

## LAS SUBSTANCIAS HUMICAS EDAFICAS: ¿PROBLEMA AGRONÓMICO O AMBIENTAL?

Juan F. Gallardo Lancho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> C.S.I.C., Apartado 257, Salamanca 37071, España. E-mail: [jgallard@usal.es](mailto:jgallard@usal.es), [jgallard@fresno.csic.es](mailto:jgallard@fresno.csic.es)

### Introducción

La producción científica sobre sustancias húmicas (SSHH) edáficas es imparable, en especial en lo que se refiere a sus aspectos de estructura química y, últimamente, ambientales. La consulta de cualquier libro reciente sobre SSHH muestra el contraste existente entre lo que ahora se expone (SSHH de *composts*, variación de la reserva de C edáfico, captura de C, C orgánico disuelto, COD, en ecosistemas, *etc.*) y lo que se describía tan sólo hace una década (aspectos agronómicos de las SSHH edáficas, humus forestal, importancia de las SSHH en la génesis de suelos, *etc.*). Se puede establecer, sin riesgo a equivocarse, que se ha cambiando totalmente de óptica referente a las SSHH o, dicho de otra manera, se ha cambiado de paradigma.

Lo que caracteriza las SSHH es, aparte de su clásico color negro, su bioestabilidad a pesar de su (relativamente alto) contenido en N.

### El antiguo paradigma

Clásicamente se buscaba en el anterior, llamemos, paradigma agronómico la capacidad de las SSHH de retener de nutrientes en forma asimilable (capacidad de intercambio catiónico, CIC, superior a 500 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), o a la posibilidad de mineralizar N (generalmente alrededor de una concentración de 50 mg N g<sup>-1</sup>), aunque más bien a un ritmo generalmente más lento de lo que sería deseable. Las discusiones de la materia orgánica del suelo (MOS) se centraban entonces en el incremento de CIC producido, en la reserva nitrogenada (generalmente se suponía que 1/3 del N total acumulado en el compartimento orgánico edáfico era mineralizado a corto o medio plazo; ahora se pretende precisar más mediante incubaciones de 30 a 45 días), o en los efectos antierosivos que producía esa MOS.

### El nuevo paradigma

El nuevo enfoque, o paradigma, ambiental que se pretende dar ahora a las SSHH se basa en su resistencia a mineralizarse, es decir, en su capacidad de mantener (secuestrado) el C en el suelo, de tal manera que no se escape a otros compartimentos terrestres. Adquiere así importancia su vertiente recalitrante, bien *per se* (más fácil de abordar mediante estudios químicos, por modelizaciones de su estructura, aunque a veces se duda si esas sustancias orgánicas aisladas son, o no, meros artefactos), bien como parte constituyente del complejo arcillohúmico (más difícil de estudiar, aunque más abordable mediante la observación de sus efectos, como estabilidad estructural, permeabilidad, *etc.*). Por ello en la actualidad es fácil encontrar publicaciones sobre complejos orgánicos, constantes de humificación ( $k_h$ ) o mineralización ( $k_m$ ), incrementos netos de MOS, sumideros de C, *composts*, *etc.*

### La humificación

La bioestabilidad es la clave del problema bajo ambas ópticas. Desde que una hoja (ya en proceso de descomposición) cae desde el árbol o de las plantas cultivadas (o mismamente sus raíces) se suceden ininterrumpidamente reacciones en el suelo que conducen a la formación de sustancias oscuras y resistentes a un posterior ataque microbiano. En condiciones templadas o tropicales, con humedad suficiente, esa hoja (o raíz) se mineraliza pero, paralelamente, van apareciendo subproductos diversos, de origen residual vegetal unos y microbianos otros, que van agrupándose entre sí para formar macromoléculas (polimerización) que engloban N en su estructura poliamorfa.

La gran discusión se centra entre los químicos del humus sobre cuál es el tipo de unión entre las moléculas orgánicas más simples que se van integrando en las macromoléculas húmicas (humificación); si de tipo inestable y reversible (puentes de hidrógeno, cargas residuales o fuerzas de van der Waals), o bien estables

y, a veces, no reversibles (enlaces iónicos y/o covalentes). En cualquier caso, lo importante es saber que no hay un proceso único en un sistema complejo como el suelo, sino que todas las posibilidades pueden darse (todas) a la vez, agravado por el hecho de que la presencia de micelas de tipo inorgánico (arcillas, sesquióxidos amorfos, también con alta superficie específica) diversifican las adsorciones y las posibles vías de escape a la acción microbiana (incluso por impedimento físico de acceso a microorganismos). Lo importante pues, es que se establezca un complejo arcillohúmico, más o menos estable estructuralmente, pero, en todo caso, bioestable a efectos prácticos. Esa bioestabilidad es la que interesa en grado sumo.

### La humificación: ¿Para qué?

En el paradigma agronómico se deducía de inmediato que, al conseguir un alto contenido orgánico en los suelos, se aumentaba las probabilidades de obtener una buena estructura física (con excelentes resultados desde el punto de vista del laboreo y/o resistencia frente a la erosión) y una aceptable reserva nitrogenada (sobretudo si el índice C/N de calidad húmica era inferior a 18, con lo que se aumenta la posibilidad de cesión de N al cultivo).

Sin embargo, en el nuevo paradigma ambiental también hay una presión para que se aumente el C orgánico del suelo (COS) aunque, si se escarba un poco en el discurso, para la reutilización de los excedentes orgánicos que producen las sociedades urbanas (crear demanda, favorecer el mercado de *composts*), y/o para mitigar el supuesto constante aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico propiciado por las minoritarias y privilegiadas naciones superdesarrolladas.

Cabe entonces preguntarse: ¿El deseado aumento de la MOS debe hacerse por la propia mejora agronómica del suelo y defensa contra la erosión?; o ¿para lograr encontrar un lugar a los excedentes de residuos orgánicos urbanos (ROU) y disminuir el contenido de CO<sub>2</sub> atmosférico?.

Esto es: **El general y deseado aumento del las SSHH ¿es un problema agronómico o ambiental?** Intentaremos en este artículo encuadrar la respuesta, no fácil de responder.

### Residuos sólidos urbanos y nivel de vida

Sin contar con los residuos de las industrias (que teóricamente deben resolver ellas con los recursos generados, es decir, integrar el problema de los subproductos y residuos como parte del sistema de producción), en una ciudad se genera entre 1.0 kg a 1.5 kg día<sup>-1</sup> de residuos sólidos urbanos (RSU) por persona, es decir, unos 500 kg a<sup>-1</sup> persona<sup>-1</sup>. A la cabeza se encuentra (¡como no!) USA, Canadá y Australia, que superan generosamente esa cifra. Japón y muchos países europeos no alcanzan aún los 500 kg a<sup>-1</sup> p<sup>-1</sup>; Rusia, por ejemplo, genera sólo unos 150 kg a<sup>-1</sup> p<sup>-1</sup>, acordes con las estrecheces económicas que sufre.

Un país medio en población y desarrollo económico (en relación con otros países europeos) como España (40 Mhabitantes) produjo 15 Tg RSU a<sup>-1</sup> en 1996 (de los cuales se supone, con una visión optimista, que sólo un 5 % estaban incontrolados); Polonia, con prácticamente la misma población que España, produjo sólo la mitad (por causa de un más bajo nivel de vida). Australia como mucha menor población (18 Mh) produjo 9 Tg RSU a<sup>-1</sup>.

Estas diferencias también se observan en un mismo país. Por ejemplo, en España Galicia (una de las autonomías menos desarrolladas) produjo en 1996 sólo 1.0 kg RSU d<sup>-1</sup> p<sup>-1</sup>, frente a los casi 2.0 kg RSU d<sup>-1</sup> p<sup>-1</sup> que produjo Baleares (la autonomía española quizás más rica).

Por otra parte, en megápolis como Santiago de Chile los RSU representan una cantidad tan alta como 1.5 Tg a<sup>-1</sup>, es decir, tanto como un país mediano.

¿Dónde ubicar esas enormes cantidades de RSU?. Ese es el primer problema: Nadie los quiere y, mucho menos, cerca.

## Características de los RSU

La composición de esos RSU indica que hay residuos que son fermentables (RSF: pajas, residuos alimenticios, restos orgánicos de podas y césped, *etc.*), otros fácilmente combustibles (RSC: papel, cartón, madera, plásticos, gomas, neumáticos, *etc.*) y, el resto, se consideran inertes (RSI: vidrios, metales, cascotes, cenizas, *etc.*), o simplemente humedad (agua).

Pero el porcentaje de repartición de los RSU en las distintas fracciones depende también muy mucho del nivel de desarrollo de cada país o ciudad. La composición de los RSU indica, irremisiblemente, si estamos en un barrio de ricos o de pobres. Por ejemplo, un país muy desarrollado puede tener casi un 60 % de papeles y cartones, 10 % de maderas y podas vegetales, 9 % de restos alimenticios, 9 % de vidrios y cerámicas, 8 % de metales y un 5 % de otros inertes; es decir, el nivel de desarrollo trae consigo más porcentajes de RSC, aunque menos de RSF.

Gran Bretaña, España y Ucrania, por ejemplo, puede tener como medias de porcentaje 40, 22 y 30 % de papeles y cartones, 10, 11 y 2 % de plásticos, 7, 7 y 2 de vidrios, 7, 4 y 4 de metales 22, 44 y 30 % de RSF, y 18, 13 y 35 % de otros (mayoritariamente residuos inertes), respectivamente. Como se observa, a más nivel de desarrollo se produce un aumento de plásticos y papeles, con una correlativa disminución de RSF (o ROU).

En general, los diversos componentes de los RSU se clasifican en reciclables (RSF, vidrios, plásticos, metales, *etc.*), los cuales, salvo los RSF o ROU como se dijo, aumentan su proporción con el nivel de vida) y no reciclables (cascotes de obras, cenizas, *etc.*).

## Soluciones a los RSU

Una de las formas de liberarse de esa pesadilla acumulativa es separando en origen y reciclando. Ello se ha instaurado con cierto éxito en muchas ciudades verticales (concentradas y con altos edificios) de los países desarrollados y, así, en sus atestadas calles se pueden observar coloreados contenedores (antiestéticos "igloos") donde se separan en diferentes envases, papeles de periódicos, cartones, vidrios, pilas y pocos más, con el objetivo de su posible reciclaje. Los metales férricos, aunque no son fáciles de separar en origen, lo son en destino con potentes imanes, y se pueden reciclar con cierta rentabilidad. Se supone que de esa manera se pueden llegar a reciclar un 30 % de RSU de los países en vías de desarrollo y aún más en los países desarrollados.

Para el resto de RSU sólo queda tres soluciones: a) La clásica de enterrarlos (secos y comprimidos) y recubrirlos totalmente (sellarlos) con arcillas impermeables; b) la combustión en centrales de ciclo combinado (se necesita cierta energía inicial para eliminar la humedad y quemar los plásticos, gomas, *etc.*); y c) el "compostaje", proceso (en general aeróbico) mediante el cual los ROU o RSF se convierten en "compost", sustancias orgánicas oscuras, inocuas sanitariamente, prácticamente inodoras, con altos contenidos en C, generalmente con bajos en nutrientes y metales pesados, y con cierto grado de bioestabilidad, que pueden añadirse al suelo o servir de sustrato para jardinería u otros fines.

La ventaja de realizar el compostaje es que en los países de vías de desarrollo podría eliminarse un 25 % de los RSU por esta vía (a añadir al 30 % de reciclables). El problema es que en los países desarrollados el compostaje no es siempre posible, por lo que se prefiere su combustión dado la alta carga de combustibles (alrededor de un 60 % sumando papel, cartón, plásticos, gomas, *etc.*) de estos RSU.

En la **Tabla 1** puede verse la producción de RSU y las soluciones encontradas en diversos países europeos. Obsérvese que, para salvo Alemania (dado el actual proceso absorción de la atrasada Alemania del Este por la antigua y rica Alemania Federal), la producción diaria de RSU ordena los países según su nivel de vida; a la vez, constátese que el compostaje supone un muy bajo porcentaje de los RSU. Por ejemplo, España, que entierra en la actualidad alrededor de un 60 % y composta poco más de un 15 % de los RSU, desea invertir las cifras a un 33 % y un 24 %, respectivamente, en el 2006; pero este planteamiento puede ser más bien un buen deseo que una realidad y lo esperable es que se favorezca en el futuro la combustión (que se programa en un 18 % de los RSU totales en el año 2006).

Tabla 1. Producción y solución a los RSU en Europa.

| Residuos sólidos urbanos (RSU) | Producción anual de RSU | Habitantes (Mh) | RSU anual per capita (Mg/h, a) | RSU anual per capita (kg/h, d) | Distribución de RSU (%) |        |      |           |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------|------|-----------|
|                                |                         |                 |                                |                                | Países                  | (Tg/a) | (Mh) | (Mg/h, a) |
| Suiza                          | 3.70                    | 7.11            | 0.52                           | 1.43                           | 59                      | 12     | 7    | 22        |
| Gran Bretaña                   | 30.0                    | 58.9            | 0.51                           | 1.40                           | 8                       | 90     | 0    | 2         |
| Dinamarca                      | 2.60                    | 5.26            | 0.49                           | 0.35                           | 48                      | 29     | 4    | 19        |
| Finlandia                      | 2.50                    | 5.14            | 0.49                           | 0.33                           | 2                       | 83     | 0    | 15        |
| Holanda                        | 7.70                    | 15.6            | 0.49                           | 0.36                           | 35                      | 45     | 5    | 15        |
| Noruega                        | 2.00                    | 4.39            | 0.46                           | 1.25                           | 22                      | 66     | 5    | 7         |
| Luxemburgo                     | 0.18                    | 0.42            | 0.43                           | 1.17                           | 75                      | 22     | 1    | 2         |
| Suecia                         | 3.20                    | 8.84            | 0.36                           | 0.99                           | 47                      | 34     | 3    | 16        |
| Austria                        | 2.80                    | 8.07            | 0.35                           | 0.95                           | 11                      | 65     | 18   | 6         |
| Bélgica                        | 3.50                    | 10.13           | 0.35                           | 0.95                           | 54                      | 43     | 0    | 3         |
| Francia                        | 20.0                    | 58.6            | 0.34                           | 0.93                           | 42                      | 45     | 10   | 3         |
| España                         | 13.3                    | 39.9            | 0.33                           | 0.91                           | 5                       | 65     | 17   | 13        |
| Grecia                         | 3.15                    | 10.5            | 0.30                           | 0.82                           | 0                       | 100    | 0    | 0         |
| Alemania                       | 25.1                    | 82.1            | 0.31                           | 0.84                           | 36                      | 46     | 2    | 16        |
| Italia                         | 17.5                    | 57.4            | 0.30                           | 0.84                           | 16                      | 74     | 7    | 3         |
| Portugal                       | 2.65                    | 9.94            | 0.27                           | 0.73                           | 0                       | 85     | 15   | 0         |

### El compostaje de los residuos orgánicos urbanos

Para el compostaje de los ROU o RSF primeramente hay que separarlos; esto se hace en destino por separación densidométrica, aunque en algunos pudieran separarse en origen, sobretodo en ciertos establecimientos (mercados, hoteles, etc.). Posteriormente se someten los RSF a un proceso de compostaje en pilas alargadas, donde sufren un acusado incremento de temperatura (se recomienda mantenerlos entre 50 y 70 °C) a la vez que se produce un fuerte desprendimiento de CO<sub>2</sub>, con reducción de la masa inicial a casi la mitad; ello es causado por la fuerte actividad microbiana involucrada en el proceso, siempre que se mantenga una humedad óptima (entre el 40 al 60 %).

Es frecuente que, al inicio, se le agregue CaCO<sub>3</sub> suficiente para neutralizar la masa orgánica para acelerar esta actividad (sobretodo la bacteriana) y que se insemine microbiológicamente la masa con residuos orgánicos procedentes de granjas (v. g.: gallinazas), pequeñas adicciones de lodos cloacales o, incluso, con preparados microbianos (más costosos), etc.; otras veces se acelera el proceso mediante lombricultura.

Hay que hacer notar que, inequívocamente, la calidad del "compost" final dependerá de dos factores: a) De la calidad de los ROU originales sometidos al compostaje; y b) de la intensidad del proceso microbiano (la llamada maduración). Por tanto, la modificación del proceso en el sentido de acelerar el compostaje (por ejemplo, ayudándose con lombricultura) no mejora por ello la calidad del compost final si se ha llegado satisfactoriamente a la maduración, aunque permita que se reduzca el tiempo de compostaje de los RSF.

Así, si suponemos que partimos de 1 Mg RSU es asumible que de esa tonelada, en un país iberoamericano, unos 500 kg sean RSF los cuales, si logramos compostarlos, generan unos 250 kg de compost; o sea, que se ha logrado reducir 1 Mg a 750 kg con el solo problema de tener un espacio destinado a extender las camas de compostaje, si se posee de una climatología suficiente para realizarlo a bajos costos (en países subtropicales el único factor limitante suele ser la humedad si existe estación seca), con las condiciones de higiene necesarias. Si se ha separado previamente en origen un 25 % de papeles y cartones (otros 250 kg), aún sin haber logrado separar cerca del 5 % de vidrios y plásticos duros, más otro 5 % de metales, de la tonelada inicial de RSU quedaría en el basurero al final sólo media tonelada, es decir, la mitad del los RSU iniciales.

De ahí la importancia que se concede a la separación de componentes de los RSU en origen (más difícil de realizar en ciudades horizontales, esto es, de casas unifamiliares) y al compostaje.

### El destino del *compost*

Pero una vez generado el *compost* el nuevo problema que aparece es su destino final. Posiblemente más grave aún que recuperar, al menos parcialmente, los gastos implícitos por el proceso de compostaje, es su posible mercado, dado que se pueden llegar a generarse verdaderas montañas de *composts*.

La solución radica, pues, en que debe ser el medio rural quien absorba dichos productos orgánicos; basándose en la afirmación clásica de que la actividad agrícola disminuye el contenido de MOS, entonces es obligado recuperar (o aumentar) ese contenido (para lograr un incremento de su fertilidad) mediante la adición de compuestos orgánicos; o, como se dice recientemente, hay que aumentar el compartimento de C edáfico para que disminuya el de CO<sub>2</sub> atmosférico. Y un producto orgánico apropiado para remediar esa falta de contenido orgánico de los suelos pueden ser los *composts*, ya que poseen alta carga orgánica en forma recalcitrante, o sea, poco soluble y resistente a la descomposición microbiana.

Sin quitar peso a la doble razón esgrimida, el problema radica en que los *composts* suelen ser bastante decepcionantes desde el punto de vista nutricional. A un *compost* debe exigírsele que, al menos, contengan un mínimo de 50 % de materia orgánica (> 300 mg C g<sup>-1</sup> *compost* seco) y un máximo de 30 % de humedad. Pero es raro encontrar un *compost* que supere los 30 mg g<sup>-1</sup> de N y los 10 mg g<sup>-1</sup> de P ó K, referido a *compost* seco.

De Ca suelen estar bien provistos (por el CaCO<sub>3</sub> añadido) y ello puede ser interesante en suelos ácidos; otra contraparte positiva es que no suelen tener altos contenidos de metales (el Cu no suele superar los 0.5 mg g<sup>-1</sup> y los 1.0 mg g<sup>-1</sup> de Zn; las concentraciones de Cr, Co, Pb, *etc.*, no suelen ser tampoco problemáticas).

En todo caso, se le debe exigir también al vendedor o suministrador de *compost* su maduración (con relaciones C/N inferiores a 25), evitándose con ello problemas de olores, sanitarios, de patógenos y crecimiento de malas hierbas.

### Substancias húmicas y *composts*

El gran debate se establece en cuanto a la cantidad de SSHH que, se supone, posee un *compost* maduro. Téngase en cuenta que las sustancias humificadas son propias del suelo, por lo que el compostaje no puede (teóricamente) formarlas, pues faltan indudablemente las micelas inorgánicas y la microbiología telúrica. Gracias a la presencia de cenizas (material inorgánico que suelen acompañar los RSU) se puede formar una pequeña proporción de SSHH que, normalmente, no suele superar al 2 % de ácidos fúlvicos (AF) e, igualmente, de ácidos húmicos (AH); sumando ambos, hay que desconfiar claramente cuando se dice en el etiquetado (cuando existe) que un *compost* contiene más de un 5 % de SSHH.

Por ello, muchos libros, curándose en salud científica, prefieren referirse a sustancias parahúmicas ("*humic-like substances*") cuando se habla de *compost* pues, en realidad, que se extraiga parte del *compost* con NaOH diluido no es criterio suficiente para deducir que el extraído sean SSHH verdaderas. No es extraño encontrar en el mercado *composts* cuya etiqueta (si la posee...) dice que contiene un 25 % de SSHH, lo cual debe considerarse claramente un fraude.

Debido a esta decepcionante realidad de que los *composts* poseen un bajo valor fertilizante, muchos de ellos son enriquecidos con fertilizantes inorgánicos (*v. g.*: nitrato amónico o compuestos fosfóricos; y, otras veces, con micronutrientes), buscándose una posible mayor demanda y una más alta plusvalía. No obstante, no hay que olvidar el efecto beneficioso que un *compost* maduro puede ejercer sobre las propiedades físicas edáficas, más en zonas semiáridas con bajos contenidos de MOS, o en suelos que han sufrido un cultivo intensivo sin que se le hayan restituido convenientemente las entradas orgánicas.

### Consecuencias agronómicas o ambientales

Es frecuente que, para mitigar el escaso poder fertilizante de los *composts*, se recomienden altas aplicaciones (del orden de 100 Mg ha<sup>-1</sup> o más) de *composts*, pero también con estas altas dosis lo que se persigue es eliminar las fuertes acumulaciones ("*stocks*") de ROU que crean fuertes problemas de espacio y ambientales. Dichas altas aplicaciones estarán obviamente condicionadas por los costes de aplicación del *composts* (precio de la tonelada, costos de transporte, maquinaria para su extensión, *etc.*). Además, hay que controlar la mineralización de N, pues las citadas altas aplicaciones de *composts* pueden producir semejantes eutrofizaciones de las aguas (profundas o superficiales) a las generadas por los fertilizantes inorgánicos nitrogenados.

Por consiguiente, finalmente se llega a la **conclusión** que en el deseado incremento de la MOS (sobretudo cuando se recurre a la utilización de *composts*) es difícil diferenciar hasta donde la presión políticosocial obedece al deseo de mejoramiento de la fertilidad (productividad) de los suelos, o simplemente es motivada por problemas ambientales creados por el medio urbano (eliminación de sus residuos, necesidad de aguas limpias, control (o recaptura) del exceso de CO<sub>2</sub> producido por su mayor incremento de nivel de vida y un largo *etc.*). Por tanto, no tengamos reparos a utilizar el *compost* como medio de enriquecer nuestros suelos orgánicamente (siempre que el producto sea de calidad contrastable y barato); pero seamos muy críticos a utilizar los ROU como un fin, porque éstos pueden anular la calidad de nuestros suelos y del ambiente que los rodea.

### Lecturas adicionales

- E. M. A. (1998). El medio ambiente europeo: Segunda evaluación. Agencia Europea del Medio Ambiente, Copenhague.
- Burbano H. (1989): El suelo: Compuestos biorgánicos. Univ. de Nariño, Pasto.
- COSTA F. y col. (1991): Residuos orgánicos, manejo y utilización. C.S.I.C., Madrid.
- Ghabbour & Davies (1999): Understanding humic substances. Roy. Soc. Chemistry, Cambridge.
- M. M. A. (1998): El medio ambiente en España. Ministerio del Medio Ambiente. Madrid.
- M. M. A. (2000): Plan nacional de los residuos urbanos. Ministerio del Medio Ambiente. Madrid.
- Nannipieri P. (1992): Ciclo della sostanza organica nel suolo, Patron Editore, Bolonia.
- U. S. E. P. A. (2002): Documentos <[www.epa.org](http://www.epa.org)>. U. S. Environmental Protection Agency, Washington D.C..