

Modelo de evaluación de gestión de residuos industriales aplicado en arenas descartadas de fundición

Miguel, Roberto E.; Porta, Atilio A.; Banda Noriega, Roxana B.

Resumen

Las arenas descartadas de fundición (ADF), residuo generado por las fundiciones, son dispuestas en vertederos controlados y no controlados. El objetivo del trabajo fue analizar químicamente las arenas y determinar la modalidad adecuada de disposición al aplicar el modelo de evaluación de manejo de residuos industriales bajo diferentes condiciones climáticas. Se colectaron 12 muestras y se sometieron a ensayos de lixiviación para determinar el contenido de fenoles y metales pesados; 10 de las muestras presentaron concentraciones inferiores a lo establecido en la Ley de Residuos Peligrosos. El modelo determinó que en áreas con extrema vulnerabilidad a la contaminación del recurso hídrico subterráneo, bajo condiciones de clima subhúmedo y húmedo, deben utilizarse vertederos con impermeabilización compuesta para disponer las ADF con concentraciones de fenoles mayores $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$, y para las ADF que provienen del sistema alquídico uretánico con Pb como constituyente.

Palabras clave: química ambiental, lixiviado, recurso hídrico subterráneo

El artículo se desarrolló en el marco de una Beca de Postgrado Tipo I de CONICET adjudicada al primer autor, bajo la dirección del Dr. A. A. Porta y la Ing. R.B. Banda Noriega, Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales –CINEA–, Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires –UNCPBA–, Tandil (Argentina); recibido en marzo de 2012, versión corregida en diciembre de 2012, admitido en mayo de 2013.

Autores: CINEA, Facultad de Ciencias Humanas, UNCPBA, Tandil (Argentina). www.cinea-unicen.org.ar
Contacto: estebanmiguel@gmail.com

Industrial waste management evaluation model applied to discarded foundry sands

Abstract

Waste foundry sands (WFS), discarded material generated by metal foundries, are disposed in either controlled or uncontrolled landfills. The present study was aimed to chemically analyze the sands and assess their disposal by means of an evaluation model of industrial waste under different climate conditions. Twelve samples were collected and subjected to leach tests to determine phenols and heavy metals concentrations. Ten of them showed concentrations below the regulatory limits of the Hazardous Waste Act. The model found that in areas with extreme vulnerability to pollution of groundwater resources, under humid climate conditions, composite lined landfills should be used to dispose the WFS with concentrations of phenols higher than 0.001 mg.L^{-1} , and for WFS that use urethane alkyd system with Pb as a constituent.

Keywords: environmental chemistry, leach testing, groundwater resources

Modelo de avaliação de gestão de resíduos industriais aplicado em areias descartadas de fundição

Resumo

As areias descartadas de fundição (ADF), resíduo gerado pelas fundições, são dispostas em aterros controlados e não controlados. O objetivo do trabalho foi analisar quimicamente as areias para determinar a forma adequada de disposição aplicando o modelo de avaliação de gestão de resíduos industriais sob diferentes condições climáticas. Foram coletadas 12 amostras e se submetidas a ensaios de lixiviação para determinar fenóis e metais pesados; 10 das amostras apresentaram concentrações inferiores ao estabelecido na Lei de Resíduos Perigosos. O modelo determinou que em áreas com extrema vulnerabilidade à poluição do recurso hídrico subterrâneo, sob condições de clima subúmido e úmido, devem ser usados aterros com impermeabilização composta para dispor as ADF com concentrações de fenóis maiores a $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$, e para as ADF que provêm do sistema alquídico uretânico com Pb como constituinte.

Palavras chave: química ambiental, lixiviado, recurso hídrico subterrâneo

I. Introducción

Las industrias de fundición en Argentina generan cada año miles de toneladas de arenas descartadas que son enviadas a disposición final en rellenos controlados y no controlados. Las arenas descartadas de fundición (ADF) son generadas en las instancias de desterronado y recicladas hasta que por razones técnicas y productivas deban desecharse. El envío de ADF a disposición final controlada constituye un importante costo para las empresas fundidoras, situación que se agrava cuando estos sitios llegan al final de su vida útil [1]. Sin embargo, las ADF son generalmente almacenadas transitoriamente o enviadas a disposición no controlada, situación que podría conducir, dependiendo de la carga dispuesta y condiciones del medio físico, a la contaminación del agua subterránea, generando un riesgo para la población que se apropie del recurso para consumo humano [2].

Este trabajo analiza las características químicas de las ADF originadas en fundiciones de Argentina y evalúa sus implicancias hacia el recurso hídrico subterráneo aplicando el modelo de evaluación de manejo de residuos industriales (IWEM) desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos bajo diferentes condiciones climáticas.

El documento proporciona información respecto de la modalidad de disposición de las ADF para favorecer la toma de decisiones por parte de las autoridades ambientales y los empresarios fundidores.

II. Marco teórico

Las industrias de fundición producen piezas de metales ferrosos y no ferrosos para abastecer el mercado automotriz, minero, de saneamiento, entre otros. Para la producción se confeccionan moldes en arena silíceo de río, que copian en su interior el negativo de las piezas. El bajo valor de mercado de la arena y sus propiedades físicas, refractarias y de permeabilidad posibilitan su uso extensivo en las fundiciones. Para mantener agregadas las partículas de arena se utilizan aglomerantes que se distinguen en tres tipos: el primero denominado de arenas verdes, constituidas por un 85-95% de arena silíceo natural y cantidades

menores de bentonita y carbón mineral; un segundo grupo de resinas químicas compuestas por un 98-99 % de arena y resinas tipo fenólico uretánicas, furánica y alquídicas [3], y por último, un tercer grupo constituido por arena silíceo (97-98%) y aglomerantes naturales, como aceites (lino-soja), polisacáridos y azúcares [4]. En los moldes se vierte el metal líquido que ocupa el espacio vacío; cuando el metal se solidifica, se colapsa el molde y se extrae la pieza. Una fracción de la arena del molde se recupera y otra se rechaza, instancia donde se generan las ADF. Estas tendrán características particulares dependiendo del tipo de aglomerante utilizado en la elaboración del molde. Se estima que anualmente se descartan en Argentina unas trescientas mil toneladas de ADF [5], y en Brasil, unas tres millones de toneladas [6].

La disposición de ADF es una problemática en aquellas regiones con fuerte impronta industrial metalmeccánica. A nivel internacional, en los últimos años se han hecho varias publicaciones sobre las características químicas de las ADF, trabajos que en su mayor parte concluyen que la mayoría de estas arenas deben ser consideradas como residuos no peligrosos, a excepción de las elaboradas con arenas de olivina o descartadas de fundiciones de cobre y aleaciones con altas concentraciones de Ni o Cu, Pb y Zn [7] [8] [9]. Estas investigaciones han sido acompañadas por estudios que promueven el uso de las ADF como subproductos en otros procesos productivos, como por ejemplo concreto asfáltico en caliente [9] y hormigones [10] en reemplazo de la arena silíceo natural. Estas acciones tienden a la gestión integral del residuo, a reducir consumo de recursos naturales y aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios y de seguridad.

En Latinoamérica, a excepción de Brasil, los organismos de aplicación no poseen legislaciones específicas sobre caracterización y gestión de ADF; además, el desconocimiento de las características químicas por parte de estos organismos y de los fundidores ha generado tensiones a la hora de establecer una adecuada gestión.

El presente trabajo pretende ampliar el conocimiento sobre las implicancias para el recurso hídrico subterráneo de las disposiciones de ADF mediante la aplicación del modelo de evaluación del manejo de residuos industriales (IWEM). Este software es un modelo simple diseñado con el

objetivo de determinar modalidades apropiadas para la gestión de residuos industriales no especiales y evitar impactos en el agua subterránea [11], y constituye una herramienta útil para la toma de decisiones.

Para ello, simula la concentración de los constituyentes del residuo en el recurso hídrico subterráneo a partir de la advección y dispersión del contaminante en zona saturada y no saturada. Utiliza como datos de entrada las concentraciones de analitos extraídos en ensayos de lixiviación y las condiciones hidrogeológicas de una determinada área de estudio. De esta forma, se determina cuál es la protección mínima necesaria para salvaguardar la salud humana. La liberación de los componentes presentes en los desechos desde el relleno hacia el suelo y el agua subterránea es debida a los procesos de disolución, lixiviación e infiltración. El tipo de impermeabilización, en gran medida, controla la cantidad de lixiviado que se libera de la unidad de disposición final; por otra parte, se estima que la concentración de los componentes de los residuos disminuirá con el tiempo debido al agotamiento de las sustancias vertidas. El valor de concentración de lixiviados se utiliza como dato de entrada, es decir, como la concentración potencial de un determinado componente que lixivia, desde la masa del residuo hacia el acuífero. No obstante, la disposición de ADF en vertederos debe ser considerada la situación menos adecuada en cuanto a la gestión del residuo, que puede ser utilizado en aplicaciones geotécnicas en suelo, valorizándose de tal forma el material de descarte.

III. Metodología

Se colectaron 12 muestras de ADF durante el año 2010 en fundiciones de localidades de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. El muestreo se realizó mediante el método de cuarteo IRAM 29523 [12] adaptado a las particularidades del residuo. Las muestras se envasaron en contenedores de polipropileno, se refrigeraron y almacenaron; posteriormente, se sometieron al ensayo de lixiviación EPA SW 846 1310b. Para ello, se colocaron 100 gramos de cada muestra homogénea de residuo en un recipiente junto a 1,6 L de agua bidestilada en una relación 1:16 p/p. Se agitaron por 24 hs. a 30 RPM; se corrigió el pH a 5 durante las seis primeras horas

del ensayo. Al finalizar el tiempo de agitación, la muestras se filtraron por un tamiz de 0.45 μm y se almacenaron a 4 °C para su conservación.

La determinación de As se efectuó por dietilcarbonato de plata, en tanto que la de Ag, Ba, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn se hizo por espectrofotometría de absorción atómica, mediante metodología estandarizada, llama de aire-acetileno en un espectrofotómetro Perkin-Elmer Analyst 300. El control de la calidad de las determinaciones analíticas fue realizado con el uso de soluciones de referencia certificadas (Atomic Absorption Standard AccuStandard or AccuTrace 1000 ppm). Las concentraciones se compararon con los límites establecidos en el Anexo VI de la Ley 24.051 de Residuos Peligrosos de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Republica Argentina [13].

Las concentraciones de los analitos que superaron el limite recomendado por el Código Alimentario Argentino (CAA) para agua de consumo humano se utilizaron para correr el modelo IWEM (Nivel 2) desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Se estableció como información de corrida del mismo la disposición de las ADF en un relleno de 10,000 m^3 -volumen aproximado a los vertederos no controlados relevados en el interior de la Provincia de Buenos Aires [14]-, en un medio natural de disposición final extremadamente vulnerable a la contaminación [15], bajo tres condiciones climáticas: seco, subhúmedo y húmedo. En la **Tabla 1** se presentan los parámetros del relleno y los parámetros subsuperficiales y superficiales utilizados.

Se calculó la concentración esperada para los diferentes analitos en el recurso hídrico subterráneo a 1 y 100 m del perímetro del relleno; el software contrastó las concentraciones con el criterio de calidad de agua potable establecido por el CAA bajo la premisa de que el recurso es utilizado para consumo humano. El modelo corrió en 10.000 oportunidades para cada analito bajo las condiciones de un relleno no controlado (sin impermeabilización), y se detuvo cuando la concentración se halló por debajo de lo estipulado en el CAA. Por el contrario, si la concentración era mayor, el modelo corrió nuevamente bajo condiciones de un relleno con un sistema de impermeabilización simple (arcilla) y posteriormente, de ser necesario, bajo un sistema de impermeabilización compuesto por barrera de arcilla y geomembrana (relleno sanitario).

TABLA 1. Parámetros del relleno, del medio físico natural y de compuestos cargados al software IWEM

Parámetros del relleno	
Volumen de material dispuesto	10.000 m ³
Altura del relleno	1 m
Profundidad del relleno bajo subsuelo	1 m
Permeabilidad del residuo	Alta permeabilidad

Parámetros subsuperficiales	
pH de agua subterránea	7,6
Profundidad del nivel freático	3 m
Gradiente hidráulico	0,01
Conductividad hidráulica	450 m.año ⁻¹
Espesor del acuífero	10 m
Suelo	Franco limoso
Ambiente subsuperficial	Ígneo metamórfico

Recarga del acuífero m.año⁻¹	Sin barrera	Barrera simple	Barrera compuesta
Seco (Pheonix, AZ)	1,0 E -5	1,7 E 5	Monte Carlo
Subhúmedo (Indianápolis, IN)	0,130	0,044	
Húmedo (Seattle, WA)	0,439	0,043	

Coef. de partición suelo-agua: modelo de especiación geoquímica MINTEQA2[16]

Compuestos[†]	Solubilidad mg.L⁻¹	Difusión en agua m².año⁻¹	Log K_{ow}
Fenoles totales (como fenol)	8,28 E +4	0,0325	1,23
Metales y metaloides	-	-	-

[†] Valores utilizados por el modelo por Default de acuerdo a parámetros USEPA

Se corrieron las muestras cuyos analitos superaron el límite del CAA y se estableció el modo adecuado para disponer las ADF bajo diferentes condiciones climáticas, dado que los valores de recarga al acuífero influyen en forma directa en las concentraciones esperadas aguas abajo

en las perforaciones. Los valores de recarga del acuífero utilizados para diferentes tipos climáticos están asociados a las diferentes regiones de Estados Unidos; para rellenos con barrera simple y barrera compuesta, el método propone valores puntuales determinados en rellenos localizados en estas regiones. Los valores de recarga en rellenos sin barrera están disponibles para diferentes regiones de Argentina en base a balances hídricos en suelo. Sin embargo, no se poseen datos de recarga de acuíferos en rellenos con barrera simple y compuesta, y es por ello que se usaron datos de regiones de Estados Unidos para correr el modelo.

IV. Resultados y discusión

Las doce muestras de ADF pertenecen a diferentes industrias; la mayoría de los moldes posteriormente descartados se elaboraron bajo sistemas de resinas químicas a excepción de la muestra 4, constituida por aglomerantes naturales. En la **Tabla 2** se presentan las particularidades de cada ADF.

TABLA 2. Características de las arenas descartadas de fundición muestreadas

Muestras	Tipo de aglomerante	Características
1, 2 y 3	Shell molding	Resina fenol formaldehído formadores de polímeros tipo novalac.
4	Aglomerante natural	Emulsión acuosa de aceite de soja, polisacáridos y azúcares
5 y 6	Fenólicas urétanicas	Resina fenol formaldehído formadores de polímeros tipo resole.
7, 8, 9, 10, 11 y 12	Lino Cure	Resina alquídica poliuretánica; posee sales de Pb como constituyente.

Las concentraciones de Cu, Ni y Zn en los lixiviados de las ADF resultaron por encima del límite de detección del método (LDM) en la mayoría de las muestras indicadas en la **Tabla 3**. As, Ba, Cd se detectaron por debajo del LDM en todas las muestras, en tanto que Ag y Cr estuvieron por encima del LDM en algunas. Estos elementos estuvieron muy por debajo de lo estipulado por la Ley 24.051 de Residuos Peligrosos y, en la mayoría de los casos, por debajo de lo establecido en el CAA.

Se detectó Pb en cinco muestras de las seis elaboradas con sistema alquídico uretánico. Una de las muestras (12) supera el límite establecido en la Ley 24.051; las restantes se encuentran por encima de valor máximo indicado en el CAA de 0,05 mg.l⁻¹.

TABLA 3. Concentraciones de elementos en arenas descartadas de fundición

Concentration mg.l ⁻¹										
	Ag	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fenoles totales
1	< 0,01	< 0,01	< 0,1	< 0,002	0,013	0,066	0,014	0,02	0,146	0,2
2	< 0,01	< 0,01	< 0,1	< 0,002	< 0,003	< 0,002	0,042	<0,02	0,036	< 0,1
3	< 0,01	< 0,01	< 0,1	< 0,002	0,013	0,022	0,008	<0,02	0,069	< 0,1
4	< 0,01	< 0,01	< 0,1	< 0,002	< 0,003	< 0,002	0,066	<0,02	0,043	< 0,1
5	†	< 0,01	†	< 0,002	< 0,003	< 0,002	< 0,008	<0,02	0,015	< 0,1
6	< 0,01	< 0,01	< 0,1	< 0,002	0,007	0,030	0,015	<0,02	0,015	< 0,1
7	0,016	< 0,01	< 0,1	< 0,002	0,007	0,009	< 0,008	0,41	0,024	< 0,1
8	0,025	< 0,01	< 0,1	< 0,002	< 0,003	< 0,002	< 0,008	<0,02	<0,001	< 0,1
9	< 0,01	< 0,01	< 0,1	< 0,002	< 0,003	0,004	0,014	0,66	0,052	< 0,1
10	< 0,01	< 0,01	< 0,1	< 0,002	< 0,003	0,017	< 0,008	0,97	0,054	< 0,1
11	< 0,01	< 0,01	< 0,1	< 0,002	< 0,003	0,017	0,008	1,31	0,048	< 0,1
12	†	< 0,01	†	< 0,002	< 0,003	< 0,002	< 0,008	0,14	0,072	< 0,1
LRP	5	1	100	0,5	5	100	1,34	1	500	0,1
CAA	0,05	0,01	-	0,005	0,05	1	0,02	0,05	5	0,001

† Elementos no determinados

LRP: Límite máximo establecido en el Anexo VI de la Ley 24.051 (Argentina)

CAA: Límite máximo para agua de consumo humano, Art. 982, Código Alimentario Argentino

Respecto de la determinación de fenoles totales, once de las doce muestras estuvieron por debajo del LDM, a excepción de la muestra 1, que duplicó la concentración límite de la Ley de Residuos Peligrosos. Debido a la sensibilidad del método utilizado en el estudio (LDM <0,1 mg.l⁻¹), no se pudo conocer si las concentraciones en el lixiviado de las ADF se encuentran por debajo de lo establecido en el CAA (0,001 mg.l⁻¹).

En síntesis, dos de las doce muestras se encuentran por encima de los límites de la Ley 24.051 por fenoles totales y Pb; éstas deben considerarse residuos peligrosos. El trabajo confirma antecedentes internacionales que postulan que la mayoría de las ADF deberían ser consideradas residuos no peligrosos.

Las concentraciones detectadas por encima del límite del CAA (Ni, Pb y fenoles totales) fueron cargadas y corridas en el software IWEM bajo condiciones de clima seco, subhúmedo y húmedo.

En la **Tabla 4** se presentan las concentraciones de Ni esperadas para las muestras 2 y 4, que superaron el límite del CAA de 0,02 mg.L⁻¹ para distancias de 1 y 100 m, bajo diferentes condiciones climáticas.

TABLA 4. Concentraciones percentil 90th de Ni modeladas aguas debajo de vertedero bajo diferentes barreras de protección y condiciones climáticas

Concentración de Ni mg.L ⁻¹			Clima Seco		Clima Subhúmedo		Clima Húmedo	
Condiciones de disposición	Muestra	[...]	1 m	100 m	1 m	100 m	1 m	100 m
Sin protección	2	0,042	0	2,5 E -8	0,034	0,018	0,042	0,035
	4	0,066	0	1,6 E -8	0,049	0,028	0,066	0,055
Barrera simple	2	0,042	-	-	0,020	-	0,017	0,004
	4	0,066	-	-	0,031	0,012	0,026	0,007
Barrera compuesta	2	0,042	-	-	0	-	-	-
	4	0,066	-	-	0	-	0	-

"0" fue considerado en concentraciones < 1,0 E -8

"-" el modelo no corrió debido a la baja concentraciones en la condición de disposición precedente

Las concentraciones de Ni aportadas por las muestras de ADF en relación al recurso hídrico subterráneo, para un clima seco, se encuentran por debajo del límite del CAA en todas las modalidades de disposición.

Para clima subhúmedo, las concentraciones para un relleno con barrera simple superan el límite de CAA para una perforación localizada a 1 m del relleno, a los 100 m las concentraciones se hallan por debajo de 0,02 mg.L⁻¹. Para un relleno con barrera compuesta, la concentración esperada debido al aporte de ADF es 0.

Para un clima húmedo, la muestra 4 supera el límite para una distancia de 1 m y resulta inferior para 100 m. Para un relleno con barrera compuesta, la concentración esperada es 0.

En la **Tabla 5** se presentan las concentraciones de Pb esperadas para las muestras 7, 9,10, 11 y 12, que superaron el límite del CAA de 0,05 mg.L⁻¹, para distancias de 1 y 100 m, bajo diferentes condiciones climáticas.

TABLA 5. Concentraciones percentil 90th de Pb modeladas aguas debajo de vertedero bajo diferentes barreras de protección y condiciones climáticas

Concentración de Pb mg.L ⁻¹			Clima Seco		Clima Subhúmedo		Clima Húmedo	
Condiciones de disposición	Muestra	[...]	1 m	100 m	1 m	100 m	1 m	100 m
Sin protección	7	0,41	0	0	0,327	0,178	0,41	0,347
	9	0,66	0	0	0,526	0,287	0,66	0,558
	10	0,97	0	0	0,774	0,422	0,97	0,818
	11	1,31	0	0	1,045	0,570	1,31	1,11
	12	0,14	0	0	0,112	0,061	0,14	0,118
Barrera simple	7	0,41	-	-	0,202	0,077	0,168	0,044
	9	0,66	-	-	0,324	0,124	0,267	0,070
	10	0,97	-	-	0,477	0,182	0,381	0,104
	11	1,31	-	-	0,644	0,246	0,539	0,140
	12	0,14	-	-	0,069	0,026	0,058	0,015
Barrera compuesta	7	0,41	-	-	0	0	0	0
	9	0,66	-	-	0	0	0	0
	10	0,97	-	-	0	0	0	0
	11	1,31	-	-	0	0	0	0
	12	0,14	-	-	0	-	0	-

"0" fue considerado en concentraciones < 1,0 E -8

"-"el modelo no corrió debido a la baja concentraciones en la condición de disposición precedente

Las concentraciones de Pb aportadas por las muestras de ADF hacia el recurso hídrico subterráneo, para un clima seco, se evaluaron como

0 mg.L⁻¹ para la modalidad de disposición sin protección. Por lo tanto, el modelo no corrió para las modalidades de disposición final con barrera simple y compuesta.

En condiciones de clima subhúmedo, todas las muestras superaron el límite establecido en CAA para Pb de 0,05 mg.L⁻¹, en las modalidades de disposición final sin protección y con protección con barrera simple para las distancias de 1 y 100 m.

El vertido de estas ADF en un relleno con protección compuesta arrojó una concentraciones de 0 mg.L⁻¹.

Los resultados de concentraciones de Pb en agua subterránea, para clima húmedo, fueron similares a los determinados por el modelo para clima subhúmedo.

Como consecuencia del uso de una técnica para determinar fenoles con un LDM alto en comparación con el límite máximo del CAA (0,001 mg.L⁻¹), se desconoce si las ADF estudiadas inciden en la calidad del recurso hídrico subterráneo. Por este motivo se corrieron en el modelo distintas concentraciones de fenoles totales (**Tabla 6**).

Las concentraciones de fenoles totales esperadas aguas abajo del relleno sin protección, para un clima seco, se hallan por debajo del límite del CAA, y por lo tanto no se evaluaron las modalidades de disposición con barrera simple y compuesta.

En condiciones de clima subhúmedo en rellenos sin protección, concentraciones en lixiviado mayores 0,001 mg.L⁻¹ aportan al agua subterránea valores mayores a lo establecido en CAA para ambas distancias desde el relleno. De manera similar ocurre para disposiciones efectuadas con barrera de protección simple. Las concentraciones para un relleno con protección compuesta se encuentran por debajo de lo recomendado por el CAA para todas las concentraciones estudiadas.

Los resultados de concentraciones de fenoles totales para clima húmedo fueron similares a los determinados por el modelo para clima subhúmedo.

TABLA 6. Concentraciones percentil 90th de fenoles totales modeladas aguas debajo de vertedero bajo diferentes barreras de protección y condiciones climáticas

Concentración de fenoles totales mg.L ⁻¹		Clima Seco		Clima Subhúmedo		Clima Húmedo	
Condiciones de disposición	[...]	1 m	100 m	1 m	100 m	1 m	100 m
Sin protección	0,200	1,3 E -5	6,5 E -6	0,159	0,079	0,200	0,169
	0,100	6,5 E -6	3,2 E -6	0,079	0,040	0,100	0,084
	0,050	3,2 E -6	1,6 E -6	0,040	0,020	0,050	0,042
	0,010	6,5 E -7	3,2 E -7	0,008	0,004	0,010	0,008
	0,005	3,2 E -7	6,5 E -8	0,004	0,002	0,005	0,004
	0,001	6,5 E -8	3,2 E -8	8,0 E -4	4,0 E -4	0,001	8,4 E -4
Barrera simple	0,200	0	0	0,093	0,034	0,086	0,022
	0,100	0	0	0,049	0,019	0,043	0,011
	0,050	0	0	0,024	0,008	0,022	0,005
	0,010	0	0	0,005	0,002	0,004	0,001
	0,005	0	0	0,003	8,4 E -4	0,002	5,0 E -4
	0,001	0	0	5,0 E -4	2,0 E -4	4,0 E -4	1,0 E -4
Barrera compuesta	0,200	-	-	5,6 E -5	5,6 E -7	7,9 E -8	2,9 E -5
	0,100	-	-	2,8 E -5	2,8 E -7	3,9 E -8	1,5 E -5
	0,050	-	-	1,7 E -5	1,7 E -7	1,9 E -8	7,5 E -6
	0,010	-	-	2,8 E -6	2,8 E -8	4,0 E -8	1,5 E -6
	0,005	-	-	1,4 E -6	-	0	-
	0,001	-	-	-	-	-	-

"0" fue considerado en concentraciones < 1,0 E -8

"-" el modelo no corrió debido a la baja concentraciones en la condición de disposición precedente

V. Conclusiones

Las arenas descartadas de fundición deben ser estudiadas en particular en cada fundición a fin de ser categorizadas como residuos peligrosos o no de acuerdo a la Ley 24.051. En este estudio, diez muestras –sobre un total de doce– deberían ser consideradas residuos no peligrosos.

Los resultados arrojados por el modelo de evaluación de manejo de residuos industriales (I.W.E.M.) sugieren que, en áreas con recursos hídricos subterráneos extremadamente vulnerables a la contaminación, utilizados como agua de consumo humano, y bajo condiciones de clima subhúmedo o húmedo, las ADF con concentraciones de fenoles totales mayores a $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$ o elaboradas con resinas alquídico poliuretánicas con Pb como constituyente, deben ser dispuestas en vertederos con barreras compuestas de arcilla y geomembrana.

Se recomienda efectuar el estudio de modalidades de disposición de residuos considerando las características hidrogeológicas particulares de las potenciales áreas de disposición final.

Referencias bibliográficas

- [1] WINKLER, E.S.; BOL´SHAKOV, A.A. (2000). *Characterization of foundry sand waste*. Chelsea Center for Recycling and Economic Development; University of Massachusetts, USA. Disponible en: < <http://www.chelsea-center.org/pdfs/TechReport31.pdf> > [3 de diciembre de 2012]
- [2] MIGUEL, R.E.; RUIZ DE GALARRETA, V.A.; BANDA NORIEGA, R.B. (2009) Impact to groundwater resources by landfill foundry industries waste in Tandil, Buenos Aires, Argentina. A preliminary study, en: *Boletín Geológico y Minero*, 120(4):583-594.
- [3] DUNGAN, R. S.; REEVES, J. B. (2005). Pyrolysis of foundry sand resins: A determination of organic products by mass spectrometry, en: *Journal of Environmental Science and Health*, 40:1557-1567.
- [4] CAREY, P. (2002). Sand, binders, sand preparation and coremaking, en: *Foundry management & Technology*, 130: 39-52.
- [5] MIGUEL, R.E.; BANDA NORIEGA R.B.; SOTA J.D., MARCOZZI R.G. (2010). Residuos de Arenas de Fundición. Tendencias y limitantes actuales en pos de una gestión integral. (pp.15). En: *Actas del Congreso Latinoamericano de Fundición COLFUN 2010*. Buenos Aires: CIFRA. En CD.
- [6] CARNIN, R.L., OLIVERA, S.C., POZZI, R.J., CARDOSO JUNIOR D.; FORGUERAS M.V.; MALKOWSKI, A. (2010). Desenvolvimento de peças de concreto (paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado, en: *Pavimentação*, 5:60-71.
- [7] DUNGAN, R.S. (2008). The characterization of trace metals and organics in spent foundry Sands over a one-year period, en: *Journal of Residuals Science and Technology*, 5(3):111-125.
- [8] DUNGAN, R.S.; DEES, N. (2009). The characterization of total and leachable metals in foundry moulding sands, en: *Journal of Environmental Management*, 90: 539-548.
- [9] DENG, A., 2009. Contaminants in waste foundry sands and its leachate, en: *International Journal Environment and Pollution*. 38,425-443.
- [9]. MARCOZZI, R.G; SOTA, J.D.; BANDA NORIEGA, R.B.; MIGUEL, R.E. (2008). Mezclas asfálticas en caliente: un medio para la valorización de residuos de arenas de fundición, en: *Infraestructura Vial*, 10(20): 21-29.
- [10]. SIDDIQUE, R.; SCHUTTER G.; NOUMOWE A. (2009) Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete, en: *Journal of Construction and Building Materials*, 23:976-980.
- [11] U.S.EPA. (2002). Industrial Waste Management Evaluation Model (IWEM) Non Hazardous Waste, Industrial Waste. Disponible en: < <http://www.epa.gov/osw/nonhaz/industrial/tools/iwem/> > [3 de diciembre de 2012]

- [12] IRAM, 2003. *Norma IRAM 29523. Determination of the composition of Unprocessed Urban Solid Waste. Environmental Quality - Soil Quality.*
- [13] Argentina, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Niveles de guía de calidad de suelos Anexo II, Tabla 9. Ley Nacional de Residuos Peligrosos 24.051 Decreto 831/93 (on line). Disponible en: < <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/normativa/File/AnexoVI.pdf> > [3 de diciembre de 2012]
- [14] MIGUEL, R.E. (2009). *Gestión de residuos de arenas de fundición en Tandil y su impacto en el sistema hídrico subterráneo.* Tesis de maestría, Facultad Regional La Plata de la Universidad Tecnológica Nacional, La Plata, Argentina. (Inédita).
- [15] FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. (2002). *Groundwater quality protection. A guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies.* USA: The World Bank.
- [16] U.S. EPA. (2002). Industrial Waste Management Evaluation Model (IWEM) Technical Background Document. EPA530-R-02-012. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste and Emergency Response. Washington, DC. < <http://www.epa.gov/osw/nonhaz/industrial/tools/iwem/sect-int.pdf> > [3 de diciembre de 2012]