

Asentamientos en el relleno sanitario Curva de Rodas de la ciudad de Medellín, Colombia

Por: Carlos Andrés Ordóñez Ante . Manuel Roberto Villarraga Herrera

Autores

CARLOS ANDRÉS ORDÓÑEZ ANTE

Ingeniero Geólogo. Especialista en Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Candidato a Magíster en Ingeniería - Área Geotecnia, Facultad de Minas, Universidad Nacional. Docente de Tiempo Completo en Ingeniería Civil y Coordinador del Semillero de Investigación GRIDIC, Línea Geotecnia de Suelos Tropicales del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Correo electrónico: caordonez@elpoli.edu.co; caosony@epm.net.co. Trabajó durante ocho años en la empresa J.E.H. y Cia. Ingenieros de Suelos y Cimentaciones.

MANUEL ROBERTO VILLARRAGA HERRERA

Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia. Maestro en Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México. Trabajó como director del Departamento de Geología y Geotecnia de INTEGRAL S.A.. Actualmente se desempeña como Gerente de la empresa INGENIERÍA TECNOLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN S.A. - INTEINSA. Profesor de la Universidad Nacional desde 1990 en cursos de pregrado y posgrado. Director de tesis a nivel de pregrado y postgrado. Conferencista Nacional e Internacional, autor de artículos especializados. Ingeniero Consultor en diversos campos de la Ingeniería, tales como estabilidad de taludes, fundaciones, dinámica de suelos, Ingeniería Sísmica, mecánica de rocas y presas. Correo electrónico: mrvillar@unalmed.edu.co

Resumen

Los desechos sólidos municipales son una mezcla muy heterogénea de varios materiales con diferentes propiedades. Algunos de los componentes son estables, mientras que otros se degradan como resultado de los procesos químicos y biológicos que actúan en ellos. Tres importantes mecanismos contribuyen a la compresión de los desechos sólidos municipales: la compresión instantánea en respuesta a la carga aplicada, la compresión lenta conocida como creep o fluencia, y la descomposición biológica que se produce en el tiempo.

En este estudio, se investigaron los asentamientos producidos en el Relleno Sanitario "Curva de Rodas" localizado en la Ciudad de Medellín, Colombia, de propiedad de las Empresas Varias de Medellín (EEVVM).

Palabras Claves

Rellenos Sanitarios, Desechos Sólidos, Compresibilidad, Asentamientos.

Abstract

Municipal solid waste is a refuse compound of various materials with different properties, some of the components are stable while others degrade as a result of processes chemical and biological. Three important mechanisms that contribute to the compression of municipal solid waste are instantaneous compression in response to applied load, secondary mechanical creep, and time - dependent biological decomposition.

In this study, was investigated settlement as result in the landfill Curva de Rodas at ciudad de Medellín, Colombia, property of Empresas Varias de Medellín (EEVVM).

Key Words

Landfill, Settlement solid, Waste

Asentamientos en el relleno sanitario Curva de Rodas de la ciudad de Medellín, Colombia

Por: Carlos Andrés Ordóñez Ante. Manuel Roberto Villarraga Herrera

POLITÉCNICA No. 2 | Medellín, noviembre - diciembre de 2005, p.p. 57-72

1. Introducción

Un relleno sanitario consiste en el enterramiento tecnificado de los residuos sólidos mediante la colocación de capas sucesivas y apisonadas y cubiertas con tierra, la cual es también compactada sobre cada capa; el último material de cobertura tiene un espesor mayor por razones de aislamiento e impermeabilización y posterior acondicionamiento por revegetalización. (Pineda, 1998).

Varios autores: Ferreira, G (2000); Park, H. (2002); Quian, X. (2002); Machado, S. (2002); coinciden en afirmar que los rellenos sanitarios tienen propiedades muy heterogéneas y anisotrópicas que hacen muy difícil su caracterización, esta heterogeneidad hace que su comportamiento sea muy difícil de evaluar porque involucra aspectos como el tiempo, la temperatura, y las condiciones ambientales. Además las características de los desechos sólidos cambian con el tiempo principalmente debido a los procesos de biodegradación, los cuales también varían

de acuerdo a su composición, temperatura ausencia o presencia de lixiviado

El manejo técnico ambiental de los rellenos sanitarios se inició en los años de 1930 en el Reino Unido y en el año 1940 en Estados Unidos. En este proceso se encontró que los rellenos de residuos no eran masas inertes sino en permanente actividad que producen lixiviados y biogás, como resultado de la descomposición de la materia orgánica presente en los desechos. En Medellín (Colombia), se han tenido experiencias en la disposición de los desechos sólidos, la primera de ellas en el sector de Moravia, donde estos se disponían a cielo abierto y sin ningún tratamiento, posteriormente se habilitó el relleno sanitario de la "Curva de Rodas". A partir de 1984 se incorporan algunas técnicas de manejo ambiental y a partir del año 2003 entra en servicio el parque ambiental "La Pradera" donde actualmente se disponen de manera técnica los desechos sólidos. En la ciudad de Bogotá hasta los años 80s se manejaron los residuos sólidos en botaderos abiertos sin la capacidad para disponer una magnitud creciente de desechos y sin la seguridad sanitaria que se requería.

El relleno sanitario "Curva de Rodas" de la ciudad de Medellín, inicio operaciones en el año 1984, llegó a recibir entre 1500 y 2000 toneladas diarias de residuos sólidos, y fue clausurado



en el mes de Agosto del año 2002; cuenta con una instrumentación geotécnica que ha permitido monitorear y conocer el comportamiento geotécnico de la masa durante varios años, dicha instrumentación esta constituida por los siguientes elementos:

- 21 Inclinómetros
- 113 Piezómetros (14 del tipo casagrande y 99 del tipo hilo vibractil)
- 80 Pozos de alivio de presiones
- 47 Puntos de control topográfico
- 1 Medidor de caudal de lixiviado
- 1 Pluviómetro
- 1 Estación climática

Esta publicación presenta algunos resultados de los análisis realizados a los puntos de control topográfico localizados en la superficie de la masa de residuos.

2. Evolución de un relleno sanitario

Las fases de evolución de un relleno sanitario especialmente en cuanto a la producción de lixiviados y gases ha sido descrita por Tchobanoglous et al, (1993) y dividida en fases resumidas así:

Fase 1: Ajuste inicial: las basuras sufren descomposición microbiana aeróbica y el oxígeno presente se comienza a consumir por las reacciones químicas iniciales, parte de los organismos están presentes en el suelo de cobertura.

Fase 2. Transición: se consume el oxígeno disponible y se inicia progresivamente la etapa anaerobia de descomposición y se reduce el potencial de oxidación – reducción. Las bacterias inician la conversión de materia orgánica en metano (CH₄) y en dióxido de carbono (CO₂).

Fase 3. Acidificación: la acidificación iniciada en la fase 2 se acelera con producción de ácidos orgánicos y pocas cantidades de H₂. La demanda bioquímica de oxígeno aumenta considerablemente. Algunos metales pesados se solubilizan por el descenso del pH, muchos nutrientes esen-

ciales del proceso se liberan al lixiviado en esta fase, por lo cual si no se recircula el lixiviado los nutrientes se perderán del relleno.

Fase 4. Metanogénesis: en esta fase un segundo grupo de bacterias predomina y convierte ácido acético e hidrógeno en metano y dióxido de carbono en un proceso anaerobio. La producción de ácidos se reduce y el pH del lixiviado sube entre 6.8 y 8.0.

Fase 5. Maduración: el relleno entra en esta fase cuando el material fácilmente biodegradable se ha convertido a metano y dióxido de carbono en la fase anterior. La cantidad de gas disminuye pues los nutrientes han sido evacuados con el lixiviado en fases previas y por lo que los remanentes sólidos del relleno son biodegradados en forma más lenta.

3. Compresibilidad de los residuos sólidos urbanos (rsu)

Según Ferreira (2000), los primeros estudios de compresibilidad de RSU, datan de 1962 con Merz y Stone, los cuales analizan los primeros valores de asentamientos, posteriormente Sowers 1968 estudia problemas de cimentaciones sobre rellenos sanitarios, en 1973 presenta los primeros datos de instrumentación y correlaciona el comportamiento de estos materiales a las turbas, debido a la alta relación de vacíos que exhiben; desde entonces numerosos autores han estudiado el problema a través de ensayos de laboratorio y de campo; además de registros de instrumentación.

Los métodos para estimar los asentamientos en desechos sólidos utilizados en el mundo son similares a los utilizados para estimar asentamientos en suelo, sin embargo las características de los residuos sólidos, así como los cambios físico-químicos y descomposición bioquímica a lo largo del tiempo no son tenidos en cuenta al analizar los asentamientos con las teo-

rías convencionales de la mecánica de suelos.

Manassero et al (1996), citados por Ferreira (2000), presentan un resumen de los diferentes mecanismos o procesos responsables de los asentamientos que se dan en los RSU, de acuerdo con diferentes teorías presentadas por diversos autores desde el año 1973 hasta el año de 1996; según esto, se dan los siguientes procesos:

- Compresión mecánica, resquebrajamiento de las partículas, con reorientación de las partículas sólidas, debido a la aplicación de cargas (peso propio de los residuos sólidos, operación del relleno, entre otros).
- Variaciones de volumen generados por la migración de partículas pequeñas en dirección a los espacios vacíos presentes al interior de la masa, esta migración es debida por la acción de la gravedad o por el flujo del lixiviado al interior del relleno sanitario.
- Comportamiento viscoso, representado por las deformaciones lentas de los residuos, debido a la acción de una carga constante.
- Variaciones de volumen generadas por la descomposición de materia orgánica, ocasionando una transferencia de masa de la fase sólida a las fases líquida y gaseosa.

Los factores que más influyen en los mecanismos de los asentamientos que se dan en los rellenos sanitarios son: la composición de los residuos sólidos, tamaño y operación del relleno sanitario, velocidad de disposición, pre - tratamiento de los residuos, peso específico inicial, compactación, saturación, eficiencia de los sistemas de drenaje, posición y fluctuaciones del lixiviado.

De acuerdo con la mayoría de los autores, los asentamientos de rellenos sanitarios, independientemente de sus mecanismos, pueden ser divididos en tres fases a lo largo del tiempo: compresión inicial, compresión primaria y compresión secundaria; Wall & Zeiss (1995), citados por Dellabianca (2005).

3.1 Compresión Inicial

Corresponde al asentamiento ocurrido cuando una carga externa es aplicada sobre el relleno sanitario, también suele deberse al acomodamiento inicial de las partículas, está asociada a la reducción de vacíos que se presenta al interior del relleno sanitario debido al peso propio del material, equipos de compactación entre otros.

3.2 Compresión Primaria

Sowers (1973) fue el primero en afirmar que una fase de compresión primaria estaría relacionada con los asentamientos que experimenta un relleno sanitario debido a la disipación de presiones en los poros, las cuales ocurren en forma rápida, generalmente en un tiempo inferior a 30 días.

3.3 Compresión Secundaria

Corresponde a los asentamientos de tipo creep o de fluencia, debidos a una deformación lenta de los componentes de los RSU, asociados a su degradación biológica (biodegradación). El estado del arte actual afirma que la compresión secundaria es la responsable por la mayor cantidad de asentamientos en los rellenos sanitarios, pudiendo durar décadas e incluso se afirma que pueden ser del orden del 25% - 40% de la altura total del relleno sanitario.

La afirmación anterior está por comprobarse ya que según la revisión bibliográfica realizada hasta el momento, se ha observado que los rellenos sanitarios que cuentan con registros de asentamientos continuos, son inferiores a 10 años.

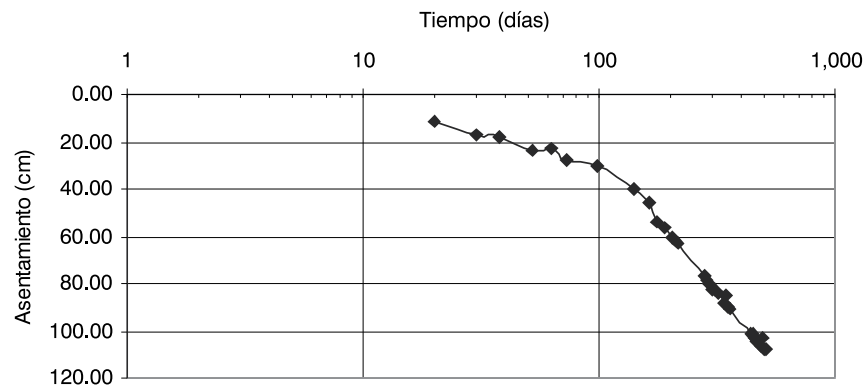
De una manera general se puede afirmar que los residuos sólidos urbanos, presentan grandes asentamientos iniciales; asociados a la aplicación de sobrecargas, seguidos de un proceso de deformación lenta como resultado del comportamiento viscoso de los residuos y de la pérdida de masa debida a los procesos de descomposición que se dan en su interior.

En esta publicación se analizan los resultados obtenidos con los puntos de control topográfico, desde el mes de junio del año 2002 hasta el mes de noviembre del año 2003, obteniéndose curvas de asentamiento vs tiempo de cada punto, ade-

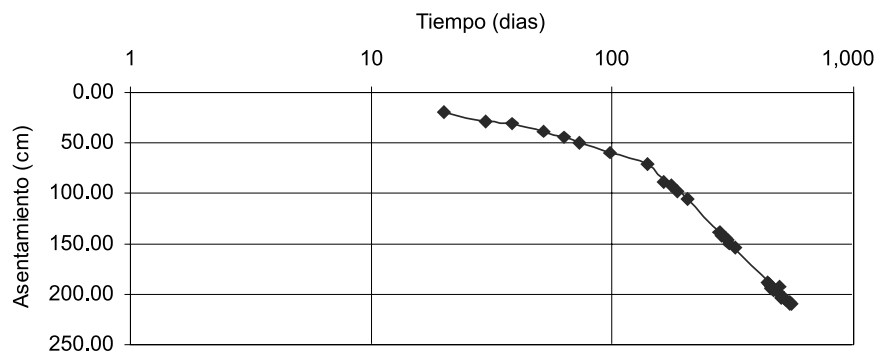
más de unas funciones matemáticas de tipo logarítmico y de potencia, que describen el comportamiento en este intervalo de tiempo de cada punto de control topográfico estudiado. Por efectos prácticos sólo se presentan los más representativos.

Curvas de asentamiento (cm) vs tiempo (días) de los puntos de control topográfico # 2, 3, 12, 13, 14 ubicados en la superficie del Relleno Sanitario Curva de Rodas.

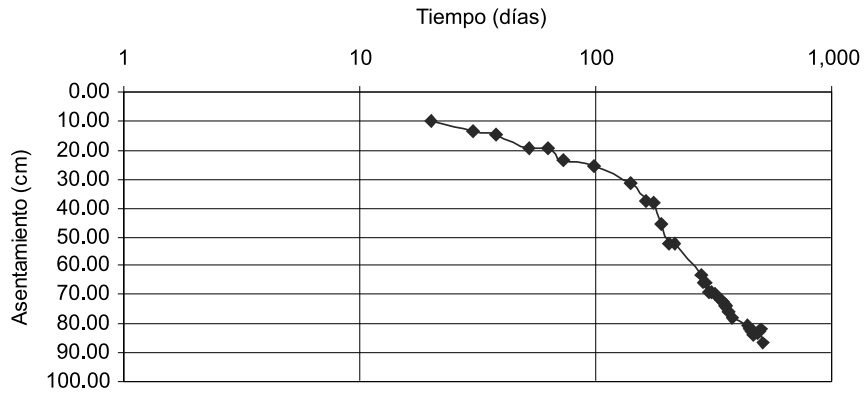
Curva de Rodas P.C.T. 2 (residuos)



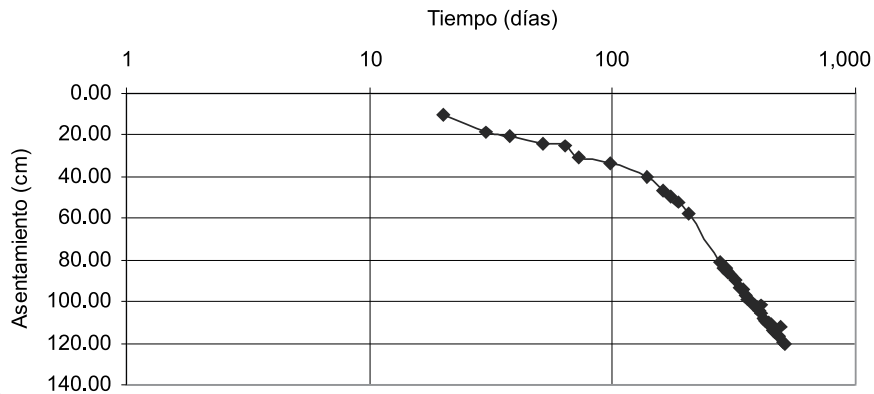
Curva de Rodas P.C.T. 3



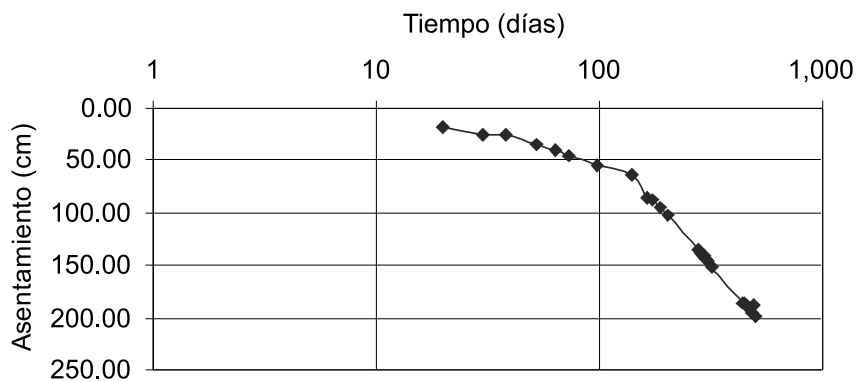
Curva de Rodas P.C.T. 12 (residuos)

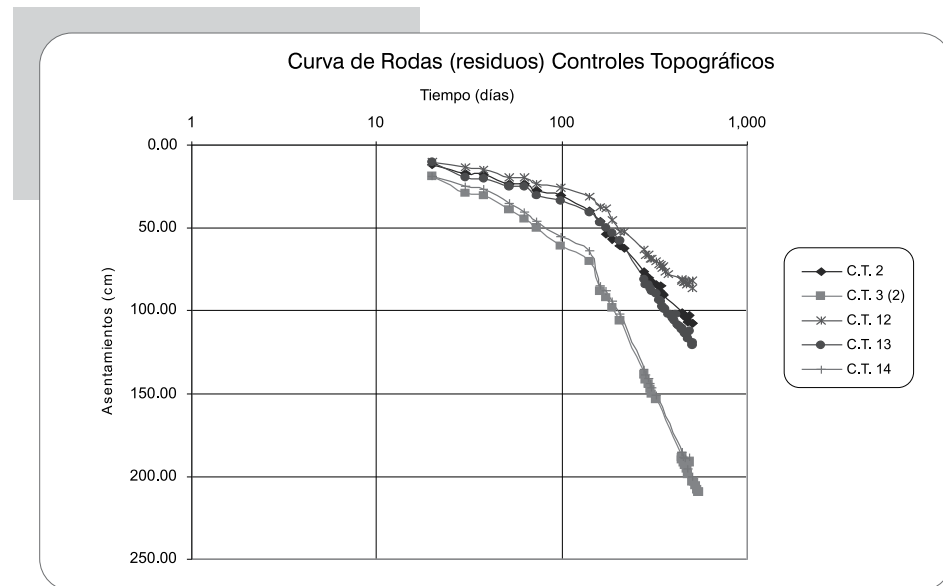


Curva de Rodas P.C.T. 13 (residuos)



Curva de Rodas P.C.T. 14 (residuos)





Las anteriores gráficas muestran unas curvas de asentamientos en trazado semilogarítmico, de los puntos de control topográfico # 2, 3, 12, 13 y 14; corresponden a mediciones obtenidas entre el mes de junio del año 2002 y el mes de noviembre del año 2003; en ellas se puede apreciar que la consolidación primaria a esta fecha todavía se estaba presentando, el tramo recto que define la compresión secundaria todavía no se hace visible. Los anteriores resultados son coherentes con los que se han observado en algunos rellenos sanitarios del mundo, tales como Bandeirantes y Belo Horizonte (Brasil), Valdemingómez y Meruelo (España), Wisconsin y Spadra (U.S.A.).

Los puntos de control topográfico denominados 14 y 3 se localizan en el sector denominado NE (noreste), muestran una tendencia similar en cuanto a la curva de consolidación, además su separación es inferior a 100.0 m, los puntos 2 y 13 se ubican en la zona llamada NO (noroeste), muestran un comportamiento similar en la curva de consolidación, al igual que el punto de control topográfico 12 ubicado en el sector NE, y a una distancia inferior a 70.0 m del punto 2.

En las gráficas de asentamiento de los puntos de control topográfico analizados, se aprecia que durante los primeros 70 días el asentamiento es mayor a 10.0 cm y menor a 30.0 cm.

Entre los puntos de control topográfico analizados, los residuos más antiguos se localizan en la zona aferente al punto de control topográfico 12 ya que se tienen los menores valores de asentamientos en el mismo intervalo de tiempo.

4. Funciones matemáticas utilizadas para describir en función del tiempo $f(t)$ los asentamientos en rellenos sanitarios

Ling et al (1998); presentan unas funciones matemáticas de tipo logarítmico, de potencia e hiperbólicas, ajustadas según registros de instrumentación de varios años obtenidos en los rellenos sanitarios de Meruelo (España), Wisconsin, y Spadra (Estados Unidos).

A continuación se enuncian estas funciones y su utilidad en el Relleno Sanitario Curva de Rodas ubicado en la ciudad de Medellín, Colombia.

4.1 Función Logarítmica

Usando $\ln t$ (Ling et al., 1998), los asentamientos pueden ser expresados así:

$$S = m + n * \ln t \text{ donde:}$$

S = asentamiento entre dos periodos de tiempo conocidos, se suele expresar en metros.

t = diferencia entre un tiempo de interés y el tiempo en que se inician las mediciones, se suele expresar en días.

m y n = Constantes empíricas

4.2 Función de Potencia

Usando la expresión t elevado a la potencia q , (Ling et al., 1998), los asentamientos pueden ser expresados directamente por medio de la siguiente ecuación matemática:

$$S = p * t ^ q \text{ donde:}$$

S = asentamiento obtenido entre un intervalo de tiempo, se expresa en unidades de longitud.

t = diferencia entre un intervalo de tiempo, se expresa en días.

p y q = son constantes empíricas positivas.

4.3 Función Hiperbólica

Para estimar el asentamiento en Rellenos Sanitarios, (Ling et al., 1998), proponen una expresión que es enunciada así:

$$S = t / [1/p_0 + t/S_{ult}] \text{ donde:}$$

S = diferencia entre el asentamiento obtenido en dos tiempos t definidos.

t = diferencia entre el tiempo de interés y el tiempo en que se inician las mediciones.

p_0 = tasa inicial de asentamiento en un tiempo $t = t_0$.

S_{ult} = asentamiento último, obtenido cuando el tiempo tiende a infinito.



5. Aplicabilidad de las funciones anteriores en el relleno sanitario Curva de Rodas

Se presentan una serie de gráficas en las cuales las abscisas corresponden al tiempo medido en días y las ordenadas son los asentamientos medidos en metros, correspondientes a las funciones de potencia y logarítmica, la función hiperbólica no se analiza debido a que no se tienen suficientes datos, ya que una variable es el asentamiento último para cuando el tiempo tiende a infinito; se debe dejar claridad que lo que se presenta corresponde para un periodo de mediciones desde el mes de junio del año 2002 hasta finales del año 2003, no se puede descartar la posibilidad que al analizar más datos se obtengan mejores ajustes, o simplemente se tenga una variación significativa en los mismos, debido a la heterogeneidad y a los complicados procesos de degradación que actúan en los residuos sólidos.

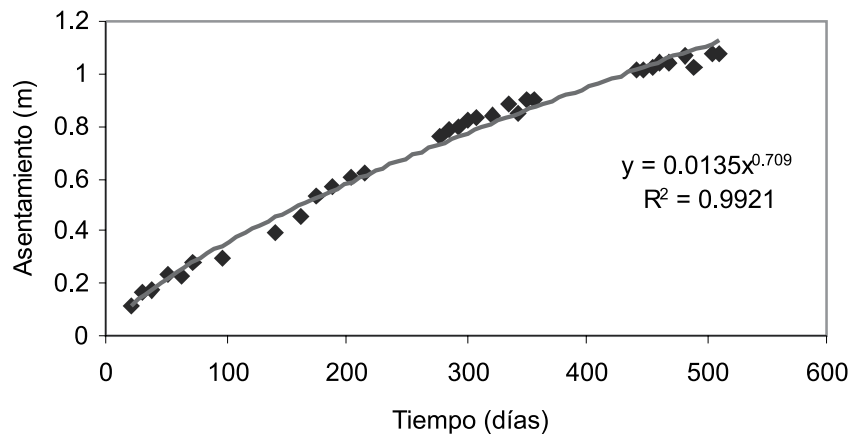
La velocidad de los asentamientos para cada punto de control topográfico estudiado se puede obtener derivando la función matemática de cada punto respecto al tiempo.

5.1 Función matemática de potencia

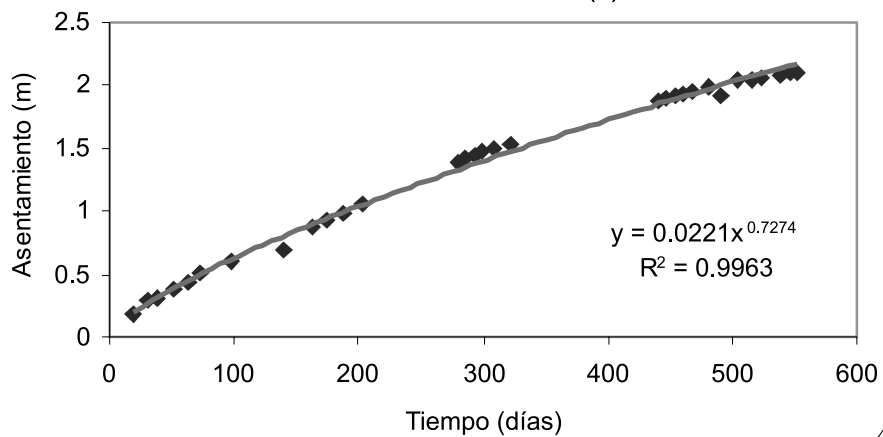
Aplicando la función de potencia

$S = p * t ^ q$ para los puntos de control topográfico 2, 3, 12, 13, 14, del Relleno Sanitario Curva de Rodas, se obtienen las siguientes gráficas, con las ecuaciones pertinentes, la tabla 1 presenta un resumen de los valores que toman las variables en cada punto de control topográfico analizado.

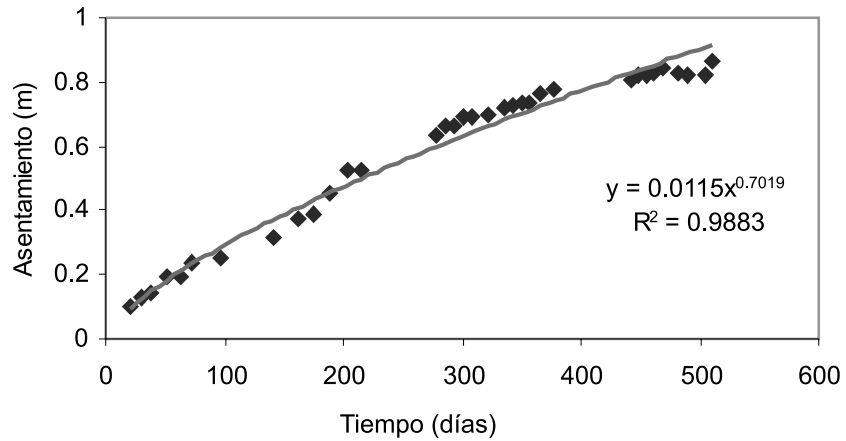
Curva de Rodas P.C.T. 2

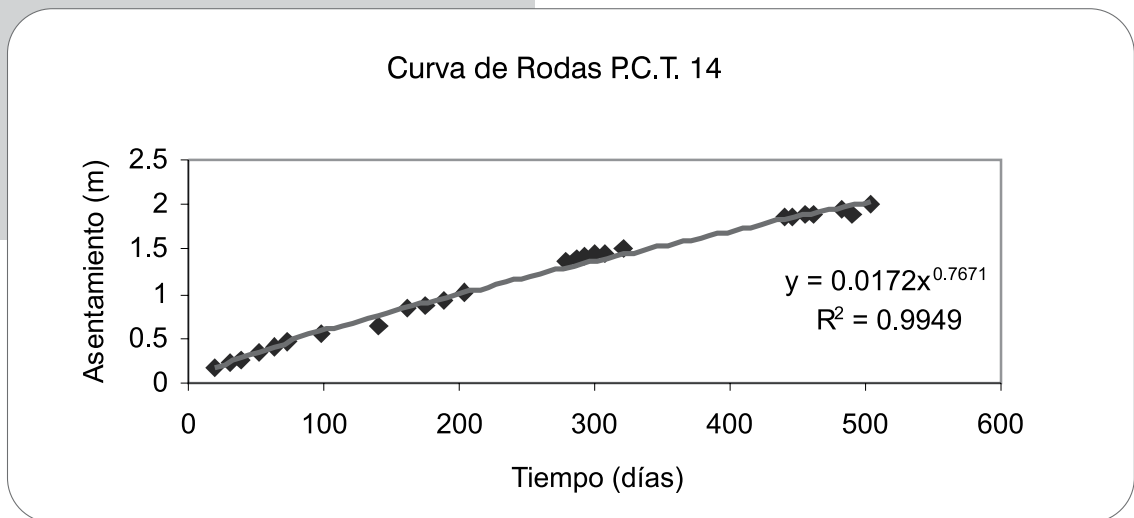
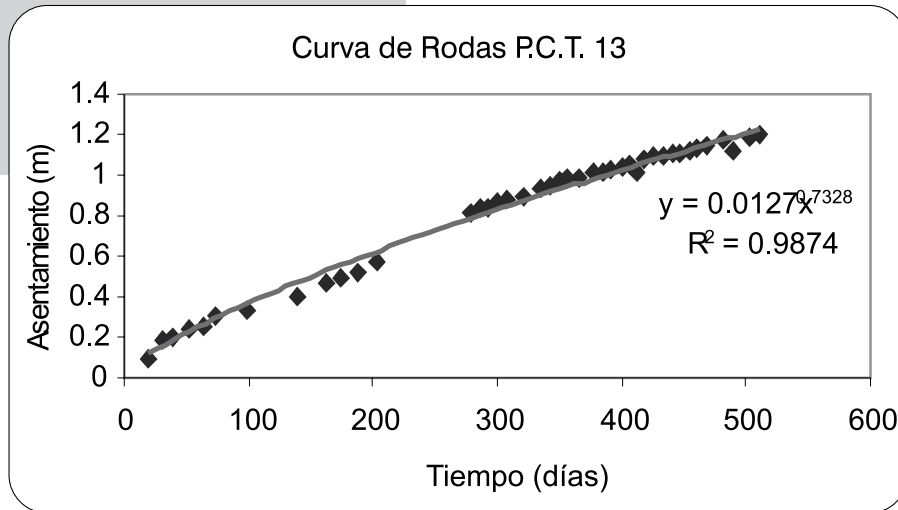


Curva de Rodas P.C.T. 3 (2)



Curva de Rodas P.C.T. 12





Punto de Control Topográfico	p	q	r
P. C. T. 2	0.0135	0.709	0.99
P. C. T. 3	0.0221	0.7274	0.99
P. C. T. 12	0.0115	0.7019	0.99
P. C. T. 13	0.0127	0.7328	0.99
P. C. T. 14	0.0172	0.7671	0.99

Tabla 1 Parámetros utilizados en la función de potencia



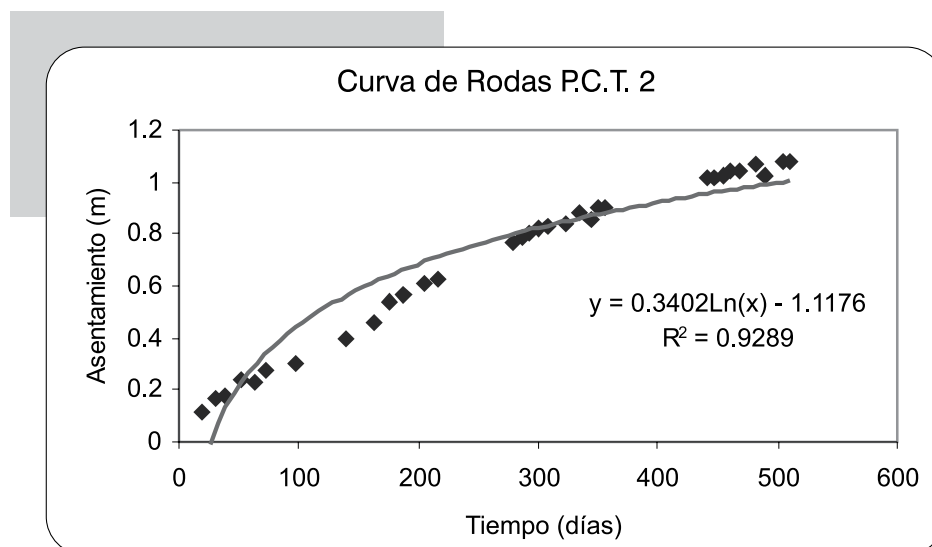
Derivando la función potencia $S = (p) [(t)^q]$ se obtiene $ds/dt = (p) (q) [(t)^{(q-1)}]$; reemplazando los valores obtenidos de p y q para cada punto de control topográfico analizado, se puede observar matemáticamente que a medida que pasa el tiempo, la velocidad del asentamiento decrece.

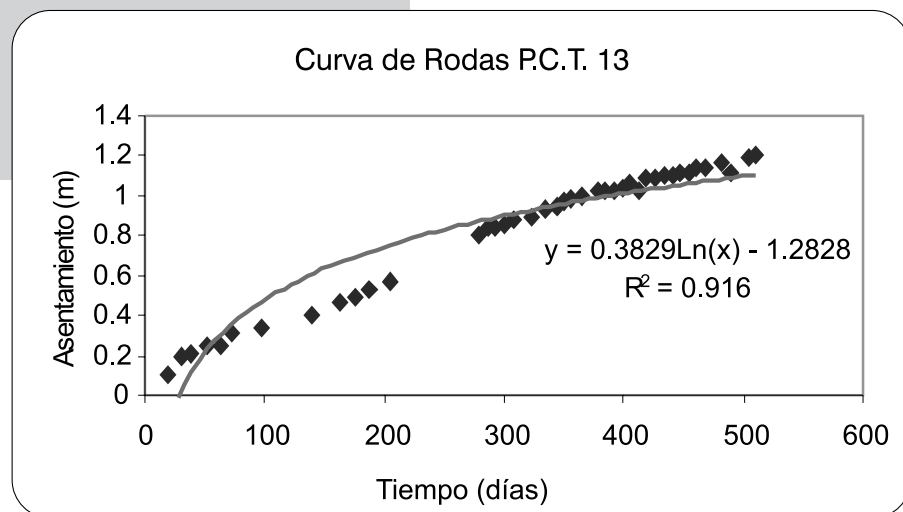
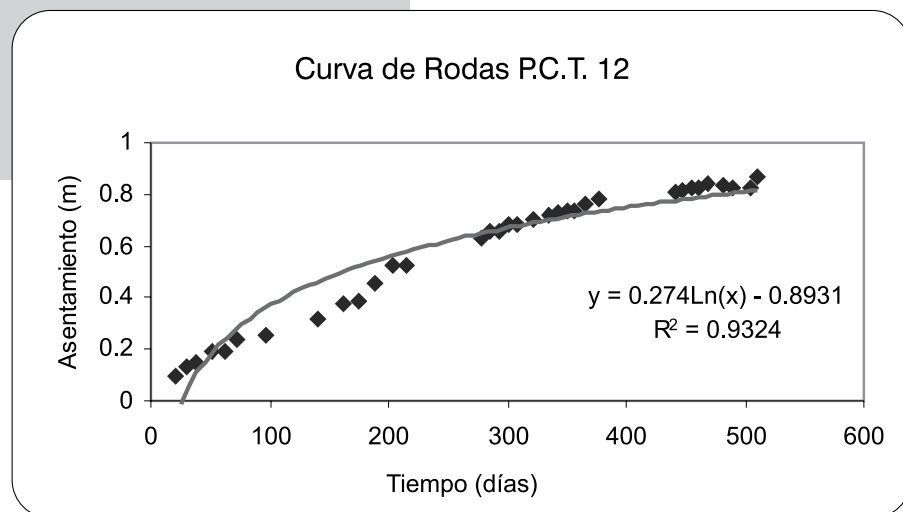
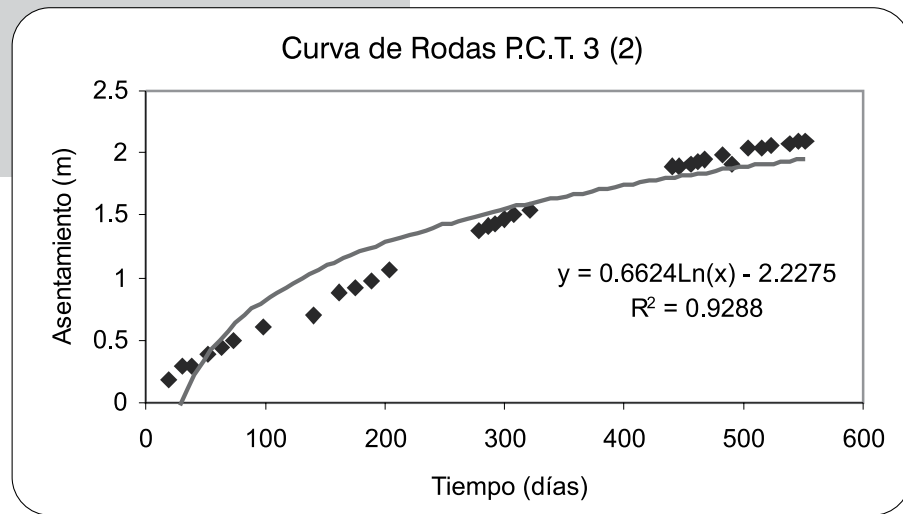
5.2 Función matemática logarítmica

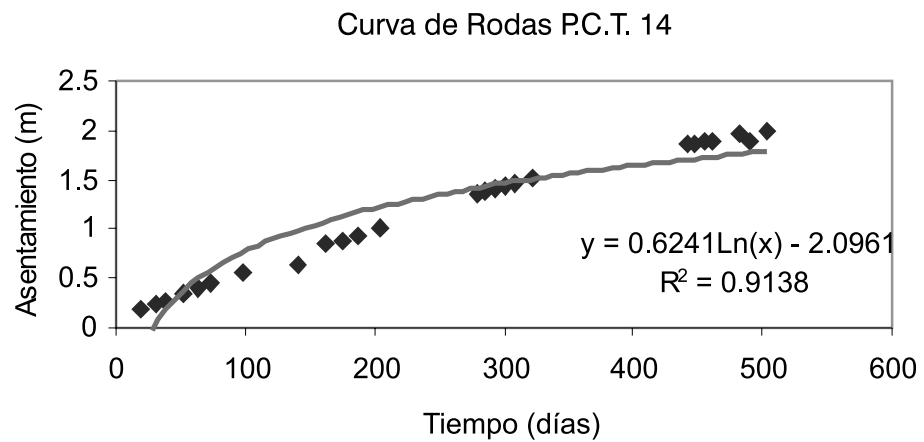
Si tengo datos experimentales de asentamientos medidos en metros en función del tiempo dado en días, obtengo una distribución discreta de puntos que se puede ajustar en buena forma a la función logarítmica $S = n * \ln t + m$, para los puntos de control topográfico 2, 3, 12, 13, 14, del Relleno Sanitario Curva de Rodas, obteniendo las siguientes gráficas, con las ecuaciones pertinentes.

Desde el punto de vista físico, toda derivada respecto al tiempo es una razón de cambio o mejor es la velocidad del asentamiento en el tiempo, si derivo la ecuación $S = n * \ln t + m$, respecto al tiempo obtengo: $ds/dt = n/t$; este valor siempre será positivo ya que el tiempo lo es y el valor de n obtenido del ajuste también; lo anterior implica que para el intervalo de tiempo en que se hace el análisis el asentamiento siempre crece.

La tabla 2 presenta un resumen de los valores que toman las variables en cada punto de control topográfico analizado.







Punto de Control Topográfico	m	n	r
P. C. T. 2	-1.1176	0.3402	0.96
P. C. T. 3	-2.2275	0.6624	0.96
P. C. T. 12	-0.8931	0.274	0.96
P. C. T. 13	-1.2828	0.3829	0.95
P. C. T. 14	-2.0961	0.6241	0.95

Tabla 2 Parámetros utilizados en la función logarítmica

6. Conclusiones³

Los resultados obtenidos con el análisis de los puntos de control topográfico, muestran que se tienen curvas bien definidas de asentamiento en las cuales para un intervalo de mediciones desde el mes de junio del año 2002 hasta fines del año 2003 se estaba presentando todavía la compresibilidad secundaria en el Relleno Sanitario Curva de Rodas.

Es muy importante con el fin de conocer el comportamiento en el tiempo de este tipo de materiales de gran heterogeneidad continuar con las mediciones periódicas de asentamientos, las cuales permitirán ajustar y completar las gráficas de asentamiento descritas.

Los residuos sólidos depositados en un relleno sanitario sufren significativos asentamientos, con lo que su volumen va disminuyendo y la capacidad del relleno sanitario va aumentando.

En los residuos sólidos urbanos, los asentamientos inmediatos o primarios dependen de las cargas que se impongan, pero los asentamientos secundarios se deben a complicados fenómenos de descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos; fenómeno que puede tardar muchos años.

De las funciones matemáticas analizadas, la que tiene el mejor coeficiente de correlación es la función potencia.

La derivada de las funciones logarítmica y de potencia respecto al tiempo me muestra la velocidad del asentamiento en el tiempo para cada punto de control topográfico analizado.

La variable q en la función matemática $S = p * (t \wedge q)$, para los puntos de control

topográfico analizados se encuentra variando entre 0.709 y 0.7671.

La variable p en la función matemática $S = p * (t \wedge q)$, para los puntos de control topográfico analizados se encuentra variando entre los valores 0.011 y 0.022.

La función logarítmica estudiada tiene un coeficiente de correlación que varía entre 0.95 y 0.96.

La variable n para la función logarítmica se encuentra entre los valores de 0.27 y 0.66.

Las funciones matemáticas utilizadas podrán ser ajustadas en el tiempo al disponer de más datos de instrumentación.

Las gráficas obtenidas en el Relleno Sanitario Curva de Rodas, se ajustan a las reportadas en la literatura técnica internacional.

7. Recomendaciones

Empresa Varias de Medellín, debe continuar con las medidas de asentamientos, ya que logrando cuantificar las deformaciones que se producen, el tiempo en que se producirán y su ritmo de aparición; se podrá inferir el comportamiento futuro de los rellenos sanitarios en la ciudad de Medellín, además de prever la capacidad real de los mismos; la evaluación de los asentamientos remanentes debidos a la consolidación secundaria es de vital importancia a la hora de definir una posible utilización del relleno sanitario en la etapa de post-clausura.

Se deben realizar investigaciones que permitan conocer los asentamientos del relleno sanitario Parque Ambiental La Pradera incluso en plena etapa de operación.

Bibliografía

1. DELLABIANCA L., M. A. & Dellabianca S. M. (2002). *A parametric study of settlements for urban solid waste*. 4 International Congress Environment Geotechnical, Rio de Janeiro – Brasil.
- FERREIRA, G. (2000). *Modelo para evaluación de asentamientos en Rellenos Sanitarios Urbanos*. Tesis de Magíster. Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro. 136p.
- HENRIQUES, A., SOPEÑA L. y MATEOS, M. (2003) *Monitoring of Municipal Waste Landfill*. Soil Rock America (CD).
- PARK, H., LEE, S. y YOUNG, N. (February, 2002) *Evaluation of decomposition effect on long – term settlement prediction for fresh municipal solid waste landfills*. En: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. ASCE. USA, Vol. 128, N° 2.
- LING H., Leshchinsky D., MOHRI Y. y KAWABATA, T. (January, 1998). *Estimation of Municipal Solid Waste Landfill Settlement*. En: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 124, N° 1.
- MACHADO, S., CARVALHO, M.; VILAR, O. (November, 2002). *Constitutive model for municipal solid waste*. En: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. ASCE. Vol 128 N° 11.
- MORUZZI, A., FILZ G. y VILAR, O. (April, 2003). *Composite Compressibility model for municipal solid waste*. En: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. ASCE, Vol. 129 N° 4.
- PINEDA, M. *Manejo y Disposición de Residuos sólidos urbanos*. Acodal, (1998) Bogotá D.C.
- QUIAN, X; KOERNER, R; GRAY, D. *Geotechnical Aspects of landfill design and construction*. Prentice Hall, Inc, (2002). U.S.A.
- TCHOBANOGLUS, G.; THEISEN, H.; Vigil, S.A. *Integrated Solid Waste Management*. Mc Graw – Hill. Intl (1993).
- WALL, D. K.; ZEISS, C. (March, 1995). *Municipal Landfill Biodegradation and Settlement*. En: Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 121, N° 3.