

IMPACTE DE LA FREQUÈNCIA DELS ESCAFANDRISTES SOBRE LES POBLACIONS DEL BRIOZOU *Pentapora fascialis* A LES ILLES MEDES: SEGUIMENT 1992-1995

Joaquim GARRABOU, Enric SALA i Mikel ZABALA

Departament d'Ecologia, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona
Diagonal 645, 08028 Barcelona

INTRODUCCIÓ

L'increment de les activitats humanes en el medi marí, i especialment a la zona litoral, produeix inevitablement una sèrie d'efectes sobre les comunitats bentòniques. Entre aquestes activitats destaquen les recreatives, algunes de les quals suposen una explotació directa del medi (pesca amb canya i submarina, marisqueig). Altres activitats més contemplatives, com l'apnea, la immersió amb escafandre autònom o el simple passeig per la zona intermareal, estan basades en un interès per l'observació dels organismes en llur hàbitat. Però l'excès de freqüentació pot resultar en la degradació de l'ecosistema del que es pretèn disfrutar.

Els efectes de l'ús recreacional han estat estudiats en algunes àrees marines, principalment en mars tropicals (Dahl 1977, Tilmant et al. 1979, Rogers et al. 1988, Hatcher et al. 1989), i aquests estudis han demostrat les repercussions adverses de l'ancoratge (Davis 1977a, Halas 1983, Skinner i Jaap 1983), la pesca esportiva (Davis 1977b, Tilmant 1981, 1987, Ormond 1987), la recolecció d'organismes vius (Moreno et al. 1984, McClanahan 1989), el passeig per la zona intermareal (Woodland i Hooper 1977, Kay i Liddle 1989, Brosnan i Crumrine 1994) i la immersió (Riegl i Velimirov 1991, Hawkins i Roberts 1992, 1993, Dixon et al. 1993, Sala et al. 1996).

Malgrat tot, la majoria d'estudis han estat dissenyats com a comparació entre zones amb diferents nivells de freqüentació, o entre zones protegides i no protegides. Alguns estudis han investigat experimentalment el problema (Woodland i Hooper 1977, Liddle i Kay 1987, Kay i Liddle 1989, Brosnan i Crumrine 1994); però pocs estudis han investigat l'impacte de la freqüentació humana sobre el bentos litoral disposant de dades abans i després de l'arribada de visitants (Addessi 1994).

Aquest estudi forma part d'un seguiment a llarg terme de l'impacte de la freqüentació per escafandristes sobre el coral.lígen de les Illes Medes, en una zona abans molt poc freqüentada, però recentment sota una gran freqüentació. Amb aquest estudi donem per conclòs un seguiment que es va iniciar l'any 1992.

MATERIAL I MÈTODES

El briozou *Pentapora fascialis*, anomenat col.loquialment "rosa de mar", és una espècie comuna i molt conspíqua que forma colònies erectes i cerebriformes fins a 30 cm de diàmetre i 20 cm d'alçada en els fons somers (12-20 m de fondària) de les Illes Medes, però que pot assolir fins a 80 cm de diàmetre i 59 cm d'alçada (*Silvia Cocito* com. pers.) en fons profunds (40-80 m de fondària). Aquesta espècie no té valor comercial i, per tant, és ideal per estudiar els efectes de l'abrassió passiva, mentre que en altres espècies tals efectes podrien superposar-se amb una possible recolecció furtiva.

Aquesta espècie es troba bàsicament en dues variants de la comunitat del coral.lígen a la zona de les Illes Medes:

- 1) Comunitat del coral.lígen sense gorgònies (a partir d'ara NG): Aquest tipus de comunitat ocupa fons de grans blocs calcaris, a fondàries entre -12 i -21 m. Els blocs són coberts per algues esciòfiles (*Lithophyllum expansum*, *Mesophyllum lichenoides*, *Halimeda tuna*, *Flabellia petiolata*) i macrofauna sèssil, predominantment esponges, tunicats, i altres briozous. Tota la biomassa de la comunitat es troba en un sol estrat, adjacent al fons, i les colònies de *Pentapora fascialis* es troben generalment disposades sobre el substrat basal.
- 2) Comunitat del coral.lígen amb gorgònies (a partir d'ara G): Aquest tipus de comunitat es troba generalment en parets verticals a partir

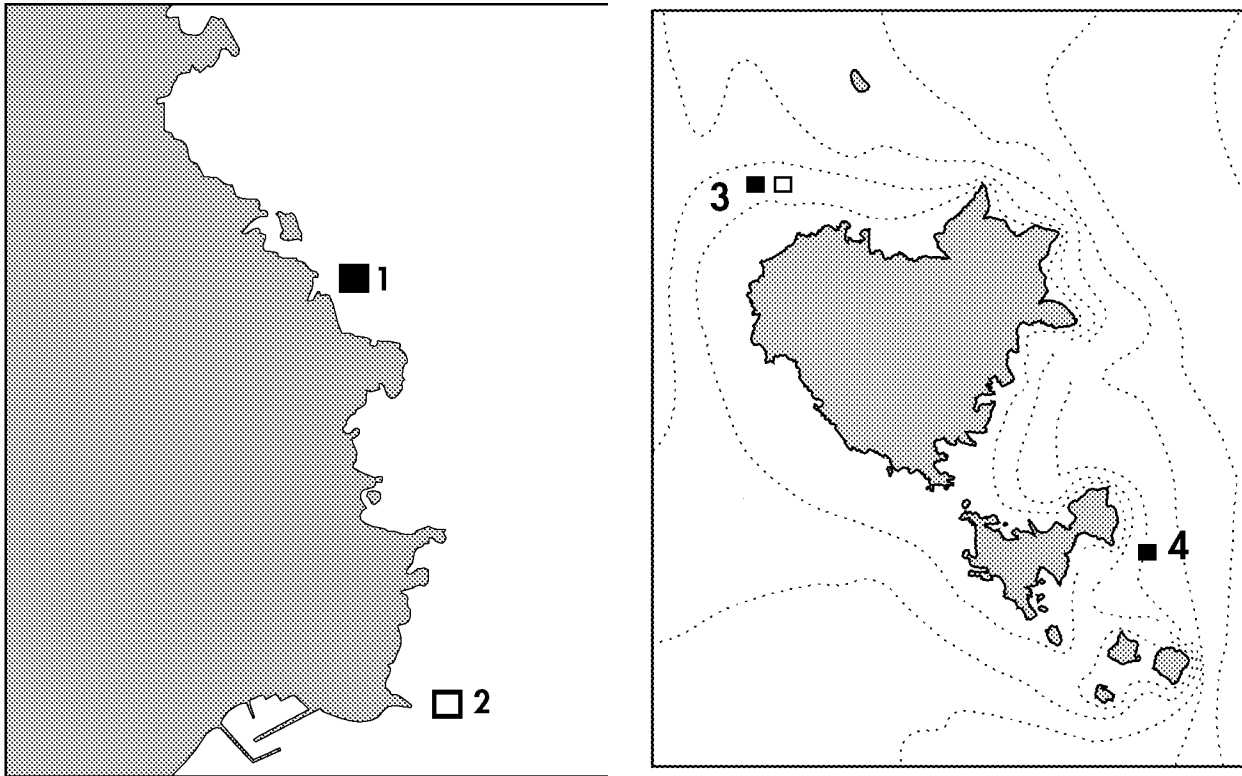


Fig. 1. *Pentapora fascialis*. Mapa de la zona d'estudi.

d'una fondària de 15-20 m a les Illes Medes. La presència de la gorgònia *Paramuricea clavata* dona lloc a una notable complexitat estructural, amb la biomassa ocupant dos nivells: (a) un estrat arbori format per les gorgònies, colonitzat per nombrosos epibionts, i (b) un estrat basal, localitzat sota la capçada formada per les gorgònies, on proliferen algues calcàrees i macrofauna sèssil.

Per determinar l'efecte dels escafandristes sobre les poblacions de *Pentapora fascialis* hem adaptat un disseny tipus BACI (Before/After, Control/Impact; Bernstein i Zalinski 1983, Stewart-Oaten et al. 1986). El principi d'un disseny BACI es basa en que una perturbació antropogènica en una localitat "impactada" causarà un patró de canvi, d'abans a després de la perturba-

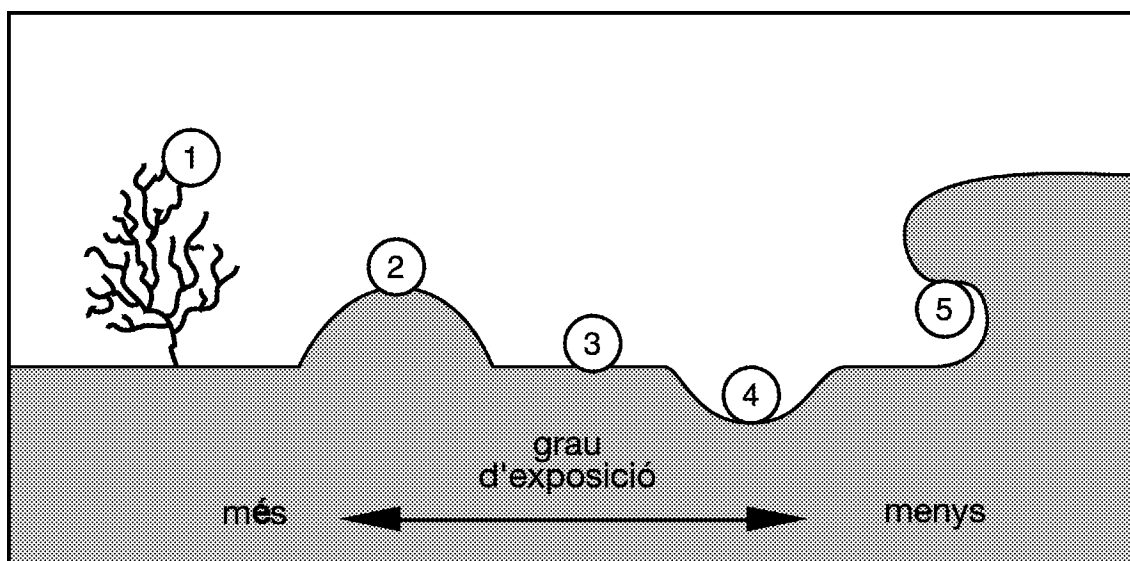


Fig. 2. *Pentapora fascialis*. Representació ideal dels diferents graus d'exposició en què es troben les colònies. 1: en epibiosi, 2: sobre una superfície convexa, 3: en una superfície plana, 4: en una superfície còncava, 5: sota un extraplom.

ció, diferent al canvi natural produït en una (o més) localitats control. L'impacte pot ser correctament detectat com una interacció estadística en una anàlisi de variància de les dades (Underwood 1992).

L'any 1992, i dins del pla de gestió de la Zona Protegida de les Illes Medes, es procedí a la col·locació d'una boia per a la immersió en una zona fins llavors no freqüentada pels escafandristes (El Guix, Fig. 1). Aquesta situació ens va permetre verificar les nostres hipòtesis sobre l'efecte erosiu dels escafandristes sobre les comunitats bentòniques de les Medes (vegeu memòria del seguiment corresponent a l'any 1992) mitjançant l'estudi tipus BACI.

Un total de sis localitats van ser mostrejades (3 per la comunitat G i 3 per la comunitat NG).

Per cada tipus de comunitat s'estudià una localitat impactada (El Guix, Fig. 1) i dues localitats controls (Serra Ventosa i Puig de la Sardina per G; Molinet i Punta Salines per NG; Fig. 1).

Per tal d'evitar els possibles problemes derivats de l'heterogeneïtat espacial, es van mostrejar transectes permanents (20-30 m² per lloc). Dins d'aquests transectes permanents, totes les colònies de *Pentapora fascialis* van ser comptades, mesurades (diàmetre i alçada), i llur grau d'exposició va ser estimat. El diàmetre i l'alçada van ser mesurats amb un regle de plàstic, amb una precisió de 5 mm. Per avaluar el grau d'exposició de les colònies a l'erosió, les colònies van ser classificades en cinc categories d'acord amb la seva exposició. Aquestes són, en ordre de màxima a mínima exposició: 1) epibionts, 2) en

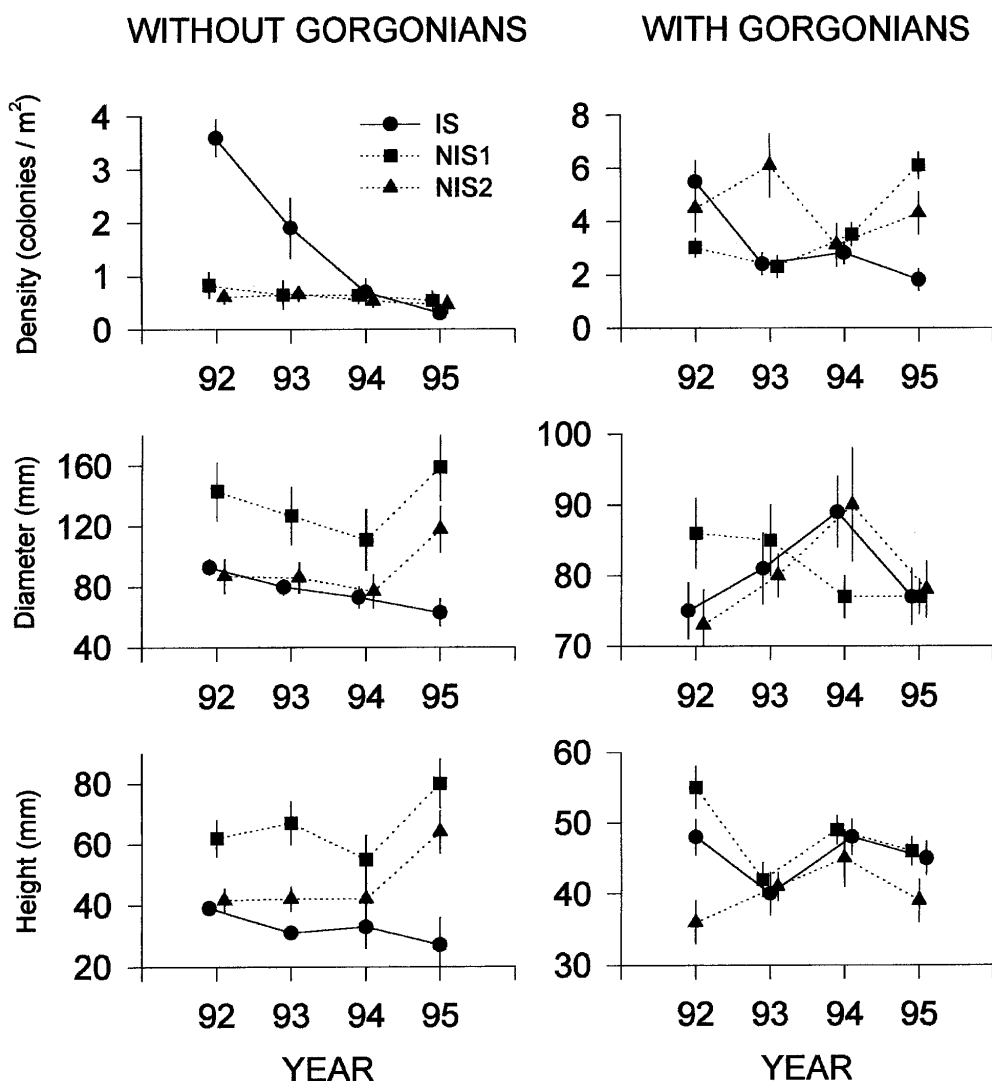


Fig. 3. *Pentapora fascialis*. Evolució de la densitat, el diàmetre mig i l'alçada mitja de les colònies al llarg del seguiment 1992-1995, per a les dues comunitats. Comunitat NG: IS = Localitat impactada (Guix), NIS1 = Localitat control 1 (Moli - net), NIS2 = Localitat control 2 (Punta Salines). Comunitat G: IS = Localitat impactada (Guix), NIS3 = Localitat control 3 (Serra Ventosa), NIS4 = Localitat control 4 (Puig de la Sardina).

una superfície convexa, 3) en una superfície plana, 4) en una concavitat, i 5) sota un extraplom (Fig. 2).

La hipòtesi nul·la de no variació de l'evolució temporal entre localitats impactada i controls va ser testada mitjançant anàlisis de la variància de dos factors (two-way ANOVA), localitat i temps, utilitzant el diàmetre, l'alçada i el diàmetre de les colònies de *Pentapora fascialis* com a variable dependent. Quan l'anàlisi donà un resultat significatiu, un test Student-Newman-Keuls (SNK) de comparació a posteriori (de la interacció lloc x temps) fou utilitzat. Per detectar diferències en l'evolució temporal de la distribució de les densitats, les talles i el grau d'exposició entre localitats impactada i controls s'utilitzà una anàlisi de freqüències (chi-quadrat).

RESULTATS

La densitat de les colònies de *Pentapora fascialis* presenta una evolució temporal significativament diferent a la localitat impactada respecte a les localitats control, en les dues comunitats (Fig. 3, Taules 1 i 2). El patró observat és el següent: la densitat de les colònies de *P. fascialis* va sofrir una davallada molt important a la localitat impactada, mentre que es va mostrar relativament estable a les localitats control. La densitat de les colònies a la comunitat NG va sofrir una caiguda d'un 47 % el primer any d'ésser visitada, i un 92 % al cap de tres anys. A la comunitat G, la caiguda de la densitat de les colònies fou d'un 56 % el primer any, i un 67 % al cap de tres anys. De la mateixa manera, la distribució de les densitats presenta diferències significatives entre l'localitat impactada i les localitats controls (chi-quadrat, $P < 0.001$). A les Fig. 4 i 5 es pot observar

Taula 1. *Pentapora fascialis*. Comparació de la densitat i la talla de les colònies mitjançant l'anàlisi de la variància de dos factors (localitat i any). NS = sense diferències significatives, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

Comunitat del coral.ligen amb gorgònies (G)				
Factors	df	Densitat	Diàmetre	Alçada
Temps	3	NS	NS	*
Lloc	2	*	NS	***
Temps x Lloc	6	***	NS	*
Comunitat del coral.ligen sense gorgònies (NG)				
Factors	df	Densitat	Diàmetre	Alçada
Temps	3	***	NS	*
Lloc	2	***	***	***
Temps x Lloc	6	***	NS	*

la pèrdua de superfície amb alta densitat de colònies a la localitat impactada respecte a les localitats control.

L'evolució temporal del diàmetre mig de les colònies de *Pentapora fascialis* no presenta diferències significatives entre la localitat impactada i les localitats control (Fig. 3, Taules 1 i 2). En canvi, la distribució de diàmetres sí presenta diferències significatives entre la localitat impactada i les localitats control (chi-quadrat, $P < 0.001$; Figs. 6 i 7). A la comunitat G desapareixeren totes les colònies majors de 15 cm de diàmetre, i el 40 % de les menors de 15 cm. A la comunitat NG es produí el canvi més espectacular: durant l'estudi es produí la pèrdua de totes les colònies majors de 11 cm de diàmetre, i la pèrdua del 88 % de les colònies menors de 11 cm. Aquesta pèrdua pot ser deguda a la completa abrassió d'aquestes colònies, o

Taula 2. *Pentapora fascialis*. Resultats del test SNK de comparació a posteriori. Les localitats dins d'un mateix agrupament (la mateixa lletra) no presenten diferències significatives entre elles per la variable considerada.

Localitat	Comunitat G			Comunitat NG		
	Dens.	Diam.	Alça.	Dens.	Diam.	Alça.
Guix (G)	A	C	D			
Serra Ventosa	B	C	D			
Puig Sardina	B	C	E			
Guix (NG)				F	H	J
Molinet				G	I	K
Punta Salines				G	H	L

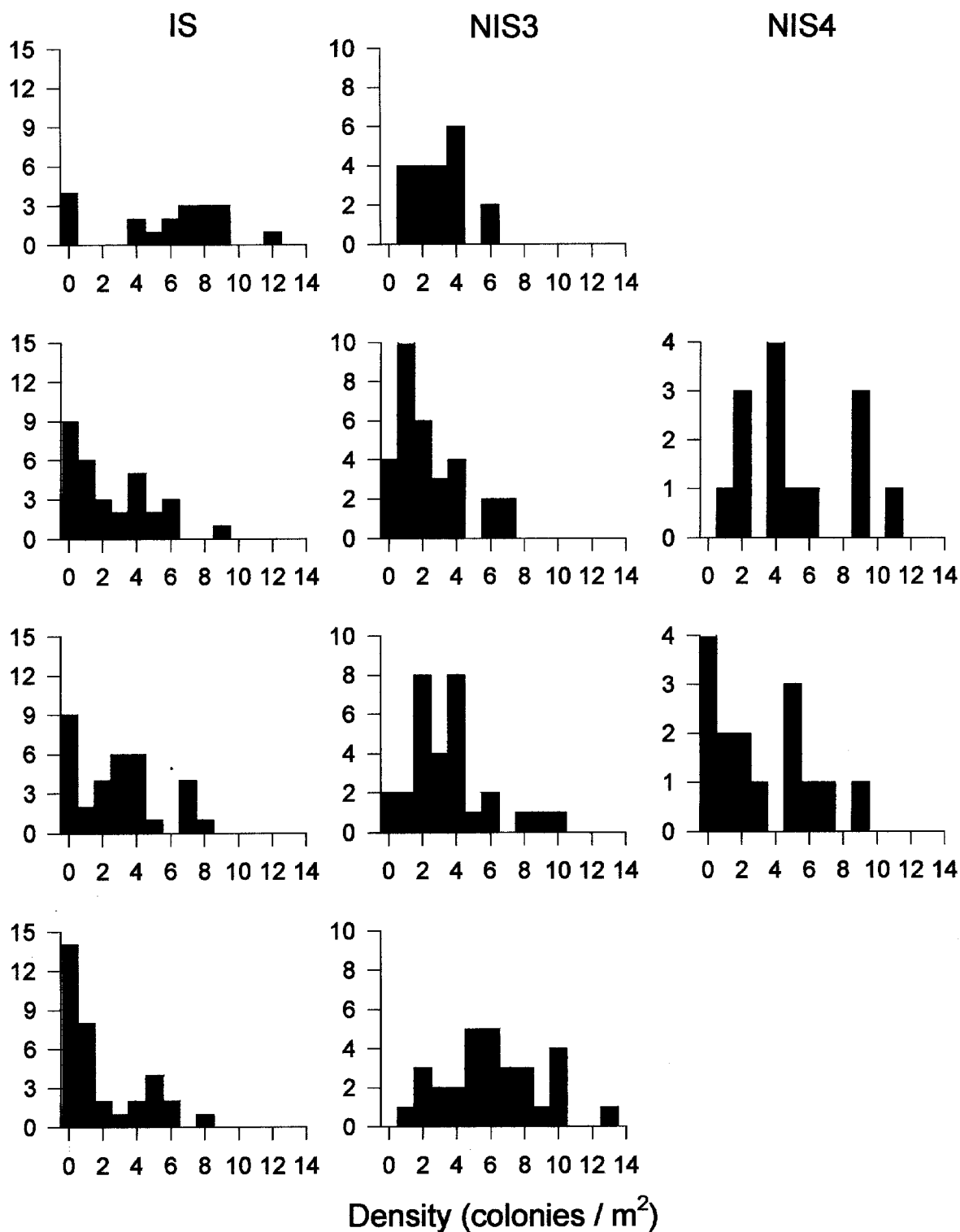


Fig. 4. *Pentapora fascialis*. Histogrames de distribució de la densitat de les colònies a la comunitat G. Llegendes com a la Fig. 3.

a l'erosió parcial que en pot haver disminuït el diàmetre.

L'alçada mitja de les colònies de *Pentapora fascialis* a la localitat impactada presenta una evolució al llarg dels quatre anys d'estudi significativament diferent a la de les localitats control (Fig. 3,

Taules 1 i 2). A la comunitat NG, l'alçada mitja de les colònies va disminuir al llarg dels quatre anys d'estudi, mentre que va augmentar significativament a les localitats control (Fig. 3). En canvi, l'alçada mitja va evolucionar al llarg del temps de manera similar a la localitat impactada

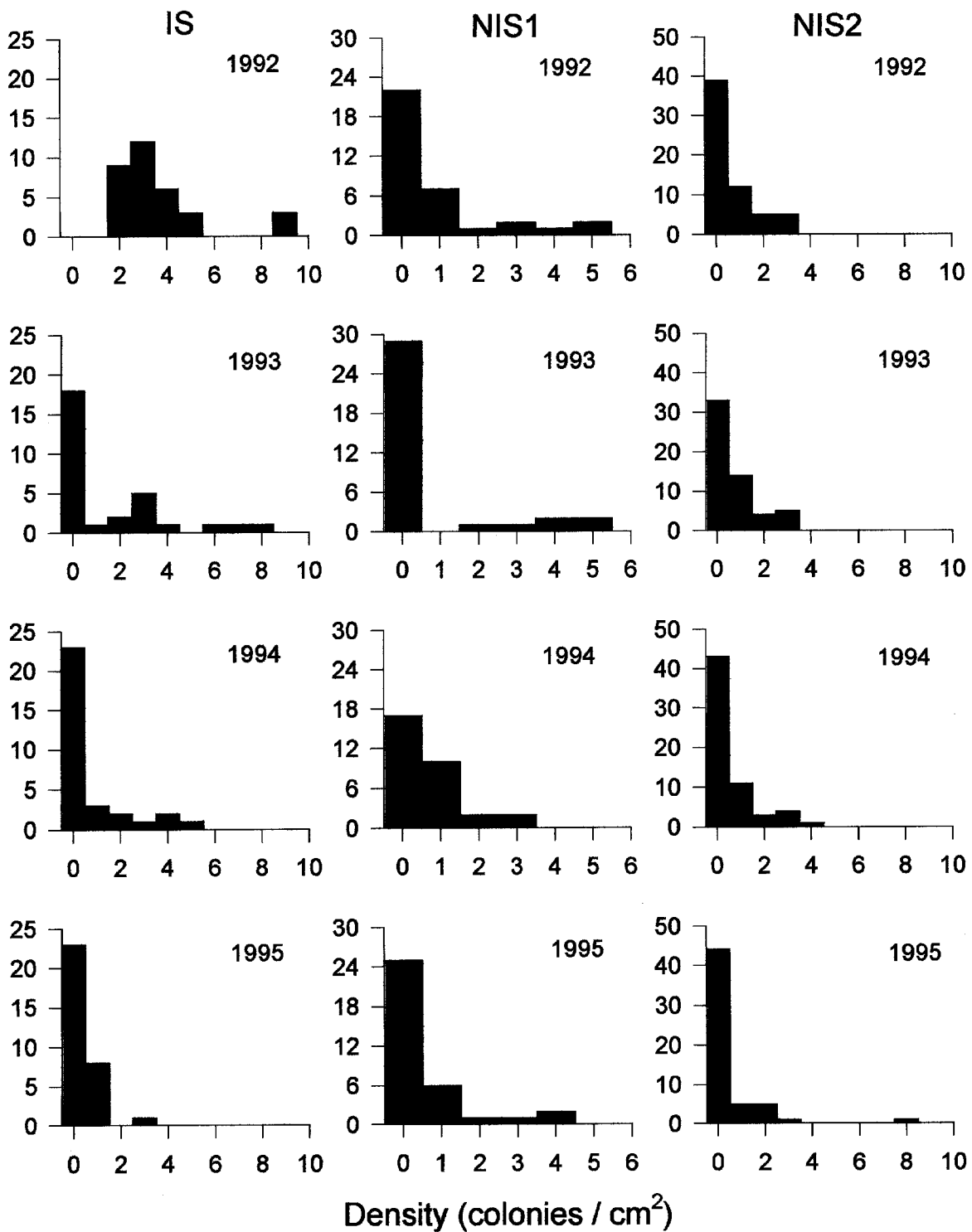


Fig. 5. *Pentapora fascialis*. Histogrames de distribució de la densitat de les colònies a la comunitat NG. Llegendes com a la Fig. 3.

i a una de les localitats control (Serra Ventosa) a la comunitat G (Fig. 3, Taula 2). A la comunitat G, la pèrdua d'alçada mitjana es produí d'una manera més intensa que a les localitats controls (Fig. 8). A la comunitat NG de la localitat

impactada es produí una pèrdua de totes les colònies majors de 4 cm i del 86 % de les colònies menors de 4 cm (Fig. 9).

La distribució de les colònies en graus d'exposició a l'erosió va variar de manera signifi-

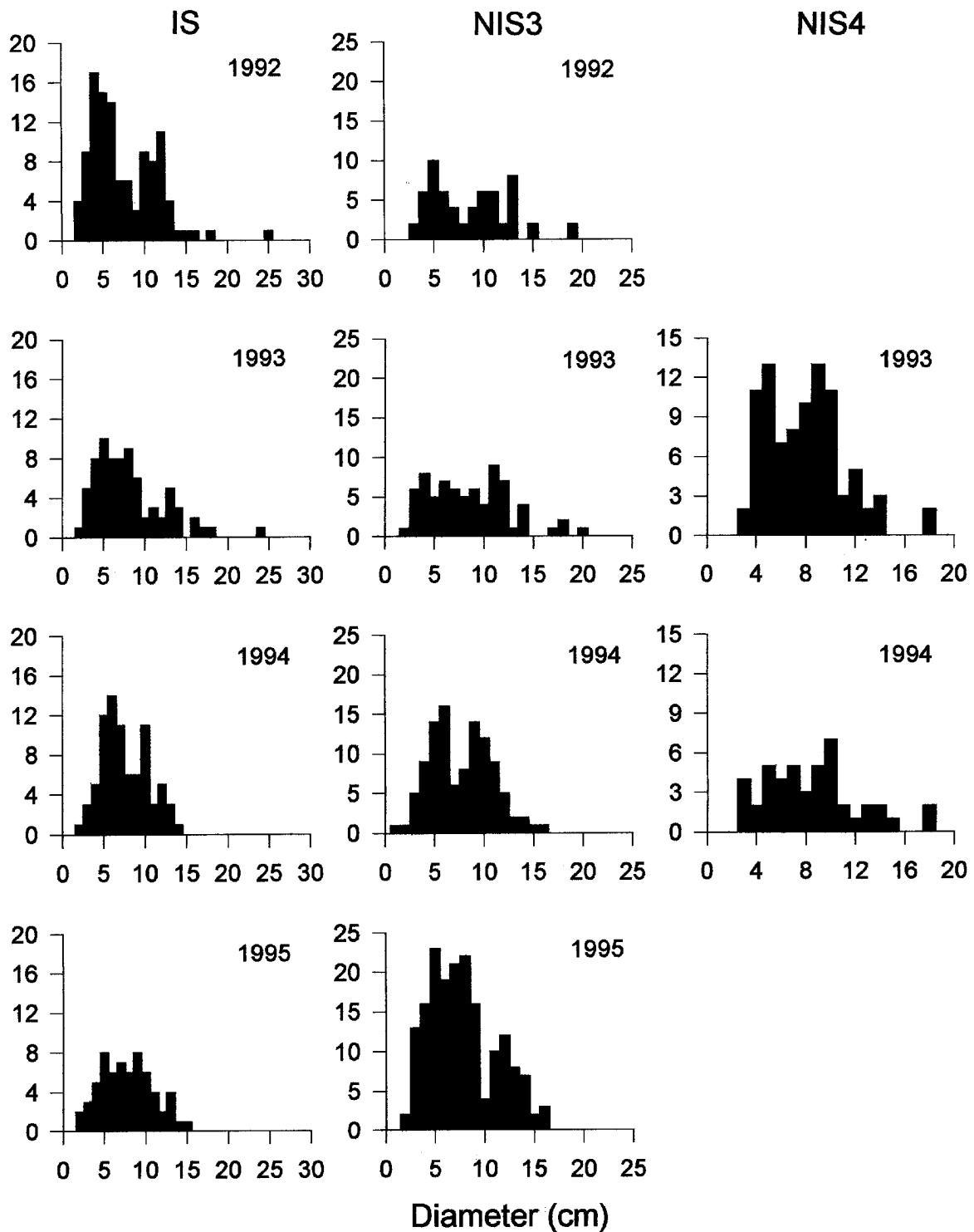


Fig. 6. *Pentapora fascialis*. Histogrames de distribució del diàmetre de les colònies a la comunitat G. Llegendes com a la Fig. 3.

tiva al llarg de l'estudi a la localitat impactada i a una localitat control de la comunitat G (chi-quadrat, $P < 0.001$). No s'observa cap patró que permeti avaluar l'evolució d'aquest paràmetre al llarg del temps (Fig. 10). Per altra

banda, la distribució de les colònies en graus d'exposició a l'erosió va variar de manera significativa al llarg de l'estudi a la localitat impactada de la comunitat NG (chi-quadrat, $P < 0.001$), mentre que la distribució a les localitats

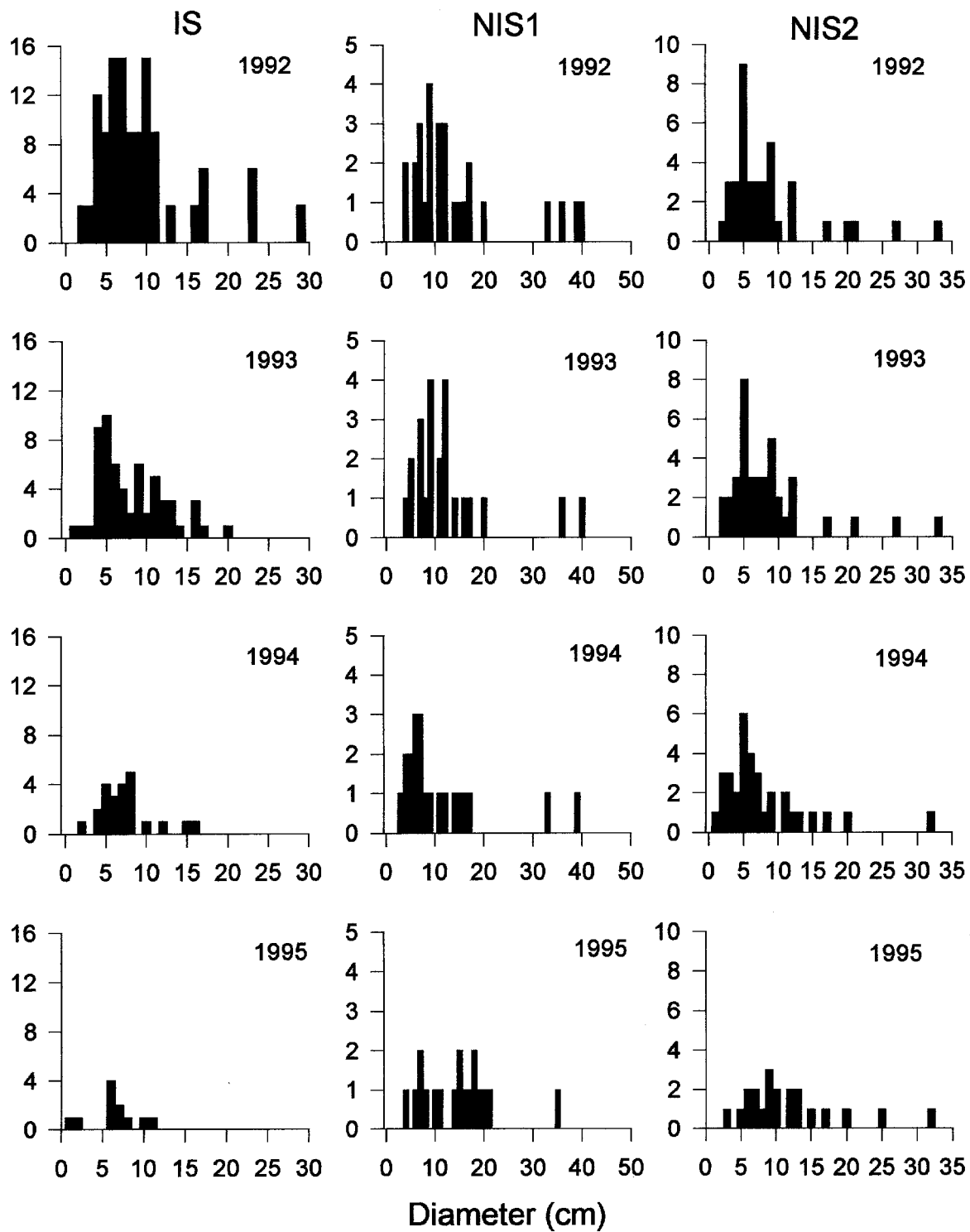


Fig. 7. *Pentapora fascialis*. Histogrames de distribució del diàmetre de les colònies a la comunitat NG. Llegendes com a la Fig. 3.

no impactades no presenta diferències significatives (chi-quadrat, $P > 0.05$). S'ha observat una pèrdua progressiva de colònies en llocs exposats, i un desplaçament de la localització més abundant de les colònies cap a llocs menys exposats (Fig. 11).

DISCUSSIÓ

La comparació d'una localitat impactada amb diverses localitats control (localitzades en fons similars físicament i molt propers geogràficament) permet extreure conclusions sobre l'efecte

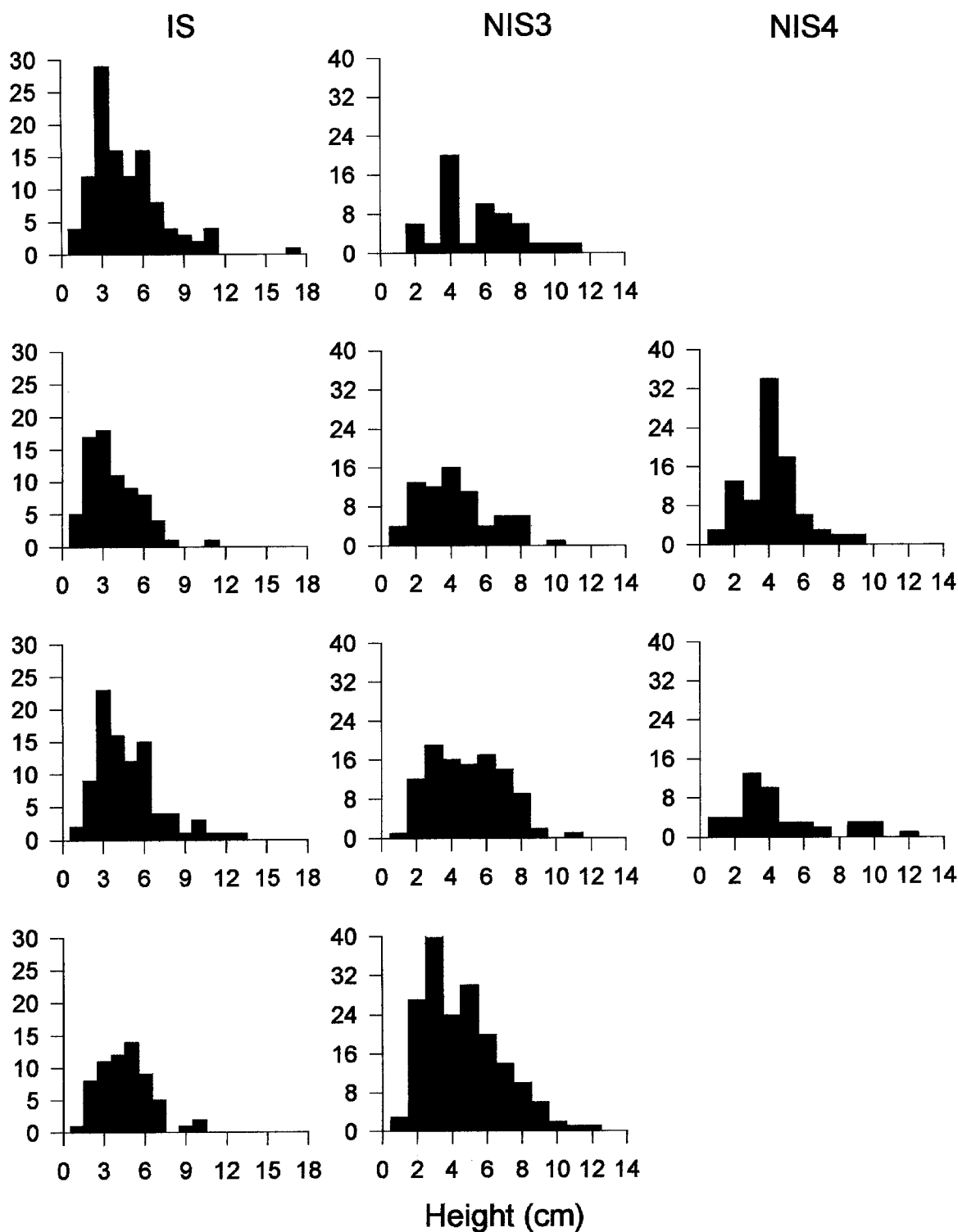


Fig. 8. *Pentapora fascialis*. Histogrames de distribució de l'alçada de les colònies a la comunitat G. Llegendes com a la Fig. 3.

de les activitats humanes, en aquest cas la freqüentació per escafandristes, sobre aquesta localitat impactada. És més, un disseny d'aquest tipus ens permet assegurar que els canvis produïts en la localitat impactada són deguts sense cap mena de dubte a l'acció humana. Per tant, podem afirmar

que les diferències que han estat observades entre la localitat impactada i les localitats control durant aquest estudi són degudes exclusivament a la freqüentació humana.

La dramàtica pèrdua de densitat de les colònies de *Pentapora fascialis* a la localitat impactada

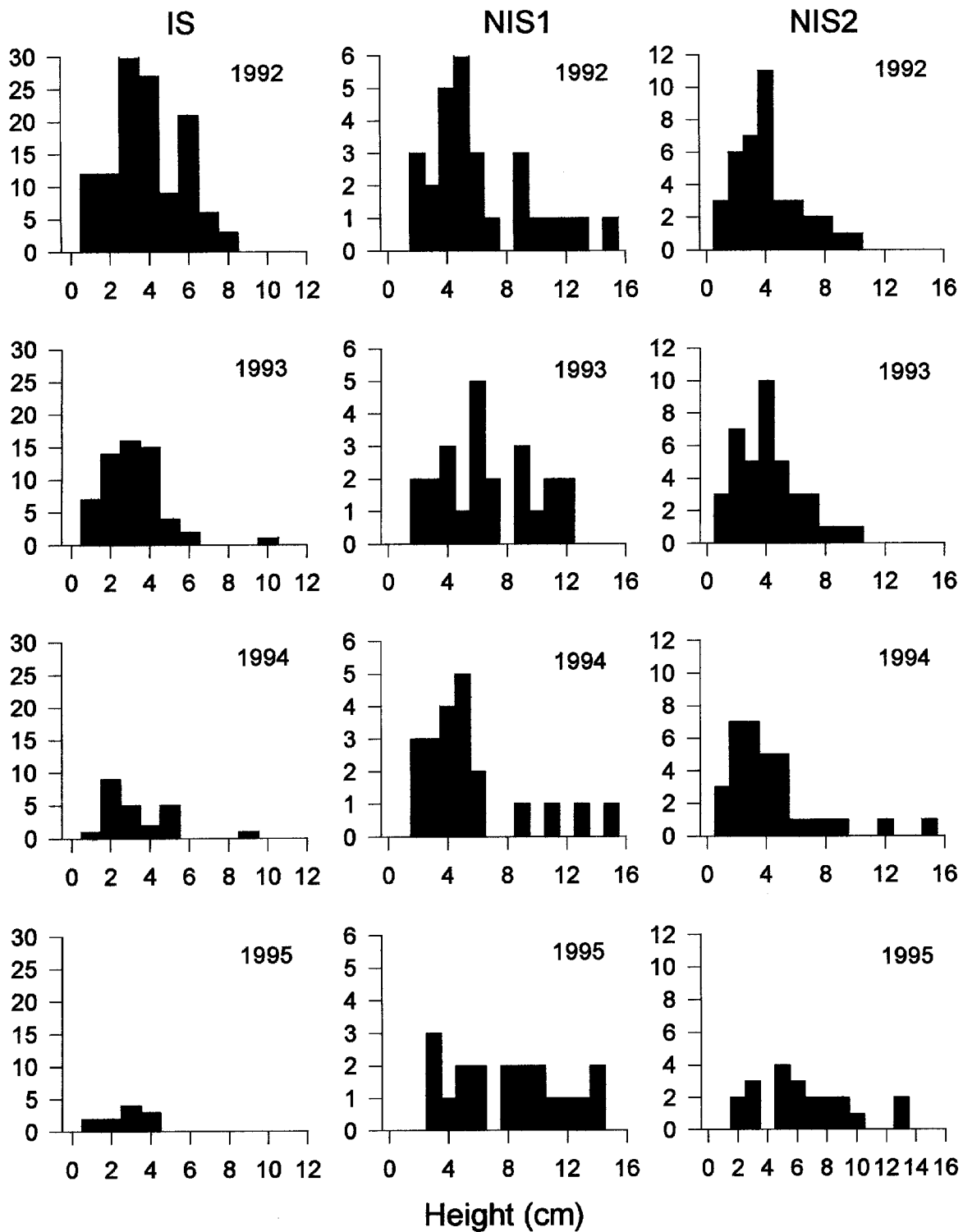


Fig. 9. *Pentapora fascialis*. Histogrames de distribució de l'alçada de les colònies a la comunitat NG. Llegendes com a la Fig. 3.

és conseqüència directa de l'erosió produïda pels escafandristes. En tan sols tres anys s'han perdut el 92 % de les colònies a la comunitat NG, i el 67 % a la comunitat G. A la comunitat NG, on les colònies es troben sobre els blocs, sense cap mena de protecció addicional (tret de la pròpia

estructura de la roca: concavitats, extraploms), l'erosió és molt més dramàtica que a la comunitat G, on les gorgònies formen un estrat que pot atenuar en certa manera l'erosió (Sala et al. 1996). Efectivament, en tan sols un any de frequentació ja es produí l'eliminació de la meitat

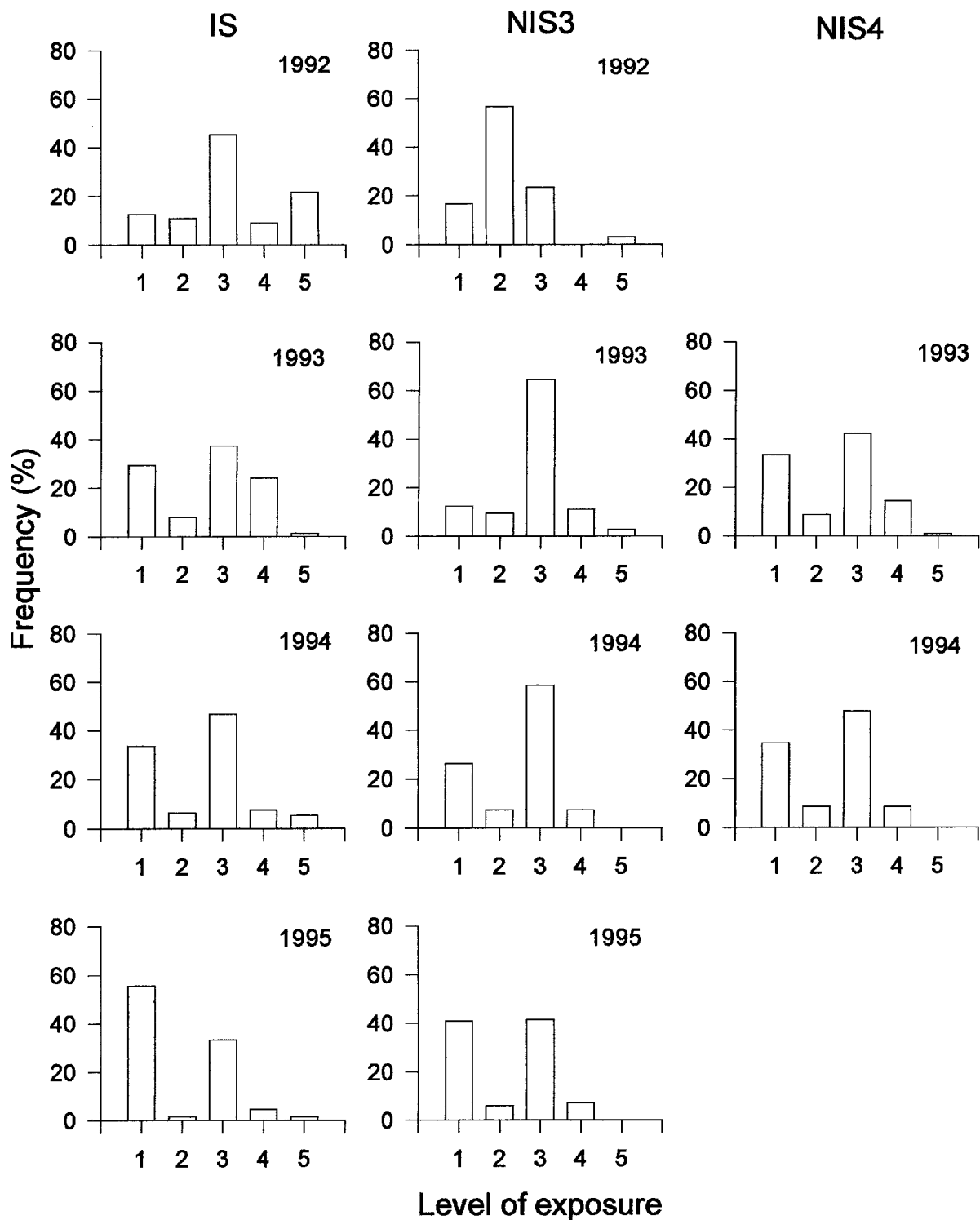


Fig. 10. *Pentapora fascialis*. Repartició de les colònies en els diferents graus d'exposició a la comunitat G. 1: en epibiosi, 2: sobre una superfície convexa, 3: en una superfície plana, 4: en una superfície còncava, 5: sota un extraplom. Llegendes com a la Fig. 3.

de colònies de *P. fascialis* en ambdúes comunitats. La disminució de la densitat continuà a una taxa molt elevada els dos anys següents a la comunitat NG. A la comunitat G, la disminució de la densitat disminuí a una taxa molt menor. Això és

degut a l'efecte protector de les gorgònies: primer es destrueixen les colònies més exposades als escalfandristes, i les que sobreviuen ho aconsegueixen segurament per trobar-se sota l'estrat arbore que formen les gorgònies.

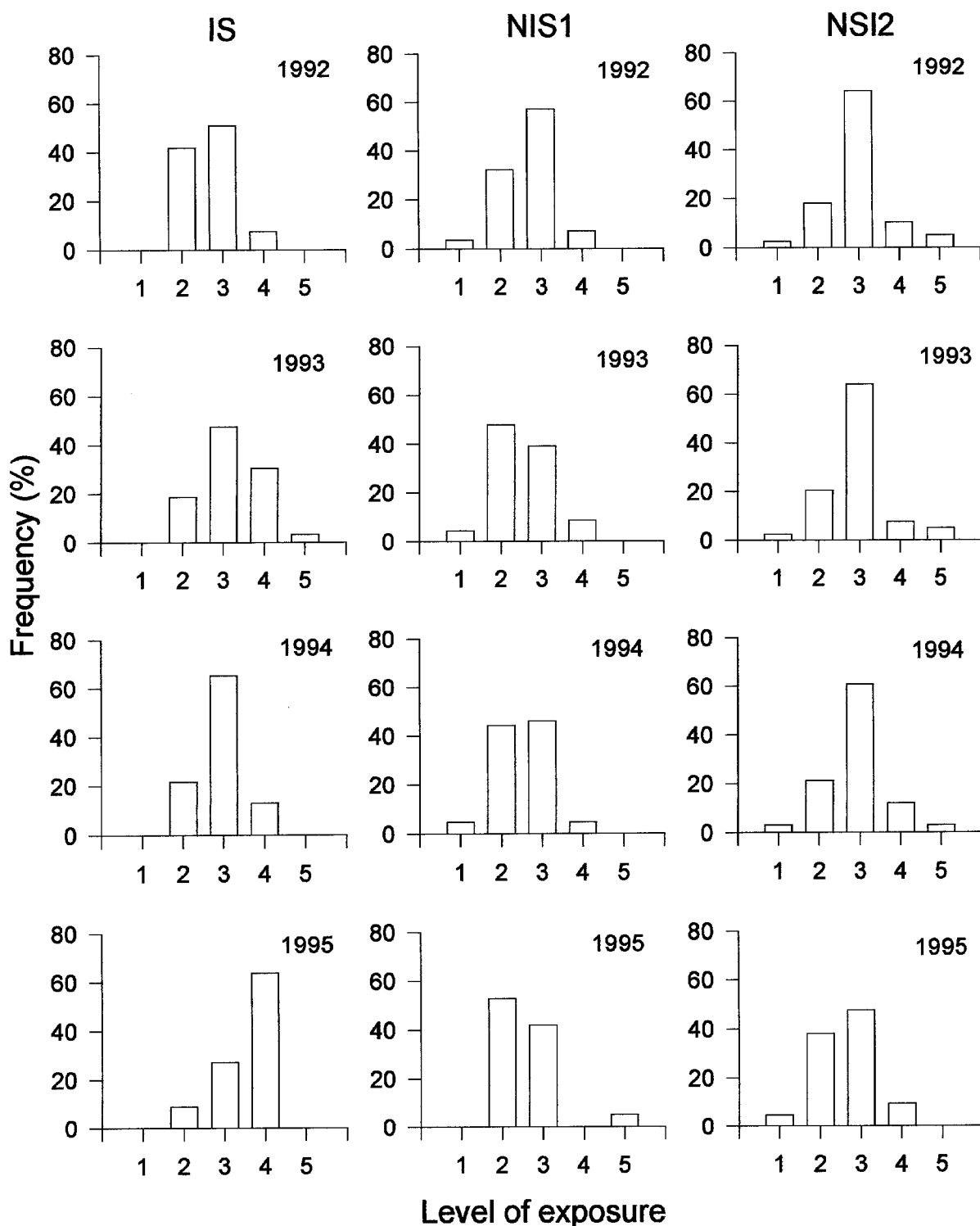


Fig. 11. *Pentapora fascialis*. Repartició de les colònies en els diferents graus d'exposició a la comunitat NG. 1: en epibiosi, 2: sobre una superfície convexa, 3: en una superfície plana, 4: en una superfície còncava, 5: sota un extraplom. Llegendes com a la Fig. 3.

La talla mitja de les colònies també es veu molt afectada per la freqüentació. A la comunitat NG s'ha produït un decreixement continu del diàmetre i la densitat de les colònies al llarg del temps degut a l'erosió pels escafandristes. A la comunitat G, la manca de diferències signifi-

ves entre localitats pot ser explicada per l'efecte protector de les gorgònies.

El grau d'exposició de les colònies és un paràmetre essencial per a la interpretació dels resultats obtinguts. A la comunitat NG, la distribució de les colònies en els diferents graus d'exposició ha

sofert una evolució molt marcada cap als llocs menys exposats. És a dir, a mida que ha anat augmentant el nombre d'immersions realitzades a la zona, el percentatge de colònies en llocs exposats ha anat disminuint, i al final de l'estudi la majoria de colònies es trobaven en indrets protegits.

El conjunt de resultats obtinguts en aquest estudi indiquen clarament que la freqüentació pels escafandristes té unes conseqüències negatives pel coral.lígen de les Illes Medes. Tot i que nosaltres hem utilitzat només un organisme com a indicador d'erosió, altres estudis (Coma i Zabala 1994) i observacions ens indueixen a pensar que l'erosió s'està duent a terme sobre moltes altres espècies del coral.lígen. Algunes d'aquestes espècies, com les gorgònies, són fonamentals per a l'estructura de tota la comunitat. La majoria d'aquestes espècies són molt fràgils i tenen cicles de vida molt llargs, o sigui, tarden molt a créixer i molt poc a trencar-se. Donat que la freqüentació humana sobre les Medes és continuada, podem afirmar que els efectes erosius són acumulatius, i que la recuperació d'aquestes comunitats és molt improbable, de continuar amb aquestes taxes de freqüentació. Els resultats són clars: en tan sols un any es van perdre la meitat dels organismes estudiats, fins i tot a la comunitat on les gorgònies havien estat suggerides com a protectors de l'erosió. Les hipòtesis suggerides l'any 1992, quan comparàvem localitats freqüentades i no freqüentades, han estat confirmades: la freqüentació per escafandristes produeix una erosió, amb la consegüent degradació, de les comunitats del coral.lígen. A més, aquesta degradació s'està produint a un ritme molt més ràpid del que podríem haver previst: amb tres anys de freqüentació n'hi ha hagut prou per eliminar la quasi totalitat de roses de mar de l'indret on abans eren més abundants.

Altres estudis efectuats arreu del món (vegeu introducció) suporten el fet irònic de que la sobrefreqüentació d'un indret protegit resulti en la degradació de les comunitats que es pretenia protegir.

BIBLIOGRAFIA

- Bernstein BB i Zalinski J (1983) An optimum sampling design and power tests for environmental biologists. *J. Env. Manag.* 16: 35-43
- Brosnan DM and Crumrine LL (1994) Effects of human trampling on marine rocky shore communities. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 177: 79-97
- Coma R i Zabala M (1993) Efectos de la frecuentación sobre una población de *Paramuricea clavata* (Octocorallia, gorgoniácea) de las islas Medes: Densidad, reclutamiento y mortalidad. *Abstracts VIII Simp. Iber. Est. Bentos Mar.*, Blanes, pp. 170-171
- Dahl AL (1977) Monitoring man's impact on Pacific Island reefs. *Proc. 3d Int. Coral Reef Symp.*, Miami, pp 571-576
- Davis GE (1977a) Anchor damage to a coral reef on the coast of Florida. *Biol. Conserv.* 11: 29-34
- Davis GE (1977b) Effects of recreational harvest on a spiny lobster, *Panulirus argus*, population. *Bull. Mar. Sci.* 27: 223-236
- Dixon JA, Scura LF i van't Hof T (1993) Meeting ecological and economic goals: marine parks in the Caribbean. *Ambio* 22: 117-125
- Halas JC (1983) An experimental mooring buoy pilot study at French Reef, Key Largo National Marine Sanctuary. *Fla. Spc. Memo. Rpt. to NOAA, Marine Sanctuaries Office, Washington, D.C.*, pp 1-10
- Hatcher BG, Johannes RE i Robertson AI (1989) Review of research relevant to the conservation of shallow tropical marine ecosystems. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 27: 337-414
- Hawkins JP i Roberts CM (1992) Effects of recreational SCUBA diving on fore-reef slope communities of coral reefs. *Biol. Conserv.* 62: 171-178
- Hawkins JP i Roberts CM (1993) Effects of recreational scuba diving on coral reefs: trampling on reef-flat communities. *J. Appl. Ecol.* 30: 25-30
- Kay AM i Liddle MJ (1989) Impact of human trampling in different zones of a coral reef flat. *Environ. Manage.* 13: 509-520
- Liddle MJ i Kay AM (1987) Resistance, survival and recovery of trampled corals on the Great Barrier Reef. *Biol. Conserv.* 42: 1-18
- McClanahan TR (1989) Kenyan coral reef-associated gastropod fauna: a comparison between protected and unprotected reefs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 53: 11-20
- Moreno CA, Sutherland JP i Jara HF (1984) Man as a predator in the intertidal zone of southern Chile. *Oikos* 42: 155-160
- Ormond RFG (1987) Conservation and management. In: Edwards AJ, Head SM (eds) *Red Sea*. Pergamon Press, Oxford, pp 405-423
- Riegl B i Velimirov B (1991) How many damaged corals in Red Sea reef systems? A quantitative survey. *Hydrobiol.* 216/217: 249-256
- Rogers CS, McLain L i Zullo ES (1988) Recreational uses of marine resources in the Virgin Islands National Park and Biosphere Reserve: trends and consequences. *Biosphere Reserve Res. Rep.* 24. VINP, Saint-Thomas
- Sala E, Garrabou J i Zabala M (1996) Effects of diver frequentation on Mediterranean sublittoral populations of the bryozoan *Pentapora fascialis*. *Mar. Biol.*, 126: 451-459.

- Skinner R i Jaap WC (1983) Effects of boat traffic and land development on Key Largo's coral reefs and adjacent marine environments. In: The Key Largo Rep. Sec. White Pap. Rep. to Fla. Gov. Office. Fla. Dept. Parks i Rec., Tallahassee, FL., pp 1-33
- Stewart-Oaten A, Murdoch WW i Parker KR (1986) Environmental impact assesment: "pseudoreplication" in time? Ecology 67: 929-940
- Tilmant JT (1981) Recreational impacts on coral reef fish populations. Proc. U.S. Fish and Wildlife Service Workshop Coastal Ecosystems of the Southeastern U.S., pp 122-138
- Tilmant JT (1987) Impacts of recreational activities on coral reefs. In: Salvat B (ed) Human impacts on coral reefs: facts and recommendations. Antenne Museum E.P.H.E., French Polynesia, pp 195-214
- Tilmant JT, Schmahl GP i Morrison D (1979) An ecological assessment of Biscayne National Monument's coral reefs in relation to recreational use. In: Jougé J (ed) Proc. 2nd Conf. on Sci. Res. in the Nat. Parks, Vol. 9. San Francisco, pp 193-221
- Underwood AJ (1992) Beyond BACI: the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 161: 145-178
- Woodland DJ i Hooper JNA (1977) The effects of human trampling on coral reefs. Biol. Conserv. 11: 1-4