

5. RUGOSITAT DE FONTS

5. Rugositat de Fons

La dinàmica sedimentària no només es veu afectada per la interacció directa dels organismes amb el sediment, sinó que la pròpia presència dels organismes a la superfície també la pot condicionar (Grant & Madsen, 1986). Els organismes i fragments d'organismes presents en superfície formen part de la rugositat d'origen biòtic (K_{bio}). La K_{bio} i la rugositat associada a ripples (K_{rip}) són els integrants de la rugositat de forma de ròssec (*form drag roughness*), la qual té connotacions directes en fenòmens com la dinàmica sedimentària i la dissipació de l'onatge.

La importància quantitativa de la rugositat d'origen biòtic respecte els altres tipus de rugositat vendrà determinada per les condicions hidrodinàmiques, ja que aquestes seran els factor clau que determinen el tipus de rugositat preponderat en cada moment:

(1) En condicions altament energètiques, amb transport de càrrega de fons (*bed-load transport*), la rugositat de fons movable (*moveable bed roughness*) (Wiberg & Rubin, 1989) és el principal integrant de la rugositat total.

(2) En condicions intermèdies pren major preponderància la rugositat de forma de ròssec (*form drag roughness*), especialment la rugositat associada a ripples (K_{rip}), encara que també hi és present la rugositat associada a l'activitat dels organismes (K_{bio}).

(3) En condicions de baixa energia, els organismes epibentònics són els principals integrants de la rugositat de fons total (K_b), ja que són els principals obstacles sobre el fons (K_{bio}) i a més són responsables, en certa mesura, de la destrucció dels ripples (i per tant, la disminució de la K_{rip}).

A partir de les característiques dels ripples i de la densitat de components d'origen biòtic s'ha calculat la K_{rip} i la K_{bio} , respectivament. Les condicions energètiques eren d'energia intermèdia i baixa als dos events estudiats (novembre i gener), com es mostra a la **Figura 5.1**; i en el cas de l'event de novembre estava precedit per una tempesta altament energètica ($H_0 = 6,9$ m). Per altra banda, la temperatura al novembre és de mitjana aproximadament 2 °C superior que al gener (**Figura 5.1**).

5. Rugositat de Fons

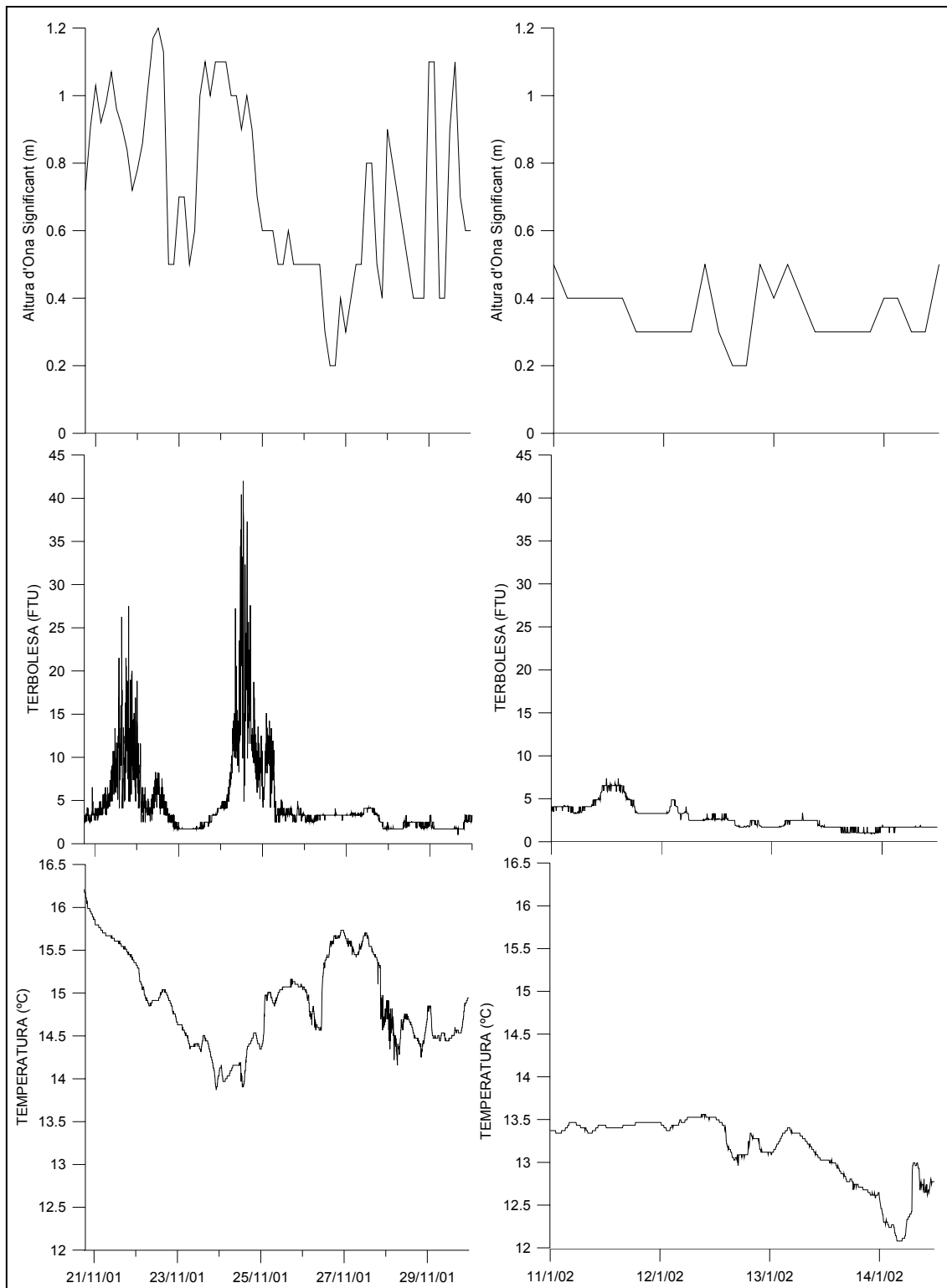


Figura 5.1. Altura d'ona significant (en metres), terbolesa de l'aigua (en FTU) i Temperatura (°C) a l'event de novembre (esquerra) i a l'event de gener (dreta).

5. Rugositat de Fons

La rugositat de fons s'ha calculat com la suma de la rugositat de ripples (K_{rip}) i rugositat biòtica (K_{bio}). L'enregistrament d'imatges de vídeo ha segut la tècnica emprada per a l'estima tant de K_{rip} com de la K_{bio} .

Els enregistraments en vídeo del fons marí a 9 m han permès identificar i mesurar les dimensions de les estructures sedimentaries tipus "ripple" (**Figura 5.2**).

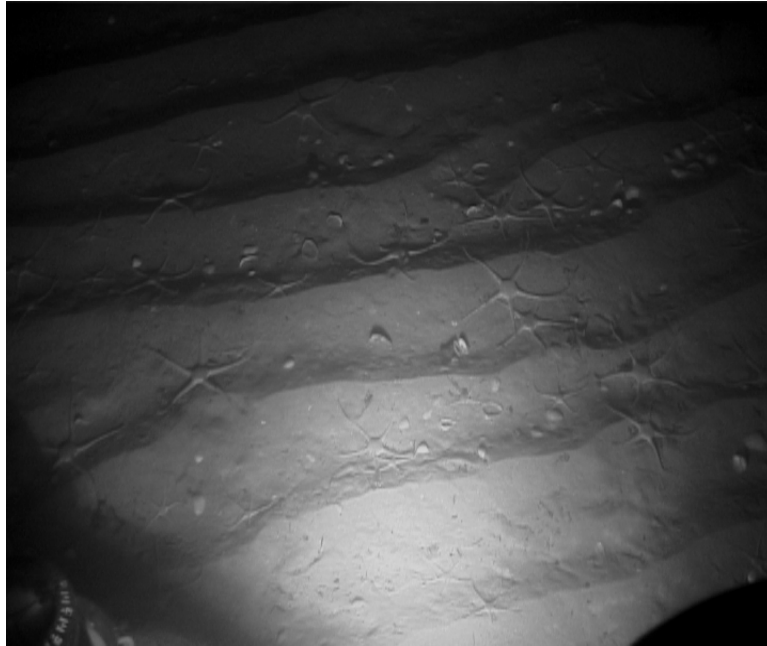


Figura 5.2. Exemple de ripples enregistrats a 9 m.

L'estima de la K_{rip} necessita conèixer la longitud d'ona entre crestes de ripples. L'anàlisi de les imatges indica que a l'event de novembre les longituds d'ona mitjanes entre crestes de ripples varien entre 8,6 i 13,9 cm, mentre que a l'event de gener el rang de longitud d'ona mitjà entre crestes de ripples oscil·la entre 8,6 i 12,1 cm (**Figura 5.3**). L'altura de ripples, estimada mitjançant l'observació directa d'un bus, indica que és d'aproximadament 1 cm.

Si només es tenen en compte les seqüències on s'observen definides les crestes de ripples s'obté un valor mitjà per a tot l'event de novembre de 10,5 cm ($\pm 1,5$), i per a l'event de gener de 10,2 cm ($\pm 1,1$). El test de la t-Student mostra que no hi ha

5. Rugositat de Fons

diferències significatives ($t = 1,91$; $p_v > 0,30$) en el valor mitjà de la longitud d'ones entre ripples als dos períodes estudiats.

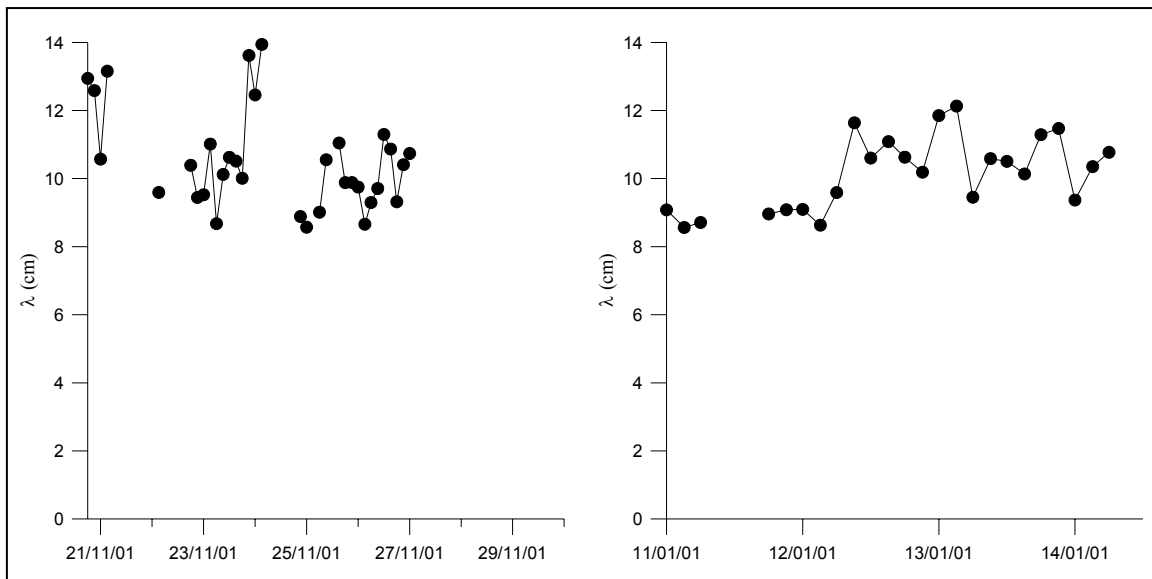


Figura 5.3. Longitud d'ona (λ), expressada en cm., entre crestes de ripples a l'event de novembre (esquerra) i a l'event de gener (dreta).

L'altre factor implicat en el càlcul de la K_{rip} és l'altura de ripple. Donades les limitacions tècniques, es va mesurar l'altura d'aquest mitjançant un bus, i es va considerar constant per a tot l'estudi (=1 cm). Si s'aplica l'equació que relaciona la longitud d'ona amb l'altura del ripple ($\eta/\lambda = 0,17$), suggerida per Wiberg & Harris (1994), s'obtenen, a partir dels valors de longitud d'ona observats, altures de ripples que oscil·len entre 1,5 i 2,4 cm al novembre; i entre 1,5 i 2,1 al gener.

Per altra banda, el càlcul de l'altura i longitud d'ona de ripples teòric a partir de les condicions de l'onatge i característiques del sediment, mitjançant les equacions proposades per Madsen & Wood (1998), proporciona un rang de λ per a l'event de novembre d'entre 3,0 i 12,8 cm (mitjana de 6,7 cm \pm 2,6) amb altures de ripples associades entre 0,2 i 0,8 cm, amb una mitjana de 0,4 cm (\pm 0,2). A l'event de gener, a l'haver-hi baixes condicions energètiques durant el temps d'estudi, el model només proporciona un valor d'altura i longitud d'ona, que és de 0,4 cm i 4,6 cm, respectivament. En conclusió, a banda de l'empiricitat de la tècnica emprada, el valor utilitzat d'altura de ripple estaria entre les dues aproximacions mostrades.

5. Rugositat de Fons

El càlcul de la K_{bio} ha requerit la comptabilització de les densitats de individus a la superfície a 9 m i la seva talla durant dos períodes diferents. La densitat de conquilles de mol·luscs varia d'entre 34,8 i 652,2 $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ a l'event de novembre, i entre 234,8 i 569,6 $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ a l'event de gener. Per altre costat, la densitat d'ofiures oscil·la entre 0,0 i 169,6 $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ i entre 13,0 i 187,0 a l'event de gener. Amb la suma de totes dues s'obtenen densitats entre 73,9 i 691,3 $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ al novembre, i entre 247,8 i 718,4 $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ al gener (**Figura 5.4**).

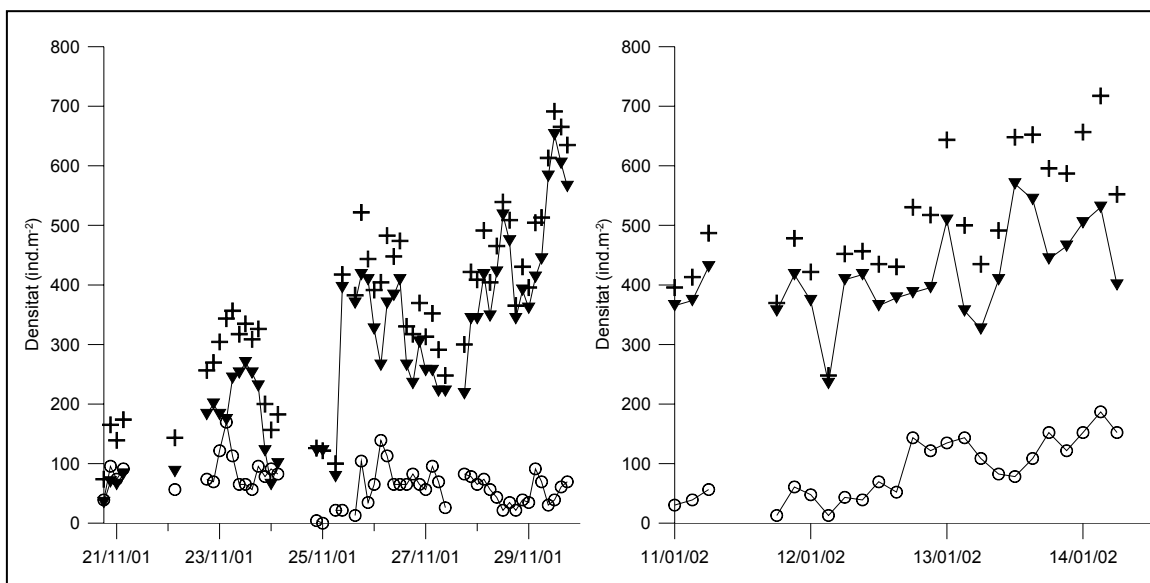


Figura 5.4. Densitat en $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ de *O. texturata* (○), fragments de mol·luscs (▲) i el total de les dues (+) per als events estudiats de novembre (esquerra) i gener (dreta).

El percentatge de lloc que ocupen respecte el total (recobriment) ha segut calculat separatament per *O. texturata* i per als fragments de mol·luscs dipositades a la superfície del fons (**Figura 5.5**). El valors mitjans de recobriment deguts als fragments de mol·luscs són superiors als de *O. texturata*, ja que el recobriment per part de *O. texturata* a l'event de novembre oscil·la entre 0,0 i 2,1 % ($\mu = 0,9 \% \pm 0,4$); a l'event de gener varia entre 0,1 i 1,4 ($\mu = 0,7 \% \pm 0,4$). En contrast, el percentatge de recobriment mitjà dels de fragments de mol·luscs fou de del 2,0 % ($\pm 1,1$) i 2,0 % ($\pm 0,4$) als dos events, respectivament; amb un rang entre 0,3 i 4,6 % a l'event de novembre, i entre 1,0 i 2,9 a l'event de gener.

5. Rugositat de Fons

Si es sumen els valors de recobriment de cadascun dels elements implicats, per calcular el recobriment total, s'obtenen valors mitjans de recobriment del fons de 2,9 % ($\pm 1,1$) al novembre i 2,7 % ($\pm 0,7$) al gener. Els rangs oscil·len entre 0,9 i 5,2 % a l'event de novembre, i entre 1,1 i 4,1 % a l'event de gener. A pesar de ser lleugerament superiors a l'event de novembre el test de la t-Student indica que no hi ha diferències estadísticament significatives entre el valor mitjà de recobriment als dos events ($t = 1,07$; $p_v > 0,25$)

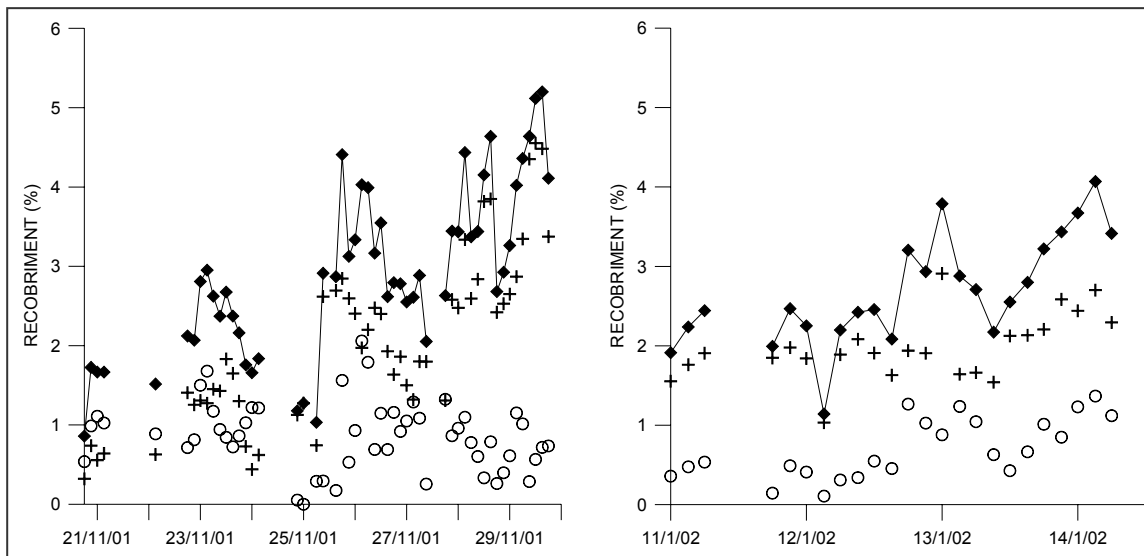


Figura 5.5. Recobriment en % de ofiures (O), fragments de mol·luscos (+) i de totes dues (◆) respecte la superfície total per a l'event de novembre (superior) i l'event de gener (inferior).

Una vegada efectuats tots els càlculs preliminars, els valors de K_{rip} i K_{bio} s'han calculat per als dos events (**Figura 5.6**), obtenint-se a totes dues valors d'un ordre de magnitud semblant, encara que la K_{rip} generalment és major que la K_{bio} , excepte en moments on el fons és presenta pla. La K_{rip} és entre 4 i 5 vegades major que la K_{bio} a l'event de novembre, i entre aproximadament 3 i 7 vegades a l'event de gener

5. Rugositat de Fons

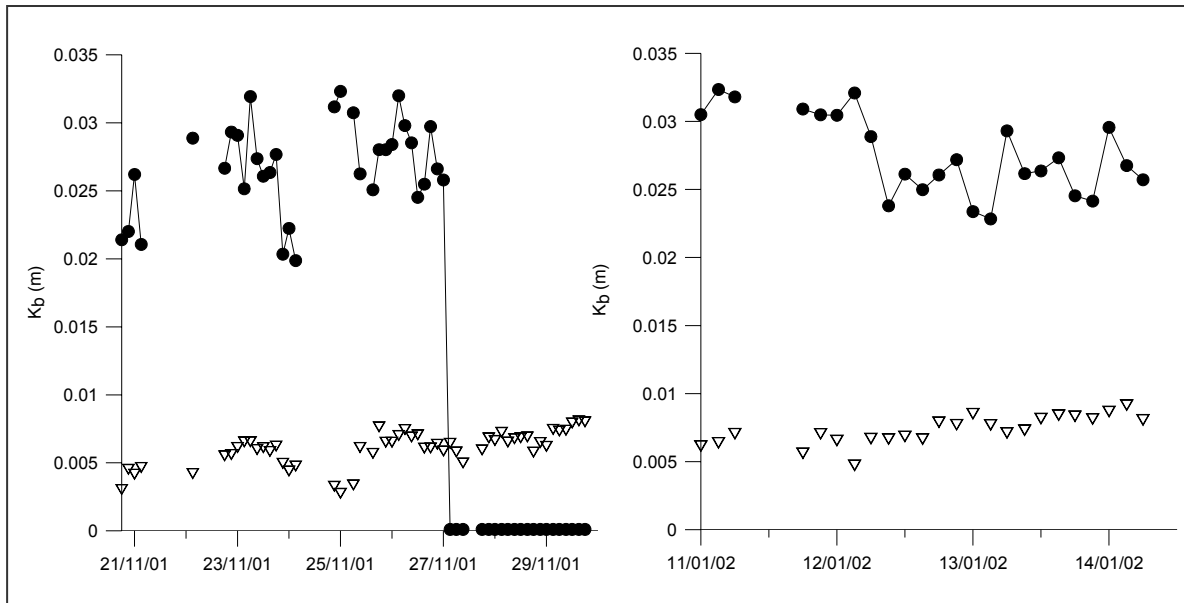


Figura 5.6. Rugositat (K_b) associada als ripples i mida de gra (●) i d'origen biòtic (▽) expressada en metres a l'event de novembre (esquerra) i a l'event de gener (dreta).

La K_{bio} del present estudi es basa en la presència d'individus de *O. texturata* i en fragments de mol·luscs. Si es desagrega la contribució de cada element biòtic a la K_{bio} , s'observa que els fragments de mol·luscos contribueixen de mitjana aproximadament dues vegades més que els individus de *O. texturata* (**Figura 5.7**).

Però aquesta contribució no és idèntica per als dos components biòtics de l'event de novembre, ja que la K_{bio} associada a *O. texturata* es manté pràcticament estable en el temps, mentre que la K_{bio} associada als fragments de mol·luscos s'incrementa, amb certes variacions, i detectant-se un paral·lelisme amb la terbolesa de l'aigua. Per tant, els dos agents biòtics segueixen una tendència diferent, l'explicació de la qual podria estar basada, per una part, en el fet de que després de condicions de tempesta (5 dies abans d'iniciar-se el mostreig es produí un temporal H_0 màxima de 6,9 m.) els organismes epibentònics mòbils que han estat esguarits ixen a la superfície quan minven les condicions energètiques, i la seva densitat es manté pràcticament constant al llarg del temps. I, per altra banda, els fragments de mol·luscos coberts per la sedimentació van apareixent gradualment com a conseqüència de l'activitat remobilitzadora del sediment produïda per l'epifauna mòbil. Al gener la K_{bio} associada als dos agents biòtics augmenta lleugerament en el temps (**Figura 5.7**). Aquest increment gradual a tots dos agents podria indicar una fase immediatament posterior a les condicions altament

5. Rugositat de Fons

energètiques i ocorre més lentament, probablement degut a les menors taxes metabòliques i d'activitat com a conseqüència de les baixes temperatures.

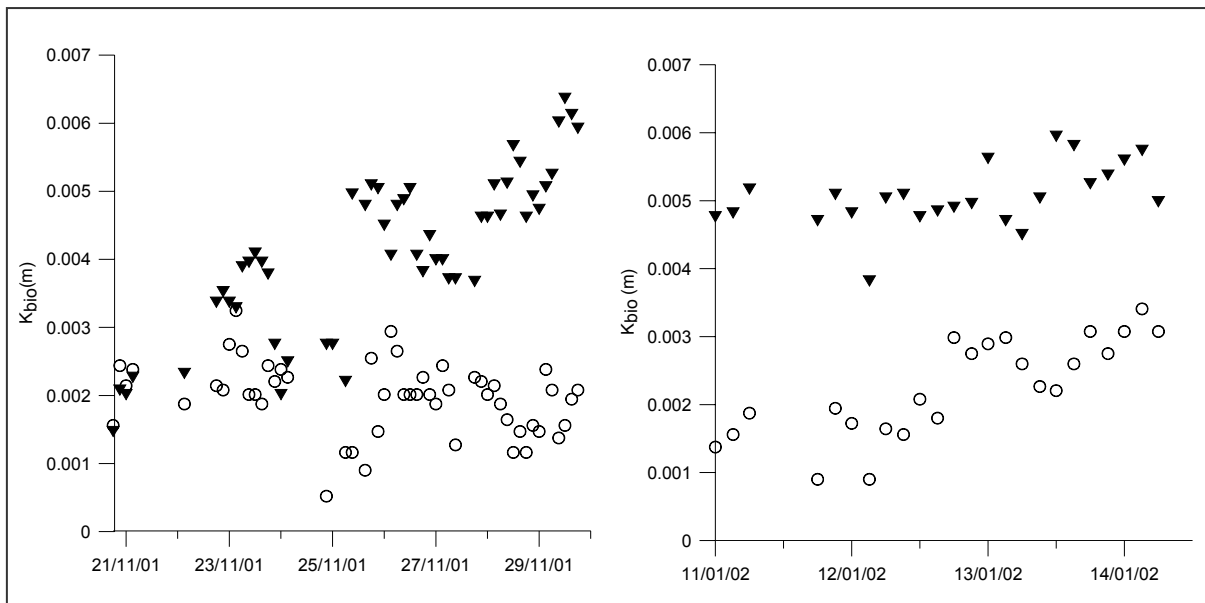


Figura 5.7. Rugositat biòtica (K_{bio}) associada a ofiures (O) i fragments de mol·luscs de mol·luscs (▼), expressada en metres a l'event 1 (esquerra) i l'event 2 (dreta).

A partir d'aquest plantejament s'extrau la hipòtesi de que, en aquest escenari amb dos elements d'origen biòtic, la K_{bio} depèn de les condicions energètiques i ambientals, però, a més, del control que l'element viu del sistema (*O. texturata*) exerceix sobre l'altre, com a conseqüència de modificar activament la seva presència.

Al present treball es va plantejar, a més, una qüestió metodològica referent al càlcul de la K_{bio} , ja que s'obtenien resultats diferents si es calculava la K_{bio} total a partir de la suma de les K_{bio} parcials (K_{bio} de *O. texturata* i de la K_{bio} dels fragments de mol·luscs) que si es realitzava el càlcul de la K_{bio} total considerant des d'un inici cada element biòtic, independentment del tipus que fora. En la pràctica s'observa una K_{bio} entre un 18 % (event 1) i un 65 % (event 2) major si es calculen les K_{bio} parcials i després es sumen per obtenir una K_{bio} total que amb l'altre mètode (**Figura 5.8**).

5. Rugositat de Fons

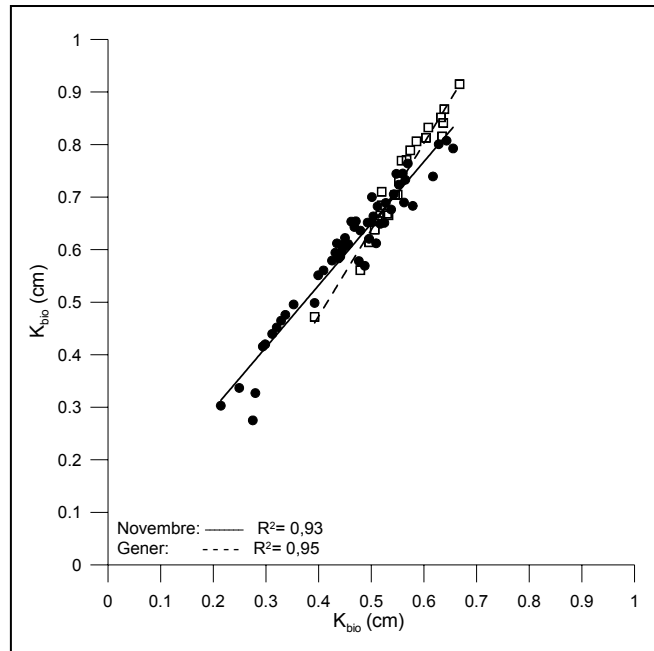


Figura 5.8. Representació de la K_{bio} calculada a partir de la suma de les K_{bio} parcials (eix d'ordenades) front la K_{bio} calculada considerant una λ_{bio} total, a l'event de novembre (●) i a l'event de gener (□). Es mostra la recta d'ajust a cada event i el valor de coeficient de determinació associat (R^2).

Les connotacions que aquest problema planteja es poden estendre al càlcul de la rugositat total (K_b), ja que les equacions proposades per diversos autors (Grant & Madsen, 1982; Nielsen, 1983; Xu & Wright, 1995) han pressuposat per al càlcul de la K_b una funció additiva (de cadascun dels tipus de rugositat: de ripples i biòtica, fons movable i de gra). Harris & Wiberg (2001) proposen que la K_b en ambients sorrencs serà o la rugositat de fons movable (si les condicions hidrodinàmiques són d'alta energia) o la rugositat de forma de ròssec (si les condicions són de baixa intensitat), releguen la K_{bio} a ambients fangosos, i en ambients mixtos fan una ponderació segons la importància de cadascuna de les textures. En conseqüència, no s'han constatat metodologies que consideren la rugositat total des d'un punt de vista sinòptic que integre a tots els agents implicats per calcular la K_b . En aquest treball, seguint aquesta línia, s'ha optat per l'aproximació additiva al considerar que cada element implicat en la K_b presenta unes característiques morfològiques que fan que interactue de manera diferent als altres elements sobre els fluxos d'aigua i, per tant, no seria correcte obtenir valors promediats per a tots els elements, ja que s'estaria incorrent en un esbiaix del resultat final.

5. Rugositat de Fons

Finalment, una de les possibles aplicacions que podria tenir el coneixement de la rugositat de fons s'embrancharia directament amb el control de la transmissió de l'energia des de l'onatge i els corrents cap el sediment, amb implicacions directes en la dinàmica sedimentària. A Guillén et al. (2004) es realitzà un anàlisi de sensibilitat per tal d'avaluar la importància de la rugositat d'origen biòtic en la dinàmica sedimentària litoral. Per a tal fi es va fer servir el model morfo60 de dissipació d'onatge per trencament (desenvolupat pel Departament de Física Aplicada de la UPC), el qual va incorporar :

- a) El perfil batimètric de la zona d'estudi des de la línia de costa fins els 15 metre de fondària.
- b) Es va considerar una tendència granodecreixent al llarg del perfil, amb mides de 0,250 mm, 0,150 mm i 0,100, respectivament a 0, 7 i 15 metres de fondària.
- c) Un mòdul per al càlcul de les característiques dels ripples associats a l'onatge en cada punt del perfil seguint el model proposat per Grant & Madsen (1982) i Madsen (1993).
- d) Un mòdul per al càlcul de la tensió exercida per l'onatge sobre el fons (τ), la tensió necessària per a la formació de ripples (τ_r) i les condicions crítiques que dominen les condicions de rugositat associada a transport (τ_{bm}) seguint el model de Madsen (1993). El factor de fricció associat a l'onatge i el coeficient de ròssec relacionat amb ell es calcularen mitjançant Fredsoe (1984).

Per executar el model s'introdueixen les condicions d'onatge (altura, període i angle respecte la costa), el component de l'altura i longitud d'ona dels components biòtics, i les cotes batimètriques del perfil ocupades per aquestes comunitats. El model calcula en cada punt del perfil τ i les compara amb les tensions crítiques τ_r i τ_{bm} . Quan τ és menor que τ_r es pren la rugositat com el sumatori de la rugositat biòtica i la de gra; quan τ és major que τ_{bm} només es considera la rugositat associada al transport de sediment. Per a la resta de condicions ($\tau_r < \tau < \tau_{bm}$) s'executa el mòdul de càlcul de ripples i es considera la rugositat com el sumatori de K_{rip} i K_{bio} . A cada punt del perfil batimètric el model calcula l'altura d'ona resultant després de les pèrdues degudes a la fricció del fons.

5. Rugositat de Fons

Les transformacions de l'ona a través del perfil s'han calculat per a diferents situacions d'onatge i, per a cadascuna d'aquestes, s'ha introduït en la part distal (entre els 15 i els 6,5 metres) rugositats biològiques representatives de les condicions observades. Els resultats mostren la contribució de cadascun dels tipus de rugositat a la rugositat total (**Figura 5.9**): la rugositat biològica es manté constant, l'associada a ripples varia dintre d'uns marges petits i la rugositat total es modifica en funció de totes dues i de l'augment de la mida de gra del sediment fins el trencament de l'ona.

Quan s'introdueixen valors relativament alts de rugositat biològica es dona una disminució de l'altura d'ona respecte les condicions on no es considera la rugositat biològica (**Figura 5.10**). Aquesta reducció pot ser superior al 10 % a la zona més afectada del perfil litoral (entre els 7 i 10 metres). L'efecte de la rugositat biològica sobre l'onatge només és significatiu en condicions d'energia baixa i moderada. Les pèrdues de fricció amb el fons en la part distal del perfil litoral són pràcticament inapreciables en condicions de calma, mentre que en condicions d'alta energia la *moveable bed roughness* domina a la resta.

5. Rugositat de Fons

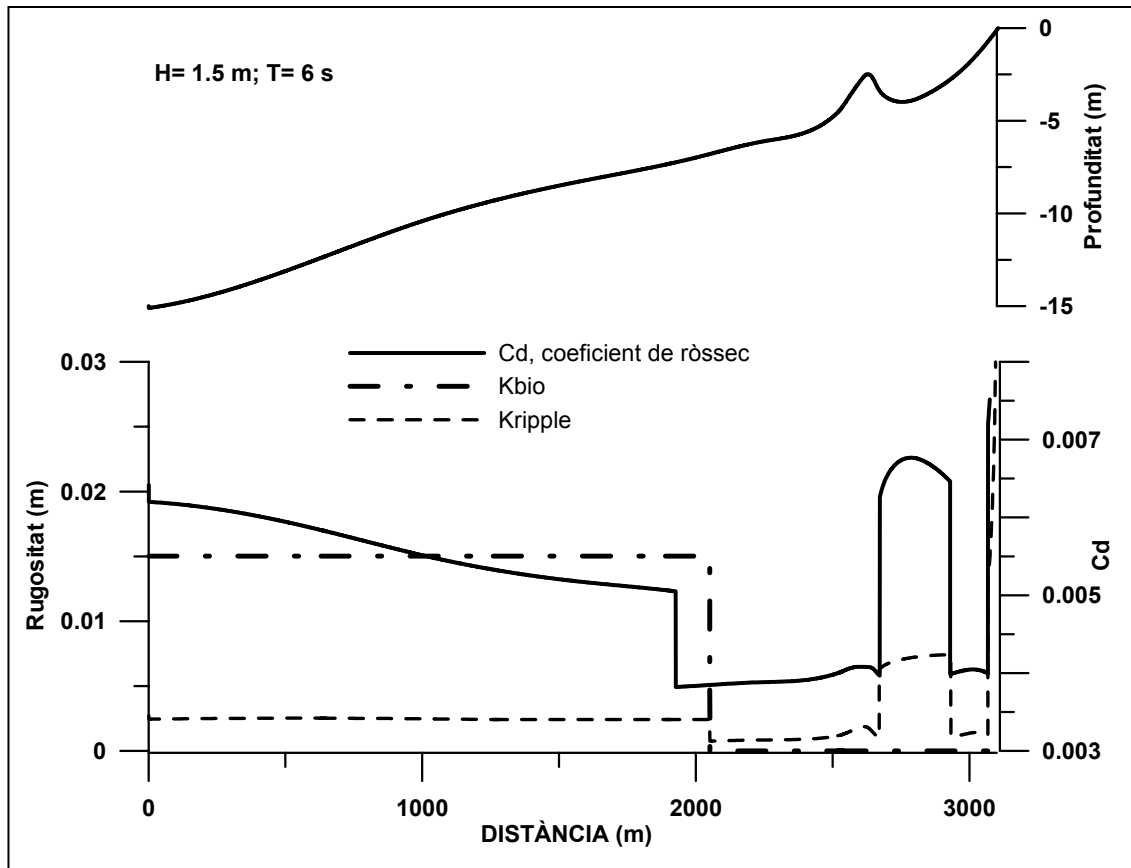


Figura 5.9. Variació a través del perfil litoral del coeficient de ròssec (C_d) i dels components que l'integren (rugositat biòtica i de ripple).

Les implicacions sobre la dinàmica sedimentària a l'augmentar la rugositat (degut a la introducció d'un component biòtic) en el perfil litoral anirien encaminades a considerar la disminució de la tensió exercida sobre el fons degut a la disminució de l'altura d'ona, que és un efecte acumulatiu a través del perfil (**Figura 5.11**). Aquesta disminució de la tensió (*skin friction*) exercida sobre el fons ocasionaria un descens en la capacitat de resuspensió de sediment. En conseqüència, la rugositat biòtica pot jugar un paper no despreciable en la dinàmica costanera en determinades àrees, especialment quan es considere l'evolució costanera a mitjà i llarg termini, on petites modificacions dels paràmetres que controlen la dinàmica sedimentària poden ser determinants en l'evolució general.

5. Rugositat de Fons

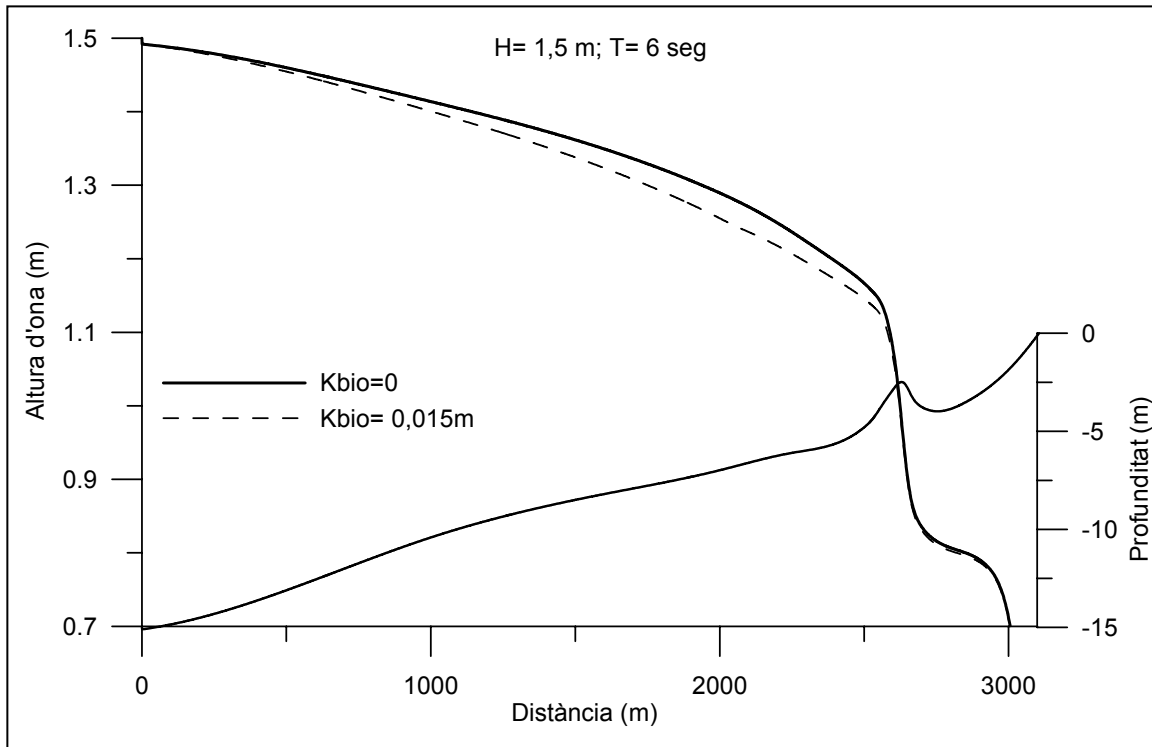


Figura 5.10. Variació de la altura d'ona a través del perfil incloent o sense incloure la rugositat biòtica. Les variacions màximes representen aproximadament una disminució del 10% de l'altura d'ona amb l'augment de la rugositat.

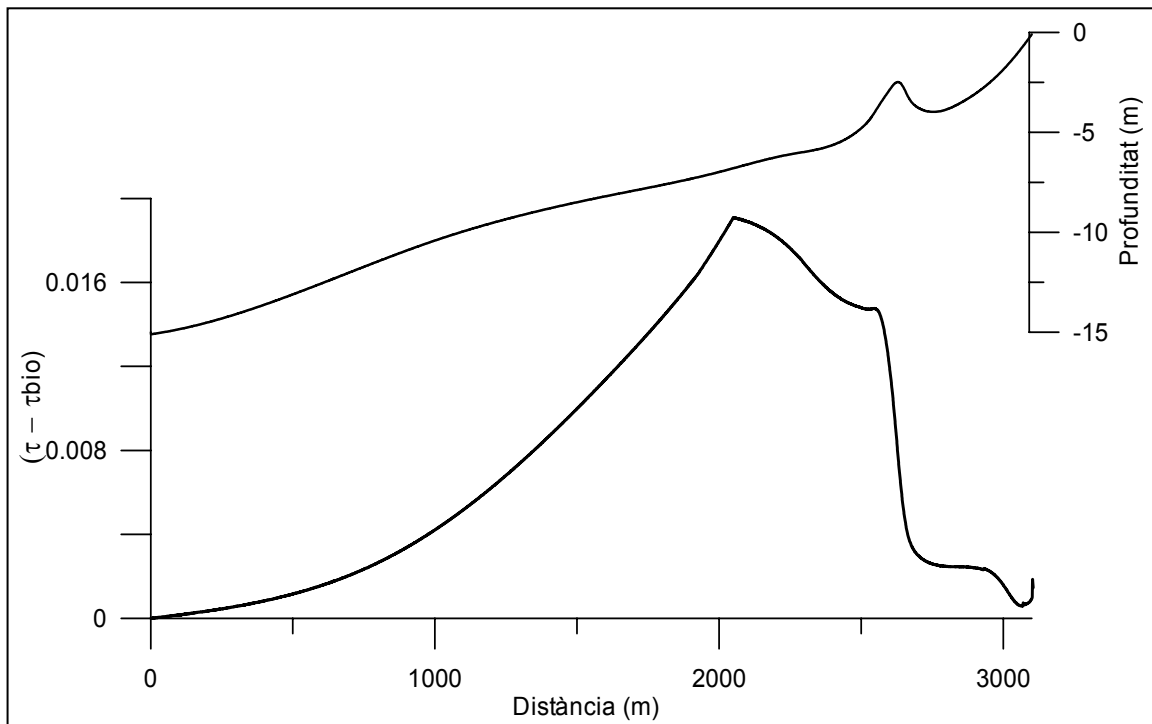


Figura 5.11. Diferència entre la tensió exercida sobre el fons per l'onatge a través del perfil incloent i sense incloure la rugositat biòtica ($H = 1,5 \text{ m}$; $T = 6 \text{ s}$; orientació = 20° ; $K_{bio} = 0,015 \text{ m}$).