

3. ASPECTOS TECNOLÓXICOS DA COMPOSTAXE DE LAMAS DE DEPURADORA

Carlos Pérez Losada

3.1. INTRODUCCIÓN

O secado térmico e a compostaxe son a día de hoxe as dúas tecnoloxías que están competindo como alternativas para o tratamento das lamas de depuración procedentes, tanto de augas de orixe urbano, como de orixe industrial. O secado térmico presenta custes de instalación e operación prohibitivos, agás que as plantas de secado sexan concibidas como plantas de coxeración de enerxía eléctrica. Poren, esta alternativa está sendo moi cuestionada, pois na práctica encobren o uso de combustíbeis fósiles cun baixo rendemento enerxético neto, por máis que economicamente teñan sido moi favorecidas polo marco normativo que ten subvencionado as denominadas prácticas de coxeración. Contrariamente, a compostaxe das lamas presenta un custe reducido, aínda que variábel en función do tipo de tecnoloxía elixida. Outra vantaxe comparativa da compostaxe fronte ao secado é que a primeira estabiliza o produto, desde o punto de vista do seu consumo de oxíxeno (biodegradabilidade, fermentación e putresfacción), mentres que o secado en absoluto o estabiliza. De feito o único que fai o secado térmico e reducirlle masa (pola perda de humidade) e, por dicilo dun xeito popular, “*poñelo en conserva*”. En efecto, a súa materia orgánica final é exactamente a mesma que a inicial, pero desprovista dunha humidade que a fai corrompíbel. Unha vez que se lle torne a dotar de humidade o produto evoluciona exactamente igual que o faría antes de ter sido secado.

A compostaxe de lamas aparece desta forma como unha alternativa tecnolóxica moi vantaxosa. Poren, compre ter presentes algunhas precaucións, xa que, en función da calidade química dos lodos, o compost resultante pode verse contaminado con metais pesados ou con outros contaminantes non biodegradábeis. Por outra banda, desde o punto de vista do proceso, resulta fundamental ter en conta que as lamas mostran unha granulometría moi reducida, polo que é absolutamente necesario unha corrección da mesma mediante un axente estruturante, sexa este un residuo de características axeitadas ou un material inerte que acompañe á lama durante o proceso da compostaxe. Para máis información, poden consultarse traballos moi específicos realizados a escala industrial na tese doutoral de Ramón Plana (cita bibliográfica nº 8).

3.2. OBXECTIVOS E METODOLOXÍA

En función da porosidade e textura de cada residuo, estes poden ser ou non compostados por sí sos, sempre dependendo de se a súa capacidade de autooxixe-



nación é ou non capaz de garantir a demanda de O_2 xerada pola demanda biolóxica do propio proceso degradativo. No caso concreto das lamas de EDARU/EDARI (Estación Depuradora de Augas Residuais Urbanas/Industriais) é sempre preciso engadir-lles unha cantidade axeitada de material estruturante. Por outra banda, tamén en ocasións pode resultar necesario corrixir determinados aspectos da composición do residuo a compostar, especialmente a relación carbono/nitróxeno (C/N).

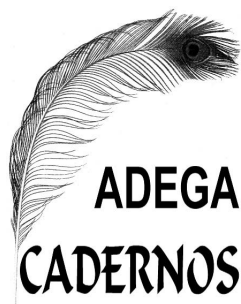
No presente traballo descríbense unha serie de investigacións de proceso encamiñadas a determinar aspectos concretos, tais como:

- a) Necesidade de material estruturante na compostaxe de lamas: Investígase por comparación coa compostaxe doutros residuos, como a fracción orgánica dos residuos municipais (FORM), cal é o papel dun estruturante vexetal, e se é posíbel a compostaxe de lamas de depuradora sen o uso de material estruturante.
- b) Estudo das proporcións estruturante-lodo máis axeitadas. Compáranse os procesos de compostaxe con dúas mesturas de estruturante (triturado vexetal ou fracción vexetal, FV) con lamas, en proporcións de 1:1 e 2:1 en volume.
- c) Estudo da posibilidade de substitución do triturado vexetal por materiais estruturantes inertes (residuos de caucho e plásticos) no proceso de compostaxe.
- d) Experiencias sobre a compostaxe de lamas da industria papelreira, tanto no referente á necesidade de estruturante como á de emendas que corrixan a súa relación C/N.

As experiencias do apartado a amosaron a necesidade de utilizar un axente estruturante para poder conseguir manter nun nivel óptimo dalgúns dos parámetros básicos e limitantes do proceso de compostaxe. Consecuentemente, o seguinte paso foi determinar as proporcións de mestura das lamas co axente estruturante máis doado (apartado b). Chégase á conclusión de que, cando menos, é precisa unha proporción 1:1 en volume (v/v) cando se emprega o típico triturado vexetal como axente estruturante.

Tendo en conta o anterior, é dun grande interese industrial sabermos se o estruturante podería ser un material inerte (artificial ou natural). Un estruturante inerte podería ser recuperado na súa totalidade ao final da compostaxe e ser reutilizado sucesivamente no proceso. Ensaíáronse varios residuos plásticos (apartado c) con resultados pobres, pois a compostaxe non prosperou ou o fixo dun xeito deficiente ao empregar eses residuos inertes como estruturante. Por último, preséntase un traballo polo que se evidencia a necesidade de engadir un corrector de composición (xurro porcino) para compostar un residuo rico en carbono e deficiente en nitróxeno como son as lamas da industria papelreira.

As experiencias descritas neste traballo (agás a do apartado d) foron levadas a cabo en procesos de compostaxe en pila ou morea, unha das tecnoloxías máis simples e asequíbeis. As dimensións destas pilas foron as das habitualmente empregadas na escala industrial co obxectivo de eliminar calquera efecto que puidera derivarse do uso de pequenas cantidades de material e garantirmos uns resultados directamente aplicábeis. A experiencia con lamas da industria papelreira realizáronse nun sistema de compostaxe tipo túnel a pequena escala, se ben o sistema permite reproducir o comportamento dos compostúneles de escala industrial.



Para o control do proceso seguíronse os principais parámetros descritivos da compostaxe, como son a temperatura, as concentracións de oxíxeno (O_2) e dióxido de carbono (CO_2) no espazo intersticial, a humidade do material, e nalgúns casos, o grao de madurez acadado. Empregáronse sondas manuais de campo (Wika e Desin Instruments) para a temperatura e detectores de gases (Eijkelcamp), mentres a determinación da humidade e o grado de madurez (ensaio de Rottegrade) foron realizadas en laboratorio sobre mostras obtidas nos diferentes sistemas de compostaxe. O uso que se fixo destes e doutros parámetros de proceso indícase en maior detalle no apartado de resultados.

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Test de necesidade de material estruturante na compostaxe de lamas

Esta primeira experiencia consistiu en comparar o proceso de compostaxe de lamas de depuración coa dun residuo moi coñecido como é a FORM (Fracción Orgánica de Residuos Municipais, obtida ben por recollida selectiva na orixe, ou por separación da fracción menor de 80 mm dos RSU.). En ambos os dous casos traballouse primeiro sen engadir material estruturante algún, e logo con engadidos de triturado vexetal como estruturante. Os resultados móstranse nas Figuras 3.1 e 3.2.

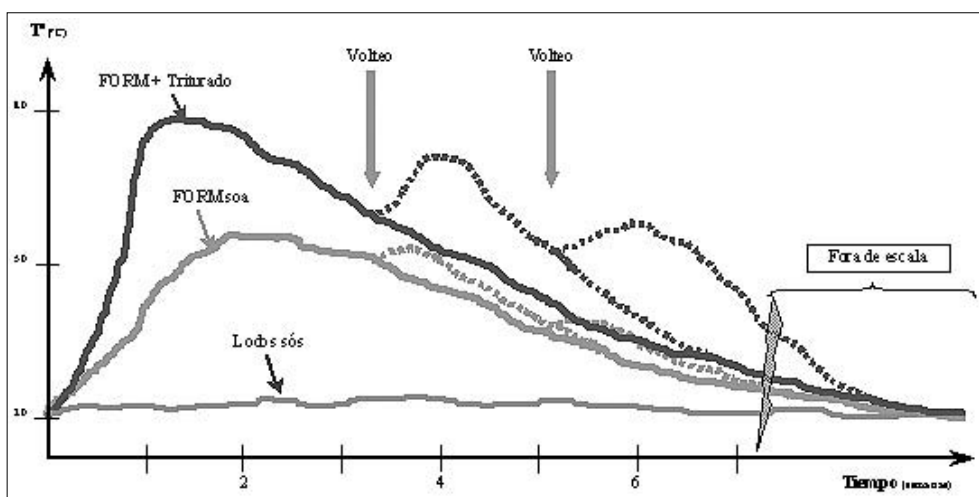


Figura 3.1. Evolución da temperatura segundo materiais e mesturas iniciais

Tendo en conta que a compostaxe é un proceso exotérmico, empregouse como indicador externo da actividade do proceso a evolución da temperatura en masa acadada por unha morea de lamas de EDARU posta en compostaxe (Figura 3.1). Os resultados reflicten ás claras que as lamas sen estruturante presentan unha porosidade tan baixa que impide a súa auto-oxixenación e polo tanto o proceso da compostaxe. Pola contra a granulometría levemente superior da fracción orgánica de residuos municipais (FORM) permite un certo grado de auto-oxixenación na súa compostaxe en solitario. Non obstante, os seus niveis de actividade son moito máis elevados cando están mesturados con estruturante vexetal, tal como se aprecia na Fig.1.

Se, por outra banda, atendemos á produción de CO_2 como indicador directo da actividade biolóxica degradativa, a FORM confirma unha maior actividade nas súas mesturas con estruturante que cando se composta en solitario. No que atinxe aos niveis de O_2 intersticial, a mestura de FORM con estruturante permite acadar un remanente de O_2 suficiente como para manter unha elevada actividade microbioló-

xica aerobia continuada. Sen estruturante, a deficiente aireación provoca unha caída do O_2 ate niveis de anaerobiose que limitan súa actividade degradativa aerobia. Ademais, os volteos non garanten unha oxixenación das moreas ou pilas a longo prazo. Obsérvase que, como consecuencia do volteo prodúcese unha oxixenación intensa, pero puntual e efémera, cando a estrutura da matriz non é axeitada.

En conclusión, estas experiencias demostran a absoluta necesidade (caso das lamas), ou a conveniencia (caso da FORM) de utilizar un axente estruturante para poder acadar e manter niveis aceptábeis dos parámetros básicos e limitantes do proceso de compostaxe. Estes resultados coinciden cos doutros moitos traballos de investigación previamente publicados (véxanse as referencias 3, 4, 7, 8, 12).

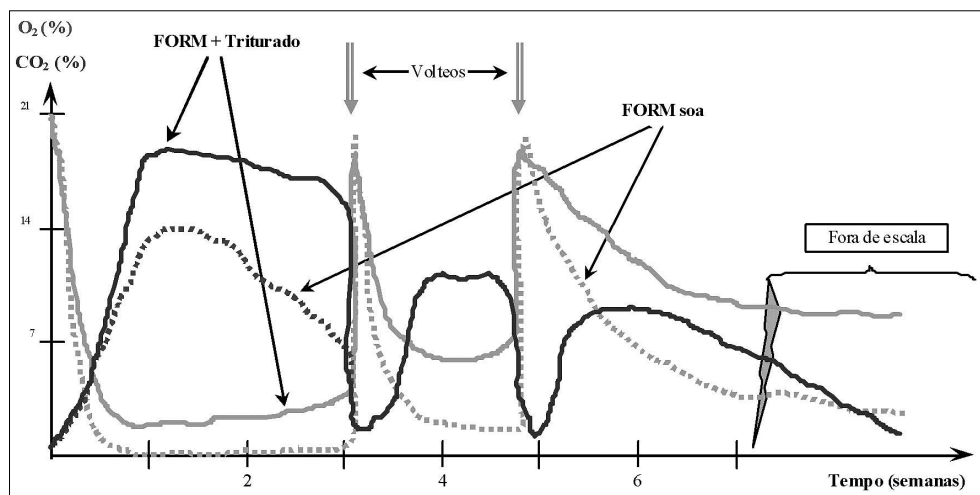


Figura 3.2. Evolución do oxíxeno intersticial e da produción de CO_2 durante a compostaxe de diversos materiais e mesturas iniciais en moreas con volteo (nota: no caso da FORM soa, o CO_2 só se determinou ate a semana 3 do experimento)

3.3.2. Estudio de proporcións estruturante-lamas máis axeitadas

Co obxectivo principal de estudar a necesidade cuantitativa de estruturante a engadir en procesos industriais, deseñouse unha proba a escala industrial na que se empregaron dúas proporcións de mestura dun material estruturante (triturado vexetal, en adiante FV, habitualmente usado nas plantas de compostaxe) coas lamas de EDAR. Constituíronse dúas pilas de compostaxe, con proporcións de mestura 1:1 e 2:1 (FV:lamas) en volume, e foron sometidas exactamente ao mesmo tratamento. Na Figura 3.3 móstranse fotografías da experiencia e na Figura 3.4 as gráficas de evolución do proceso.

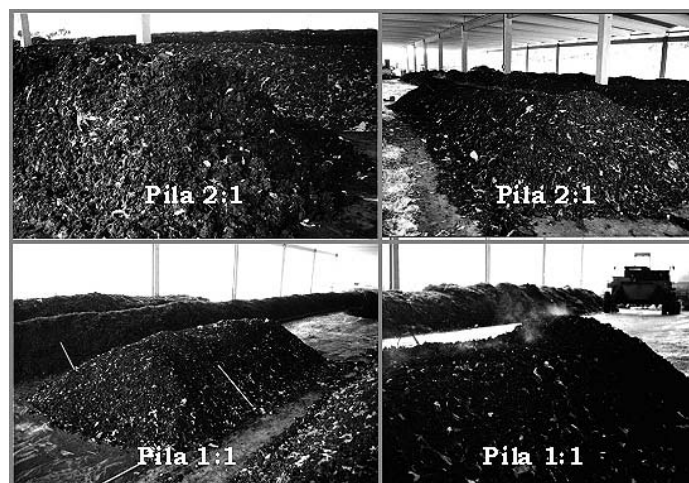
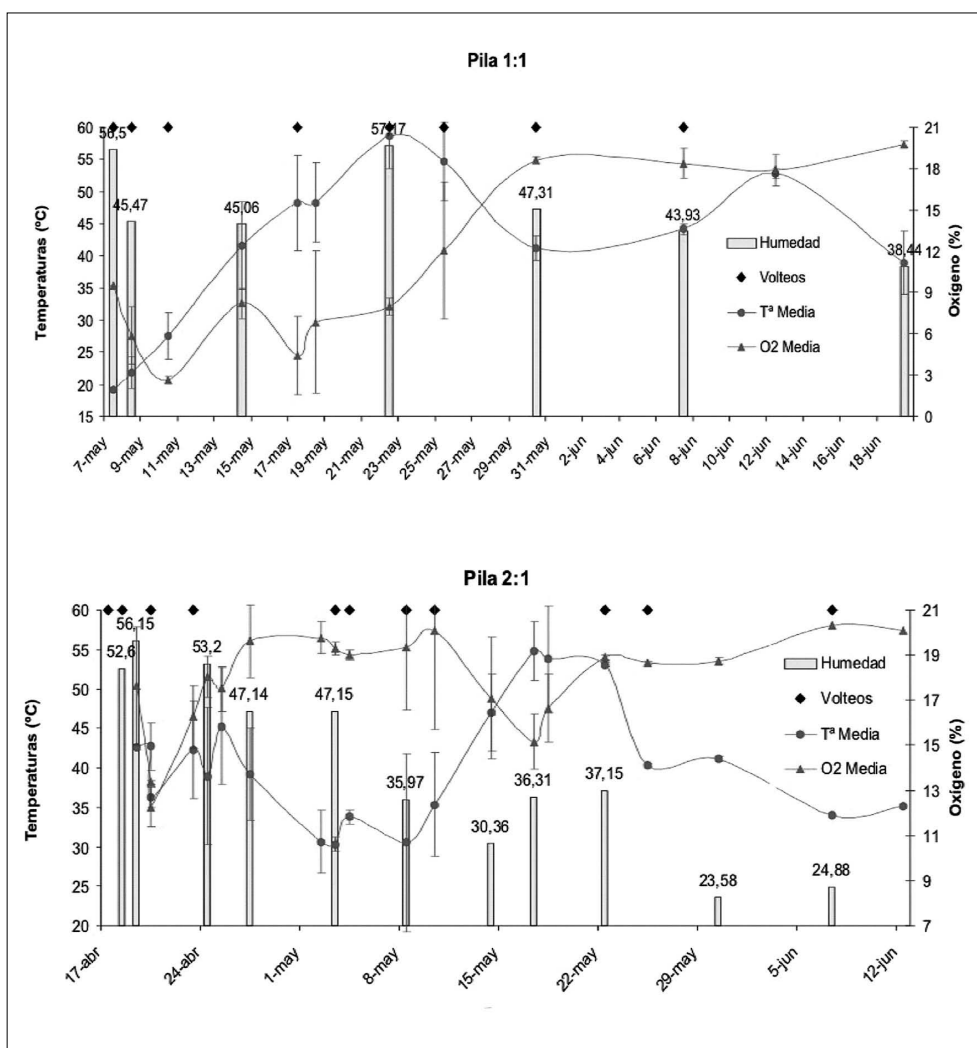


Figura 3.3. Compostaxe de lamas en pilas empregando triturado vexetal (FV) como material estruturante en proporcións FV:lama de 1:1 e 2:1 (á esquerda, as pilas acabadas de preparar; á dereita, pilas en fermentación)

Na Figura 3.4 vemos que os niveis intersticiais de O_2 na pila 2:1 mantivéronse sempre en valores altos, lonxe de condicións anaerobias, mentres que a pila de proporcións 1:1 presentou valores moi baixos nos primeiros días de proceso, cando a demanda de O_2 polos microorganismos era máis elevada.

Atendendo á evolución da temperatura, en ambas pilas acadouse a fase termófila, aínda que na de proporcións 2:1 presentou certas dificultades iniciais. Estes resultados indican que é necesario manter cando menos unha proporción volumétrica de mestura 1:1 (FV:lama), podendo convir unha proporción maior.

Segundo os valores dos parámetros de control do proceso de compostaxe, calquera das dúas mesturas empregadas foron axeitadas. Poren, os resultados obtidos para o balance de masas (Táboa 3.1) mostran unha degradación do residuo máis elevada na pila 2:1 e ademais o compost obtido presenta un maior grao de madurez Rottegrade. Estes resultados indican que a proporción de mestura inflúe indirectamente na actividade degradativa final, debido fundamentalmente á maior presenza de O_2 ao longo do proceso na mestura con máis proporción de estruturante (proporcións FV:lodo 2:1 fronte a 1:1).



FigFigura 3.4. Evolución da temperatura, oxíxeno e humidade durante a compostaxe de lodos mesturados con triturado vexetal (FV) en proporcións 1:1 e 2:1 (FV:lodo) en pilas volteadas

Táboa 3.1. Balance de masas e outros resultados analíticos para as dúas pilas de compostaxe de lodo

Proporción volumétrica FV:lama	Pila 1:1	Pila 2:1
Masa da lama inicial (kg)	8.560	9.140
Masa de estruturante inicial (kg)	≈2.800-2.900	≈3.000
Masa de compost final (kg m.s.)	2.140	3.780
Degradación de lodo (kg m.s.)	249	453
Degradación de lodo (% m.s.)	17,6	24,8
Humidade inicial da pila (%)	56,5	52,6
Humidade final da pila (%)	29,2	25,7
Humidade final do compost (%)	33,8	28
Grao de madurez (Rottegrade)	II	III
Nº de días en proceso	49	55
Nº de volteos	15	20

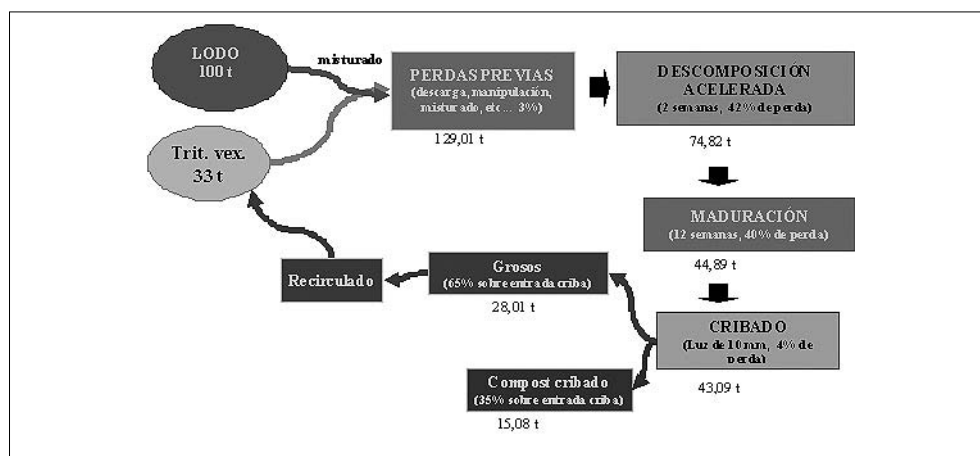


Figura 3.5. Diagrama de fluxo de masa para a compostaxe de lodos con triturado vexetal (FV) como estruturante (proporcións lama:estruturante 1:3 en masa)

Finalmente, na Figura 3.5 recompoñemos o diagrama de fluxo e balance de masas para un hipotético proceso de compostaxe de lamas no que se empregaría unha proporción en masa 1:3 (estruturante:lama). Esta proporción corresponde aproximadamente á proporción 1:1 en volume estruturante:lama empregada nunha das experiencias descritas máis arriba.

3.3.3. Estruturantes inertes como alternativa ao triturado vexetal

Nunha serie de novas experiencias empregáronse como residuo a tratar lamas primarias moi activas e como estruturante catro tipos de plásticos diferentes pero todos eles cunha granulometría similar e que denominamos: hexágonos, pneumáticos triturados, tacos de extrusións de *film* e cilindros de industria téxtil. Estes últimos non puideron ser triturados e tiveron que ser utilizados tal como estaban dispoñíbeis. Ademais, empregouse como “branco” o estruturante de triturado vexetal (FV) de uso habitual nas plantas de compostaxe.

Tomando a proporción de mestura 1:1 en volume, que, segundo se demostrou na experiencia anterior, fai viábel o proceso (no caso do estruturante “branco”), preparáronse cinco pilas distintas, cada unha constituída cun estruturante diferente mesturado coas lamas primarias. Buscou conformar as pilas cunhas dimensións similares ás elixidas para a pila branco en canto a altura ($\approx 1,5$ m.), lonxitude (≈ 4 m.), anchura ($\approx 2,5$ m.) e similar forma xeométrica (aproximadamente semicilíndrica). Garantiuse que todas as pilas recibiran exactamente o mesmo tratamento en canto a volteos.

Diariamente medíronse as temperaturas e os niveis de O_2 intersticial en distintos puntos e a tres profundidades. Periodicamente tomáronse mostras para determinar a humidade. As imaxes da Figura 3.6 mostran as lamas primarias empregadas na proba así como o aspecto das pilas constituídas cos distintos estruturantes. Na Figura 3.7 móstranse os resultados analíticos para esta experiencia.

Unha simple observación visual permitiu xa detectar algunhas diferenzas entre a pila branco e as outras. Unha das primeiras diferenzas foi a incapacidade dalgúns dos estruturantes plásticos de manter a forma ou estrutura da pila. Por exemplo, a pila con exágonos non mantiña a altura desexada, tendendo a se desparramar polo chan. Pola outra banda, a pila branco mostraba nos volteos unha liberación de vapor de auga, froito das altas temperaturas acadadas e da intensa actividade biolóxica. O volteo das pilas de plásticos, pola contra, non daban esa mostra de actividade e por tanto de correcto desenvolvemento do proceso.

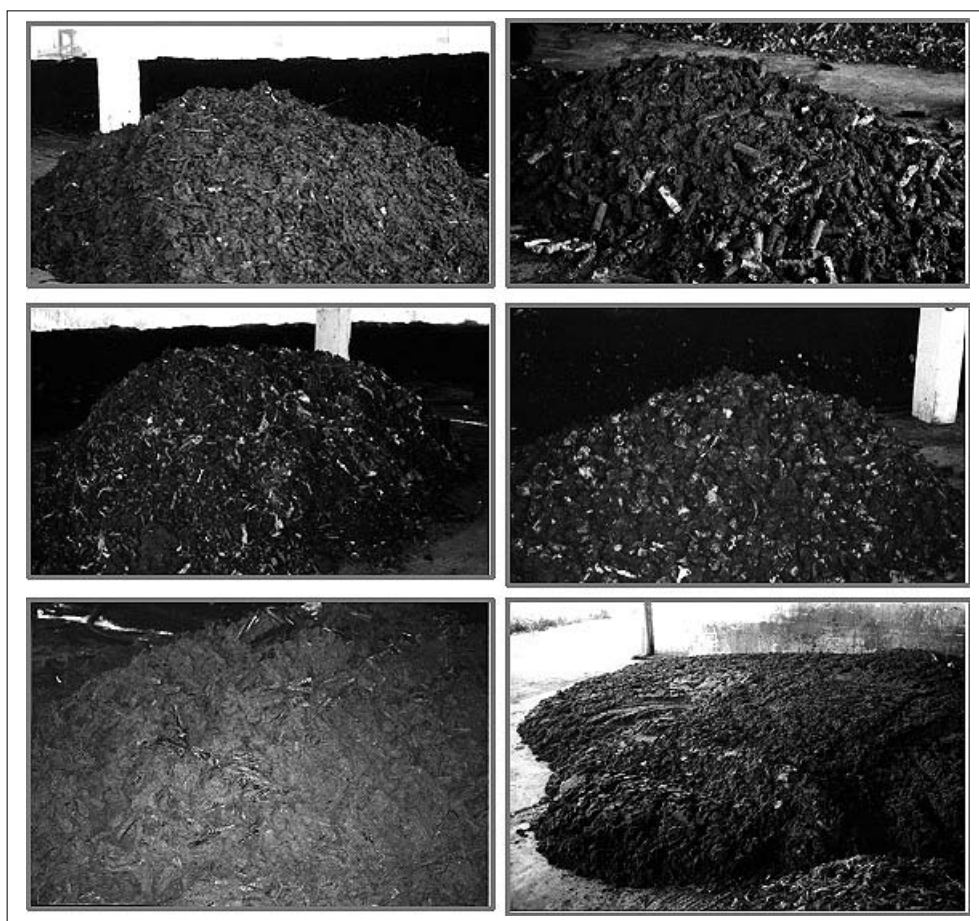


Figura 3.6. Fotografías do lodo primario (abaixo dereita), da pila constituída con estruturante vexetal (branco, medio esquerda), e das pilas constituídas cos distintos estruturantes inertes: Pneumáticos triturados (arriba esquerda), cilindros da industria téxtil (arriba dereita), tacos extrusión de *film* (medio dereita) e “hexágonos” (abaixo esquerda).

Ao cabo de 10 días (Figura 3.7a) comprobouse que non había un aumento da temperatura nas pilas estruturadas con plásticos e si na pila branco (que xa tiña alcanzado a fase termofílica).

En anteriores probas tiñamos comprobado que, ás veces, o factor tamaño de pila era determinante para o inicio do proceso (“masa crítica”), seguramente pola capacidade de retención do calor xerado. Para descartar neste caso que o factor tamaño de pila non era o causante da falta de actividade biolóxica nas pilas con plásticos, xuntáronse todas elas nunha única pila que seguiu a recibir exactamente o mesmo tratamento que a pila branco.

A nova pila constituída por plásticos mantívose en proceso durante 7 días (Figura 3.7b). Nese tempo non houbo un aumento da temperatura da mesma, nin se observou liberación de vapor de auga. En tanto, a pila branco iniciaba xa un descenso da actividade, se ben se mantiña aínda en valores termofílicos.

Finalmente, para probar o efecto dos parámetros “proporción de estruturante” e “estruturante inerte” decidimos dividir a pila de plásticos en 3 partes. A unha das partes engadíuselle máis estruturante plástico ate unha proporción de practicamente 2:1. Á outra parte engadíuselle *palet* triturado, e na terceira *palet* triturado recirculado, é dicir, que xa tiña sido empregado no proceso da compostaxe. Todas recibiron o mesmo tratamento e a súa evolución móstrase na Figura 3.7c.

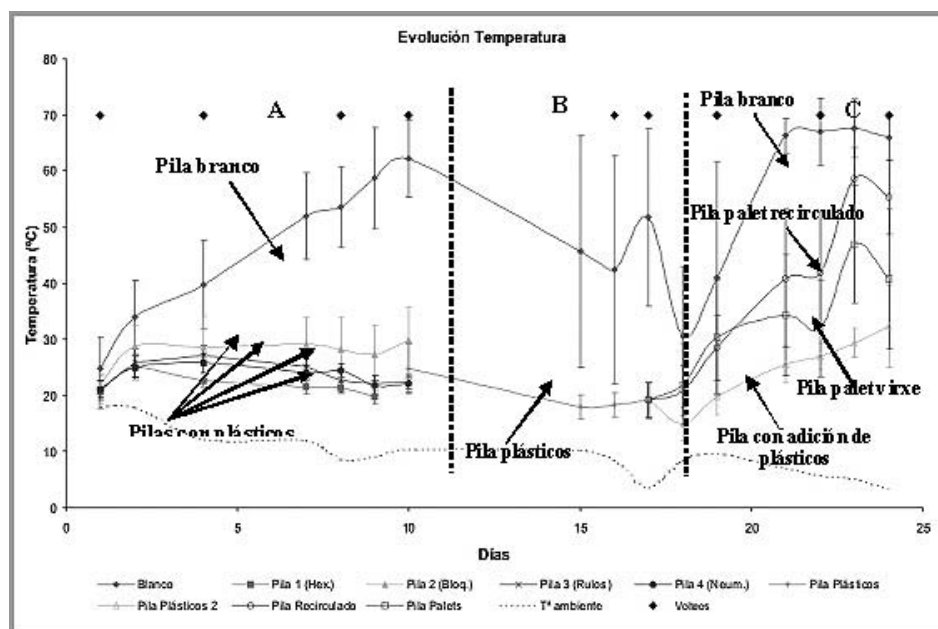


Figura 3.7. Compostaxe de lodo primario en pilas volteadas empregando como estruturante diferentes materiais



Pódese apreciar na Figura 3.7c o efecto de ter engadido estruturante vexetal ao material. Hai un claro incremento da actividade, con subidas da temperatura e desprendemento de vapor nos volteos nas pilas con *palet* triturado, tanto virxe como recirculado.

A adición dun elemento vexetal ás pilas tivo un efecto moi notábel. As temperaturas nas pilas alcanzaron niveis termofílicos, en especial a que tiña *palet* recirculado e, polo tanto, xa inoculado con microorganismos degradativos aerobios. A pila con engadido de plásticos tamén presentou un lixeiro incremento da temperatura

pero moi por baixo que nos casos de adición do *palet*. A pila branco volve a ter unha actividade importante debido á reactivación polo volteo e a que se lle dá forma cónica (máis acumulada).

Os resultados desta proba indican que o efecto do material estruturante vexetal empregado habitualmente non se limita a dar unha porosidade adecuada á matriz de mestura que permita a súa auto-oxixenación, senón que ademais actúa a nivel bioquímico no proceso. Ao parecer, prodúcese unha retención de parte da humidade inicial, humidade que é posteriormente liberada segundo avanza o proceso, favorecéndoo en consecuencia. Ademais é unha fonte de carbono para os microorganismos.

No caso dos estruturantes inertes, estes tan só poden dar á matriz unha estrutura de macro poros adecuada en mesturas con maiores proporcións de estruturante que de lodo, pero a súa acción sobre outros parámetros é nula ou case nula. De aí que na maior parte dos casos non se inicie o proceso degradativo, ou se vexa ralentizado, dando peores resultados na degradación final. A súa única vantaxe sería o poder ser recuperado ao final de proceso para ser reutilizado, mentres que o estruturante vexetal vaise consumindo ao ser tamén degradado lentamente durante a compostaxe. Esa vantaxe dos plásticos non compensa os efectos beneficiosos dos elementos vexetais.

En certos casos podería ser adecuado efectuar mesturas de estruturantes vexetais e inertes, para manter os efectos beneficiosos do triturado vexetal no proceso e obter unha maior cantidade de estruturante recirculado.

3.3.4. Un caso particular: Compostaxe de lamas da industria papeleira

Levou-se a cabo unha proba empregando unhas lamas procedentes dunha industria papeleira cuxa composición era extremadamente rica en celulosa e por tanto en carbono. Trátase dunha lama seca, con aspecto de torta, co que se poderían formar pilas ou moreas cunha estrutura porosa (Figura 3.8). Tendo en conta esta característica, realizouse unha primeira experiencia para investigar as posibilidades da súa compostaxe sen o uso dun elemento estruturante engadido.

Empregouse un reactor experimental de 600 litros de capacidade, tipo túnel, enchido só con lodo celulósico segundo sae do filtro prensa. Observouse un perfil plano en canto a temperatura e concentración en O_2 na atmosfera intersticial. Concluíuse que a actividade biolóxica era nula.

O residuo mantiña a súa matriz porosa, polo que a falta de actividade biolóxica debía ter outra causa. Pensouse que o elevado contido en carbono do lodo de celulosa ía acompañado da carencia de elementos químicos esenciais para o desenvolvemento dos microorganismos, como pode ser o nitróxeno. Experimentouse entón a compostaxe do lodo de celulosa mesturado con xurro porcino, un residuo rico en nitróxeno.

Esta mestura (Figura 3.9) provocou un significativo incremento da actividade biolóxica. O lodo mantén a súa estrutura durante os primeiros días do proceso; despois, a rotura das fibras de celulosa pola acción degradativa fai que se perda esa estrutura e o material convértese nunha pasta. Xérase un exceso de auga metabólica que non pode ser absorbida ao carecer dun estruturante vexetal que permita captar esta humidade e libérala máis adiante. Ao desaparecer a matriz porosa, o proceso de compostaxe detense. Conclúise que será necesario engadir ademais un estruturante vexetal.

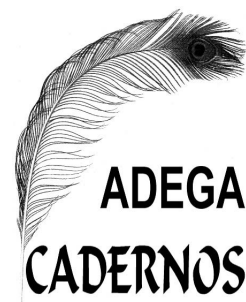




Figura 3.8. Aspecto da pila de lodos de papeleira sen estruturante

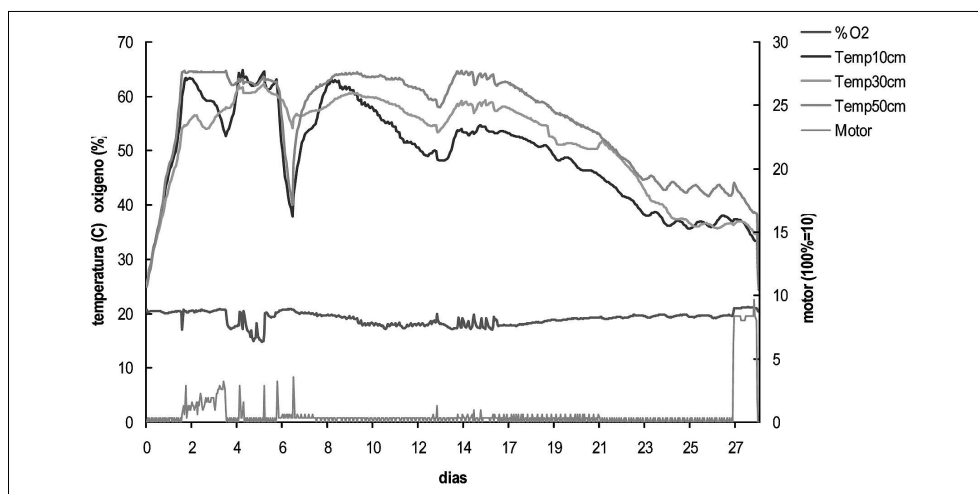


Figura 3.9. Evolución da temperatura, concentración de oxíxeno e bombeo de oxíxeno (motor) durante a compostaxe en pila sen estruturante de lodos de papeleira mesturados con xurro de porcino (84%-16% en pesos secos)

3.4. A XEITO DE CONCLUSIÓN

1. En “senso estrito”, o secado térmico das lamas non pode ser considerado como un método de estabilización das mesmas ao non afectar á súa estrutura química.
2. En todo caso, grazas á severa perda de humidade que comporta, pode ser valorado como unha “posta en conserva” temporal das lamas.
3. A viabilidade económica do secado térmico tan só se ten mantido industrialmente nos derradeiros anos polas primas á coxeración.
4. A compostaxe si é un método estabilizador das lamas ao variar, por vía microbiolóxica, a composición química das mesmas.
5. A necesidade de dotar ao material dunha mínima estrutura que garanta a súa auto-oxigenación preséntase como o principal limitante para a compostaxe deste tipo de residuo.

6. Utilizando triturado de madeira como axente estruturante, nunca se debe baixar dun mínimo de 1 volume do mesmo por cada volume de lama, sendo dese-xábel unha proporción 2:1.

7. Elixindo adecuadamente o lugar para a instalación de compostaxe, o tratamento industrial por esta vía preséntase como unha opción tecnolóxica, ambiental e economicamente viábel.

8. Ensaíouse a posibilidade de utilización de estruturantes inertes, preferibelmente residuais, con resultados non concluíntes.

9. A corrección doutros parámetros como a relación C/N das lamas para a súa compostaxe tan só resulta imprescindible en casos de lamas específicas cun forte desequilibrio nesa relación.

10. Ensaíouse a conveniencia de corrixir a relación C/N dunha lama da industria papeleira, con moi bos resultados no caso de engadidos de xurro de porco a estas lamas.

REFERENZAS

1. Das, K. & Keener, H.M. (1997). "Moisture effect on compaction and permeability in com-
posts". *Journal of Environmental Engineering*.
2. de Bertoldi, M.; Rutili, A.; Citterio, B. & Civilini, M. (1988). "Composting management: A
new process control through O₂ feedback". *Waste management and research*".
3. García, M.; Otero, D. & Mato, S. (1996). "New bulking agents for composting sewage sludge
(*Pteridium sp.* and *Ulex sp.*). A laboratory scale evaluation". *The science of composting. Part II*.
Glasgow. Blackie Academic and Professional, 1996.
4. Higgings, A.J.; Suhr, J.L.; Rahman, M.S.; Singley, M.E. & Rajput, V.S. (1986). "Shredded
rubber tires as a bulking agent in sewage sludge composting". *Waste Management & Research*.
5. Liang, C.; Das, K.C. & McClendon, R.W. (2003). "The influence of temperature and mois-
ture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend". *Bioresource
Technology*.
6. Manzano, S.; Pérez C. & Soliva, M. (1998). "Compostaje conjunto de la fracción orgánica
de residuos municipales (FORM) y residuos vegetales triturados : Influencia sobre la temperatura y los
niveles de oxígeno". *Residuos*.
7. Plana, R. & Pérez Losada, C. (2006a y 2006b). "The effect of use residual plastics like bul-
king material in composting (I and II). *ORBIT 06 Biological Waste Management - From global to local*.
Weimar, Alemania. Setembro 2006.
8. Plana, R. "El compostaje de residuos orgánicos: Investigación del proceso a escala industrial
y desarrollo de equipos experimentales para la determinación del sistema de tratamiento y protocolo
de trabajo precisos para un desarrollo específico del proceso biológico". Tese Doutoral. Universidade
de Vigo, Dpto. de Ecoloxía e Bioloxía Animal. Vigo, 17 de Xullo de 2008.
9. Real Decreto 661/2007. BOE 126 de 26/Mayo/2007.
10. Wilson, G.B. & Walker, J.M. (1973). "Composting Sewage Sludge: How? (Part II). *Compost
Science*.
11. Yamada, Y. & Kawase, Y. (2006). "Aerobic composting of waste activated sludge: Kinetic
analysis for microbiological reaction and oxygen consumption". *Waste management*.
12. Zorpas, A.A.; Arapoglou, D. & Panagiotis, K. (2003). "Waste paper and clinoptilolite as bul-
king agent for composting sewage sludge". *Waste management*.



