

INCIDENCIA SOBRE EL SUELO DE LAS EMISIONES DE DOS PLANTAS INCINERADORAS DE RSU's (LA PALMA, CANARIAS).-II)CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Carmen D. ARBELO RODRIGUEZ, Ricardo DIAZ DIAZ y Antonio RODRIGUEZ RODRIGUEZ

Dpto. Edafología y Geología, Fac. Biología, Avda. Astrofísico Francisco Sánchez s/n, Universidad de La Laguna, 38204 La Laguna, Tenerife, I.Canarias

RESUMEN. En este trabajo se realiza una primera evaluación del contenido en metales pesados, totales y biodisponibles en los suelos afectados por las emisiones producidas por dos plantas de incineración de RSU en la Isla de La Palma (Canarias).

En los suelos naturales, el contenido en metales totales es superior en los andisoles que en los suelos vérticos, como consecuencia de un contenido diferencial y distintas condiciones de alteración, de los basaltos sobre los que se desarrollan. El porcentaje de metales totales en forma biodisponible es superior en los suelos vérticos que en los andisoles. En los suelos contaminados, el contenido en metales sigue siendo superior en los andisoles y en todos los casos significativamente superior al contenido en los suelos no afectados, aunque se observa un mayor incremento respecto a los valores de fondo en el caso de los suelos vérticos, lo que se atribuye a una diferente calidad en las cenizas.

Aunque los niveles de metales pesados no alcanzan valores muy por encima de los niveles de referencia más comúnmente citados en la bibliografía, sí se está produciendo una acumulación de metales en aquellos suelos más directamente afectados por las emisiones, particularmente en lo que respecta al Zn y al Cd.

INTRODUCCIÓN

En la primera parte de este trabajo (Rodríguez Rodríguez et al., 2000), se han expuesto algunas consideraciones y los efectos de las emisiones de las plantas incineradoras de RSU sobre las características químicas generales de los suelos de su entorno.

Los resultados indican que aunque las cenizas depositadas en el suelo provocan un incremento de la alcalinidad, la salinidad y el contenido en cationes en los horizontes superficiales del suelo, este incremento no ha tenido hasta el momento consecuencias ecológicas negativas para la vegetación y los ecosistemas.

De entre los contaminantes emitidos en la incineración de basuras urbanas (RSU), unos de los más nocivos son los metales pesados, por su carácter bioacumulativo y su capacidad de dispersarse a través de las cadenas tróficas. Las fuentes de metales pesados en los RSU son muy diversas y éstos en función de comportamiento físico-químico durante la combustión, del perfil térmico en las diferentes fases del proceso de incineración y de su volatilidad, tienden a concentrarse en las escorias, las cenizas o los gases de combustión, aunque es generalmente admitido que su salida del horno incinerador se produce de forma mayoritaria en las cenizas.

En este trabajo se realiza una primera evaluación del contenido en metales pesados, totales y biodisponibles en los suelos del entorno de las plantas incineradoras de RSU situadas en Barlovento y Mazo (La Palma).

MATERIAL Y MÉTODOS

El emplazamiento de las plantas incineradoras, la tipología y características generales de los suelos y entorno afectado y la metodología general de muestreo, ha sido descrita en el trabajo citado anteriormente (Rodríguez Rodríguez et al., 2000).

Para la caracterización de los metales pesados hemos de tener en cuenta que el contenido y dinámica de metales pesados contaminantes en suelos, ha sido uno de los temas más estudiados en relación con los aspectos ambientales de la Ciencia del Suelo.

El estudio de las interacciones entre metales pesados y suelos y entre metales y organismos, ha puesto de relieve conceptos tales como especiación y biodisponibilidad, poniendo de manifiesto que mucho más importante que el contenido total es su distribución, forma o especie en que se encuentra el elemento en el suelo, ya que se observan diferencias importantes de toxicidad de los metales pesados, según la forma o especie en que se encuentren en el suelo. Así la especiación de los metales es un aspecto de la dinámica de los mismos en el suelo que ha adquirido una considerable importancia en su evaluación como agentes contaminantes. En esta primera evaluación, nosotros hemos realizado la determinación de los siguientes metales: Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Cr, Ni y Pb en dos aspectos:

*Metales totales: extracción con HNO_3 en baño termostático a 80°C durante 2 h.

*Especies biodisponibles o asimilables: extracción con AcONH_4 0.5N y EDTA 0.02M a pH 4.65 (Arbelo y Espino, 1996)

En ambos casos la determinación se realizó por Espectroscopía de Absorción Atómica.

Se han muestreado y analizado además, las cenizas emitidas por la chimenea de cada incineradora y depositadas en las proximidades de la misma. En cada muestra se ha determinado por triplicado su contenido total en metales pesados, previa incineración hasta 600°C de 1 gr de muestra de diámetro de partícula inferior a 0,5 mm y disolución en HCl 6N y el contenido en metales biodisponibles por extracción con EDTA 0.02 M a pH 4,65. La determinación se llevó a cabo por Espectroscopía de Absorción Atómica en ambos casos.

RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Suelos no afectados por las emisiones.- En la [Tabla 1](#) aparecen el contenido total y en formas biodisponibles de metales pesados en los suelos naturales, no afectados por las emisiones, en el entorno de ambas incineradoras.

En lo que se refiere al contenido total en metales, se observa que excepto para Cr y Mn, los valores son siempre superiores en los andisoles que en los vertisoles. Si atendemos a las especies biodisponibles, es decir, aquellas formas más fácilmente asimilables por las plantas y más fácilmente dispersables en los diferentes compartimentos ambientales, los valores obtenidos son lógicamente inferiores a los que se encuentran para metales totales y además no se observa una tendencia definida al comparar ambos suelos, lo que parece indicar que los valores más altos en los andisoles, corresponden a especies ligadas a la fase sólida y por tanto no asimilables, lo cual es explicable, al menos en parte, por el particular comportamiento de estos suelos y su alto contenido en materia orgánica, que hace que presenten una elevada capacidad amortiguadora respecto a los metales, al complejarlos en forma de complejos organometálicos insolubles, disminuyendo así su biodisponibilidad.

Suelos afectados por las emisiones.- Un aspecto muy controvertido en la contaminación de suelos por metales pesados, es el poder establecer cuando un suelo está contaminado y cuáles son las concentraciones y especies de metales que son realmente tóxicas para el propio suelo, para otros compartimentos ambientales y para las cadenas tróficas.

Es pues necesario (García y Dorronsoro, 1999) definir los valores máximos admisibles y disponer de valores de referencia con los que comparar los resultados obtenidos para un suelo en particular.

Estos valores de referencia han de establecerse a partir de los valores normales (o de fondo) que presentan los suelos naturales en emplazamientos no contaminados por causas antrópicas, mediante diferentes aproximaciones y tratamientos matemáticos (MIMAM.-2000).

En la [Tabla 2](#) aparecen los valores de referencia establecidos por algunas Comunidades Autónomas y por diversos países pioneros en la investigación de suelos contaminados, tomados de la revisión efectuada por el MIMAM.-2000.

Si comparamos los resultados obtenidos por nosotros ([Tabla 3](#)) con los niveles de referencia de la [Tabla 2](#), podemos observar como más destacable que en los suelos vérticos se supera el nivel de riesgo aceptable para la protección de los ecosistemas, según la normativa del País Vasco, para Cu, Zn y Cd en el horizonte superficial del suelo, mientras que en los suelos ándicos, este umbral es superado para Cu, Zn, Cd y Pb, llegando el contenido total de Zn a superar los niveles de fitotoxicidad. No se supera en ningún caso, cualquier otro valor de referencia, de los establecidos en la revisión del MIMAM, como más importantes e incluso para algunos metales(Ni, Cr) los valores encontrados son inferiores a los reseñados como niveles de fondo en suelos derivados de materiales volcánicos.

Al comparar estadísticamente el contenido en metales pesados en los suelos afectados y no afectados por las emisiones (Tablas [4](#) y [5](#)) (Test U de Mann-Whitney), se observa que en los suelos afectados el contenido en metales pesados es significativamente superior para todos ellos, excepto para el Mn en los suelos vérticos y para Cu, Zn y Pb en los andisoles de la planta de Mazo.

Estos hechos parecen indicar que aunque los niveles no llegan a ser alarmantes, sí se está produciendo una acumulación de metales pesados en aquellos suelos más directamente afectados por las emisiones.

El contenido en metales biodisponibles en los suelos afectados por las emisiones, es también alto, particularmente para Zn y Cd en los andisoles ([Tabla 3](#)). Comparando estadísticamente los valores de especies metálicas biodisponibles entre suelos afectados y no afectados (Tablas [6](#) y [7](#)) /Test U de Mann-Whitney), observamos que las diferencias son significativas para todos ellos, salvo para Mn y Cd en los suelos vérticos y para Fe, Mn y Ni en los andisoles.

Se pone de nuevo de manifiesto lo señalado anteriormente y puede decirse que el mayor peligro potencial de contaminación del suelo por metales pesados provenientes de las plantas incineradoras, lo representan el Zn y el Cd.

En la [Tabla 8](#) aparecen los resultados del análisis del contenido en metales pesados totales y biodisponibles en las cenizas emitidas por la chimenea de las incineradoras. Hay que señalar como más destacable que las cenizas emitidas por la planta de Barlovento contienen una cantidad de metales pesados totales, varias veces superior a la de las

cenizas procedentes de la planta de Mazo, particularmente en Pb, Ni, Zn y Cu. Una situación inversa se observa para los elementos mayores (Ca, Mg, Na y K), donde los contenidos son superiores en las cenizas emitidas por esta última incineradora.

Como se presupone que la composición de los RSU's incinerados, tienen una composición media similar en toda la isla (basuras urbanas), las diferencias apuntadas podrían tener su explicación en una diferente calidad en el sistema de combustión de ambas incineradoras. En efecto, una mejor calidad en el proceso de combustión, implica una menor concentración de metales pesados residuales en las cenizas, ya que éstos son transformados en escorias o gases de combustión y a su vez un enriquecimiento de aquellas en cationes propios de combustiones orgánicas como Ca, K, Mg y Na.

Así pues, la planta de Barlovento, más antigua y técnicamente más deficiente que la de Mazo, es la que emite cenizas con mayor poder contaminante, al menos en lo que respecta a los metales pesados, debido a una combustión incompleta de los residuos.

Vemos pues que los contenidos totales en metales pesados en los suelos naturales, no afectados, que podemos considerar como "valores de fondo", son siempre superiores en los andisoles que en los suelos vérticos, derivados del mayor contenido en metales en los basaltos cuaternarios sobre los que se desarrollan aquellos, que en los basaltos pliocénicos a partir de los que evolucionan los suelos vérticos. Esta misma tendencia, más amortiguada, se mantiene para las especies biodisponibles, aunque el porcentaje de metales totales que está en forma biodisponible es superior en los suelos vérticos que en los andisoles.

En los suelos afectados por las emisiones el contenido en metales pesados, tanto en especies biodisponibles como en contenido total, sigue siendo superior en los andisoles que en los suelos vérticos, pero si, como hemos visto, comparamos los suelos afectados con los no afectados la significación de las diferencias es mayor en el caso de los suelos vérticos y además el incremento porcentual en los suelos teóricamente contaminados es mucho más alto en este caso, al menos para el contenido total en metales, lo que indica como ya hemos señalado anteriormente, que las cenizas emitidas en el entorno de los suelos vérticos (planta de Barlovento) tienen un mayor poder contaminante.

Sin embargo, para el caso de las especies biodisponibles, los incrementos porcentuales entre suelos afectados y no afectados, son mayores para el caso de los andisoles, aunque el contenido en metales biodisponibles en las cenizas, es también superior en aquellas procedentes de la planta de Barlovento.

Este hecho puede explicarse por el pH del suelo, inferior en el caso de los andisoles, lo cual facilita una más rápida disolución de las cenizas y también por la intervención del factor tiempo, ya que si bien en los suelos naturales la fijación y bloqueo de los metales en la fase sólida tiene lugar a medida que se produce su liberación por alteración, este proceso es mucho más lento en el caso de los metales liberados por disolución de las cenizas.

REFERENCIAS

Alloway, B.J. (1990). Heavy metals in soils. John Wiley & Sons. New York

Arbelo, C.D. y M. Espino (1996). Evaluación del uso de EDTA y DTPA como extractantes de micronutrientes en suelos regados con aguas depuradas. IV Congreso de la SECS. Lérida, 1996. P.353

CEC (1986). Council Directive of 12 June 1986 on the protection of the environment and in particular of the soil, when sewage sludges is used in agriculture. Official Journ. of the European Communities N° L 181/6-12, 4 July 1986.

Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (1999). Criterios y estándares para declarar un suelo contaminado en Andalucía y la metodología y técnicas de toma de muestras y análisis para su investigación. Resúmen.

García, I. y C. Dorronsoro (1999). Contaminación por metales. Introducción. En Tecnología de suelos. Depto. Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada.

IHOBE (1998). Valores indicativos de evaluación. En Investigación de la contaminación del suelo. Dpto. Urbanismo, Vivienda y Medio Ambiente, Gobierno Vasco. España.

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (1984). Trace elements in soils and plants. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida, 315 p

Macías, F. (1993). Contaminación de suelos: algunos hechos y perspectivas. Problemática Geoambiental y Desarrollo, 53-74, SEGAOT, Murcia.

MIMAM (2000). Propuesta, a nivel nacional, de valores de referencia para metales pesados. Documento 0. Ministerio de Medio Ambiente-CSIC Albal (Valencia), 19 p.

Petts, J. and G. Eduljee (1994). Environmental Impact Assessment for Waste treatment and disposal facilities. John Wiley and Sons, 485 p.

Rodríguez Rodríguez, A.; M.C. González, L.A. Hernández, C.C. Jiménez, M.J. Ortega, P.A. Padrón, J.M. Torres and G.E. Vargas(1993). Assessment of Soil Degradation in the Canary Islands (Spain). Land Degradation & Rehabilitation, 4:11-20.

Rodríguez Rodríguez, A.;C.D.Arbelo y C.C. Jiménez(1997).Identificación y recuperación del medio contaminado por los lixiviados del vertedero de Arico. Norma Metodológica. Informe Hydra Consultores, 13 p.

Rodríguez Rodríguez, A.; C.D. Arbelo y R. Díaz (2000). Incidencia sobre el suelo de las emisiones de dos plantas incineradoras de RSU's (La Palma, Canarias). I)Efectos sobre las características generales del suelo. V Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Baeza (Jaén), Septiembre-2000

US-EPA(1995). Determination of background concentrations of inorganics in soils and sediments at hazardous waste site. United States Environmental Protection Agency. Office of Res. and Develp. EPA/540/S-96/500

Tablas y Figuras.

Tabla 1. Contenido en metales pesados (mg kg⁻¹). Suelos NO afectados por las emisiones

	cm	Barlovento (Suelos vérticos)		Mazo (Andisoles)	
		Total	Biodisponible	Total	Biodisponible
Fe	0-5	9347	225	16428	419
	5-20	8377	325	20204	282
Cu	0-5	5.8	3.7	18.8	3.2
	5-20	5.4	3.6	20.8	2.9
Mn	0-5	772	447	692	64.2
	5-20	783	568	703	8.8
Zn	0-5	11.2	4.3	48.8	15.2
	5-20	7.3	1.4	25.5	3.9
Cd	0-5	n.d.	0.5	0.6	0.4
	5-20	n.d.	0.5	0.9	0.4
Ni	0-5	6.7	2.1	21.5	1.7
	5-20	6.6	2.2	23.2	1.2
Pb	0-5	5.3	3.9	11.3	4.5
	5-20	4.4	3.8	11.6	2.9
Cr	0-5	6.6	n.d.	2.6	n.d.
	5-20	5.5	n.d.	3.5	n.d.

Tabla 2. Umbrales de referencia y de fondo de metales totales (mg kg^{-1}) en algunos sistemas.

	1	2	3	4	5	6	7
Cu	24	250	150-300	300-500	500	100	41
Zn	106	840	300-600	500-1000	3000	300	78.5
Cd	0.8	18	3-7	5-10	20	5	-
Ni	40	280	80-200	100-300	500	100	30
Pb	44	330	250-350	400-500	600	100	20
Cr	-	-	250-400	250-400	800	100	85

1.-Nivel de riesgo aceptable para la protección de ecosistemas (País Vasco) (IHOBE, 1998)

2.-Nivel de riesgo inaceptable. Necesidad de actuación en el ecosistema (País Vasco) (IHOBE, 1998)

3.-Nivel de investigación obligatoria. Suelos de $\text{pH} < 7$ (Andalucía) (Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, 1999)

4.-Idem. Suelos de $\text{pH} > 7$

5.-Valor C de suelos que deben ser saneados en Holanda (Macías, 1993)

6.-Umbrales de fitotoxicidad (Kabata-Pendias, 1979). Indicativo a nivel general, ya que depende de otros factores

7.-Concentración de metales pesados en suelos no contaminados (Valores de fondo) sobre rocas volcánicas (USA)(US-EPA, 1995)

Tabla 3. Contenido en metales pesados (mg kg⁻¹). Suelos afectados por las emisiones

	cm	Barlovento (Suelos vérticos)		Mazo (Andisoles)	
		total	biodisponible	total	biodisponible
Fe	0-5	22542	329	15913	379
	5-20	23819	243	18092	293
Cu	0-5	27.2	10.7	42.1	14.0
	5-20	18.1	4.3	21.4	3.3
Mn	0-5	1039	257	589	38.9
	5-20	1084	205	705	7.7
Zn	0-5	203	120	308	158
	5-20	20.4	6.9	38.8	10.5
Cd	0-5	1.2	0.8	2.0	1.3
	5-20	0.3	0.4	0.9	0.4
Ni	0-5	20.1	2.9	17.3	2.3
	5-20	20.1	2.5	19.2	1.2
Pb	0-5	28.1	16.3	54.3	27.5
	5-20	9.4	4.0	14.2	4.6
Cr	0-5	17.9	0.5	5.8	0.8
	5-20	17.8	n.d.	3.5	0.2

Tabla 4.- Comparación estadística entre los metales pesados totales de suelos afectados y no afectados por las emisiones (Barlovento)

	Fe	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb	Cr
U	0	0	3	0	0	0	0	0
p	0.0495	0.0495	0.5127	0.0495	0.0495	0.0495	0.0495	0.0495
$\alpha=0.05$	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI

Tabla 5.- Comparación estadística entre los metales pesados totales de suelos afectados y no afectados por las emisiones (Mazo)

	Fe	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb	Cr
U	4	0	3	0	1	1	0	1
p	0.8273	0.0495	0.5127	0.0495	0.1266	0.1266	0.0495	0.1266
$\alpha=0.05$	NO	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO

Tabla 6.- Comparación estadística entre los metales pesados biodisponibles de suelos afectados y no afectados por las emisiones (Barlovento)

	Fe	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb	Cr
U	0	0	1	0	3	0	0	0
p	0.0495	0.0495	0.1266	0.0495	0.5127	0.0495	0.0495	0.0495
$\alpha=0.05$	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI

Tabla 7.- Comparación estadística entre los metales pesados biodisponibles de suelos afectados y no afectados por las emisiones (Mazo)

	Fe	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb	Cr
U	4	0	4	0	0	3	0	0
p	0.8273	0.0495	0.8273	0.0495	0.0495	0.5127	0.0495	0.0495
$\alpha=0.05$	NO	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI

Tabla 8.- Metales pesados totales y biodisponibles (mgkg^{-1}) en las cenizas emitidas por las plantas incineradoras

	Totales		Biodisponibles	
	Barlovento	Mazo	Barlovento	Mazo
Fe	10848	4833	135	49
Cu	1714	574	515	59
Mn	1020	566	200	21
Zn	9279	2696	6650	878
Cd	15,3	15,5	12	6,2
Ni	131	26	11,3	4,9
Pb	2748	471	914	81
Cr	97,6	204	2,0	2,4
Ca	11,7	16,1	n.d.	n.d.
Mg	6,7	10,8	n.d.	n.d.
Na	0,2	0,7	n.d.	n.d.
K	2,2	3,1	n.d.	n.d.