

BORDO PONIENTE, UN RELLENO SANITARIO REUTILIZABLE?

*Heriberto Bárcenas Ramírez, José Juan Morales Reyes,
Luis Miguel González Camargo*

Ingeniería para el Control de Residuos de Residuos Municipales
e Industriales, S.A. de C.V. (*INCREMI, S.A. DE C.V.*)
Retorno 31 de Genaro García No. 74, Col. Jardín Balbuena, México, D. F., C.P. 15900
Tel. (5) 784 14 86, Fax (5) 571 21 33, E-mail incremi@mail.internet.com.mx

RESUMEN

Se busca a través de éste trabajo técnico, sentar el primer precedente a nivel nacional, acerca de la técnica denominada “Landfill Mining”, con miras a despertar el interés en todos aquellos que de una u otra forma se encuentran involucrados con el manejo y disposición final de los residuos sólidos municipales. En el siguiente trabajo se describe la metodología utilizada en la capital del país para la realización de un estudio de factibilidad, de la aplicación de esta técnica, se comentan, asimismo los resultados obtenidos y las conclusiones a las que se llegó con esta investigación.

I. INTRODUCCIÓN

Los sitios para disposición final a nivel nacional, cada vez son más escasos, debido a las características que estos deben de reunir, por un lado y a que los obras de ingeniería necesarias para adecuar los que en un momento dado son susceptibles de albergar un relleno (sin que estos sean los óptimos), resultan incrementar la inversión para la construcción de un sitio de disposición final.

Estas razones, aunadas a la lógica idea de que por más sitios y espacio que pudiesen existir, no serían suficientes ni eternos, debido a esto es necesario aprovechar al máximo los espacios que ya se tienen, es así que surge la necesidad de reciclar los actuales sitios de disposición final.

A nivel mundial la inquietud es similar, y una muestra es que constantemente se han hecho esfuerzos por desarrollar nuevos métodos y tecnologías de disposición, que por sí solas no resuelven completamente el problema, e invariablemente se hace necesaria la utilización del relleno sanitario.

Ante esta situación se ha buscado la alternativa para aprovechar al máximo el relleno sanitario, es así que desde mediados de los 90's se comenzó a tener noticias en México

de una nueva opción que se ha venido utilizando en algunos lugares de Estados Unidos y Japón, para ampliar la vida útil de los rellenos sanitarios, esa opción es la “**la Explotación de Sitios de Disposición Final de Residuos Sólidos**” (ESDFRS) (mejor conocida en el ámbito internacional como Landfill Mining).

La explotación de rellenos sanitarios, (Landfill Mining) es un proceso mediante el cual se excava y se procesan los residuos sólidos que previamente fueron confinados durante un tiempo suficiente para su estabilización.

Este proceso involucra una serie de operaciones mecánicas, diseñadas para recuperar una porción o la totalidad de los siguientes componentes: materiales reciclables, materiales combustibles y materiales inertes (tierra), así como el espacio ocupado por el mismo relleno sanitario.

Adicionalmente puede ser usada como una medida de remediación para sitios de disposición final de residuos sólidos mal diseñados y/u operados deficientemente o para aquellos sitios que no cumplen con los lineamientos ambientales y de salud pública de acuerdo con la legislación vigente.

Durante el año de 1998, la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA, por sus siglas en Inglés), realizó “**Estudios Sobre Manejo de Residuos Sólidos para la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos**”, los cuales incluían un estudio para determinar la posibilidad de que la explotación u excavación de relleno sanitario, fuera una alternativa para aumentar la vida útil del Relleno Sanitario Bordo Poniente. Para lo cual invitó a la empresa mexicana INCREMI, S.A. DE C.V., para la realización de dicho estudio de campo.

Siendo este tipo de estudio el primero a realizarse en el país, hubo necesidad de definir y adecuar el proceso del estudio, combinando tanto los conocimientos de los japoneses al respecto, y la normatividad propia del país, para lograr los resultados esperados.

II. OBJETIVOS

Los objetivos perseguidos con este estudio fueron:

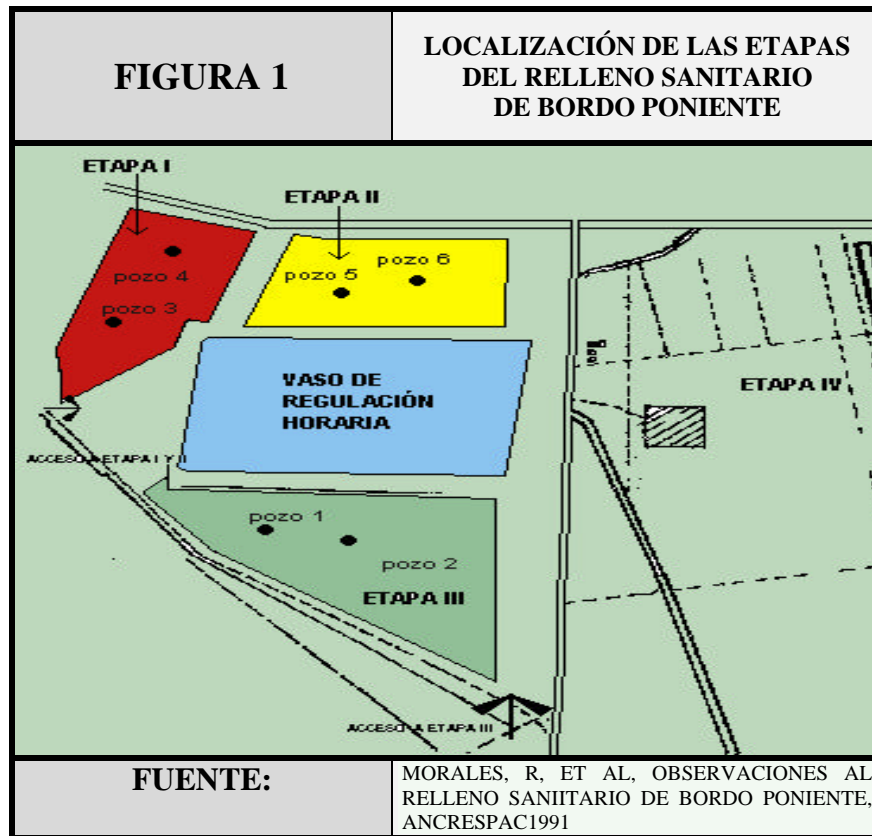
1. Aplicar la técnica de excavación de Relleno Sanitario en el sitio denominado Bordo Poniente.
2. Determinar las características físicas y químicas de los residuos enterrados en el sitio.
3. Cuantificar las cantidades de subproductos recuperables enterrados en el sitio, tales como materiales reciclables, y material inerte.

1. METODOLOGÍA

1.1 Ubicación y Características de los Pozos

De acuerdo con la experiencia obtenida en años de investigación del personal de la empresa japonesa, se determinó que deberían excavar 6 pozos de muestreo, los cuales se distribuyeron de la siguiente forma: se consideraron para la aplicación de la técnica

de estudio las Etapas I, II y III, del sitio de disposición final, ubicándose dos pozos en cada etapa, de acuerdo con lo indicado en la **Figura 1**.



Esta distribución se realizó tomando en cuenta un estudio geofísico previamente realizado en el sitio.

Por otra parte, los pozos de muestreo a excavar, tendrían las siguientes dimensiones: 2.50 m por lado, formando un cuadrado, y con una profundidad de aproximadamente 4.00 m. Previamente se debía trazar el área a excavar sobre la superficie rellenada, esto con el apoyo de algunas técnicas trigonométricas, para garantizar la cuadratura del pozo, con la finalidad de tener el máximo control posible sobre las dimensiones.

1.2 Excavación y Volúmenes

Una vez trazada el área, se procedería a realizar la excavación, en la cual se consideraron 4 fases de excavación, la cubierta final, un primer estrato o superficial, hasta 1.50 m de profundidad, estrato intermedio a 2.70, y estrato inferior hasta la profundidad de 4.00 m, cabe aclarar que dichas dimensiones son aproximadas, ya que en cada pozo y en cada estrato, es necesario determinar la dimensiones tanto horizontales como verticales, con apoyo topográfico, para tener un control lo más preciso posible sobre los volúmenes excavados.

Una vez excavado cada estrato, el material de cada estrato debe ser pesado, con apoyo de camiones de volteo, es transportado hasta una báscula, con estas actividades es posible la determinación del peso volumétrico del material excavado.

1.3 Toma de Muestras y Selección de Subproductos

Finalmente la labor de clasificación y selección de subproductos, se definió tomando en consideración la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-22-1985, pero para llegar a este punto primeramente se realizaron labores de cuarteo para determinar una muestra representativa de cada estrato en cada pozo, dicha actividad, se realizó primeramente con el apoyo de la máquina excavadora utilizada en la excavación de los pozos, la cual realiza la mezcla de los residuos excavados de cada estrato, y posteriormente se seleccionaba aproximadamente una tonelada de residuos, los cuales mediante cuarteo se reducían hasta obtener una muestra de 200 Kg, los cuales eran separados en los siguientes subproductos:

- Vidrio
- Aluminio
- Fierro
- Material Combustible
- Tierra y lodo

En cuanto a las características químicas de los residuos, se obtuvieron muestras de aproximadamente 3 Kg, para enviarlas al laboratorio, para lo cual se tomo en consideración lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-52-1985.

2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

2.1 Composición de los Residuos Excavados

Con base en los resultados obtenidos en cada uno de los pozos, se calculo un valor promedio para cada una de las Etapas de operación del Relleno Sanitario de Bordo Poniente, considerando las características de las muestras obtenidas en cada uno de los estratos. A continuación se presentan los puntos de mayor relevancia.

En la Etapa I se determinó que los residuos confinados en esta zona tienen al alrededor del 50.5 % de materiales con posibilidades de recuperación: un 34.28 % como materiales reciclables y 16.29 % como material combustible. En lo relativo a los materiales reciclables, se tiene un alto contenido de plástico, lo cual es razonable si se tienen en consideración dos factores: el primero, que en el periodo de operación no se contaba con infraestructura para la recuperación eficiente; y por otra parte que el mercado de los plásticos no había tenido la demanda que existe actualmente. Ahora bien, es importante puntualizar que en este periodo de operación del sitio en su primera etapa, las delegaciones depositantes fueron aquellas que generaban residuos con bajo contenido en materiales reciclables y por el contrario las delegaciones con residuos ricos en materiales de éste tipo, se canalizaban a los sitios controlados por pепенadores.

Si bien es cierto que se tiene un bajo contenido de vidrio, materiales ferrosos y aluminio, es importante considerar los grandes volúmenes de residuos sólidos que fueron depositados en este lugar, lo cual puede hacer atractivo su aprovechamiento.

En cuanto al porcentaje de material de tierra y lodo es de aproximadamente 50 %, cuyo valor esta dentro de un termino medio del intervalo de valores reportados para varios proyectos de explotación en los Estados Unidos (Ver el Cuadro 2). En este caso, es importante mencionar, que el relleno demanda diariamente importantes volúmenes de material de cubierta para el control sanitario de los residuos depositados en el mismo sitio, además, de que debido a las características naturales del sitio donde se encuentra el Bordo poniente, existe una fuerte demanda de suelo vegetal para restaurar el suelo salino del exlago de Texcoco.

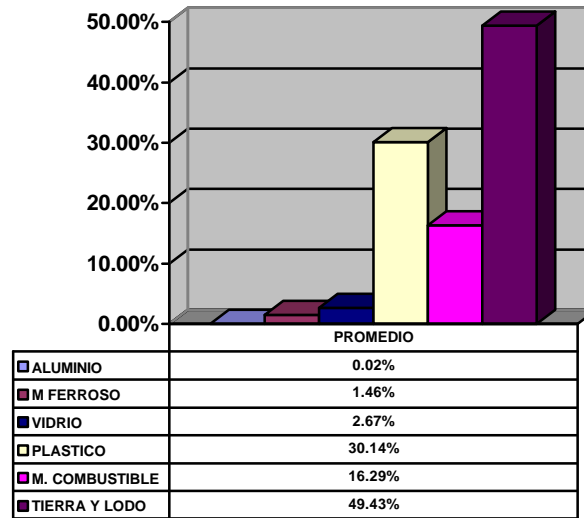
Los valores promedio estimados para la Etapa II, presentan un porcentaje muy bajo de material de aluminio, en tanto que los metales ferrosos, y vidrio tienen un valor mayor que la primera etapa, mientras que el material de plástico es menor con respecto al primer valor de la etapa señalada, siendo una cantidad significativa. Este comportamiento es de esperarse dado que aún en este periodo (1988-1991, además la última capa de residuos sólidos fue colocada en 1996) de operación no se contaba con la infraestructura para la selección eficiente de materiales, como actualmente se lleva acabo. En el caso del material combustible, se aprecia un valor mayor que en la primera etapa, lo anterior se debe en una parte a la degradación de estos materiales combustibles.

En términos globales, si restamos de los materiales aprovechables la parte combustible se puede apreciar que existe un decremento en la composición de los materiales reciclables, es decir que la primera etapa se tiene un 34.29 % contra un 26.24%. Este decremento, se puede deber al incremento de la comercialización de estos productos, principalmente los plásticos.

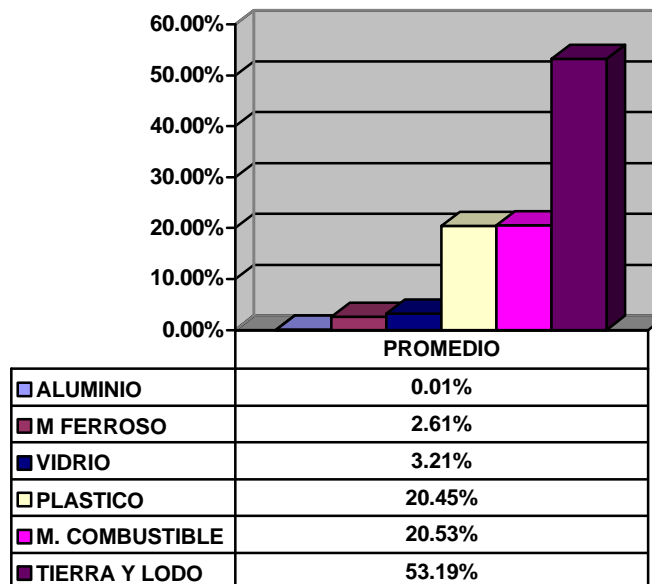
Obviamente, al tener menos materiales reciclables, se tiene una mayor proporción de tierra y material combustible.

Por ultimo, en lo que respecta a la Etapa III, prácticamente se aprecia una composición similar ala etapa II, pero se tiene una cantidad menor en los plásticos y por tanto, una disminución en los materiales reciclables, en este caso, se tiene un porcentaje del 22.38%, lo cual viene a demostrar que las plantas de selección de subproductos han contribuido a disminuir esta proporción en el relleno sanitario.

En las **Gráficas 1, 2 y 3**, se ilustra el comportamiento descrito anteriormente, mientras que en la **Gráfica 4**, se puede apreciar un comparativo de las condiciones que guardan las tres etapas y se pone de manifiesto que, como se explicó en su momento, los resultados de la Etapa III indican que, en ésta existe menos contenido de materiales reciclables.

GRAFICA 1**COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS EN LA ETAPA I
DEL RELLENO SANITARIO DE BORDO PONIENTE
PROMEDIO DE POZOS****FUENTE:**

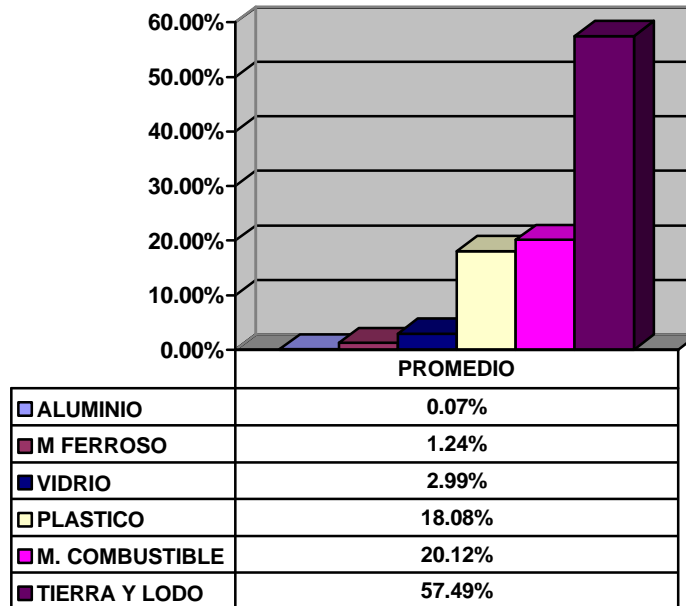
Estudios de Campo realizados por INCREMI, S.A. de C.V. en el Relleno Sanitario de Bordo Poniente para la Agencia de Cooperación Internacional de Japón. , México, septiembre, 1998

GRAFICA 2**COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS EN LA ETAPA II
DEL RELLENO SANITARIO DE BORDO PONIENTE
PROMEDIO DE POZOS****FUENTE:**

Estudios de Campo realizados por INCREMI, S.A. de C.V. en el Relleno Sanitario de Bordo Poniente para la Agencia de Cooperación Internacional de Japón. , México, septiembre, 1998

GRAFICA 3

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS EN LA ETAPA III DEL RELLENO SANITARIO DE BORDO PONIENTE PROMEDIO DE POZOS

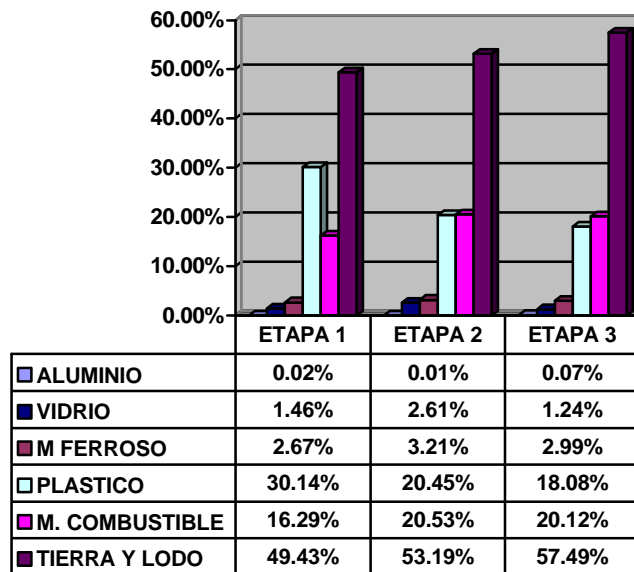


FUENTE:

Estudios de Campo realizados por INCREMI, S.A. de C.V. en el Relleno Sanitario de Bordo Poniente para la Agencia de Cooperación Internacional de Japón. , México, septiembre, 1998

GRAFICA 4

COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS POR CADA UNA DE LAS ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO ANALIZADO



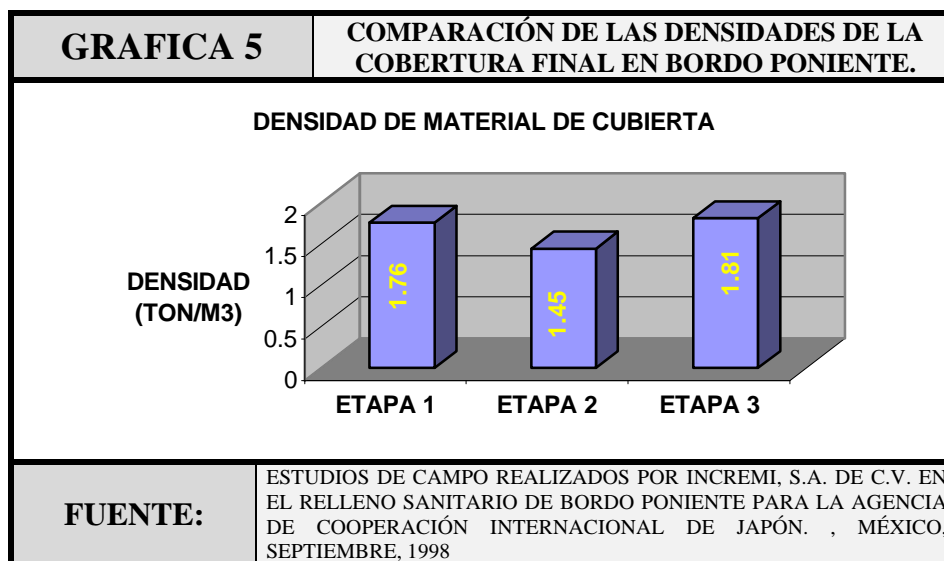
FUENTE:

ESTUDIOS DE CAMPO REALIZADOS POR INCREMI, S.A. DE C.V. EN EL RELLENO SANITARIO DE BORDO PONIENTE PARA LA AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DE JAPÓN. , MÉXICO, SEPTIEMBRE, 1998

CUADRO 1	RENDIMIENTOS DE EXTRACCIÓN REPORTADOS EN PROYECTOS DE RECUPERACIÓN DE RELLENOS		
	PROYECTO	COMPONENTES	
		% RESIDUOS	% SUELO
Collier County, Fla.	20	80	
Edinburgh, N.Y.	25	75	
Lancaster, Pa.	80	20	
York County; Pa.	70	30	
Tonawanda, N.Y.	70	30	
Hague, N.Y.	50	50	
Horicon, N.Y.	30	70	
Chester, N.Y.	75	25	
Moria, N.Y.	50	50	
FUENTE:	Aquino, J.T. Landfill Reclamation: Waste Age. Vol. 25, No. 12. ISSN 0043 1001. USA. December, 1994. p68.		

2.2 Densidad del Material de Cubierta

En lo que respecta a la densidad del material de cubierta de las diferentes etapas, se tiene que en la Etapa I y en la Etapa III, dicha densidad es muy similar, y han alcanzado un nivel de consolidación debido al tiempo, mientras que en la Etapa II, la densidad es menor debido a que la cobertura se realizó más recientemente (1996). Por otra parte es de considerarse el hecho de que muy probablemente, el grado de compactación obtenido en la etapa tres, durante la colocación de la cubierta final sea mayor al de las otras dos etapas. **En la Gráfica 5**, se ilustran las densidades del material de cubierta, obtenidas.



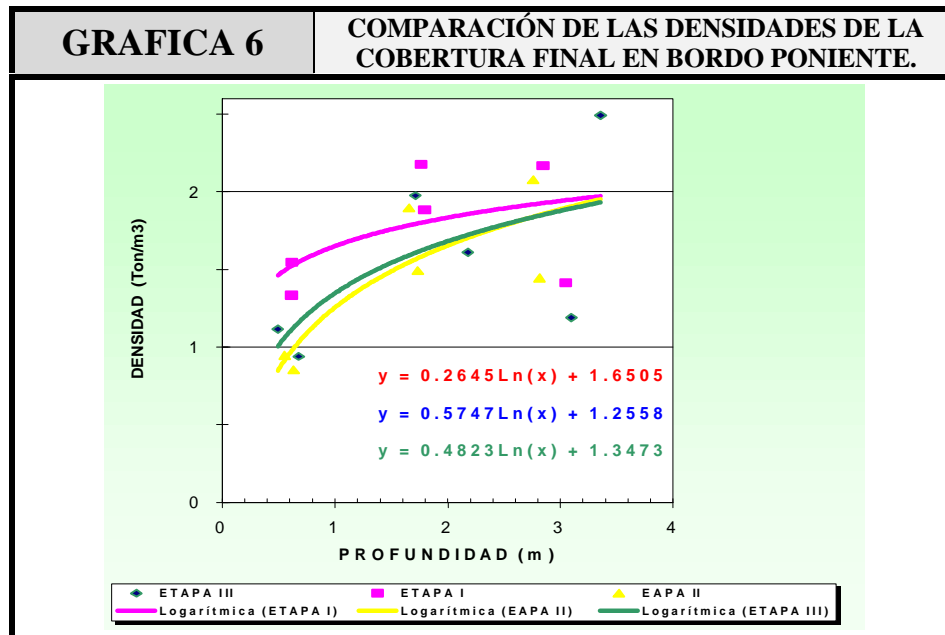
2.3 Densidad de los Residuos Sólidos.

De acuerdo con los datos de las densidades de los residuos sólidos para cada uno de los estratos estudiados, calculados a partir de los pesos y volúmenes excavados, se procedió a establecer una profundidad promedio para cada uno de los estratos, de tal forma que se determinó una dispersión de datos de densidad contra profundidad. Este procedimiento se efectuó con la finalidad de entender el comportamiento de las densidades de los residuos sólidos con respecto a la profundidad y a la Etapa de operación.

En la **Gráfica 6**, se presentan las curvas ajustadas a un comportamiento logarítmico, las cuales, que representan el comportamiento con respecto a la profundidad y para cada una de las Etapas de operación estudiadas.

Al respecto, se puede observar que los residuos sólidos confinados en la Etapa I, presentan densidades mayores con respecto a la Etapa II y III, este comportamiento es lógico, dado que los residuos fueron depositados a partir de hace 13 años. En el gráfico de referencia se puede apreciar que esta densidad se incrementa conforme la profundidad debido a la carga a la que están sujetas las capas inferiores, además se puede identificar que existe una densidad límite cuyo valor es de 2 ton/ m^3 a nivel promedio. La densidad de los residuos sólidos varió de 1.54 a 2.17 ton/ m^3 .

Las densidades en la Etapa II y III, presentan un comportamiento similar, observándose que las densidades en la etapa III, son mayores que las de la etapa II, esto debido a que después de concluir la etapa III, se colocó una capa adicional en la etapa II. Desde la superficie al tercer estrato varían de 0.939 a 2.5 ton/ m^3 y para la etapa III las densidades varían de 0.95 a 2.1 ton/ m^3 .



2.4 Resultados de Análisis de Laboratorio

A continuación, se presenta el concentrado de la información de los resultados de los análisis de laboratorio, realizados a las muestras de residuos excavados, durante la realización del estudio.

No. Muestra	ELEMENTOS ANALIZADOS (mg/Kg base seca)							PH	humedad
	Cd	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn	(1% p/v)	(% en peso)
etapa I	5.63	285.50	448.33	46.00	134.17	403.17	800.33	17.44	71.65
etapa II	5.88	149.50	677.67	51.75	83.08	134.83	841.42	8.28	35.05
etapa III	4.30	97.50	143.50	23.00	44.33	134.42	454.58	8.32	30.37

3. CONCLUSIONES

La explotación y la recuperación de sitios de disposición final es una tecnología y un método para el manejo de los residuos sólidos. Dado su nivel de desarrollo, solamente se pueden dar algunas conclusiones preliminares con respecto al potencial de ESDFRS y a las perspectivas de satisfacer ese potencial.

La tecnología de ESDFRS puede ser eficaz en la recuperación de la capacidad del sitio de disposición final de Bordo Poniente para la reutilización como relleno sanitario o como espacio recuperado para otro uso. Puede también ser empleada para recuperar: una fracción de material inerte para la reutilización en sitio como material de la cubierta y para el uso como mejorador de suelo. De acuerdo con los pocos análisis señaló hasta el momento, el contenido de metales pesados y otras características de la fracción recuperada de tierra indican que la fracción puede ser conveniente para el material de cubierta para rellenos. Sin embargo, debe ser acentuada que las características de los materiales recuperados son substancialmente una función de la composición de la basura enterrada - incluyendo concentraciones de metales pesados y de otros compuestos tóxicos. Algunos materiales orgánicos pueden ser recuperados para ser usados como combustible. La baja calidad de materiales ferrosos se recupera fácilmente, pero su uso es limitado.

El porcentaje de materiales recuperados y sus características son función de la composición de los residuos confinados y las condiciones de la configuración y del funcionamiento del proceso que explota el sitio de disposición final de residuos. El concepto de la explotación de rellenos sanitarios y la tecnología relacionada merece una consideración seria. Puede ser relevante considerar la incorporación de este concepto al diseño de Relleno Sanitario de modo que éstos rellenos sean fácilmente accesible para su explotación en el futuro.

4. RECOMENDACIONES

Aspectos de Seguridad e Higiene Recomendados para Futuras Investigaciones de Explotación o Excavación de Rellenos Sanitarios

Con base en los trabajos de investigación ejecutados en el relleno sanitario de Bordo Poniente y las dificultades enfrentadas para la realización de los mismos, INCREMI desarrolló una propuesta de aspectos recomendados para la elaboración de un programa de Seguridad e Higiene específico para actividades relacionadas con la recuperación de rellenos sanitarios.

Aspectos Generales de Seguridad e Higiene.

Es de vital importancia el observar ciertos aspectos de seguridad general, tales como los que se mencionan a continuación:

- Vigilancia médica en el sitio (para trabajo bajo ciertas circunstancias específicas).
- Botiquín de primeros auxilios.
- Equipo de seguridad personal, permanentemente mantenido en el sitio, consistente en:
 - Casco protector
 - Botas de trabajo con protección de punta metálica
 - Anteojos de seguridad o careta protectora
 - Guantes (cuando se trabaja con residuos húmedos o cuando el lixiviado quede expuesto al ambiente)
 - Protección auditiva
 - Botas de neopreno con punta y suela metálicas
 - Overoles protectores
 - Guantes resistentes a sustancias químicas
 - Equipo de protección respiratoria.

Aspectos de Seguridad en Rellenos Sanitarios.

También se debe poner atención especial a incendios, que pueden iniciar espontáneamente o bien por alguna chispa creada por el equipo, e igualmente a las condiciones ambientales que pueden causar daño físico por exposición al biogás (especialmente por exposición a metano, dióxido de carbono y nitrógeno que son asfixiantes). Para ello se debe contar con:

- Equipo portátil para monitoreo ambiental (principalmente para explosividad y ausencia de oxígeno).
- Programa de monitoreo frecuente (principalmente para espacios confinados o semiconfinados).

Aspectos de Seguridad Especiales para Explotación o Excavación de Rellenos Sanitarios.

Se trata de medidas preventivas que deben observarse principalmente en las excavaciones.

- Acordonar la zona de excavación.
- No permitir que se fume o se enciendan fuegos en las inmediaciones de la excavación.
- Conservar alejados de la excavación todo tipo de solventes y materiales combustibles.
- No permitir la presencia de trabajadores en trinchera o a pié de excavación, durante la operación de maquinaria.
- Mantener a una persona responsable de observar los procedimientos de seguridad durante todo el tiempo de excavación.
- Nunca permitir que un trabajador labore solo en trinchera.
- Monitorear la atmósfera de la trinchera, previamente a la entrada de un trabajador y periódicamente durante la excavación.
- En caso necesario, únicamente permitir el uso de herramientas o equipos eléctricos a prueba de explosión.
- Equipo Especial de seguridad que debe portar cada trabajador, durante todo el tiempo de trabajo en trinchera, consistente en:
 - Equipo de respiración autónoma.
 - Soga o cuerda de vida con arnés, perfectamente ajustado al cuerpo del trabajador.
- Equipo Especial de apoyo que debe permanecer en la trinchera, durante todo el tiempo de excavación, consistente en:
 - Escalera metálica, con cuerda de seguridad.

REFERENCIAS

1. Shuval, Hillel, Composting Municipal Garbage in Israel, Tavruau, July-December 1958.
2. CalRecovery, Metro Manila Solid Waste Management Study, (1982).
3. Asamblea de Representantes del Distrito Federal, Memoria del foro sobre servicios de Limpia y recolección de basura en el D.F:
4. Morelli, J, Municipal Solid Waste Landfills: Optimization Integration, and Reclamation, NYSERDA, Albany, NY [return to text]