

Xavier Rudé i Payró
Biòleg
Josep M.^a Alcañiz i Baldellou
Dr. en Biologia

RESUM

Hom ha estudiat l'evolució del humus durant el procés de compostatge de residus triturats provinents de la neteja de boscos de pi roig amb ginebre. També s'ha valorat les possibilitats d'utilització del compost obtingut com a substrat vegetal.

La composició d'aquests residus, rics en fusta de pi i branquillons (85 %), i llur elevada granulometria, n'han dificultat la ràpida descomposició, bé que la fracció restant, constituïda per escorça i fullaraca (15 %), ha donat lloc a un humus de força bona qualitat.

Els paràmetres analítics que consideren el material globalment, com la matèria orgànica total (MOT), el carboni oxidable total (COT), la relació C/N, la taxa de mineralització complementària (TMC) i els pirogrames, indiquen una baixa transformació dels residus, a causa de l'abundància de fragments grossers de fusta.

Malgrat tot, els paràmetres que fan referència al humus extret senyalen uns grans canvis en el contingut d'àcids húmics i fúlvics, en la relació C/N, en l'anàlisi elemental dels àcids húmics i en els pirogrames, de manera que hom obté, al final del procés, un humus de bona qualitat.

La corba de retenció d'aigua demostra clarament que no és un material adequat com a substrat, si més no atesa la granulometria estudiada.

RESUMEN

Se ha llevado a cabo el estudio de la evolución del humus durante el proceso de compostaje de residuos triturados provenientes del desbroce de bosques de *Pinus sylvestris* con *Juniperus communis*. Se ha valorado también la posibilidad de utilización del compost obtenido como substrato vegetal.

La composición de estos residuos, ricos en madera de pino y pequeñas ramitas (85 %) y la granulometria elevada, ha dificultado su rápida descomposición, la fracción restante, cortezas y hojarasca fundamentalmente (15 %), ha dado lugar a un humus de buena calidad.

Los parámetros analíticos referidos a la globalidad del material, como son la Materia Orgánica Total, el Carbono Oxidable Total, la relación C/N, la Tasa de Mineralización Complementaria y los pirogramas, indican la poca transformación del residuo, debido fundamentalmente, a la abundancia de fragmentos de madera de tamaño de partícula elevado. Por otra parte, los parámetros referentes al humus extraído señalan unos grandes cambios en el contenido en ácidos húmicos y fúlvicos, en la relación C/N, en el análisis elemental de los áci-

dos húmicos y en los pirogramas, dando lugar, al final del proceso, a un humus de buena calidad.

La curva de retención de agua demuestra claramente que no es un material adecuado como sustrato, al menos, con la granulometría estudiada.

SUMMARY

It has been studied the humus evolution during the composting process of smashed remains coming from the clearing up of *Pinus sylvestris* with *Juniperus communis* forests. It has also been considered the possibility to use the obtained compost as a vegetal substract.

The composition of this remains, which are rich in pine wood and little branches (85 %) and have a high grade of granulometry, has made it difficult to decompose quickly, though the remaining fraction, bark of tree and frondage fundamentally (15 %), has produced a good quality humus.

The analitic parameters which qualify the whole material (like Total Organic Matter, Total Oxidable Carbon, C/N relationship, Complementary Mineralization Rate and pyrograms) shows a low remains transformation due to the abundance of great wood fragments. However, the parameters which refer to the extracted humus show important changes in the contents of Humic and Fulvic acids, C/N relationship, elemental analysis of Humic acids and pyrograms, obtaining, at the end of the process, a good quality humus.

The Water Retention Graphic, clearly proves it isn't a good material to use as a vegetal substract, at least, with this high granulometry.

INTRODUCCIÓ

La migradesa de matèria orgànica és un fet cada dia més accentuat en els sòls agrícoles de Catalunya. La manca de fems tradicionals i l'heterogènia distribució dels que es produeixen té com a conseqüència una reincorporació irregular i insuficient als sòls.

Bé que els efectes sobre el sòl de les esmenes orgàniques no solen ésser espectaculars ni immediats, a diferència de la fertilització mineral, cal ésser conscients de l'importància que l'humus té sobre les propietats físiques, la fertilitat i en definitiva sobre l'estabilitat del sòl. Hem de procurar doncs de restituir tant com sigui possible les pèrdues i de mantenir uns nivells mínims d'humus en els nostres sòls.

D'altra part, la societat agro-industrial i urbana actual produeix tota una sèrie de residus, subproductes de la seva activitat, que cal aprofitar tant com es pugui. Hom estima que l'àrea del Barcelonès produeix 2.200 Tm/dia de residus sòlids urbans, dels quals un 30-50 % correspon a la fracció orgànica compostable. A Catalunya s'han fet estudis complets d'utilització dels fangs de depuradores d'aigües residuals (Soliva *et al.*, 1982), sobre el control de qualitat del compost de R.S.Ú. (Moré *et al.*, 1983), i algun treball de compostatge de residus agrícoles (Gispert *et al.*, 1984). Hi ha, però, una sèrie de residus més específics que poden ésser utilitzats com a font de compost, per exemple, els excedents de palles de cereals, fusta de poda i residus de neteja de boscos. Hom estima que a Catalunya es produeixen anualment unes 200.000 Tm d'aquests residus.

El treball que es presentava encaminat a avaluar les possibilitats d'utilització dels residus provinents de l'estassada de boscos com a font de compost, o bé, com a substrat per a usos agrícoles o de jardineria. Actualment només s'utilitzen com a combustible industrial; es tracta doncs de cercar usos alternatius que permetin un aprofitament millor, sobretot d'aquells residus més pobres en fusta o de més baixa qualitat com a combustible.

Els objectius han estat, doncs, estudiar el procés de compostatge d'aquests residus per esbrinar la quantitat i la qualitat de l'humus format. A més, s'han avaluat les possibilitats d'aquest compost com a possible substrat artificial.

Aquest treball ha estat dut a terme gràcies a la col·laboració establerta entre la Direcció General del Medi Rural de la Generalitat de Catalunya, i el Departament de Fisiologia Vegetal i Edafologia de la Universitat Autònoma de Barcelona. Hi ha participat, també, l'àrea de Química Agrícola de l'Escola d'Agricultura de Barcelona.

MATERIAL

Hom ha emprat residus forestals provinents de l'estassada d'una pineda de Tona (Osona) constituïda fonamentalment per pi rajolet (*Pinus sylvestris*), ginebre (*Juniperus communis*), boix (*Buxus sempervirens*), gramínies i altres espècies presents en molt menor quantitat.

Aquest material, triturat en origen, presentava una granulometria que anava des de pols fins als 4 cm. Dominaven però les grandàries compreses entre 2 i 4 cm.

La composició inicial era la següent:

Fracció	% pes sec
Estelles de fusta (fins a 4 cm)	66,2
Branquillons (fins a 5 mm de diàmetre)	17,0
Fullaraca (pi, ginebre, gramínees)	10,5
Escorça (pi i ginebre)	6,3

El contingut d'humitat inicial era força elevat, d'un 55 % aproximadament (en relació al pes sec).

DISSENY EXPERIMENTAL

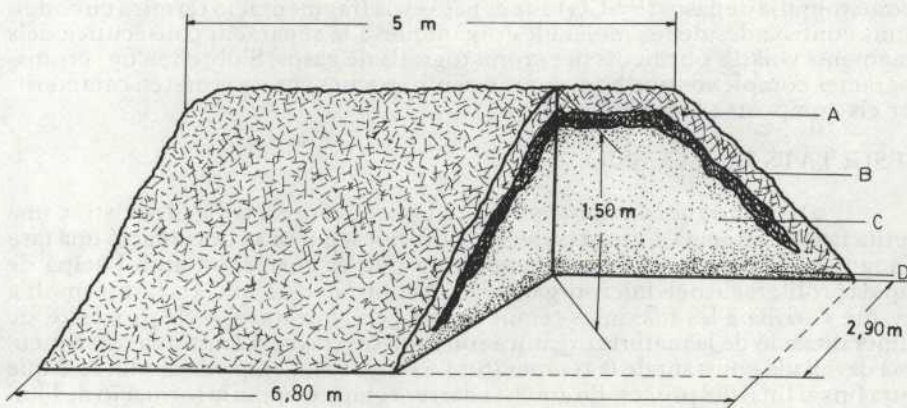


Figura 1. Representació esquemàtica de la pila de residus de neteja de boscos. De resultes del procés de compostatge, en fer un tall transversal hom observa l'aparició de zones ben diferenciades: A. Capa superficial d'humitat variable i color fosc; B. Capa de miceli fúngic; C. Cor de la pila, on tenen lloc amb més intensitat els processos de compostatge; D. Zona més humida en contacte amb el sòl.

Varem escollir el sistema de compostatge en piles a l'aire lliure perquè no requereix una manipulació excessiva del material i és el més utilitzat a Catalunya. Els residus foren disposats formant una pila allargada de secció triangular de les mides que es detallen a la figura 1. El volum inicial de la pila era de $12,83 \text{ m}^3$ i el pes fresc 6.060 kg . L'orientació de la pila era NW-SE, arrecerada del vent del Nord per una petita carena. El terreny presentava una petita pendent que facilità l'escolament de l'aigua sobrant de regar la pila.

Per tal que el nitrogen no fos un factor limitant en els processos de descomposició d'aquests residus, que tenen una relació C/N inicial molt elevada (130), hi afegírem 4 g d'urea per cada kg de material sec, en forma de dissolució acuosa, distribuïda per reg.

S'han recollit sistemàticament i periòdicament 10 mostres compostes al llarg de quasi 6 mesos. Cada mostra representa uns 8 dm^3 de residus.

MÈTODES

Per a seguir el procés de compostatge i caracteritzar l'humus format, s'han emprat els següents mètodes: mesura de la temperatura de la pila, determinació del contingut d'humitat, retenció d'aigua en funció del potencial hídric, i a partir d'aquestes dades s'han calculat les densitats de partícula i la densitat aparent del material. Determinació del pH, matèria orgànica total (MOT) per calcinació, carboni oxidable total (COT) per via humida (Schollenberger, 1931), nitrogen total (Kjeldahl, 1883, amb les modificacions proposades per Bremner, 1960), relació C/N i la taxa de mineralització complementària (TMC) mitjançant tècniques respiromètriques (More *et al.*, 1983).

Per tal de caracteritzar les substàncies húmiques hom ha realitzat una doble extracció amb $\text{NaOH-Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (Kononova i Belchikova, 1961). En els extractes obtinguts s'han analitzat el COT, i el N total, pels mètodes abans esmentats, i s'han calculat diverses relacions entre els continguts de carboni dels extractes, la relació C/N i E_4/E_6 . També s'ha determinat la composició elemental dels àcids húmics.

En aquest treball s'ha aplicat també la tècnica analítica de piròlisi-cromatografia de gasos (Py-CG) que es basa en la fragmentació tèrmica en condicions controlades de les molècules orgàniques i la separació consecutiva dels fragments volàtils obtinguts per cromatografia de gasos. S'obtenen uns cromatogrames complexos que hom anomena pirogrames i que permeten caracteritzar els composts (Alcañiz *et al.*, 1985).

RESULTATS I DISCUSSIÓ

a) *Evolució de la temperatura.* Com podem veure a la fig. 2, existeix una petita fase de latència d'uns tres dies de duració; segueix a continuació una fase d'augment exponencial de la temperatura que es correspon amb l'etapa de ràpida proliferació dels microorganismes. A continuació s'inicia la fase termòfila en què s'arriba a les màximes temperatures; en aquesta fase els processos de mineralització de la matèria orgànica són molt intensos. A continuació segueix una davallada constant de la temperatura, i s'entra en l'etapa de maduració que dura fins al final del procés. En aquesta darrera etapa és quan la formació de l'humus és més intensa (AGHTM, 1975).

La forta davallada que hom observa als voltants del dia 70 és atribuïble a l'aparició de condicions anaeròbiques al l'interior de la pila que fan disminuir fortament l'activitat dels microorganismes; per solucionar aquest problema girarem la pila. La recuperació de la temperatura fou ràpida i normal.

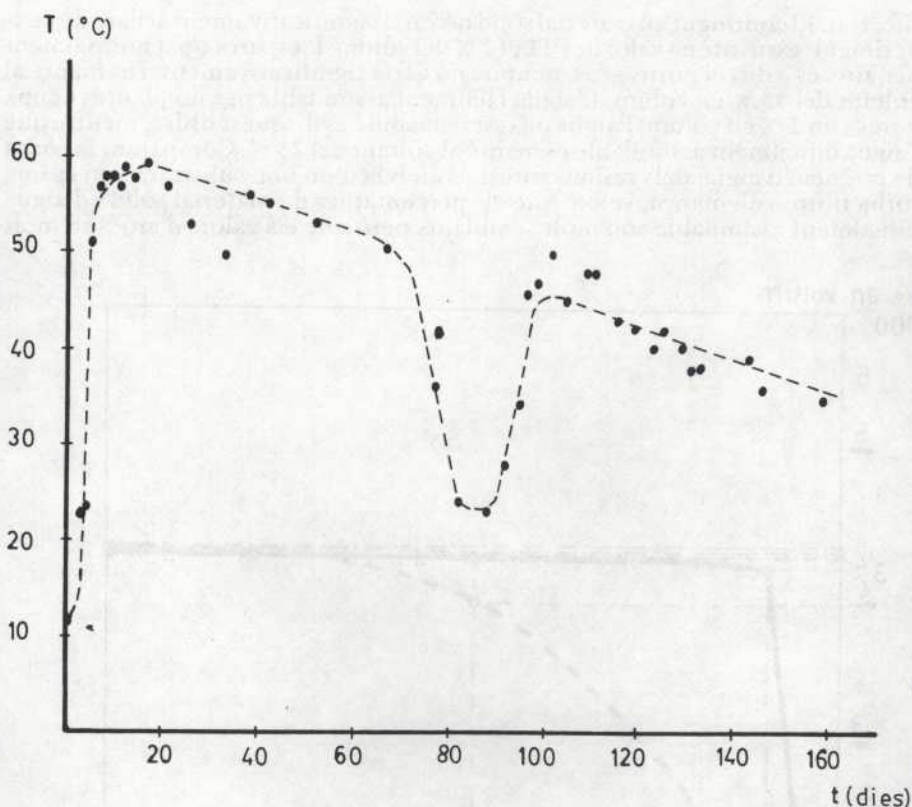


Figura 2. Evolució de la temperatura durant el procés de compostatge (mesurada al cor de la pila).

La distribució de temperatures en la pila no és totalment uniforme. En els 40 cm superficials s'estableix un fort gradient des de la temperatura ambient exterior fins als 50 o 60 °C a què es troba el cor de la pila. Malgrat tot, la temperatura interior de la pila és força independent de la ambient, ja que les fluctuacions només afecten la capa superficial que actua de coberta protectora.

b) *Evolució del pH.* La tendència general és de lleugera alcalinització durant el procés de compostatge (taula 1). Aquesta és l'evolució normal que coincideix amb les observacions fetes per Satriana (1974) en processos de compostatge a gran escala. El material inicial té un pH àcid degut a la composició intrínseca dels residus (fusta i acícules de pi primordialment). Entre la primera i segona mostra hom observa un augment brusc del pH degut a l'addició d'urea que basifica el medi. A partir del dia 38 el pH torna a disminuir per raó probablement de la disminució de la concentració d'oxigen en la pila, que provoca l'aparició de processos de fermentació que donen com a productes finals àcids orgànics de cadenes curtes. A partir del dia 87 el pH torna a pujar com a conseqüència del capgirament de la pila que reinstaura les condicions aeròbiques inicials, que permeten la mineralització normal dels residus. El pH és doncs un mitjà de diagnòstic ràpid de l'estat redox del compostatge.

c) *Corba de retenció d'aigua.* La figura 3 mostra la corba de retenció d'aigua, que ens dóna idea de les possibilitats d'utilització d'aquest material com a

substrat. El contingut en material sòlid no varia significativament al llarg de l'experiment: es manté en valor del 11 i 12 % del volum. L'espai ocupat normalment per aire, és a dir, el porus gros, tampoc no varia significativament, i es manté al voltant del 55 % en volum. L'aigua fàcilment assimilable per les plantes ocupa només un 1 % en volum; l'aigua de reserva també és d'aquest ordre, mentre que l'aigua difícilment assimilable es manté al voltant del 23 %. Comparant la corba de retenció d'aigua dels residus forestals amb la d'un bon substrat, com és una torba fibrosa alemanya, veiem que els percentatges de material sòlid i d'aigua difícilment assimilable són molt semblants però que els valors d'aire són molt

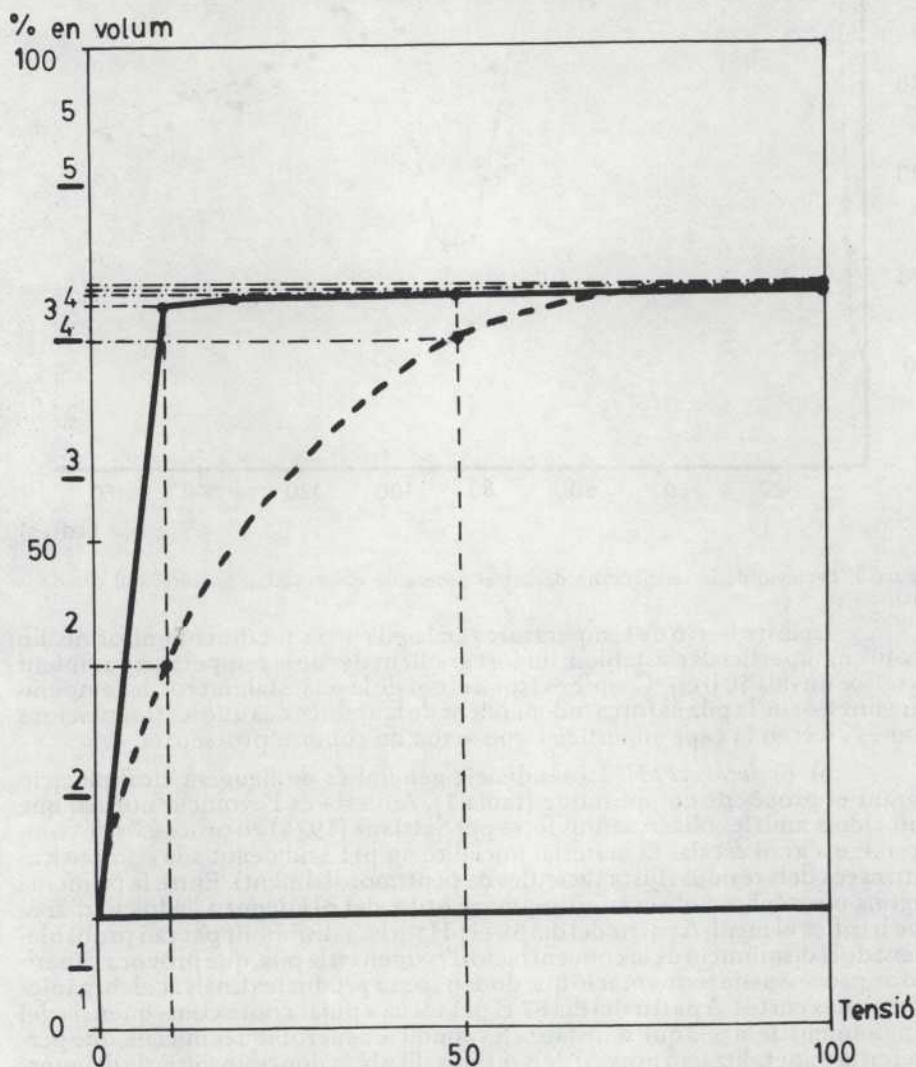


Figura 3. Corba de retenció d'aigua. Residus de neteja de boscos (-). Torba alemanya (---). 1- Material sòlid; 2- Aire; 3- Aigua fàcilment assimilable; 4- Aigua de reserva; 5- Aigua difícilment assimilable.

més grans en el residu forestal. Per contra, l'aigua de reserva i l'aigua fàcilment assimilable són molt inferiors. D'aquí podem deduir que aquest material no seria un bon substrat, ja que tot i que té una porositat molt elevada, els porus són molt grans, de tal manera que en regar-lo la majoria d'aigua percolaria i es perdria ràpidament sense fer cap mena de profit a les plantes. L'aigua de reserva i la fàcilment assimilable es troben en quantitats insuficients per a cobrir les necessitats hídriques.

La retenció d'aigua dels residus inicials i del compost de 160 dies no presenta gaires variacions, el que és un clar indicatiu del fet que aquests residus, globalment considerats, han evolucionat poc. Per tant la densitat de les partícules s'ha mantingut quasi constant, a l'entorn d' $1,2 \text{ g/cm}^3$ i la densitat aparent al voltant de $0,14 \text{ g/cm}^3$.

d) *Matèria orgànica*. En tot procés de compostatge cal esperar una reducció del contingut orgànic per mineralització (Stevenson, 1982). En aquest cas la disminució ha estat molt menor de l'esperada ja que els residus en conjunt han evolucionat molt poc, d'una banda a causa del tamany groller de les partícules i, de l'altra, de la composició, fusta, que és un teixit dur, ric en lignines i per tant descomponible amb lentitud. Els valors de carboni oxidable (COT) estan ben correlacionats amb els de MOT, cosa que reafirma la poca transformació soferta pels residus de neteja de boscos.

e) *Substàncies húmiques*. La quantitat de substàncies húmiques extraïbles (taula 2) durant el procés de compostatge ha estat baixa, amb una lleugera tendència a augmentar. Aquest fet està d'acord amb l'evolució seguida per la matèria orgànica en conjunt i ens indica que només una petita part d'aquests residus han estat transformats. En bona part això és degut a la granulometria dels residus, molt grollera, que fa que presentin poca superfície externa i siguin difícilment atacables pels microorganismes.

Malgrat el poc humus extret, l'evolució de les fraccions fúlvica (AF) i húmica (AH) (taula 2) indica canvis qualitius molt importants durant el compostatge. En la primera etapa dominen els AF sobre els AH, situació que queda invertida a partir del dia 70. Inicialment, i sobretot en la fracció fúlvica, hi ha una

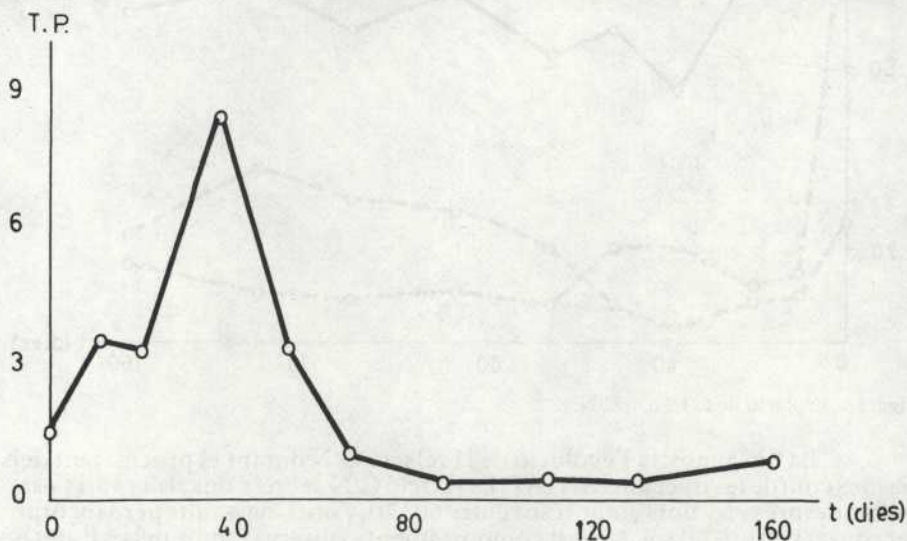


Figura 4. Evolució de la taxa de polimerització (C_{AF}/C_{AH}) durant el compostatge.

gran quantitat de substàncies hidrosolubles, de baix per molecular i amb abundància de carbohidrats, que en anar avançant el procés desapareixen per mineralització, ço que suposa un increment relatiu de la fracció més estable com els AH. També hi ha polimerització de substàncies senzilles que passen de la fracció fúlvica a l'húmica (Schnitzer, 1978). Aquestes procedeixen en part de la hidròlisi parcial de la lignina i de la síntesi de substàncies fenòliques per part dels microorganismes.

L'evolució de la taxa de polimerització C_{AF}/C_{AH} (fig. 4) reflecteix clarament aquest fet. Els primers dies estan dominats per l'alliberament al medi de gran quantitat de "monòmers" i de substàncies fàcilment descomponibles, amb un màxim al voltant del dia 40. A continuació comença a invertir-se la tendència amb una ràpida disminució de la fracció fúlvica a expenses de l'húmica, i així s'inicia el que podríem denominar fase de maduració de l'humus.

f) *El nitrogen i la relació C/N.* El baix contingut en nitrogen d'aquests residus constitueix un factor limitant de la utilització d'aquest material. És necessària, doncs, l'addició de residus rics en nitrogen que compensin aquest desequilibri.

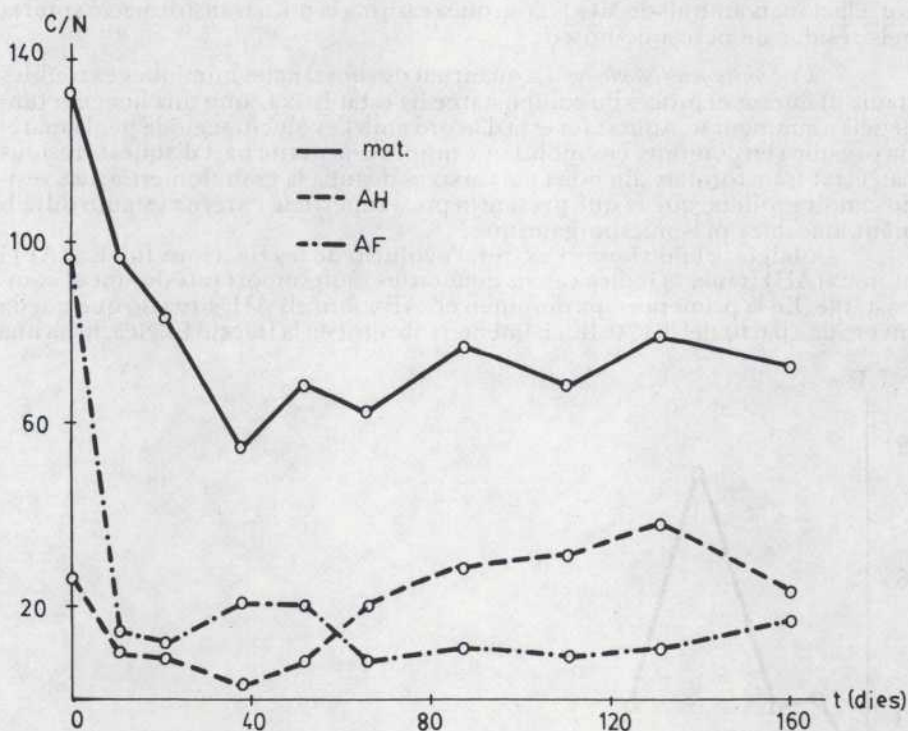


Figura 5. Evolució de la relació C/N.

La fig. 5 mostra l'evolució de la relació C/N durant el procés, tant dels residus com de les fraccions AH i AF. La relació C/N decreix fins al dia 40, i s'estabilitza després en valors compresos entre 60 i 70, valors massa alts per a incorporar aquest material al sòl. Aquest comportament s'observa també pels AF, per bé que amb uns valors molt més baixos. Els AH, després d'un important descens ini-

cial, conseqüència de l'addició d'urea, mostren un lleuger i progressiu augment de la relació C/N, atribuïble a pèrdues de nitrogen feblement lligat als àcids húmics.

g) *Anàlisi elemental dels àcids húmics; corba de Van Krevelen.* L'evolució de la composició elemental dels AH és molt significativa, hom observa una considerable reducció del contingut de carboni a costa sobretot de l'increment d'oxigen. El contingut de N confirma la pauta d'evolució de la relació C/N. L'hidrogen també disminueix. És a dir, els processos que tenen lloc són principalment oxidatius, tal com cabia esperar, i com queda reflectit per l'evolució de les relacions O/C i H/C (fig. 6).

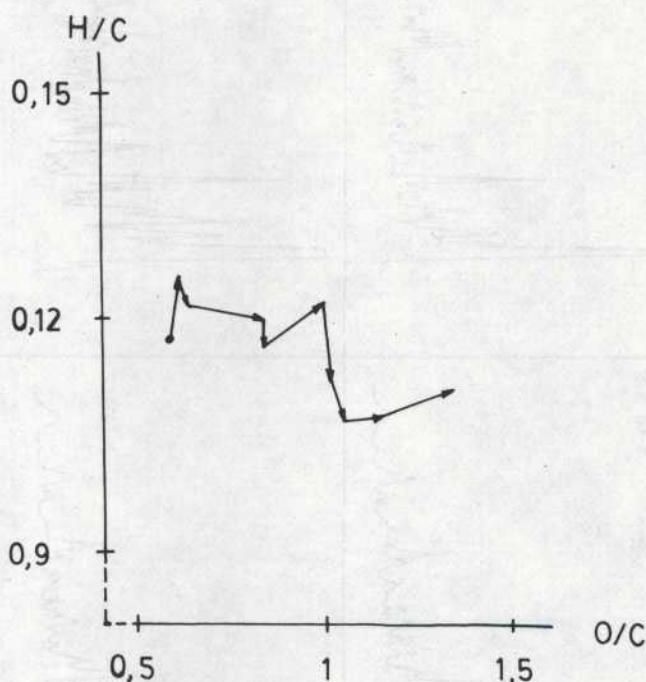


Figura 6. Gràfic de Van Krevelen.

h) *Taxa de mineralització.* La taxa de mineralització és un índex de l'activitat biològica potencial d'un sòl o un residu. Per tant ens dóna idea de l'estabilitat del compost. A la taula 1 podem observar un ascens inicial de la TMC que dura fins al dia 38; a partir d'aquest comença una forta davallada, deguda al fet que quan més madur és un compost queden menys restes fàcilment biodegradables i per tant es despendrà menys CO_2 en realitzar la incubació. Els resultats obtinguts són normals tirant a baixos en relació a altres sèries de composts (Moré *et al.*, 1983).

i) *Piròlisi-Cromatografia de Gasos (Py-CG).* Podem considerar els pirogrames dels composts com una empremta diferencial i característica de cada un d'ells. La comparació de pirogrames permet d'establir similituds i diferències qualitatives entre els composts; algunes relacions numèriques derivades dels pirogrames poden ésser utilitzades com a índex de mineralització o humificació de la matèria orgànica que contenen (Alcañiz *et al.*, 1985).

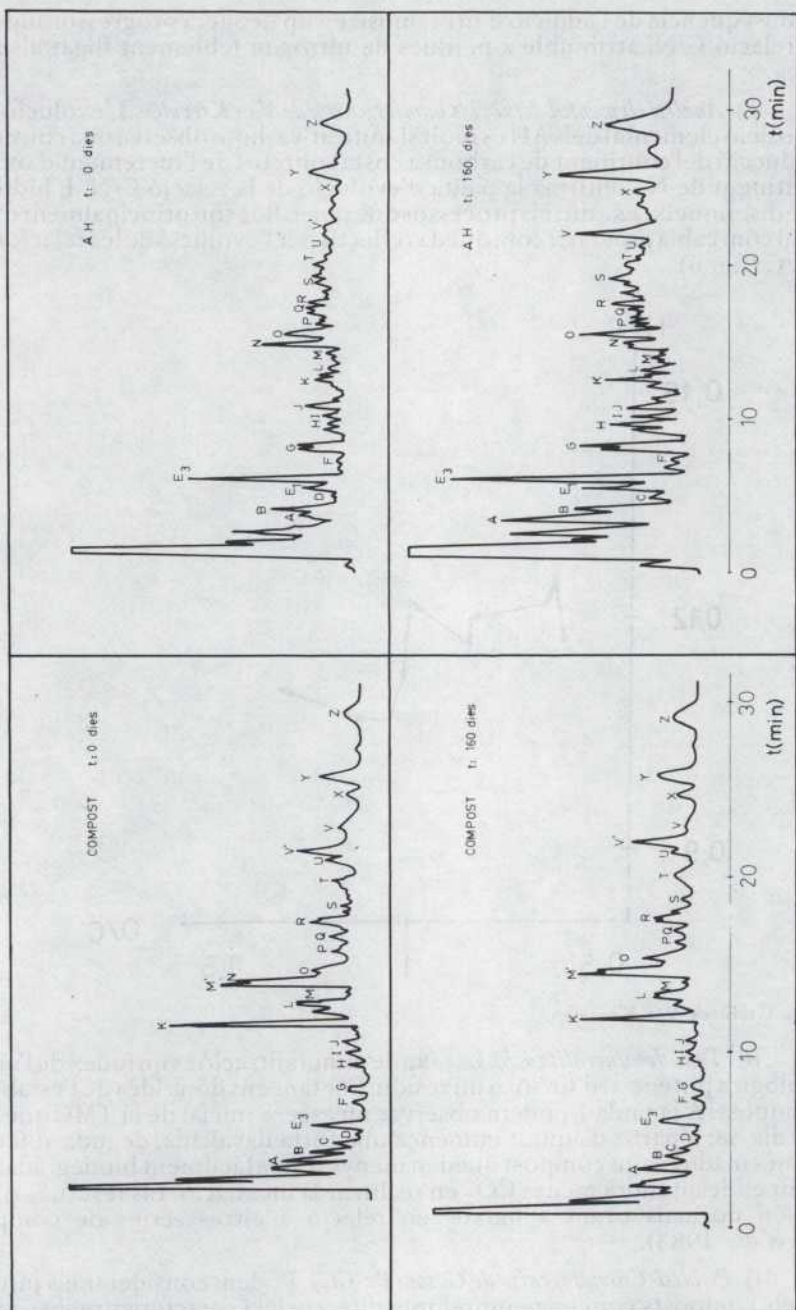


Figura 7. Pirogrames a temps inicial i final del material i dels àcids húmics. Les lletres indiquen els productes identificats: B. Benzè; E₃, Toluè; H. Ciclopentanona; K. Hidroxipropanona; L. Ciclopentanona; N. Furfural; O. Pirrol; P. Metil-pirrol; Q. Metil-furfural; S. Acetofenona; U. Guaïacol; Y. Fenol+o-Cresol; Z. m+p-Cresol.

A la fig. 7 es mostren els pirogrames corresponents als residus forestals a temps 0 i 160 dies. Ambdós presenten forces similituds; destaca, però la reducció del pic K (hidroxipropanona) i l'increment del O (pirrol). En canvi, els pirogrames corresponents als AH en relació al seu compost són molt diferents, cosa que indica clarament que el procés d'extracció porta implícita una forta selecció del material, d'altra banda inevitable.

La comparació dels pirogrames dels AH a temps inicial i a 160 dies mostra unes diferències molt significatives. Els fragments que procedeixen de la piròlisi dels carbohidrats (furfural, metilfurfural, acètic, ciclopentenona, etc.) disminueixen al llarg del procés ja que són ràpidament mineralitzats pels microorganismes. Els anells pirròlics, O i P, procedents de la piròlisi d'aminoàcids, porfirines i citocroms, tenen tendència a augmentar durant el compostatge, el que suposa un enriquiment en nitrogen. Els composts aromàtics provinents de la degradació i oxidació parcial de la lignina donen per piròlisi fenols, cresols i metoxi-fenols; aquests augmenten durant el compostatge. S'observa doncs un gran augment de productes aromàtics en relació als alifàtics. Això és una característica de maduresa i d'estabilitat dels humus que cal destacar tot i que els residus en conjunt han evolucionat molt poc.

CONCLUSIONS

Com a resum del treball exposat podríem fer algunes recomanacions en vista a una possible utilització d'aquests residus.

No és aconsellable la utilització directa d'aquests residus forestals com a compost, a causa que la grandària massa grollera de les partícules no permet que es descompongui bé. Malgrat això, la part que és composta, que correspon sobretot a la fullaraca i l'escorça, dona un humus de bona qualitat. Podria, doncs, millorar-se el rendiment si primer hom reitruirés els residus forestals i/o en fes una separació densimètrica (esventant-los) o mecànica (garbellant-los) que permetria, d'una banda, d'utilitzar aquest material més gros com a combustible, com es fa actualment, i la fracció més fina per a compostar. Aquesta elaboració prèvia a la venda no encarriria gaire el producte i en donaria una imatge més homogènia, tot conservant la mateixa capacitat calorífica. A més, la fracció fina i la rica en fullaraca, a la qual es podrien afegir residus rics en nitrogen, es descompondria millor i hom en podria obtenir un compost de qualitat per a usos de jardineria.

TAULA 1

Evolució del pH i de la taxa de mineralització complementària durant el procés de compostatge

Temps (dies)	pH	TMC
0	4,90	1,19
11	6,00	1,35
21	6,10	2,45
38	6,40	2,60
52	6,03	1,61
66	5,80	1,75
87	5,55	1,55
110	6,20	1,00
131	6,10	1,11
160	6,20	1,05

TAULA 2

Evolució de la taxa d'extracció (C_{AH+AF}/COT) i del contingut en carboni oxidable (g de COT/100 g de material)

Temps (dies)	Carboni oxidable total			Taxa d'extracció (%)
	Material	AH	AF	
0	44,98	1,01	2,41	4,60
11	44,35	0,57	1,54	4,76
21	42,71	0,50	1,53	4,75
38	43,23	0,27	2,22	5,76
52	42,83	0,56	1,86	5,65
66	42,30	1,06	1,13	5,18
87	41,45	1,51	0,70	5,38
110	43,09	1,32	0,75	6,03
131	44,73	1,52	0,73	5,03
160	43,56	1,27	1,16	5,58

TAULA 3

Anàlisi elemental dels àcids húmics

Temps (dies)	% C	% N	% H	% O
0	58,010	1,740	6,830	33,420
11	55,980	3,465	7,075	33,480
21	55,650	3,260	6,790	34,300
38	49,855	3,400	5,960	40,785
52	50,045	3,220	5,815	40,920
66	46,035	3,580	5,625	44,760
87	45,975	3,170	5,090	45,765
110	45,345	3,075	4,810	46,770
131	43,240	2,985	4,615	49,160
160	41,350	2,920	4,575	51,155

AGRAÏMENTS

Els autors volen agrair al Sr. Ricard Estrada de la Direcció General del Medi Rural de la Generalitat de Catalunya l'interés per proporcionar-nos el material. Igualment a la Dra. Montserrat Soliva i a Judith Arnó, del Àrea de Química Agrícola de l'Escola d'Agricultura per les determinacions de la corba de retenció d'aigua.

BIBLIOGRAFIA

- (1) A.G.H.T.M. 1975; *Les résidus urbains, Collecte, traitement et nettoyage des voies publiques. Technique et documentation*. París, 713 pp.
- (2) ALCANIZ, J.M.; SERES, A.; GASSIOT, M. 1985; *Application of pyrolysis-gas chromatography to the study of composting process of barley straw and pear-tree wood*. J. Anal. Appl. Pyrolysis (en impressió).
- (3) GISPERT, M.; ALCANIZ, J.M.; FARRE, C. 1984; Estudio de algunos parámetros de humificación en el compostaje de paja de trigo. Comm. 1.^{er} Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Tomo 1, p. 151-163.
- (4) GARAU, M.A.; FELIPO, M.T. 1984; *Eficacia nitrogenada de un lodo residual en el suelo*. 1.^{er} Con. Nac. Ciencia del suelo, Madrid, Tomo 1, p. 355-366.
- (5) KONONOVA, M.M. 1982; *Materia orgánica del suelo*. Oikos-Tau, Barcelona, 351 pp.
- (6) MORE, J.C.; SAÑA, J.; COHI, A. 1983; *Control analitic de la qualitat del compost i estudi de la seva maduració*. Área de Química Agrícola, Escola d'Agricultura de Barcelona.
- (7) SATRIANA, M.J. 1974; *Large scale composting, Noyes data corp.* London, 305 pp.
- (8) SCHNITZER, M.M.; KHAN, S.V. 1978; *Soil organic matter*. Elsevier, New York, 319 pp.
- (9) SOLIVA, M.; FELIPO, T.; GARAU, M.A.; SAÑA, J. 1982; *Com aprofitar per l'agricultura els fangs residuals de la contaminació*. Ciencia n.º 22: 20-25.
- (10) STEVENSON, F.J. 1982; *Humus Chemistry, genesis, composition, reactions*. J.Wiley, New York, 443 pp.