

---

# **CONSEQUÈNCIES DE LA BIODEGRADABILITAT DE LA MATÈRIA ORGÀNICA EN LES PROPIETATS FÍSQUES I QUÍMIQUES DELS SUBSTRATS**

---

**Oriol Marfà\***  
**Rafaela Cáceres\*\***  
**Silvana Gschwander\*\***  
**Francesco Giuffrida\*\*\***  
**Francis Lemaire\*\*\*\***  
**Vincent Guérin\*\*\*\***  
**Louis M. Rivière\*\*\*\***  
**Sandrine Stievenard\*\*\*\***

## **RESUM**

L'ús de nous materials de naturalesa orgànica provinents de l'agricultura, de la indústria i d'unes altres activitats humanes en la preparació de substrats per al cultiu de plantes fora del sòl natural requereix el coneixement de llur bioestabilitat, ja que aquesta propietat determina la variació de les característiques físiques i químiques dels substrats en el decurs del temps.

En una recerca conjunta duta a terme pels dos grups de recerca pertanyents als departaments de referència de l'INRA a França i de l'IRTA a Catalunya, s'ha estudiat la bioestabilitat de sis materials orgànics: torba d'esfagne, compost d'escorça de pi, compost de residus verds de jardineria, compost de residus de bosc, fibra de coco i compost de fems de vacum, i alhora de set barreges binàries formulades amb les matèries abans esmentades. Al mateix temps s'han estudiat els efectes de la bioestabilitat en la variació de les propietats físiques i químiques de tots els substrats.

\* Departament de Tecnologia Hortícola, IRTA, 08348 Cabrils, Catalunya. Autor a qui s'ha d'adreçar la correspondència: tel. 93.750.75.11 (E-Mail: oriol.marfa@irta.es).

\*\* Departament de Tecnologia Hortícola, IRTA, 08348 Cabrils, Catalunya. Becària de la Universitat de Hohenheim (Alemanya).

\*\*\* Departament de Tecnologia Hortícola, IRTA, 08348 Cabrils, Catalunya. Becari de la Universitat de Catània (Sicília-Itàlia).

\*\*\*\* Station d'Agronomie, INRA, 49071 Beaucouzé Cedex, Angers, França.

Considerant els índexs de bioestabilitat respectius, les matèries primeres s'han classificat en tres grups: han resultat materials molt estables la fibra de coco, el compost d'escorça de pi i el compost de residus de jardineria; s'ha provat que són materials estables la torba d'esfagne i el compost de residus forestals; i, finalment, el compost de fems de vacum presenta una bioestabilitat moderada.

S'hi mostra que, considerant els materials estudiats, la variació relativa de certes propietats físiques, com ara l'aigua disponible i l'aigua difícilment disponible, i també la de certes propietats químiques, com la capacitat de bescanvi catiònic, es correlacionen linealment, amb significació estadística, amb l'índex de bioestabilitat dels substrats estudiats en les dues localitzacions experimentals. Considerant només les matèries primeres, la regressió lineal entre llur capacitat d'aïració i llur índex de bioestabilitat presenta un coeficient de correlació també estadísticament significatiu. Per contra, l'índex de bioestabilitat analitzat no permet preveure les variacions en el decurs del temps d'unes altres propietats, com ara la conductivitat elèctrica o el contingut d'elements solubles.

PARAULES CLAU: subproductes, substrats, medis de cultiu, cultius sense sòl, incubació, bioestabilitat, matèria orgànica, propietats físiques i químiques.

## RESUMEN

El uso de nuevos materiales de naturaleza orgánica procedentes de la agricultura, de la industria y de otras actividades humanas en la preparación de sustratos para el cultivo de plantas fuera del suelo natural requiere el conocimiento de su bioestabilidad, ya que esta propiedad determina la variación de las características físicas y químicas de los sustratos en el transcurso del tiempo.

En una investigación conjunta realizada por los dos grupos de investigación que pertenecen a los departamentos de referencia del INRA, en Francia, y del IRTA, en Catalunya, se ha estudiado la bioestabilidad de seis materiales orgánicos: turba de esfagno, compost de corteza de pino, compost de residuos verdes de jardinería, compost de residuos de bosque, fibra de coco y compost de estiércol de bovino. También se ha estudiado este parámetro sobre siete mezclas binarias formuladas con las primeras materias antes citadas. Igualmente, se han estudiado los efectos de la bioestabilidad en la variación de las propiedades físicas y químicas de todos los sustratos.

Considerando los respectivos índices de bioestabilidad, las primeras materias se han clasificado en tres grupos: materiales muy estables han resulta-

do ser la fibra de coco, el compost de cortexa de pino y el compost de residuos de jardinería; materiales estables se ha probado que lo son la turba de esfagno y el compost de residuos forestales. Finalmente, el compost de estiércol de bovino presenta una bioestabilidad moderada.

Se muestra que, considerando los materiales estudiados, la variación relativa de ciertas propiedades físicas, como por ejemplo el agua disponible y el agua difícilmente disponible, y también la de ciertas propiedades químicas, como la capacidad de intercambio catiónico, se correlacionan linealmente, con significación estadística, con el índice de bioestabilidad de los sustratos estudiados en las dos localizaciones experimentales. Considerando sólo las primeras materias, la regresión lineal entre su capacidad de aireación y su índice de bioestabilidad presenta un coeficiente de correlación también estadísticamente significativo. Por el contrario, el índice de bioestabilidad analizado no permite prever las variaciones a lo largo del tiempo de otras propiedades, como por ejemplo la conductividad eléctrica o el contenido de elementos solubles.

**PALABRAS CLAVE:** subproductos, sustratos, medios de cultivo, cultivos sin suelo, incubación, bioestabilidad, materia orgánica, propiedades físicas y químicas.

## 1. INTRODUCCIÓ

Alguns materials orgànics, com ara la torba d'esfagne, s'utilitzen àmpliament com a substrat per al cultiu de plantes. Actualment, uns altres materials orgànics provinents de la silvicultura, de l'agricultura, de la indústria, de la mineria i d'unes quantes activitats més de l'home es barregen sovint amb la torba per tal de reduir-ne la quantitat que s'utilitza en la preparació de substrats.

Ara bé, entre aquests materials orgànics substitutius de la torba n'hi ha que es sotmeten prèviament a un compostatge. Tot i això, no sempre presenten prou bioestabilitat per a garantir la persistència de llurs propietats físiques i químiques i, en conseqüència, la dels substrats en la composició dels quals entren a formar part (Rivière i Milhau, 1983). Ha estat prèviament estudiat de quina manera la bioestabilitat dels substrats determina, en general, les variacions en el decurs del temps de les seves propietats (Lemaire, 1995). Per exemple, s'han analitzat les variacions temporals de les propietats del compost que s'utilitza per a la producció de xampinyons (Lemaire *et al.*, 1985). Alguns autors han mostrat que la descomposició de la matèria orgànica dels composts en modifica les propietats químiques (Valat, 1989, i Coutourier, 1991). Sovint la capacitat de bescanvi catiònic (CBC) també

augmenta en els processos de maduració de la matèria orgànica (Olivella *et al.*, 1995).

L'avaluació de la bioestabilitat dels materials orgànics es pot dur a terme emprant diferents metodologies; per exemple, mesurant la variació de la relació carboni-nitrogen (C/N), mesurant el despreniment de CO<sub>2</sub> emprant tècniques respiromètriques, analitzant les diferents fraccions que componen la matèria orgànica i deduint-ne la variació temporal (Lemaire, 1996).

En aquest article s'analitzen els resultats obtinguts en experiments simultanis en relació amb la bioestabilitat de substrats orgànics, duts a terme per dos grups de recerca: l'un de l'Estació d'Agronomia de l'INRA a Angers (França) i l'altre del Departament de Tecnologia Hortícola de l'IRTA a Cabriels (Catalunya). S'han estudiat diferents materials orgànics i barreges binàries formulades amb els materials orgànics. Algunes matèries orgàniques s'utilitzen usualment en la formulació de substrats, i unes altres no tant.

## **2. MATERIALS I MÈTODES**

### **2.1. Materials**

Les matèries primeres utilitzades han estat les següents: torba d'esfagne de gradació intermèdia i provinent de Finlàndia (TOR), compost d'escorça de pi marítim (ESC), compost de restes forestals provinents de bosc mediterrani (RF), compost de residus de jardineria (RJ), fibra de coco (FC) i compost de fems de vacum amb jaç de palla (FEM). També s'hi ha utilitzat com a matèria primera un material no orgànic i inert: perlita de gradació intermèdia de mida de partícules comprès entre 0 i 3 mm (PER).

S'han preparat set barreges binàries utilitzant les sis matèries primeres abans esmentades. Aquestes barreges són, expressada llur composició en volum: TOR/ESC (1:1), FEM/PER (1:1), RF/FEM (2:3), RF/ESC (1:1), RJ/FC (1:1), TOR/RJ (1:1) i TOR/FC (1:1).

Tant les matèries primeres TOR i ESC com la barreja TOR/ESC s'han utilitzat com a controls, respectivament, de les matèries primeres i de les barreges utilitzades en cadascuna de les dues estacions experimentals. Per contra, només a Cabriels s'han estudiat les matèries primeres RF i FEM i les barreges FEM/PER, RF/FEM i RF/ESC; i a Angers només s'han estudiat les matèries primeres RJ i FC i les barreges RJ/FC, TOR/RJ i TOR/FC.

## 2.2. Mètodes

Per a l'avaluació de la bioestabilitat s'ha utilitzat un índex prèviament contrastat per a substrats (Lemaire, 1996). S'entén com a *índex de bioestabilitat* (IB) d'un substrat orgànic la quantitat de matèria seca, expressada com a percentatge de la matèria seca inicial, que roman després de sis mesos d'incubació del substrat col·locat dins d'un test de 2 l de capacitat, mantingut amb un grau d'humectació equivalent a la capacitat de contenidor (Gras, 1981), cobert amb una protecció plàstica permeable i col·locat dins d'un hivernacle. Per a la determinació de l'IB dels materials estudiats s'han disposat quatre repeticions per a cada material i per a cadascun dels sis mesos de durada de la incubació, atès que al final de cada mes s'ha mesurat la quantitat de matèria seca que resta en cada test.

Les propietats físiques dels materials analitzats, al principi i al final de la incubació, han estat la porositat total (EPT), la densitat aparent (DA) i la real (DR) i la corba d'alliberament d'aigua. L'EPT s'ha calculat a partir de la DA i de la DR de cada material; la DA s'ha determinat amb el mètode del doble anell, en condicions d'humectació corresponents a  $-1$  kPa en bany de sorra; la DR s'ha estimat a partir de les proporcions de matèria orgànica i de matèria mineral de cada mostra. De la corba d'alliberament d'aigua de cada substrat se n'han deduït el contingut volumètric d'aire a  $-1$  kPa (pF1), anomenat *capacitat d'aire* (CA); el contingut volumètric d'aigua a  $-10$  kPa (pF2), anomenat *aigua difícilment disponible* (ADD); i, finalment, la diferència entre els continguts d'aigua a  $-1$  kPa i a  $-10$  kPa, anomenada *aigua disponible* (AD). Per a la determinació d'aquests paràmetres, a l'estació d'Angers s'ha utilitzat el mètode de columnes de succió en banys de sorra; i a l'estació de Cabrils, el mètode de plaques de Haines descrit per De Boodt. Cada determinació s'ha replicat quatre vegades.

Les propietats químiques analitzades al principi i al final de la incubació han estat el pH i la conductivitat elèctrica (CE) en extractes aquosos en la proporció volumètrica 1:1,5 substrat/aigua; també s'ha determinat la CBC utilitzant sal de bari i els cations extractables amb acetat amònic i el fòsfor inorgànic extractable amb àcid cítric; finalment s'han determinat els elements minerals solubles  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , K, Ca, Mg i Na, també en extractes aquosos 1:1,5 (vol:vol). Cadascuna d'aquestes determinacions s'ha realitzat per quadruplicat.

### 3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

#### 3.1. Índexs de bioestabilitat

Els IB de les matèries primeres (taula i) oscilla entre el 66,5 % per al FEM i al voltant del 100 % per a ESC, FC i RJ. Tot i que els composts RJ i RF provenen de residus vegetals però amb fraccions lignificades en proporció elevada, l'RF presenta un IB del 83,6 % força més baix que no pas l'IB de l'RJ. Aquesta diferència de l'IB pot ésser deguda a diferents graus de maduresa de cada material i/o a la diferent composició de la matèria orgànica de cadascun.

La mostra d'ESC fou exactament la mateixa per a ambdues localitats experimentals i els IB mesurats són anàlegs. Contràriament, les mostres de

**TAULA I**

*Índex de bioestabilitat de matèries primeres i barreges de substrats*

Matèries primeres	Abrev.		Índex d'estabilitat (%)	
			Cabrils	Angers
Torba finlandesa	TOR		83,7	88,2
Escorça de pi compostada	ESC		102,5	98,9
Fems compostats	FEM		66,5	
Residus forestals compostats	RF		83,6	
Residus de jardineria compostats	RJ			100,3
Fibra de coco	FC			103,9
Barreges		Barreja (v/v)	Índex d'estabilitat (%)	
			Cabrils	Angers
Torba-escorça	TOR-ESC	1/1	85,2	93,5
Fems compostats – perlita	FEM-PER	1/1	76,8	
Residus forestals – fems compostats	RF-FEM	2/3	72,0	
Residus forestals – escorça	RF-ESC	1/1	92,4	
Residus de jardineria – fibra de coco	RJ-FC	1/1		92,2
Torba – residus de jardineria	TOR-RJ	1/1		94,7
Torba – fibra de coco	TOR-FC	1/1		91,2

TOR presenten IB diferents segons quina sigui la localitat; tot i que la TOR era de la mateixa marca comercial i del mateix tipus, no provenia de la mateixa partida, atès que cada mostra fou adquirida independentment en cada localitat. Aquest fet, i potser les diferències climàtiques en cada localitat durant el període d'incubació, pot haver estat la causa de les diferències en els IB de la TOR: 83,7 % a Cabrils i 88,2 % a Angers.

De les set barreges estudiades, presenten IB elevats (94 % a 80 %) les següents: TOR/ESC (85,2 % a Cabrils i 93,5 % a Angers), RF/ESC (92,4 %), RJ/FC (92,2 %), TOR/RJ (94,7 %) i TOR/FC (91,2 %); són mitjans els IB de les barreges en les quals intervé FEM, és a dir: FEM/PER (76,8 %) i FEM/RF (72,0 %). Les diferències de l'IB de la barreja TOR/ESC segons quina hagi estat la localitat experimental on s'ha avaluat es corresponen proporcionalment, tenint en compte les diferències de l'IB mesurades per a la TOR i esmentades abans. Els IB de les barreges binàries TOR/ESC a Angers, RF/FEM, RF/ESC i TOR/RJ s'aproximen a la mitjana ponderada de l'IB, calculada segons la proporció en pes de cada component de la barreja; els IB mesurats ( $IB_m$ ) de les altres barreges: TOR/ESC a Cabrils, FEM/PER, RJ/FC i TOR/FC, són menors que els IB estimats ( $IB_e$ ), però la diferència entre  $IB_m$  i  $IB_e$  és relativament petita. L'equació de regressió lineal corresponent a la relació entre  $IB_m$  i  $IB_e$  és:  $IB_m = 8,98 + 0,86 IB_e$  ( $r = 0,86^{**}$ ,  $n = 8$ ). En conseqüència, a partir dels IB de les matèries primeres es pot estimar amb certa aproximació l'IB resultant per a la barreja binària.

### 3.2. Propietats físiques

L'EPT de les matèries primeres i de les barreges és elevada i hi roman al final de l'assaig de bioestabilitat (taula II). Per tant, les alteracions de l'espai porós dels substrats orgànics amb el pas del temps han d'atribuir-se a la redistribució de la mida dels porus intraparticulats i interparticulats i no pas a llur volum total. És raonable, aleshores, pensar que l'alteració progressiva de la matèria orgànica dels substrats dona lloc a variacions de la granulometria, i, en conseqüència, a variacions dels porus interparticulats; i, a més, a modificacions de la porositat interna de les pròpies partícules. És conegut que aquesta mena de variacions comporta alteracions de les característiques de retenció i d'alliberament d'aigua del substrat.

Els paràmetres referents a les relacions aire/aigua d'un substrat de més gran significació agronòmica són la CA, l'AD i l'ADD. Ha estat descrit que les alteracions de la matèria orgànica comporten fraccionaments de les partícules, llur redistribució i llur empaquetament, i, aleshores, una disminució de la CA del substrat (Lemaire, 1996). En efecte, en onze dels setze casos analitzats la CA disminueix; i particularment aquest fet es dona en tots els substrats estudiats a Cabrils. Pel que fa a les matèries primeres, la CA dismi-

**TAULA II**

*Característiques físiques de matèries primeres i barreges a l'inici i al final de l'experiment de bioestabilitat en les dues localitats: Angers i Cabriils*

	Mes 0				Mes 6			
	EPT (% v/v)	CA (% v/v)	AD (% v/v)	ADD (% v/v)	EPT (% v/v)	CA (% v/v)	AD (% v/v)	ADD (% v/v)
<b>Matèries primeres</b>								
TOR								
<i>Cabriils</i>	94,7	14,9	51,7	28,1	95,1	13,1	44,1	37,9
<i>Angers</i>	96,2	33,1	31,0	32,1	96,6	28,8	36,3	31,5
ESC								
<i>Cabriils</i>	89,0	57,3	6,4	25,3	88,0	48,3	7,2	32,4
<i>Angers</i>	91,1	55,4	7,7	28,0	91,5	58,3	8,1	25,1
FEM								
<i>Cabriils</i>	89,5	33,7	23,0	32,8	89,4	25,4	17,2	45,1
RF								
<i>Cabriils</i>	84,7	36,3	17,1	31,3	85,1	19,3	15,3	50,4
RJ								
<i>Angers</i>	89,3	28,3	17,5	43,5	87,9	28,6	17,4	41,9
FC								
<i>Angers</i>	97,8	70,8	12,0	15,0	98,0	75,6	8,9	13,5
<b>Barreges</b>								
TOR-ESC								
<i>Cabriils</i>	90,9	27,7	34,0	29,2	91,3	24,6	30,0	36,4
<i>Angers</i>	94,0	51,9	12,2	29,9	94,2	40,3	21,7	32,2
FEM-PER								
<i>Cabriils</i>	90,9	27,3	32,2	31,4	92,0	26,1	23,2	42,7
RF-FEM								
<i>Cabriils</i>	87,7	34,0	26,9	27,5	87,7	22,7	14,1	50,7
RF-ESC								
<i>Cabriils</i>	88,2	50,8	14,8	24,4	86,8	33,7	9,3	43,7
RJ-FC								
<i>Angers</i>	92,7	41,7	17,0	34,0	91,8	47,6	13,6	30,6
TOR-RJ								
<i>Angers</i>	93,5	24,4	29,0	40,1	92,3	14,6	29,8	47,9
TOR-FC								
<i>Angers</i>	96,8	41,5	27,9	27,4	97,2	48,4	23,8	30,6

Entre parèntesis figura l'error estàndard de la mitjana per a una probabilitat del 95 % (n = 4).

EPT: espai porós total.

CA: capacitat d'aireig.

AD: aigua disponible.

ADD: aigua difícilment disponible.



nueix al cap de sis mesos d'incubació, en el cas de la TOR, a Angers i a Cabrils; en el FEM, en l'RF i en l'ESC a Cabrils. Per contra, en el cas de l'ESC a Angers, l'RJ i la FC, la CA roman pràcticament inalterada. Quant a les barreges, la CA disminueix en totes les de la localitat Cabrils, és a dir, en TOR/ESC, FEM/PER RF/FEM i RF/ESC; i també en les barreges següents estudiades a Angers: TOR/ESC i TOR/RJ. No obstant això, s'observa un lleuger augment de la CA en les barreges en què intervé FC, és a dir, RJ/FC i TOR/FC. La naturalesa fibrosa i molt lignificada de la FC (García i Davered, 1994) sembla garantir l'estabilitat estructural de la matriu porosa i, en conseqüència, la CA de les barreges en les quals intervé aquest material. La CA de TOR a Cabrils i de TOR/RJ a Angers, al cap de sis mesos d'incubació, assoleix respectivament valors de 13,1 % i 14,6 %, que són relativament baixos i poden comprometre les condicions d'aireig de la rizosfera segons quins siguin el règim d'irrigació i el tipus de contenidor. Les variacions relatives de la CA més remarcables són les que presenten l'RF i les barreges RF/FEM, RF/ESC i TOR/RJ.

Pel que fa a l'AD, disminueix en deu dels setze casos analitzats. En tres dels casos roman inalterada. En tres casos més augmenta. Les disminucions relatives més considerables de l'AD, és a dir, referides al valor inicial, es donen en les barreges en les quals intervé el FEM, o sigui FEM/PER i FEM/RF i també RF/ESC. L'augment relatiu de l'AD més gran es presenta en la barreja TOR/ESC a Angers.

Quant a l'ADD, és raonable preveure que les alteracions reològiques, concretament les atribuïbles a la matèria orgànica, comportin un augment d'aquest paràmetre, atès que és probable que augmentin el nombre de porus de menor diàmetre i la porositat interna de les partícules (Pokorny, 1985). Els resultats mostren que efectivament l'ADD augmenta en onze casos; concretament, com en el cas de la CA, en tots els substrats analitzats a Cabrils. Contràriament, en els substrats analitzats a Angers la variació de l'ADD és menor que a Cabrils. Dels resultats experimentals no es pot inferir que aquest fet, com l'anàleg descrit per a la CA, sigui atribuïble a les diferències de règim tèrmic durant el període d'incubació o bé a la mateixa naturalesa dels substrats estudiats en cada localitat experimental. En els casos en què l'ADD disminueix ho fa en una quantia relativament reduïda. L'augment de l'ADD més elevat s'ha observat en l'RF i en les barreges en les quals intervé: FEM/RF i ESC/RF.

### **3.3. Propietats químiques**

Les variacions que experimenta el pH dels diferents substrats són relativament petites (taules IIIa i IIIb). La variació de la CE dels substrats estudiats a Angers és relativament reduïda. La utilització a Angers d'aigua destil·lada

durant els sis mesos d'incubació, per a la reposició de l'aigua que el substrat perd per evaporació, no contribueix a l'augment de la CE. Per contra, a Cabriels va utilitzar-se aigua no destil·lada amb una CE d'1,1 dS·m<sup>-1</sup>. En conseqüència, l'augment de la CE, que s'ha mesurat en els substrats estudiats a Cabriels, excepte en el FEM, pot atribuir-se en bona part a l'ús de l'aigua no destil·lada. El comportament anòmal del FEM pot ésser degut al rentatge accidental del seu contingut elevat en elements solubles quan va humitejar-se inicialment tot i que es va fer amb aigua de CE mitjana. Una prova de la raó abans esmentada és que en la barreja FEM/PER, essent PER químicament inert, no presenta l'anomalia abans descrita, ja que al final de la incubació augmenta la seva CE i la concentració d'elements solubles. Així mateix, la CE i el contingut d'elements solubles de les barreges que contenen FEM i/o RF, és a dir: FEM/PER, RF/FEM i RF/ESC, augmenten. L'augment dels nitrats en les barreges anteriors i també en RF és considerable. Aquest resultat referit a RF permet plantejar la hipòtesi de la presència d'algun material, diferent de les restes forestals, en la composició original del compost RF que sigui ric en nitrogen i que en el decurs de la incubació experimenti una forta mineralització del nitrogen. L'RF experimenta un augment considerable de la CE, d'1,16 a l'inici a 2,65 dS·m<sup>-1</sup> al final. És lògic, per tant, que la concentració de la majoria d'elements solubles i particularment del potassi augmenti considerablement. Per consegüent, és coherent que en la barreja RF/ESC el potassi també augmenti. El potassi soluble igualment augmenta força en l'ESC a Angers i disminueix notablement en l'RJ i en les barreges en què intervé: RJ/FC i RJ/TOR. Aquesta disminució es correspon amb un augment remarkable del potassi de canvi, fet que es pot relacionar amb l'augment considerable de la CBC de l'RJ al final de la incubació.

Pel que fa a la CBC, augmenta en onze dels setze substrats analitzats. Disminueix en el cas de la TOR en ambdues localitats experimentals i també en l'ESC i en TOR/ESC a Angers. Els augments relatius més elevats de la CBC s'han mesurat en el FEM i en l'RF i alhora en les barreges en les quals ambdós intervenen: FEM/PER, FEM/RF i RF/ESC; en termes relatius, la CBC de la barreja RJ/FC també augmenta molt (taules IIIa i IIIb).

### **3.4. Relació entre l'IB i els paràmetres de la relació aire/aigua**

L'IB expressa la disminució relativa de la matèria seca al final del període d'incubació de sis mesos de durada. La relació d'aquest índex amb la variació relativa de la CA, l'AD i l'ADD no és, en principi, òbvia. Les regressions lineals entre l'IB i cadascun dels paràmetres esmentats presenten coeficients de determinació significatius en el cas de la relació ADD/IB i AD/IB, quan es consideren els setze materials estudiats, i per a les relacions CA/IB i ADD/IB, quan només es consideren les matèries primeres. Aquests resultats mostren, per tant, una relació entre la pèrdua relativa de matèria seca i la va-

**TAULA IIIa. Característiques químiques de les matèries primeres**

Substrat	TORBA				ESFORÇA DE PI COMPOSTA				COMP. RES. JARDÍ		COMP. RES. FORESTALS		FIBRA DE COCO		COMP. FEMS	
	Angers		Cabriels		Angers		Cabriels		Angers		Cabriels		Angers		Cabriels	
Temps	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6
pH aigua	3,72	3,79	3,60	3,80	6,55	6,69	6,70	6,60	8,35	8,45	7,10	6,90	6,12	5,90	8,00	8,00
CE (mS/cm)	0,06	0,07	0,85	1,21	0,31	0,33	0,63	1,63	2,56	2,99	1,16	2,65	0,68	0,88	2,00	1,44
CBC (meq/L sub)	104,5	95,0	146,3	101,3	198,0	176,0	186,5	247,5	182,0	263	133,8	263,8	30	24,5	80,5	134,3
<b>Elements minerals solubles en aigua (mg/l aigua a pF1 del substrat – rati extracte 1:1,5)</b>																
N-NO3-	0,6	0,6	2,4	3,12	35,4	93,9	10,9	10,56	113,8	116,5	29,4	47,50	0,3	2,3	24,7	24,88
N-NH4+	6,6	8,6	16,5	18,00	6,5	1,4	1,2	0,69	7,2	2,3	6,8	0,68	6,4	2,0	7,5	0,67
P	0,9	1,2	5,4	9,1	11,1	12,6	9,8	12,7	16,7	12,2	10,2	11,9	17,3	41,7	72,4	27,8
K	1,7	0,5	16,0	12,6	238,4	300,0	90,7	103,4	2.320,7	1143	233,1	330,0	522,4	841,4	305,8	147,2
a	3,2	3,0	48,1	91,8	92,7	131,9	48,3	150,3	19,1	34,3	77,7	198,5	6,6	13,7	64,2	80,8
Mg	1,3	0,0	12,8	20,9	15,2	15,3	9,0	22,6	6,4	5,4	12,2	30,0	3,9	1,2	36,1	42,8
Na	4,4	3,8	59,8	107,5	62,4	65,6	48,2	123,8	121,8	14,0	50,0	122,2	457,6	541,1	163,5	119,7
<b>Elements minerals solubles en acetat amònic (mg/l substrat)</b>																
K	9,0	9,3	6,2	11,4	304,3	323,5	109,1	282,8	2.717,8	3.441,3	343,1	510,4	330,3	284,8	187,0	101,5
Ca	110,3	104,8	132,3	236,1	2.161,0	2.148,8	1.326,7	1.950,6	2.445,3	2.932,5	1.431,8	2.229,1	61,5	79,8	832,9	257,0
Mg	42,0	39,5	30,1	43,3	170,9	181,5	102,4	168,0	389,0	433,2	124,5	194,7	44,6	48,1	205,0	44,5
Na	10,8	7,3	34,0	68,8	49,5	52,2	45,8	110,5	117,8	173,9	53,2	100,0	204,2	207,2	88,3	58,3
<b>Fòsfor soluble en àcid cítric</b>																
P	1,4	0,0	0,8	id	26,9	25,3	21,7	20,7	516,0	487,0	89,1	67,4	10,0	7,1	1.000,4	498,5

**TAULA III b.** *Característiques químiques de les barreges*

Substrat	TORBA-ESCORÇA				COMP. FEMS - PERLITA		RES. FOREST.- COMP. FEMS		RES. FOREST.- ESCORÇA		FIBRA COCO - RES. JARDÍ		TORBA - RES. JARDÍ		TORBA - FIBRA COCO	
	Localitat		Angers		Cabriils		Cabriils		Cabriils		Cabriils		Angers		Angers	
Temps	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6
pH aigua	4,98	5,51	5,5	6,10	8,20	7,20	7,80	7,30	6,80	6,70	8,42	8,29	6,68	7,06	4,27	4,17
CE (mS/cm)	0,16	0,28	0,72	1,30	1,36	3,48	1,58	2,98	0,79	2,74	1,81	1,61	1,30	1,45	0,43	0,28
CBC (meq/L sub)	177,0	139,5	125,0	182,2	42,3	67,3	110,5	190,6	144,3	242,8	101,5	169,0	133,5	154,0	70,0	72,5
<b>Elements minerals solubles en aigua (mg/l aigua a pF1 del substrat – rati extracte 1:1,5)</b>																
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6,0	59,8	0,5	1,85	12,5	83,81	17,2	45,36	18,1	45,1	79,0	21,3	40,5	106,7	0,2	0,5
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	5,8	2,2	9,3	0,50	4,0	2,81	2,4	1,24	2,4	0,39	2,9	4,0	6,0	1,8	3,7	0,4
P	9,9	15,0	8,6	4,6	45	51,8	55,8	63,4	8,5	12,8	27,3	24,6	51,8	19,1	2,1	2,0
K	97,8	131,8	58,8	58,6	161,4	107,1	258,1	266,7	134,0	268,2	1.706,2	1.234,2	922,9	627,6	146,6	119,1
Ca	32,1	76,1	44,3	138,4	56,8	251,6	70,9	213,2	56,5	199,9	18,8	21,4	15,7	13,0	4,8	4,2
Mg	5,9	10,5	8,8	22,4	28,5	142,8	24,5	79,7	9,4	31,4	4,8	0,0	4,3	1,1	3,2	0,0
Na	26,6	29,9	52,3	107,7	130,4	232,5	112,4	205,5	44,5	160,2	199,2	201,7	53,3	49,8	133,1	92,3
<b>Elements minerals solubles en acetat amònic (mg/l substrat)</b>																
K	197,8	172,8	49,0	104,0	84,4	99,0	233,9	344,2	240,3	447,2	1.250,0	2.037,5	1.454,0	1.647	191,8	147,3
Ca	1.629,0	1.589,3	750,4	1.604,5	645,7	1.046,2	1.154,9	1.668,1	1.314,4	2.254,5	1.272,0	1.812,8	1.604,8	1.791,8	82,5	83,0
Mg	134,3	122,3	66,1	134,8	166,8	231,6	240,5	409,8	111,4	199,8	183,6	260,5	238,5	242,1	44,8	49,7
Na	31,7	172,5	43,4	86,8	62,3	109,8	78,9	118,6	50,7	113,0	125,9	226,0	67,1	79,0	120,9	110,8
<b>Fosfor soluble en àcid cítric</b>																
P	16,0	15,9	17,0	24,4	602,4	534,7	762,3	659,5	55,2	50,3	255,3	230,5	235,8	23,5	1,8	0,9

## TAULA IV

*Rectes de regressió entre l'índex de bioestabilitat (IB) de diferents substrats amb paràmetres físics (CA, ADD i AD) i l'índex de bioestabilitat (IB) amb capacitat de bescanvi catiònic (CBC)*

Paràmetres correlacionats	Tots els materials	Matèries primeres
$\Delta CA (x) - IB (y)$	$y = 0,212 \cdot x + 91,94$ $r = 0,38 \text{ ns}$ $n = 16$	$y = 0,466 \cdot x + 96,7$ $r = 0,64^*$ $n = 8$
$\Delta ADD (x) - IB (y)$	$y = -0,198 \cdot x + 93,50$ $r = -0,59^*$ $n = 16$	$y = -0,287 \cdot x + 94,97$ $r = -0,64^*$ $n = 8$
$\Delta AD (x) - IB (y)^1$	$y = 0,310 \cdot x + 92,46$ $r = 0,54^*$ $n = 15$	$y = 0,336 \cdot x + 91,88$ $r = 0,46 \text{ ns}$ $n = 8$
$\Delta CBC(x) - IB (y)^2$	$y = -0,154 \cdot x + 94,27$ $r = 0,57^*$ $n = 15$	$y = -0,163 \cdot x + 95,74$ $r = 0,56 \text{ ns}$ $n = 7$

Nivell de significació de les correlacions: 0,05.

CA: capacitat d'aireig.

AD: aigua disponible.

ADD: aigua difícilment disponible.

CBC: capacitat de bescanvi catiònic.

1. Exclo el valor de TOR-ESC-Angers.

2. Exclo els valors de TOR-Cabrils.

riació relativa d'alguns paràmetres físics de major significació agronòmica dels substrats: la CA, l'AD i l'ADD (taula iv).

### 3.5. Relació entre l'IB i la CBC

Alguns autors utilitzen la variació de la CBC en el temps com un indicador de l'estabilitat de la matèria orgànica (Linères i Djakovitch, 1993). No obstant això, la relació entre l'IB i la variació relativa de la CBC no és òbvia tampoc en un procés que comporti alteracions de la matèria orgànica. Nogensmenys, la regressió lineal entre ambdós paràmetres presenta un coeficient de determinació significatiu quan es consideren tots els materials analitzats excepte la TOR a Cabrils, que presenta un comportament aparentment anòmal; aquest comportament pot atribuir-se al fet que la variació de la CBC de la TOR no és solament deguda a l'alteració de la matèria orgànica, sinó també a l'augment considerable del pH, atesa la utilització d'aigua no destil·lada que abans s'ha esmentat (Helling *et al.*, 1964). Per tant, els resultats obtinguts mostren la relació existent entre les variacions relatives de la matèria seca i de la CBC dels substrats analitzats (taula iv).

## 4. CONCLUSIONS

L'IB és una mesura de la variació relativa de matèria seca d'un substrat sotmès a un procés d'incubació en unes condicions anàlogues a les de cultiu en un contenidor. No obstant això, les condicions ambientals de la incubació no estan normalitzades i, en conseqüència, en diferents condicions, els IB respectius d'un mateix material poden ésser diferents. Per tant, posat cas que interressi disposar de l'IB de referència, caldrà normalitzar les condicions ambientals en què s'esdevé la incubació.

S'hi ha mostrat que l'IB de les barreges binàries d'una gamma àmplia de substrats pot estimar-se a partir dels IB dels components.

Les propietats físiques relacionades amb les relacions aire/aigua dels substrats analitzats experimenten, en alguns casos, variacions de magnitud considerable tant en termes relatius com en termes absoluts. Aquesta informació té valor diagnòstic per a seleccionar un substrat, depenent dels requeriments del cultiu i de la seva durada.

Les variacions que les propietats químiques dels substrats analitzats experimenten són complexes i no sempre previsibles a partir de llur IB; particularment, en el que es refereix al contingut d'elements minerals solubles, la CE i els cations de canvi.

Els resultats mostren una relació lineal significativa entre la pèrdua relativa de matèria seca dels substrats estudiats i la disminució de l'AD i l'augment de l'ADD. També és significativa la relació lineal entre la disminució de l'IB i l'increment de la CBC.

Per tant, l'IB pot ésser un indicador útil per a la predicció de les variacions que poden experimentar els substrats orgànics en algunes propietats físiques i en la CBC amb el pas del temps. Nogensmenys, l'IB no permet predir les variacions de la disponibilitat dels nutrients, ni tampoc la interacció del substrat amb les solucions nutritives utilitzades en el cultiu en contenidors.

## AGRAÏMENTS

Agraïm molt particularment a Anna Puerta i Odile Douillet la seva dedicació a les tasques analítiques dels experiments realitzats a Cabrils i Angers, respectivament. També agraïm el suport financer atorgat per l'INIA per a dur a terme la cooperació bilateral entre els dos grups de recerca de l'INRA i de l'IRTA. I, finalment, el suport financer atorgat per la CICYT mitjançant el projecte PETRI, ref. 94-0110.

## BIBLIOGRAFIA

- COUTOURIER, A. (1991). *Caractérisation de l'évolution de deux types de matières organiques en compostage: paille et bois*. Mem. DESS Technologie du Végétal. França: Universitat d'Angers. 42 p.
- HELLING, C. S.; CHESTERS, G.; COREY, R. B. (1964). «Contribution of organic matter and clay to soil cation-exchange capacity as affected by the pH of the saturating solution». *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, núm. 28, p. 517-520.
- GRAS, R. (1981). «Influence de l'épaisseur des massifs poreux sur leur rétention en eau: capacités en bac». *Sci. Sol.*, núm. 3, p. 171-186.
- LEMAIRE, F. (1995). «Physical, chemical and biological properties of growing medium». *Acta Hort.*, núm. 396, p. 273-284.
- (1996). «The problem of the biostability in organic substrates». *Acta Hort.*, núm. 450, p. 63-70.
- LEMAIRE, F.; DARTIGUES, A.; RIVIÈRE, L. M. (1985). «Properties of substrate made with spent mushroom compost». *Acta Hort.*, núm. 172, p. 13-29.
- LINÈRES, M.; DJAKOVITCH, J. L. (1993). «Caractérisation de la stabilité biologique des apports organiques par l'analyse biochimique». A: *Matières organiques et agricultures* [IV Journées de l'Analyse de Terre, novembre 1993, Blois], p. 159-168.
- OLIVELLA, C.; CÀCERES, R.; PUERTA, A.; TORT, J. M.; MARFÀ, O. (1995). «Estiércol de vacuno: Compostaje y valorización como sustrato hortícola». A: *Actes ANQUE*, vol. 2, p. 419-429.
- POKORNY, F. A. (1987). «Available water and root development within the micropores of pine bark particles». *J. Environ. Hort.*, núm. 5, p. 89-92.
- RIVIÈRE, L. M.; MILHAU, C. (1983). «The use of wood waste composts in the making of substrates for container crops». *Acta Hort.*, núm. 150, p. 475-489.
- VALAT, B. (1989). *Contribution à l'étude des propriétés hydriques des matières organiques (tourbes et composts) à usage horticole*. Poitiers. 239 p. [Tesi universitària]