestos mínimos:

- Ley 25.675/02 de Política Ambiental Nacional (o Ley General de Ambiente)

Establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y la protección de la diversidad biológica, y la implementación del desarrollo sustentable.

ARTICULO 18.- Las autoridades competentes establecerán los requisitos necesarios para la habilitación de los centros de disposición final, en función de las características de los residuos domiciliarios a disponer, de las tecnologías a utilizar, y de las características ambientales locales. Sin perjuicio de ello, la habilitación de estos centros requerirá de la aprobación de una Evaluación de Impacto Ambiental, que contemple la ejecución de un Plan de Monitoreo de las principales variables ambientales durante las fases de operación, clausura y postclausura.

Con relación al deber de proveer información ambiental (artículos 16 al 18) a la comunidad establece que todo habitante podrá obtener de las autoridades la información ambiental que no se encuentre contemplada legalmente como reservada.

- Ley 25.612/02 de Gestión Integral de Residuos Industriales y de Actividades de Servicios

Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio.

- Ley 25.916/04 de gestión de residuos domiciliarios

“Establézcanse presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios; disposiciones generales; autoridades competentes; generación y disposición inicial; recolección y transporte; tratamiento; transferencia y disposición final. Coordinación interjurisdiccional. Autoridad de aplicación. Regula sobre las infracciones y sanciones para aquellos sujetos que incumplan la norma. Disposiciones complementarias”.

Si bien la norma no prohíbe expresamente los basurales ni explicita la metodología de relleno sanitario, dice el Art.3, inciso g:

“Disposición final: comprende al conjunto de operaciones destinadas a lograr el depósito permanente de los residuos domiciliarios así como de las fracciones de rechazo inevitables resultantes de los métodos de tratamiento adoptados. Asimismo quedan comprendidas en esta etapa las actividades propias de la clausura y postclausura de los centros de disposición final”.

Los centros de disposición final deberán ubicarse en sitios suficientemente alejados de áreas urbanas (Art. 20).

Serán autoridades competentes de la presente ley los organismos que determinen cada una de las jurisdicciones locales.

Las autoridades competentes serán responsables de la gestión integral de los residuos domiciliarios producidos en su jurisdicción y deberán establecer las normas complementarias necesarias para el cumplimiento efectivo de la presente ley.

Asimismo establecerán sistemas de gestión de residuos adaptados a las características y particularidades de su jurisdicción los que deberán prevenir y minimizar los posibles impactos negativos sobre el ambiente y la calidad de vida de la población”.

Art. 4º.- Son objetivos de la presente ley:

Lograr un adecuado y racional manejo de los residuos domiciliarios mediante su gestión integral a fin de proteger el ambiente y la calidad de vida de la población;

Promover la valorización de los residuos domiciliarios a través de la implementación de métodos y procesos adecuados;

Minimizar los impactos negativos que estos residuos puedan producir sobre el ambiente;

Lograr la minimización de los residuos con destino a disposición final.

Legislación de la Provincia de Entre Ríos

Constitución de Entre Ríos

El 11 de octubre de 2008 la nueva Constitución fue jurada en Concepción del Uruguay y entró en vigencia el 1 de noviembre del mismo año. En esa reforma constitucional fue consagrada la autonomía municipal y se creó la figura de las comunas.

Artículo 22

“Todos los habitantes gozan del derecho de vivir en un ambiente sano y equilibrado apto para el desarrollo humano donde las actividades sean compatibles con el desarrollo sustentable para mejorar la calidad de vida y satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la de las generaciones futuras. Tienen el deber de preservarlo y mejorarlo como patrimonio común”.

Artículo 75

“El Estado promoverá el federalismo de concertación con el Estado nacional y con las restantes provincias para el desarrollo cultural educativo ambiental económico y social. Podrá integrarse regionalmente celebrando acuerdo con facultades de crear órganos administrativos de consulta y decisión sujetos a la aprobación legislativa.

Podrá realizar gestiones y celebrar acuerdos internacionales”.

Artículo 83

“El Estado fija la política ambiental y garantiza la aplicación de los principios de sustentabilidad; precaución; equidad intergeneracional; prevención; utilización racional; progresividad y responsabilidad. El poder de policía en la materia será de competencia concurrente entre la provincia, municipios y comunas.

Leyes de Entre Ríos

A través de la Ley 8880, la provincia adhiere a la Ley Nacional N° 24.051 de Residuos Peligrosos. Mediante el Decreto 603/06, se prohíbe el ingreso al territorio provincial de residuos peligrosos provenientes de otras provincias, salvo que su destino sea para tratamiento y disposición final en las plantas habilitadas para ello en la jurisdicción. Se crea el Registro Provincial de Generadores, Operadores y Transportistas de Residuos Peligrosos.

Mediante la Ley N° 9.345 se declara de interés provincial la implementación del plan de utilización productiva de los residuos sólidos domiciliarios que deben llevar a cabo los municipios de la Provincia.

Por su parte, la Ley N°10.311 (2014) establece el conjunto de principios y obligaciones básicas para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos que se generen en el ámbito territorial de la Provincia, de conformidad con las disposiciones establecidas en la Ley Nacional N° 25.916, de presupuestos mínimos. En el artículo 24 de la misma se definen los "Centros de disposición final" como los lugares acondicionados y habilitados por la autoridad de aplicación para el tratamiento y la disposición permanente de los R.S.U. por métodos ambientalmente reconocidos y de acuerdo a normas certificadas por organismos competentes. También se refiere a la ubicación: lejos de centros urbanos, fuera de áreas protegidas, priorizando la utilización de aquellas áreas que ya cuenten con pasivos ambientales.

Legislación del Municipio de Concordia

Ordenanza N° 35.476 (2015) Adhesión a la Ley Provincial 10.311 de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. En el art. 3° se establecen los principios de reducción, reutilización y reciclado, que implicará la reducción progresiva de la disposición final de los R.S.U.

Las metas a fijarse por el Ejecutivo Municipal tomarán como base la cantidad total de residuos dispuestos en el Campo del Abasto durante el año 2014, y deberán observar los siguientes plazos:

- Reducción del 30% para fines de 2016,
- Reducción del 60% para fines de 2019,
- Reducción del 80% para fines de 2021,
- Prohibición de enterramiento de residuos reciclables o recuperables a partir del año 2023.

Ordenanza N° 36.108 (2017) Creación de la Unidad de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Art. 1°: Créase la Unidad de Desarrollo Ambiental y Administración del Parque Abasto en el ámbito de la Municipalidad de Concordia, que tendrá a su cargo la formulación, implementación y ejecución de la política ambiental y su desarrollo sustentable como política de Estado, a través del diseño de programas destinados a la concientización y difusión para promover la participación de la población en actividades destinadas a optimizar la gestión de residuos y al desarrollo de programas de acción que permitan una gradual recuperación de las zonas degradadas por la inadecuada disposiciones de residuos.

Ordenanza N° 36.327 (2017) Se crea el Registro de Generadores Especiales de Residuos, entendiéndose como tal a toda persona física o jurídica que como resultado de su actividad genere residuos que superen la media considerada como normal: 10m3 mensuales.

Mediante el Decreto N° 1247 (2016) se firmó un convenio sobre GIRSU entre la Municipalidad de Concordia y el Consorcio Intermunicipal –municipios de Puerto Yerúa, Estancia Grande, Colonia Ayuí y la junta de Gobierno de Colonia General Roca.

Por último, la Ordenanza N° 32.944 prohíbe la quema a cielo abierto de residuos en todo el ejido de Concordia.

RELLENO SANITARIO

Descripción y proceso constructivo

Los residuos sólidos son materiales heterogéneos, anisótropos y aleatorios que poseen propiedades mecánicas, biológicas e higroscópicas en continuo cambio. Están conformados por partículas sólidas y espacios vacíos que incluyen gases y lixiviados.

Entre los métodos más conocidos para disponer los residuos sólidos, actualmente se considera a los rellenos sanitarios como la mejor solución técnica, económica y sanitaria, según Espinace et.al.

La American Society of Civil Engineers – ASCE, define “Relleno sanitario es la técnica para la disposición de los residuos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin ocasionar molestias o peligros para la salud y la seguridad pública. Este método utiliza principios de ingeniería para confinar los residuos en la menor superficie posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable. Los residuos así dispuestos se cubren con tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada”.

Se los diseña para un cierto volumen de relleno, una vez alcanzado el mismo se le realiza una cobertura definitiva, la que cumple funciones de aislamiento e impermeabilización y posterior acondicionamiento por revegetalización.



Figura N° 4: Proyecto de construcción y operación relleno sanitario "La Laja" Chile, diario El Huemul.

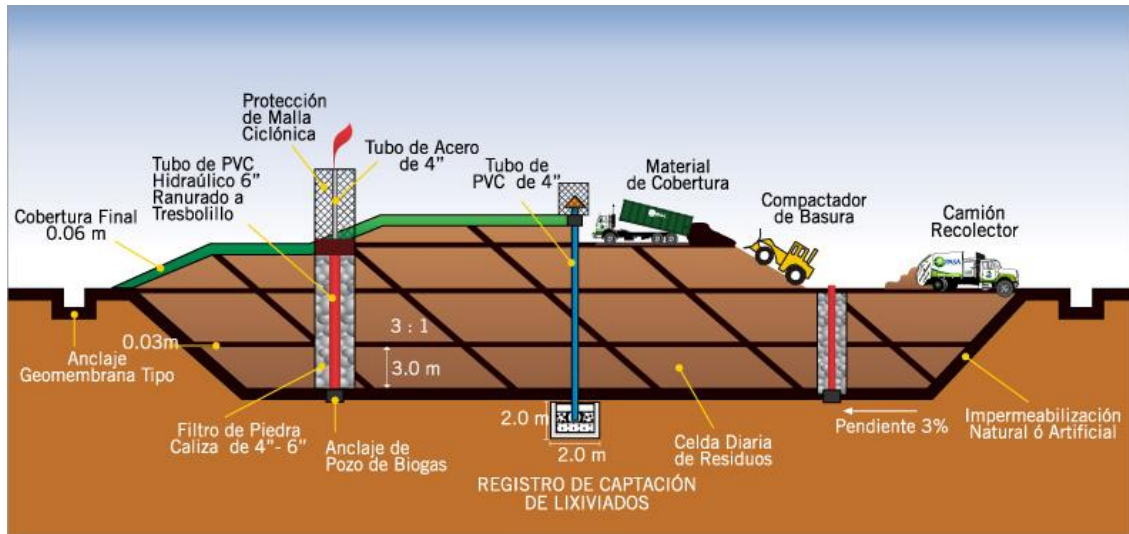


Figura Nº 5: Corte esquemático de un relleno sanitario. Recopilado de: <https://ambientalblog2010.files.wordpress.com/2010/12/relleno-sanitario-2.jpg>

El proceso constructivo consta de las siguientes fases:

- Selección del emplazamiento: idealmente se buscan terrenos alejados de la urbanización, en sitios donde las sustancias nocivas no afecten a la biósfera e hidrósfera (donde el nivel freático no se encuentre cerca de la superficie, por ejemplo). Habitualmente esta selección queda acotada a sitios con preexistencia de pasivos ambientales (existencia de un vertedero a cielo abierto) o simplemente se ubican en el espacio disponible.
- Diseño y construcción de obras de partida: Se realiza el diseño geométrico, definiendo acorde a la morfología del sitio de emplazamiento las alturas de los taludes de cerramiento, pendientes de los mismos, área del relleno, pendiente transversal que asegure el escurrimiento de los lixiviados, obras de captación de lixiviados, evacuación de los mismos y tratamiento, obras de captación de los gases generados en el relleno y evacuación de los mismos (venteo).



Figura Nº 6: Fotografía obras de inicio de un relleno sanitario. Extraída del diario La Región de Perú, fecha 4 abril de 2018.

- Operación del relleno: se debe controlar de que se lleven a cabo las operaciones tal como fueron diseñadas, verificando que las celdas de residuos sean compactadas a la densidad de diseño (para que no se llegue antes de tiempo a la capacidad del mismo), que las coberturas diarias tengan el espesor suficiente para asegurar la impermeabilidad, que los taludes que se van formando con las celdas tengan las pendientes planificadas, verificación del funcionamiento de los drenes de lixiviados y de gases, ya que en caso de no funcionar conducen a la inestabilidad de los taludes.



Figura N° 7: Fotografía etapa de operación de un relleno sanitario. Extraída del diario Valle del Mayo de México, fecha 7 abril de 2018.

- Cierre: cuando se llega a la capacidad volumétrica del relleno se procede a la realización de una capa de cobertura final. En esta etapa se construyen obras para mantener los residuos aislados, minimizando los riesgos de contaminación y peligro sanitario. También se consideran las obras destinadas al monitoreo post-clausura.
- Reinserción: Operación para reincorporar el sitio sellado a su entorno, controlando las emisiones y los problemas que puedan causar impactos negativos al ambiente y la salud.

Composición de los residuos sólidos

La composición de los residuos sólidos varía temporalmente en un mismo sitio, más aún de país en país acorde al grado de desarrollo del mismo y a su nivel cultural. En las poblaciones del primer mundo los residuos tienen menores contenidos de materia orgánica, en cambio en los tercermundistas (caso de Argentina, Brasil, etc.) el contenido orgánico aumenta.

Tabla N° 3: Composición de los residuos sólidos municipales para diferentes lugares del mundo (tabla modificada de publicación de González, 2010). 1- valores extraídos del trabajo Conexión Educativa; 2- Valores extraídos de las publicaciones Fiuba-CEAMSE.

Relleno sanitario	Materia orgánica	Papel	Plástico/caucho	Textil	Madera/cuero	Metal	Vidrio	Otros
	%	%	%	%	%	%	%	%
Sao Paulo (Brasil)	55	2	19	3	4	2	2	13
Belo Horizonte (Brasil)	64,4	13,5	6,5			2,7	2,2	10,7
Salvador (Brasil)	61,8	11,7	9,8			4,3	3,9	8,5
Bangkok (Tailandia)	44	25		3	7	1	1	19
Bogotá (Colombia)	49,53	13,61	20,46	3,56	3,19	3,35	4,22	2,08
Medellín (Colombia)	59,48	9,85	11,73	3,22		1,31	2,65	11,76
Pekín (China)	45	5	1		1	1	1	46
Nairobi (Kenia)	74	12	5			3	4	2
Hong Kong (China)	15	3		10	7	3	10	52
New York (EEUU)	20	22			3	5	6	44
Estambul (Turquía)	61	10	3	3	6	2	1	14
Atenas (Grecia)	59	19	7		4	4	2	5
Cochabamba (Bolivia)	71	2	3		1	1	1	21
Varsovia (Polonia)	32,6	22,2	9,7	4,5		4,9	11,9	14,2
Italia	42,1	22,3	7,2			3	7,1	18,3
Reino Unido	23,4	33,9	4,2			7,1	14,4	17
Japón	22,2	31,1	15,5			6,4	13,8	11
CABA 2008 ¹	43,23	14,55	10,5	3,95	2,61	1,18	5,5	18,48
CABA 2010/11 ²	41,55	16,64	18,54	4,59	1,21	1,4	3,09	12,98
CABA 2016 ²	43,56	14,4	12,6	4,65	2,05	1,73	3,86	17,15

El campo “El Abasto”, vertedero controlado de la ciudad de Concordia, recibe aproximadamente 150 tn diarias de residuos. Tiene un sistema de separación manual de residuos reciclables. La siguiente tabla es informada en el Unidad de Desarrollo Ambiental y Administración del Parque Abasto (UDAAPA):

Tabla N° 4: Material recuperado período 2016-2017 campo El Abasto, Concordia.

 TOTAL DE KG DE MATERIAL RECICLABLE RECUPERADOS EN 2016/2017		
MATERIALES	CANTIDAD TOTAL DE FARDOS	CANTIDAD TOTAL DE KILOS POR MATERIAL
CARTON	473	166434
PAPEL DE PRIMERA	35	13620
PAPEL DE SEGUNDA	407	158278
PET CRISTAL	440	113300
PET VERDE	98	15235
TETRA BRIK	84	30021
SOPLADO	114	22810
BAZAR	25	5810
VIDRIO	7	176780
BOLSONES	20	6900
TOTAL FINAL	1703	702.288 KG

En Argentina la cantidad de residuos generadas por día por cada habitante varía de provincia a provincia, como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla N° 5: Generación Per Cápita (G.P.C.) en Argentina. Fuente González (2010)

Provincia	G.P.C. kg/hab.día	Provincia	G.P.C. kg/hab.día	Provincia	G.P.C. kg/hab.día
CABA	1,23	Formosa	0,65	Salta	0,76
Buenos Aires	0,83	Jujuy	0,71	San Juan	0,96
Catamarca	0,69	La Pampa	0,98	San Luis	1,12
Córdoba	1,05	La Rioja	0,77	Santa Cruz	0,82
Corrientes	0,87	Mendoza	1,15	Santa Fé	1,11
Chaco	0,61	Misiones	0,44	Santiago del Estero	0,83
Chubut	0,95	Neuquén	0,92	Tierra del Fuego	0,64
Entre Ríos	0,6	Río Negro	0,86	Tucumán	0,73

Las características y heterogeneidad de estos residuos, influyen en aspectos geotécnicos como la compresibilidad, la capacidad portante y la estabilidad. Espinace et al. (2003).

GEOTECNIA E HIDROGEOLOGÍA EN RELLENOS SANITARIOS

Son varios los autores (Espinace et al. (2003); Palma et al. (2006)) que coinciden en que para asegurar la correcta construcción y seguridad de un relleno sanitario se deben cubrir varios aspectos geotécnicos, a saber:

- Estabilidad del suelo de fundación y taludes;
- Accesibilidad a materiales, tanto en calidad como en cantidad;

- Condiciones hidrogeológicas, generación de lixiviados;
- Análisis de compresibilidad y tiempo de estabilización en las deformaciones de los rellenos, con el propósito de contribuir a la determinación de la vida útil y de futuros usos de los vertederos sanitarios
- Determinación de la resistencia del relleno.

La validez y calidad de los análisis de estabilidad global de un relleno sanitario, dependen de la información obtenida relativa a las deformaciones, parámetros resistentes, presión intersticial, densidad, geometría, tipos de residuos, método de disposición, sistemas de drenaje de biogás y lixiviados, entre otros datos relevantes.

En cuanto a la medición de movimientos del relleno se pueden realizar mediciones topográficas superficiales tanto para movimientos verticales como horizontales. Los movimientos internos son difíciles de medir, ya que la instalación de los instrumentos es complicada operativamente.

Con respecto a la densidad de los residuos, hay autores que la consideran importante, alegando que su variabilidad influye en la evolución de las propiedades resistentes en el tiempo; en cambio en la experiencia reportada por Sandoval-Vallejos et al. (2014) no se encontró una dependencia significativa entre la resistencia al corte de los residuos sólidos y su peso específico.

Entre las dificultades para encontrar un valor de densidad se pueden mencionar: influencia de la capa de cobertura diaria, cambios de la densidad con el tiempo y la profundidad, contenido de humedad. Para poder estimar un valor se debe conocer la composición de los RSU, caracterización del suelo de cobertura, método de construcción de los rellenos y grado de compactación y humedad – la cual a su vez depende de la composición del residuo, condiciones climáticas locales, manejo de lixiviados-.

Singh y Murphy (1990), Landva y Clark (1990), Siegel et al. (1990), Kavazanjian et al. (1995), y Fassett et al. (1994) sitúan los valores de densidad de los residuos en un rango entre 0,30 a 1,5 t/m³. Los distintos autores emplean estos valores para estimar la capacidad de rellenos y para estudios de estabilidad. Se puede asumir que los valores bajos corresponden a relleno con deficiente o nula compactación de los residuos. Los valores altos se pueden asignar a residuos antiguos bajo sobrecargas relativamente altas o rellenos modernos.

La obtención de la densidad se puede determinar mediante ensayos de campo como celdas de control a escala real, pozos y calicatas de prueba, muestras obtenidas de sondeos, y determinación de la densidad in situ.

Compresibilidad primaria y secundaria

Los residuos sólidos depositados en un vertedero sufren grandes asientos, con lo cual su volumen disminuye y la capacidad del vertedero aumenta. La evaluación de los asientos tiene gran importancia a la hora de definir la posible utilización posterior del vertedero. Hitara et al. (1995) plantean que en vertederos con alto contenido de residuos orgánicos, los asientos son importantes durante los primeros 10 años.

Sowers (1973) establece que los asientos iniciales producidos se pueden determinar mediante la expresión de la teoría de la consolidación primaria:

$$S_p = \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot H_0 \cdot \log\left(\frac{\tau_{v0} + \Delta\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}}\right)$$

donde :

S_p = asiento al final de la consolidación primaria

H_0 = altura inicial del terreno

C_c = coeficiente de compresibilidad

σ_{v0} = presión efectiva en el relleno

$\Delta\sigma_{v0}$ = sobrecarga efectiva

e_0 = índice de vacíos

Terminada la primera fase aproximadamente al cabo de un mes según Sowers (1973), los asientos producto de cambios físico-químicos, degradación biológica y compresión mecánica secundaria, en condiciones ambientales estables tienen un comportamiento más o menos lineal con el logaritmo del tiempo, similar a la compresión secundaria de suelos y se determinan mediante la teoría de la consolidación secundaria, aplicando la expresión:

$$S_s = \frac{C_\alpha}{1 + e_0} \cdot H \cdot \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right)$$

donde :

S_s = asiento durante la consolidación secundaria en el tiempo t_2

H = altura de la celda al tiempo t_1

C_α = coeficiente de compresión secundaria

e_0 = índice de vacíos

t_2 = tiempo de estimación de asientos

t_1 = tiempo de inicio de la consolidación secundaria

La obtención del coeficiente de compresibilidad (C_c) y del índice de compresión secundaria (C_α) se hace a partir de la relación de estos parámetros con el índice de poros (e_0) en los gráficos (Figura N°8) propuestos por Sowers (1973). Estos parámetros han sido contrastados con experiencias chilenas, arrojando una adecuada correlación cuando se trata de residuos con alto contenido de materia orgánica.

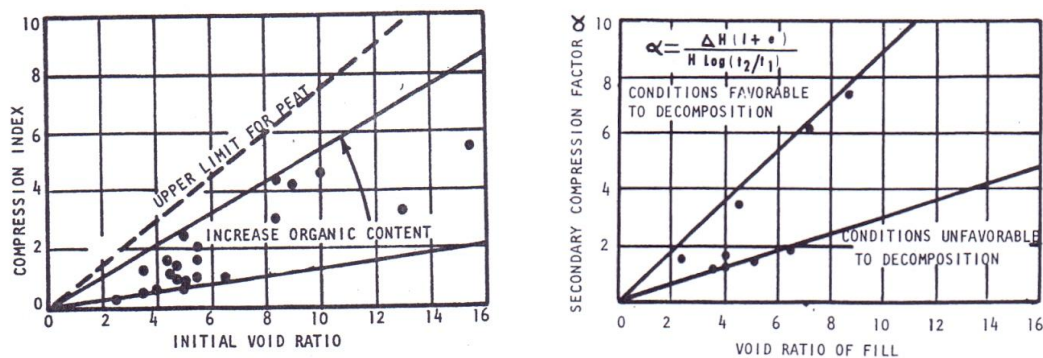


Figura N° 8: Obtención de coeficiente de compresibilidad y del índice de compresión secundaria a partir de la relación de vacíos inicial. Sowers 1973..

Una conclusión interesante es que la compresión primaria es dominante en la producción de asientos en la fase de operación del vertedero y la compresión secundaria es la más evidente una vez que se ha concluido el relleno.

Así mismo LAndva y Clark (1990), recomiendan el empleo de rellenos de prueba para evaluar la compresibilidad de los vertederos. Estos ensayos a gran escala son muy eficaces y su costo puede ser relativamente bajo.

Según Hinkle (1990) en sus investigaciones se llega a asientos finales alrededor del 30% de la altura del relleno.

Generación de lixiviados

Los lixiviados son los líquidos producidos fundamentalmente por la precipitación pluvial que se infiltra a través del material de cobertura y atraviesa las capas de los residuos dispuestos, transportando concentraciones apreciables de materia orgánica en descomposición y otros contaminantes. Otros factores que contribuyen a la generación de lixiviado son el contenido de humedad propio de los desechos, el agua de la descomposición y la infiltración de aguas subterráneas. Debido a su carga bacteriológica y química, los lixiviados deben ser tratados antes de verterlos en medios naturales ya que pueden contaminar las aguas superficiales, subterráneas o el suelo.

El fracaso de los vertederos controlados como técnica para el tratamiento final de los residuos se ha debido a la deficiente previsión del volumen de lixiviados que se va a generar, así como el desconocimiento de las grandes variaciones que tienen lugar en dicha producción a lo largo de la vida de los rellenos sanitarios.

Se hace necesario realizar un balance hídrico de los lixiviados para tener su control de manera continua. Los desfases entre las entradas y las salidas originarán un cambio en la cantidad de líquidos contenidos en el interior del relleno, el cual puede encontrarse de manera libre o absorbido por los desechos existentes. A estas dos formas posibles de almacenamiento se las suele denominar "características de almacenamiento de los residuos".

La aplicación del balance hídrico de un relleno brinda la información para:

- Determinar el tamaño ideal de celdas (para que la generación de lixiviados sea mínima).
- Producción de volúmenes y niveles de lixiviados.
- Evaluación de la efectividad de clausuras realizadas.
- Obtención de parámetros hidráulicos de los residuos.

Los factores determinantes de la producción de lixiviados pueden agruparse en cuatro factores:

- Entradas de agua { Precipitaciones (lluvia, nieve)
Escorrentía superficial
Irrigación
- Características de la superficie del vertedero { Evapotranspiración
Escorrentía superficial
Infiltración

- Características de los residuos depositados
 - Descomposición de los residuos
 - Codisposición de residuos líquidos y fangosos
 - Variación de la humedad del residuo
 - Percolación
- Características del suelo subyacente
 - Penetración de aguas subterráneas
 - Variación de la humedad de los materiales sobre los que se emplaza el vertedero.
 - Percolación

En la figura 9 se presenta un modelo generalizado de formación de lixiviados:

- Las precipitaciones P caen sobre la superficie del relleno. Parte de ellas pueden convertirse en escorrentía ES .
- Parte de P se infiltra I en la superficie (residuos sin cubrir, cobertura intermedia).
- Parte de I se evapora de la superficie o transpira por la acción de la vegetación en caso de que exista E .
- Parte de I queda almacenada en la cobertura (la diferencia entre la humedad inicial y la de saturación del suelo de cobertura).
- El resto de I percola a través de la basura una vez que el material de cobertura alcance su capacidad de saturación. La tasa de percolación a través de la masa de residuos estará controlada por las características de retención y transmisión de la misma.
- Los lixiviados W se producirán en el momento en que al menos una porción de la masa de basura alcance, a su vez, su capacidad de saturación. En ese momento, cualquier aporte adicional de humedad causará el movimiento y liberación del lixiviado.
- La penetración en aguas subterráneas y la percolación en la base del vertedero sólo serán apreciables cuando la base del relleno no haya sido impermeabilizada correctamente y el nivel piezométrico regional supere en algún momento la cota más baja del vertedero.
- La infiltración de lixiviados a través de los residuos puede dar origen a una zona saturada, de superficie libre, dentro del relleno, de tal forma que se podría considerar el relleno como un sistema acuífero y estudiado como tal. Pueden incluso aparecer manantiales de lixiviados en los contornos del vertedero.

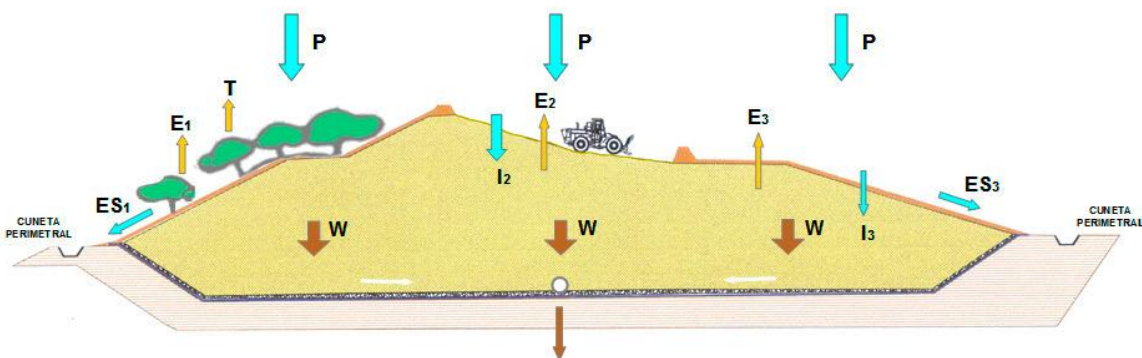


Figura N° 9: Esquema formación y movimiento del lixiviado en el relleno sanitario. Imagen propia de FerranRelea CC BY-SA 3.0.

Los lixiviados son en general altamente contaminantes, por lo que se busca conocer su composición e identificar los factores que afectan a la misma.

Los parámetros estudiados normalmente son: Sólidos en Suspensión (SS), conductividad, demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), NH₄⁺, Nitrógeno, Cl⁻ y Fe, siendo probablemente la conductividad los más claramente identificados de posibles afecciones al entorno.

Capacidad de carga de un relleno sanitario

En general es reducida y dependerá de factores como espesor del suelo de cobertura, composición de los residuos sólidos depositados, métodos de construcción y maquinaria utilizada.

Estabilidad de taludes

La estabilidad de taludes es un problema geotécnico tenido en cuenta en la fase de operación, clausura y postclausura, siendo ésta última una la más peligrosas debido a que en esta etapa no se tienen los resguardos de seguridad como en las otras dos fases. El talud puede fallar a causa de un aumento de las solicitaciones al aumentar la altura del talud, por pendientes excesivas o inadecuado sistema de recolección de lixiviados, produciendo la saturación del relleno. También puede disminuir la resistencia al corte de los residuos debido a procesos de descomposición.

Los deslizamientos más comunes presentan superficies de rotura aproximadamente circular, donde el deslizamiento ocurre en el talud del vertedero, con círculos de rotura que pueden ser superficiales de pie o de talud. Hay casos donde la falla puede pasar por la base o fundación del talud, como cuando el suelo subyacente tiene una consistencia menor (arcillas blandas a muy blandas). Barletta et al. (2012) menciona que este tipo de falla también se puede presentar en caso de suelos arenosos con densidades relativas entre sueltas y medianamente densas (SPT menores a 15 golpes).

La siguiente figura, extraída del trabajo de Palma et al. (2006), esquematiza las formas de cómo se puede manifestar la inestabilidad del relleno sanitario:

- 1) Fracturas en el subsuelo: causadas por diferencias de asentamientos en el suelo de fundación o debido a la falta de capacidad portante del mismo.
- 2) Fracturas del talud. Estas podrían ocurrir cuando los taludes son demasiado inclinados.
- 3) Colapso de los muros de partida cuando se encuentran demasiado saturados o cuando no son capaces de sostener la presión de los residuos.
- 4) Capas de residuos que fluyen bajo el talud. Pequeños esfuerzos de corte, causados, por ejemplo, por un excedente de agua que podría llevar a las capas de residuos a fluir bajo el talud.
- 5) El suelo fluye o resbala bajo las capas de residuos. Debido a una insuficiente compactación o a una alta saturación.
- 6) Deslizamientos de residuos a lo largo de fracturas en el cuerpo del relleno, al existir asentamientos diferenciales que fracturarían zonas del relleno.
- 7) Inestabilidad de ciertas zonas construidas en el cuerpo del relleno. Ruptura de cañerías de drenaje u otras partes del relleno que podrían originar diferencias en asentamientos, llevándolos a la inestabilidad.
- 8) Inestabilidad en zonas de interfaces. Un sistema de sello generalmente consiste en uno o más suelos y/o materiales geosintéticos. La resistencia al corte de estos materiales y la fricción de cada interfaz como suelo/geosintético, suelos/residuos y

geosintéticos/ geosintéticos determinan cuan susceptible es a fallar en respuesta a las fuerzas generadas por el peso de los RSU.

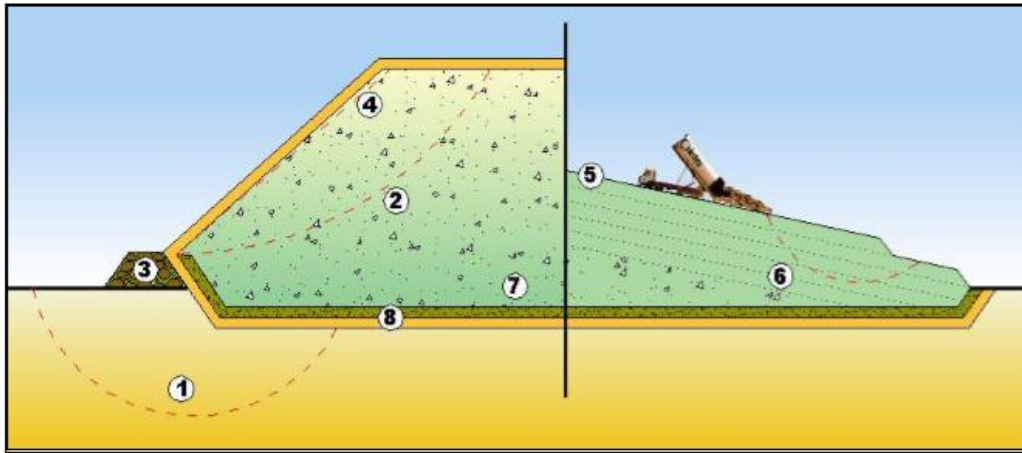


Figura N° 10: Inestabilidades en el cuerpo del relleno sanitario. Publicado en Palma et al. (2006).

Para evaluar la estabilidad en los rellenos sanitarios, deben emplearse metodologías que consideren las particularidades del material. De acuerdo con Shafer et al. (2003), existen dos alternativas para el análisis de estabilidad:

– Métodos de equilibrio límite donde las consideraciones de deformación tienen una pequeña consecuencia: método de Fellenius (1927), método de Bishop (1955) (falla circular en ambos), método de Jambú (1967) (falla de cualquier forma) y método de Spencer (1967) son los más utilizados para el cálculo.

– El método elástico donde la deformación y su relación con los esfuerzos son de gran importancia.

Algunos autores como Singh y Murphy (1990) cuestionan la utilización de los principios de la Mecánica de Suelos para la evaluación de la resistencia y estabilidad de los residuos sólidos. Argumentan que la teoría de Mohr- Coulomb puede no ser adecuada teniendo en cuenta que los residuos sufren grandes deformaciones sin llegar a rotura.

Los modelos elásticos son muy complicados y generalmente muy complejos para usos prácticos y por consiguiente no se utilizan para realizar análisis de estabilidad. Cuando se utiliza la alternativa de equilibrio límite, el factor de seguridad (FS) es un índice de la estabilidad respecto de la rotura. Un talud cercano a la rotura o al equilibrio límite tiene un factor de seguridad cercano a 1,0.

Comportamiento geotécnico de un relleno sanitario

Citados por Palma et al. (2006), algunos autores como Howland y Landva (1992), indican que la resistencia de los Residuos sólidos es de carácter friccional, en cambio Mitchell y Mitchell (1992) alegan que existe cierta cohesión en los residuos, no como se la conoce en la mecánica de suelos, sino como resultado de la trabazón y el traslapeo de partículas que componen los desechos. Ésta suposición está basada en observaciones de cortes verticales en rellenos sanitarios de altura considerable que han permanecido estables por largos períodos de tiempo.

En el mismo trabajo, menciona a Kolsch (1995), quien introduce nuevos conceptos basados en los resultados otorgados por ensayos de corte y triaxial, llevados a cabo en residuos sólidos, determinando que el comportamiento de los rellenos sanitarios sería similar a los

rellenos de tierra armada. Esta teoría considera que los materiales fibrosos (plásticos, textiles, etc.) presentes en la composición de los residuos, serían capaces de crear fuerzas de tracción que dependerán del vínculo de las fibras con la masa de residuos en función de la tensión normal actuante. De este modo, la resistencia al corte dependerá de dos etapas: la primera, referente a las fuerzas de fricción en el plano de corte y, la segunda, con respecto a las fuerzas de tracción de las fibras o cohesión de las fibras.

La figura 11 ilustra la interacción entre estas dos etapas, representada en una curva esfuerzo-deformación, mostrando que para pequeñas deformaciones (Fase I) existe apenas una movilización de las fuerzas de fricción. A medida que la deformación va aumentando, las fibras comienzan a ser traccionadas (Fase II). Las fuerzas de tracción aumentan hasta alcanzar un valor máximo correspondiente a la resistencia a la tracción o vínculo de las fibras con la masa de residuos.

A partir de este valor (Z_{max}) comienza una reducción de las fuerzas de tracción donde las fibras son rasgadas y deslizadas (Fase III) hasta alcanzar el punto donde la resistencia al corte se limitará a las fuerzas de fricción (Fase IV). La contribución de cada una de estas fuerzas a la resistencia al corte variará de acuerdo con la tensión normal actuante.

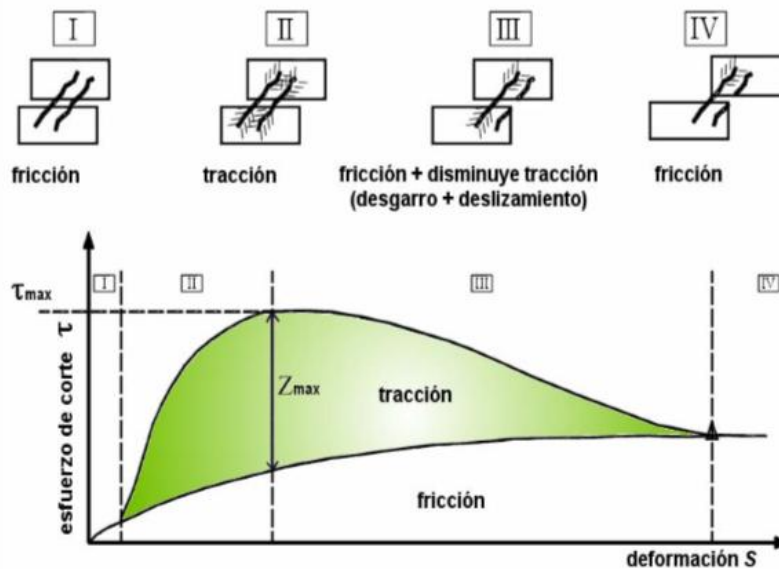


Figura N° 11: Comportamiento de los residuos bajo ensayos de corte, modelo de interacción entre las fuerzas de fricción y tracción. Publicado en Palma et al. (2006).

En la investigación llevada a cabo por Sandoval-Vallejos et al. (2014), encontraron marcadas dependencias entre el tiempo de descomposición de las muestras y la resistencia al corte. Los residuos con menor tiempo de descomposición generaron envolventes de falla más altas, con valores mayores de (C'), a pesar de tener un ángulo de fricción interna (ϕ') ligeramente inferior, en algunos casos. Lo anterior coincide con lo expuesto anteriormente donde se sugiere que el comportamiento geotécnico de los residuos sólidos es inicialmente cohesivo y se transforma en friccionante, debido a procesos mecánicos y biológicos.

Parámetros resistentes

La selección de los parámetros resistentes, ángulo de fricción interna y cohesión, a emplear en los métodos tradicionales de cálculo es una de las mayores dificultades que se presentan al analizar la estabilidad de un talud de un relleno sanitario.

Varias inestabilidades en rellenos sanitarios han sido reportadas en la literatura. Debido a ello en las últimas tres décadas se ha dado importancia a la determinación de los parámetros de resistencia al corte de rellenos sanitarios, a partir de ensayos in situ o de laboratorio, especialmente en países desarrollados. En países en desarrollo, la técnica es más reciente y comúnmente no se determinan los parámetros de resistencia del sitio, sino que los diseñadores usan como referencia valores de otros lugares, los cuales tienen diferencias en su composición.

El hecho de utilizar parámetros estimados (sobre todo basándose en trabajos en el extranjero) en algunos casos ha obligado a realizar modificaciones importantes y de alto costo en el diseño de la ingeniería y las obras de construcción.

Para estimar la resistencia de los desechos sólidos, se han usado tres técnicas: (Singh and Nurphy, 1990; Howland and Landva, 1992; citados por Qian X, et al (2002):

- Obtención de muestras en campo y ensayos de laboratorio.
- Ensayos de carga in situ.
- Análisis regresivos de falla.

Palma (1995), realizó una compilación y comparación de los parámetros resistentes publicados en la literatura especializada, derivados de investigaciones a escala de laboratorio, ensayos in situ y análisis a posteriori de casos de rotura reales, concluyendo con una banda de parámetros resistentes recomendados para el diseño, que se presenta en la figura 12. En muchos casos, la resistencia al corte está definida sobre la base de deformaciones inaceptables, antes que una verdadera rotura.

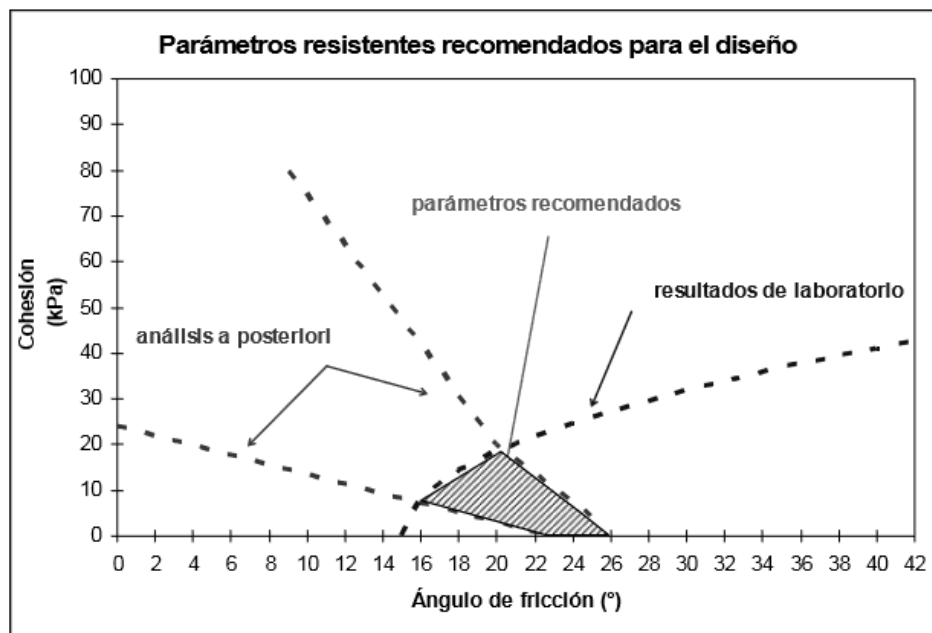


Figura N° 12: Parámetros resistentes para diseño en rellenos sanitarios. Publicado en Palma et al. (2006), fuente Palma 1995.

Sandoval –Vallejo et al. (2014) han llevado a cabo un programa experimental donde realizaron ensayos de corte directo no consolidado, no drenado (UU) sobre muestras reconstituidas en laboratorio. Estudiaron la variación del ángulo de fricción interna y de la cohesión, como una función del peso específico, profundidad, y tiempo de descomposición del relleno. En la siguiente tabla se puede observar un resumen de los valores obtenidos.

Tabla N° 6: Resumen de resultados, parámetros de resistencia al corte. Tabla publicada por Sandoval – Vallejo et al. (2014)

Ensayo	Edad (meses)	ρ_w (kN/m ³)	Prof. (m)	C' (kPa)	Φ' (°)
1	8	8	3	24.9	31.6
2	8	14	3	24.7	29.6
3	8	8	5	31.4	29.1
4	8	14	5	27.2	30.8
5	60	8	3	9.1	34.7
6	60	14	3	19.5	29.2
7	60	8	5	17.6	33.0
8	60	14	5	21.9	29.5

En la mencionada investigación, el criterio de falla en ensayos de corte directo se lo definió cuando se presentó una reducción en el esfuerzo cortante, o cuando se alcanzó un desplazamiento horizontal igual al 15% de la longitud. En los ensayos realizados, la falla fue presentada por exceso de deformación, y no por un pico de esfuerzo máximo, similar a lo que ocurre en suelos cohesivos normalmente consolidados o arenas sueltas.

Altabella et al. (2016) cita al estudio realizado por Colomer (2006) sobre las propiedades de los residuos de distintos depósitos controlados donde indicó que los valores de C' y ϕ' presentan gran dispersión entre depósitos e incluso entre estaciones temporales o entre varias zonas de la misma instalación; definió rangos de C' entre 0 y 12,64 tn/m³ y los ϕ' entre 0° y 53°. También recomienda utilizar factores de seguridad al calcular la estabilidad de los taludes entre 1,3 y 1,5, valores que son superiores cuando se construyen los taludes con pendientes entre 1V:3H y 1V:5H.

La gran dispersión de los resultados obtenidos en la mayoría de los rellenos sanitarios estudiados, no permite asumir parámetros de cálculo para diseño, por lo tanto es necesario realizar ensayos que permitan evaluar los parámetros de resistencia al corte de cada relleno sanitario estudiado de manera puntual.

Para poder comparar los resultados de ensayos con valores internacionales hay que tener en cuenta el tiempo de descomposición, densidades, composición u otras características que afectan a la resistencia al corte de los rellenos.

Las investigaciones geotécnicas sobre el suelo de fundación que usualmente se realizan a la hora de plantear un relleno son:

Ensayos de laboratorio: humedad natural, límites de Atterberg, delimitación de la fracción menor de 74 micrones y clasificación mediante SUCS. Determinación de parámetros de corte no drenado no consolidado. En caso de ser necesarios efectuar ensayos triaxiales a largo plazo y ensayos de consolidación sobre el suelo de fundación.

Trabajos de campo: ensayo normal de penetración (SPT), recuperación de las muestras, delimitación de la secuencia y espesor de los diferentes estratos, medición del nivel del agua libre subterránea.

A su vez, en los rellenos sanitarios los ensayos de penetración más utilizados son los de penetración dinámica, que permiten trazar una distribución estratigráfica, al hacer evaluaciones cualitativas de la resistencia del relleno a la penetración relativa a diversas profundidades. Repitiendo su realización periódicamente y contrastando los resultados obtenidos, permiten analizar la variación de las características resistentes de un relleno en el tiempo. Entre los ensayos empleados, el penetrómetro Borros presenta ventajas como la simplicidad de manejo, la economía y la rapidez, además de ser muy utilizado en diferentes países. Este ensayo es asimilable al ensayo Standard Penetration Test (SPT) y resulta comparable con los ensayos de penetración normalizados por la International Society For Soil Mechanics And Geotechnical Engineering (ISSMFE).

No se debe olvidar que la interpretación de los resultados de ensayos mecánicos a residuos, está sujeta a incertidumbre por la carencia de un modelo conceptual de comportamiento de este material. Palma et al. (2006).

CONCLUSIONES

Todos los autores de los trabajos consultados coinciden en que los residuos sólidos dispuestos en los rellenos sanitarios tienen características totalmente heterogéneas, desde su composición, humedad, etc., al momento del volcado y que dichas características se modifican con el paso del tiempo. Por ésta razón, como primera conclusión, se destaca que es imprescindible la caracterización de los residuos que se depositarán en el relleno.

En la etapa de diseño se necesita conocer los parámetros geotécnicos para evitar los problemas de este tipo, los cuales se obtienen por ensayos in situ, de laboratorio o back análisis, como bien sabemos en éstas latitudes es difícil conseguir datos certeros llevando a recurrir a valores internacionales. Cuando se adopten los mismos se deberá tener la precaución de que el material (residuo sólido) tenga similares características y que las condiciones climáticas en ambos lugares sean similares, ya que se puede adoptar erróneamente los parámetros utilizados en otro relleno de comparables características, pero que el ambiente sea más húmedo, lo que generará lixiviados, modificando las condiciones que aseguren la estabilidad.

Si es posible realizar ensayos a escala, el costo será menor al que se tendría si se genera algún accidente por adoptar valores de otro sitio.

Es importante el control en las diferentes etapas de construcción, operación y cierre, que se lo realice acorde a lo planificado, utilizando equipamiento necesario para asegurar la compactación correcta, espesores de cobertura correctos, etc.

Como conclusión final, los Rellenos Sanitarios requieren de mucha ingeniería para su correcto funcionamiento, cierre y recuperación, que parece no considerarse, puede que por falta de información o exceso de recursos.

BIBLIOGRAFÍA

Altabella J., Szanto N., Colomer M., Gallardo I. (2016). Análisis del deslizamiento del relleno sanitario de Santa Marta, Chile. Congreso Nacional de Medioambiente CONAMA 2016, Madrid, España.

Barletta R., Massabie A. (2012). Aspectos geológicos y geotécnicos en repositorios de R.S.U. en Argentina. XXI Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica. Rosario, Santa Fé- Argentina.

Espinace A., Palma G., Szanto N. (1997). Evolución de la geotecnia ambiental aplicada a los rellenos sanitarios. IV Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica. Valparaíso, Chile.

Espinace A. (2003). Geotecnia Ambiental en Rellenos Sanitarios. Presentación Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Ingeniería.

Espinace A., Farfán J. (2016). Desafíos en la estabilidad de nuevos rellenos sanitarios. IX Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica.

Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. (s.f.) Apunte realizado para Conexión Educativa por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata.

Gómez M. (s.f.) Apunte sobre vertederos, unidad 1. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos. Asociación de Ingeniería Geológica Española.

González G. (2010). Residuos sólidos urbanos Argentina – Tratamiento y disposición final, situación actual y alternativas futuras. Informe de la Cámara Argentina de la Construcción, área de Pensamiento Estratégico.

Informe final "Estudio de calidad de los residuos sólidos urbanos de la ciudad autónoma de Buenos Aires". (2010/2011) Realizados para el CEAMSE por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.

Informe final "Estudio de calidad de los residuos sólidos urbanos de la ciudad autónoma de Buenos Aires" (2016). Realizados para el CEAMSE por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.

Ordóñez A., Villarraga H. (2007). Resistencia al corte de residuos sólidos urbanos: estado del arte. Revista Politécnica Nº 5, pp: 113-121.

Palma J., Espinace A., Valenzuela T. (2006). Análisis de la estabilidad de rellenos sanitarios. XXX Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Punta del Este, Uruguay pp: 3-7.

Sandoval V., Ramírez T., Cuarán D. (2015). Resistencia al esfuerzo cortante en rellenos sanitarios. Revista DYNA 82 (193), pp: 83-92.

Páginas Web:

- Gobierno de la provincia de Entre Ríos
- Municipalidad de Concordia
- <https://www.elhuemul.cl/2015/11/23/hualiahue-podria-depositar-la-basura-en-relleno-sanitario-la-laja/>
- <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/rellenos-sanitarios-un-dolor-de-cabeza-articulo-817830>

- <https://ambientalblog2010.files.wordpress.com/2010/12/relleno-sanitario-2.jpg>
- <https://diariolaregion.com/web/iquitos-contara-con-el-primer-relleno-sanitario-municipal/>
- <https://valledelmayo.com.mx/noticia/1558>
- <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17551849>