

## **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**

Antonio RODRIGUEZ RODRIGUEZ, Carmen D. ARBELO RODRIGUEZ, Ricardo DIAZ DIAZ y J. L. MORA HERNÁNDEZ

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 presentan los resultados de un estudio encaminado a evaluar la incidencia sobre las características generales del suelo de las emisiones producidas por dos plantas de incineración de RSU en la Isla de La Palma (Canarias). En un caso los suelos tienen características vérticas y sustentan un pastizal árido, mientras que en el otro, los suelos son ándicos y están colonizados por una vegetación típica de fayal-brezal.

El efecto de las cenizas sobre el suelo se manifiesta en un significativo aumento de la alcalinidad, la salinidad y algunos cationes, con respecto a los suelos no afectados. Este aumento es mucho mayor en el caso de los suelos vérticos que en los ándicos, debido a su menor capacidad de amortiguación, aunque en ningún caso se observan consecuencias ecológicas negativas.

En una segunda parte de este trabajo se realiza una evaluación de la contaminación por metales pesados en estos suelos.

## **INTRODUCCIÓN**

La incineración de RSU, tal como la entendemos hoy día, tiene su inicio a finales del Siglo pasado, considerándose que el primer incinerador municipal de basuras se instaló en el Reino Unido en 1874. Luego de múltiples vicisitudes e innumerables mejoras técnicas en los procesos, a partir de los años 80 de este siglo, la incineración de residuos ha experimentado un considerable y quizás definitivo impulso al desarrollarse nuevos

sistemas de combustión y de tratamiento de gases, que nos llevan a una situación cercana a la emisión quasi-nula a la atmósfera (Baldasano,1997).

Puede definirse pues la incineración de RSU, como un proceso de combustión controlada que transforma las basuras en gases de combustión, escorias y cenizas reduciéndose su peso en aproximadamente un 75% y su volumen en un 90%.

A pesar de estas mejoras técnicas, de las enormes posibilidades de todo tipo de la incineración y de considerarse como un sistema de tratamiento de residuos ambientalmente seguro, muchas plantas incineradoras actualmente en servicio, bien por deficiencias técnicas, obsolescencia o mala gestión, emiten al medio numerosos compuestos con capacidad de contaminación de los diferentes compartimentos ambientales.

Entre éstos se encuentra el suelo que constituye un sistema abierto y complejo, donde destacan por su actividad las disoluciones edáficas y los componentes coloidales(humus, arcillas, oxihidróxidos) que, junto con la fracción microbiana son los responsables de las variadas respuestas del suelo a las modificaciones del medio impuestas por la contaminación ambiental.

Los suelos de Canarias presentan además, una serie de particularidades a este respecto ya que por su origen volcánico poseen, por lo general, una fracción coloidal dominada por compuestos de carga variable con una elevada superficie específica. Este tipo de componentes determinan unas propiedades físicas y químicas peculiares ya que, por ejemplo los altos contenidos en Al y Fe reactivos, junto a una capacidad de cambio iónico fuertemente dependiente del pH y la fuerza iónica, pueden en cierta manera explicar el comportamiento de estos suelos frente a la dinámica de la contaminación, favoreciendo la especiación y disminuyendo la biodisponibilidad de la mayoría de los metales pesados.

En esta línea, este trabajo tiene como objetivo el realizar una primera evaluación del estado actual de los suelos del entorno de las plantas incineradoras de RSU situadas en Barlovento y Mazo (La Palma) y la posible incidencia en su funcionamiento productivo y ambiental de las emisiones que en forma líquida (lluvias) o en deposiciones sólidas (cenizas) llegan hasta el suelo.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

Las estaciones incineradoras se encuentran situadas al Este de la isla de La Palma, y por lo tanto expuestas directamente a los vientos alisios del NE que de manera constante afectan al archipiélago.

Los suelos en el entorno de las plantas incineradoras son muy diferentes tipológica y morfológicamente en ambos emplazamientos.

Barlovento.- Los suelos de las terrazas abandonadas del entorno de la planta donde se ha realizado el muestreo son *vertisoles* y *suelos pardos vérticos*, que pueden clasificarse como

\*Sistema FAO (WRB, 1998).- Vertisoles háplicos y Cambisoles vérticos

\*Sistema Soil Taxonomy (USDA, 1999).- Haplusterts líticos y Haplustepts vérticos.

La superficie del suelo además del agrietamiento pseudo-hexagonal característico, presenta en el caso de aquellos suelos sometidos a la influencia directa de las emisiones una delgada capa (2-5 mm.) de cenizas de color negro o gris muy oscuro.

Mazo.- En esta zona, los suelos presentes en el entorno de la planta incineradora son los característicos del monte verde, es decir *andosoles* y *suelos ándicos* que pueden clasificarse como:

\*Sistema FAO (WRB, 1998).- Andosoles lépticos y Cambisoles ándicos

\*Sistema Soil Taxonomy (USDA, 1999).- Haplustands líticos y Haplustepts ándicos.

La superficie del suelo presenta una capa de cenizas blanquecinas con numerosos restos no quemados procedentes de la incineradora, de aproximadamente unos 5 cm. de espesor (mucho más espesa que en Barlovento), que reposa directamente sobre un mantillo de hojarasca y musgos que tapizan el horizonte orgánico superficial.

Para cada planta incineradora se han muestreado dos situaciones

Barlovento.- A 50-70 m. aproximadamente de la chimenea de la planta, en dirección NW. Esta situación es la que se considera como suelo afectado por las emisiones, ya que es la situación en la que el penacho o pluma de la chimenea se mantiene más frecuente y más constantemente a ras del suelo.

Las muestras se han tomado por triplicado y para ello se han considerado tres puntos de muestreo (B1, B2 y B3) distantes entre sí aproximadamente 5-10 m. en dirección W. La vegetación en la zona muestreada, corresponde a plantas herbáceas anuales de sustitución, secas en el momento del muestreo.

En cada punto se han tomado muestras a dos profundidades diferentes:

B1a, B2a y B3a: entre 0-5 cm. de profundidad. Corresponde a la zona más superficial del suelo y la que, aparentemente en el campo, se encuentra más afectada por las deposiciones sólidas. B1b, B2b y B3b: entre 5-20 cm. de profundidad. Corresponde a la zona más profunda y aparentemente no afectada por las cenizas de la chimenea. Además

en el entorno de cada punto de muestreo y distribuidas al azar, se tomaron tres muestras superficiales (0-5 cm.) para la determinación del pH, lo que hacen un total de 12 muestras de pH superficial.

Por otro lado y con objeto de establecer comparaciones, se consideró otra situación de muestreo situada a unos 200-250 m. de la chimenea de la planta en orientación SE, es decir en dirección opuesta a la de los vientos dominantes y donde nunca llega el penacho de emisiones, por lo que puede considerarse como suelo no afectado por las emisiones. Se han considerado también tres puntos de muestreo (B4, B5 y B6) y dos profundidades, como en la situación anterior. Ya que como se ha dicho, el objetivo de este muestreo es el realizar un análisis comparativo con la situación anterior, se han tomado asimismo muestras a dos profundidades: 0-5cms (B4a, B5a y B6a) y 5-20 cm. (B5b).

Mazo.- Se ha seguido una metodología de muestreo similar a la utilizada en Barlovento. La situación considerada como suelo afectado por las emisiones se localiza a unos 50 m. de la chimenea de la planta en dirección S, hacia donde más frecuentemente y con mayor constancia se dirige el penacho de emisiones de la chimenea. Se trata de una ladera de pendiente fuerte (20-30%) con vegetación natural de fayal-brezal, donde se han localizado tres puntos de muestreo (M1, M2 y M3), que se han muestreado de manera similar a la descrita más arriba.

La zona no afectada por las emisiones, se localiza a unos 200-300 m en dirección NE, también con vegetación de fayal-brezal, en algunas áreas aclarado por deforestación. La metodología de muestreo es similar (muestras M4, M5 y M6).

Las técnicas analíticas utilizadas para los suelos han sido las siguientes:

pH.-En suspensión suelo/agua 1/2.5

Carbono orgánico.-Según método Walkley-Black (1934)

Nitrógeno total.-Mediante digestión Kjeldhalk (Tecator 1026)

Nutrientes catiónicos asimilables (Ca, Mg, K) y Na.-Mediante extracción con  $\text{AcONH}_4$  1N a pH 7 y determinación por espectroscopía de absorción atómica.

Fósforo asimilable.- Método de Olsen (Watanabe and Olsen,1965).

Conductividad eléctrica (salinidad).- En la solución del suelo extraída de una suspensión suelo/agua 1/5.

Cloruros.-En el extracto 1/5, por valoración automática con electrodo Ag/AgCl.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Barlovento ([Tabla 1](#)).- Los vertisoles y suelos vérticos dominantes en esta zona se caracterizan por su pH neutro y por su baja salinidad (suelos no salinos- $CE_{1.5} < 0.36 \text{ dSm}^{-1}$ ). El contenido en carbono orgánico es alto y existe una adecuada provisión de nitrógeno para la vegetación, aunque son bajos los niveles de fósforo asimilable ( $P_{\text{bajo}} = 11-20 \text{ mgkg}^{-1}$ ). En cuanto a los nutrientes catiónicos los contenidos son bajos para calcio y potasio y muy altos para el magnesio. No existen problemas de sodicidad en el suelo ya que el contenido en sodio no supera el 15% del total de cationes asimilables. Se observa siempre una cierta y lógica tendencia a un aumento de todos los parámetros (nutrientes, salinidad, materia orgánica) en la capa más superficial de acumulación de restos vegetales y proliferación de raicillas.

Se trata pues, de suelos con una fertilidad moderada-baja, donde la textura arcillosa y las deficiencias en fósforo, potasio y calcio, son las principales limitaciones que presentan para la producción de biomasa.

En los mismos suelos, afectados por las emisiones y por lo tanto potencialmente contaminados se observa un incremento de la mayoría de los parámetros (nutrientes, salinidad, materia orgánica) en el horizonte más superficial del suelo, donde además de los restos vegetales y las raicillas de las gramíneas, se produce una acumulación milimétrica de cenizas, visibles en el campo. En este caso el incremento porcentual de los niveles obtenidos es muy superior al observado en los suelos no afectados por las emisiones (hasta 3 veces superior al observado para CE, C orgánico y Ca, y 2 veces superior para P y K), lo cual puede interpretarse como un efecto de la acumulación de cenizas procedente de las emisiones de la planta.

Si comparamos estadísticamente los datos obtenidos ([Tabla 2](#)) (Test U de Mann-Whitney), observamos que en los suelos afectados por las emisiones el pH, la salinidad y el contenido en calcio, magnesio y potasio, son significativamente mayores que en los suelos naturales, lo cual indica claramente que existe una influencia directa de las emisiones de la planta, interpretándose este aumento en la alcalinidad, salinidad y cationes como originado por la deposición seca de las cenizas de combustión directa, que como es conocido tienen una clara reacción alcalina.

Mazo ([Tabla 3](#)).- Los andisoles y suelos ándicos que caracterizan el entorno de esta planta presentan un pH ligeramente ácido ( $pH=5.6-6.5$ ), baja salinidad y contenidos muy altos de materia orgánica y nitrógeno. Estos elevados valores de materia orgánica, hacen que estos suelos presenten una elevada capacidad amortiguadora respecto a los metales contaminantes, al complejarlos en forma de complejos organometálicos insolubles, disminuyendo así su biodisponibilidad. En lo que se refiere al resto de nutrientes se encuentran todos en los niveles adecuados si exceptuamos el fósforo, con valores inferiores a  $20 \text{ mgkg}^{-1}$ .

Se trata en este caso de suelos con una fertilidad alta, ya que la principal limitación que presentan (la deficiencia de fósforo), común por otra parte, a todos los andisoles, es derivada del pH ácido y fácilmente subsanable. Al igual que se ha observado en el caso de la incineradora de Barlovento, se produce un notable incremento de la mayoría de los parámetros en la capa centimétrica de acumulación de cenizas. Este incremento, que como hemos visto, se produce también en los suelos no afectados por las emisiones, es en este caso notablemente superior porcentualmente y así aumenta hasta 3 veces más que en aquellos, el contenido en Ca y N y 2 veces más la CE, el P y el C, poniéndose de manifiesto de nuevo la influencia de las cenizas depositadas en la superficie del suelo.

Al comparar estadísticamente los datos obtenidos ([Tabla 4](#)) (Test U de Mann-Whitney), se observa que en los suelos afectados por las emisiones aparecen unos valores de pH, salinidad y contenido en calcio que son significativamente mayores que en los suelos no afectados. Este hecho se puede interpretar también como un efecto de la deposición seca de las cenizas de combustión directa de naturaleza alcalina.

## CONCLUSIONES

Los suelos presentan tipologías y características morfológicas diferentes en ambas zonas: En Barlovento son vertisoles y suelos vérticos, muy arcillosos y característicos de zonas bajas costeras, donde se producen acumulaciones de material fino procedente de zonas más altas. En Mazo, se trata de andisoles y suelos ándicos, típicos de las formaciones de monte verde en las islas. Son suelos muy orgánicos, de textura franca y con un peculiar funcionamiento físico-químico, debido al predominio de compuestos amorfos en la fracción fina.

Las características de fertilidad en relación con su función productiva son también diferentes en ambos casos: En Barlovento, los suelos tienen una fertilidad moderada-baja, limitada por la textura arcillosa y las deficiencias en fósforo, potasio y calcio. En Mazo, los suelos ándicos tienen una alta fertilidad, ya que las limitaciones que presentan (deficiencia en fósforo, pH ligeramente ácido) son menores y fácilmente corregibles.

Morfologicamente, el efecto de las emisiones se manifiesta en la presencia de una capa de cenizas de combustión directa de color negro o gris muy oscuro y unos 2-5 mm. de espesor en Barlovento y de unos 5 cm. de grosor y de color blanquecino, con abundantes restos no quemados en Mazo.

Sobre las características químicas generales del suelo, el efecto de las cenizas se manifiesta en un significativo aumento de la alcalinidad, la salinidad y los cationes Ca, Mg y K en el caso de Barlovento y sólo del pH, salinidad y Ca en los andisoles de Mazo. Además en este último caso el efecto es menor, aparentemente, que en la planta de

Barlovento, a pesar que en el campo el espesor de cenizas observable en la superficie del suelo es muy superior, lo cual puede deberse sin duda, a la mayor acidez, mayor contenido en materia orgánica y por tanto mayor capacidad tampón de los andisoles y suelos ándicos, lo que hace que no se manifieste este aumento en los cationes potasio y magnesio. En cualquier caso, este aumento no implica consecuencias negativas a corto plazo sobre la fertilidad y capacidad productiva de los suelos. A más largo plazo, un incremento en el pH y en la salinidad del suelo puede implicar cambios sustanciales en la vegetación natural y en el funcionamiento del ecosistema.

## REFERENCIAS

Baldasano, J.M. (1997). Valorización energética de los residuos sólidos urbanos. I Congr. Int. Sobre Gestión de Residuos en Islas. Tenerife. Noviembre 1997.

Calvo de Anta, R. (1997). El conocimiento del suelo como principio básico de la gestión de suelos contaminados. 50 Aniversario de la SECS. Ponencias, 211-239.

Díaz Ríos, R.E. (1986). Suelos de la Isla de La Palma. Tipología y Capacidad de Utilización Agronómica. Tesis Doctoral. Universidad de La Laguna.

ITGME (1995). Contaminación y Depuración de suelos. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid. 330 p.

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

Rhoades, J.D. (1982). Cation Exchange Capacity. In: A.L. Page (Ed.) Methods of soil analysis, Part. 2.- Chemical and microbiological properties, 2<sup>nd</sup> edition. Agronomy 9: 149-157.

Rodríguez Rodríguez, A. y C.D. Arbelo (1998). Muestreo de suelos y descripción de perfiles. Normas Técnicas. Dpto. Edafología y Geología. Universidad de La Laguna, 32 p.

Seoanez Calvo, M. (1996). Ingeniería del Medio Ambiente. Edic. Mundi-Prensa, Madrid, 701 p.

USDA-SCS-SSS(1999). Keys to Soil Taxonomy. 8<sup>th</sup> Ed. Pocahontas Press Inc. 600 p.

Walkley, A. and I.A. Black (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37:29-38.

WRB (1998). World Reference Base for Soil Resources. FAO-ISRIC-ISSS. Roma. 88 p.

Watanabe, I.S. and Olsen, S.R. (1965). Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soils. Soil Sci. Soc. Proc. 29: 677-678

## Figuras y Tablas.

Tabla 1. Características generales de los suelos vérticos en el entorno de la planta incineradora de Barlovento

Cationes asimilables

(cmol kg<sup>-1</sup>)

| cm | pH | CE(1:5)               | %C | %N | P<br>Olsen            | Ca | Mg | K | Na |
|----|----|-----------------------|----|----|-----------------------|----|----|---|----|
|    |    | (dS m <sup>-1</sup> ) |    |    | (mgkg <sup>-1</sup> ) |    |    |   |    |

no afectados

|      |     |      |     |     |      |      |     |     |     |
|------|-----|------|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|
| 0-5  | 6.8 | 0.21 | 2.8 | 0.2 | 25.6 | 10.9 | 9.7 | 1.1 | 1.9 |
| 5-20 | 6.9 | 0.11 | 1.7 | 0.2 | 8.1  | 8.7  | 8.4 | 0.3 | 1.7 |

afectados

|      |     |      |     |     |      |      |      |     |     |
|------|-----|------|-----|-----|------|------|------|-----|-----|
| 0-5  | 7.0 | 0.52 | 4.2 | 0.4 | 48.5 | 20.5 | 16.6 | 2.0 | 2.1 |
| 5-20 | 7.0 | 0.15 | 1.6 | 0.2 | 9.5  | 11.6 | 16.9 | 0.4 | 4.4 |

Tabla 2. Comparación estadística entre las características químicas generales de suelos afectados y no afectados por las emisiones (Barlovento)

|        | pH     | CE     | %C     | %N     | P<br>Olsen | Ca     | Mg     | K      | Na     |
|--------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|
| U      | 0      | 0      | 4      | 3      | 2          | 0      | 0      | 0      | 3      |
| p      | 0.0495 | 0.0495 | 0.8273 | 0.5127 | 0.2752     | 0.0495 | 0.0495 | 0.0495 | 0.5127 |
| α=0.05 | SI     | SI     | NO     | NO     | NO         | SI     | SI     | SI     | NO     |



Tabla 3. Características generales de los andisoles en el entorno de la planta incineradora de Mazo

Cationes asimilables

( $\text{cmol kg}^{-1}$ )

| cm | pH | CE(1:5)                | %C | %N | P<br>Olsen              | Ca | Mg | K | Na |
|----|----|------------------------|----|----|-------------------------|----|----|---|----|
|    |    | ( $\text{dS m}^{-1}$ ) |    |    | ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) |    |    |   |    |

no afectados

|      |     |      |      |     |      |      |     |     |     |
|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|-----|-----|
| 0-5  | 5.9 | 0.28 | 19.8 | 1.1 | 24.4 | 19.9 | 8.7 | 1.4 | 1.5 |
| 5-20 | 6.2 | 0.14 | 12.2 | 0.9 | 8.3  | 12.6 | 3.4 | 1.6 | 1.3 |

afectados

|      |     |      |      |     |      |      |     |     |     |
|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|-----|-----|
| 0-5  | 6.2 | 0.48 | 22.6 | 1.2 | 33.5 | 33.9 | 7.9 | 1.4 | 1.8 |
| 5-20 | 6.1 | 0.18 | 13.3 | 0.8 | 7.1  | 14.6 | 4.4 | 0.5 | 1.1 |

Tabla 4. Comparación estadística entre las características químicas generales de suelos afectados y no afectados por las emisiones (Mazo)

|               |        |        |        |        |            |        |        |        |        |
|---------------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|
|               | pH     | CE     | %C     | %N     | P<br>Olsen | Ca     | Mg     | K      | Na     |
| U             | 0      | 0      | 3      | 2      | 2          | 0      | 4      | 4      | 2      |
| p             | 0.0495 | 0.0495 | 0.5127 | 0.2752 | 0.2752     | 0.0495 | 0.8273 | 0.8273 | 0.2752 |
| $\alpha=0.05$ | SI     | SI     | NO     | NO     | NO         | SI     | NO     | NO     | NO     |