

EUTROFITZACIÓ DELS RIUS D'ANDORRA *

Narcís Prat, M.-I. Bautista, G. González, M.-A. Puig **

Rebut: novembre 1979

SUMMARY

Eutrophication of the Andorra streams

An analysis of the phosphorus increase in the watersheds of Andorra as a result of the increase of human population in the river banks is made. The greater concentrations in phosphorus are found in relation to the increase of population and also in some sampling stations in the highlands of this country. In high altitude the phosphorus concentrations are related to hotel and sport facilities. Also the influence of water catchements to power works are analyzed. In August the major stream, the Valira river, is dried in this catchement process in station 22 and until the time of return of water (station 14) the main river receives only wastewaters of two villages and water of minor tributaries. This means a great increase in the phosphorus concentration in waters in stations 15 and 16 (figs. 1 and 2).

A modification in the composition of animal communities can be stated examining the macrofauna, especially insects, of river stones. There is a relationship between phosphorus concentration and the modification of communities. As a result of human population increase the lower part of Andorra is highly enriched in nutrients in August, especially in phosphorus. A great quantity of phosphorus, estimated between 4 and 8 MT/month, leaves the Valira river in the sampling station 1.

INTRODUCCIÓ

Els mots contaminació, degradació del medi ambient, pol·lució de les aigües i d'altres similars se'ns han anat, per desgràcia, fent més familiars cada dia. L'activitat de l'home ha modificat l'estructura i el funcionament dels ecosistemes i aquesta modificació l'han soferta de manera especial i acumulativa els medis aquàtics.

Les alteracions que es produeixen a les aigües continentals les podem considerar, de manera simplificada, de dues menes. Unes modificacions són ja conegudes per la natura perquè ja ha evolucionat amb elles; l'home no fa res més que repetir-les i ampliar-les. Les altres són alteracions que la natura desconeix de manera global perquè anteriorment no n'havia patit els efectes.

* Comunicació presentada a la reunió anual ICHN-SCB celebrada a Andorra els dies 15 i 16 de juny de 1979.

** Departament d'Ecologia. Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona. Gran Via de les Corts Catalanes, 585. Barcelona, 7.

Per a les primeres la natura disposa de mecanismes de reacció ja assajats i per tant pot adaptar-se a les noves condicions. És el cas de l'eutrofització. L'eutrofització és un procés d'enriquiment en nutrients de l'aigua que pot realitzar-se naturalment (les fulles que cauen al riu poden considerar-se com un aliment d'origen extern) o bé ésser produït per l'home (en introduir-hi aigües residuals carregades de detergents, per exemple).

Quan la natura desconeix les modificacions que es produeixen en ella, aquella no té un mecanisme de resposta assajat. La introducció de molècules o materials que l'home ha inventat crea unes condicions desconegudes en les aigües dels rius i, com que no hi ha un mecanisme de resposta ja comprovat, els seus efectes són imprevisibles. És el que pròpiament en podríem dir contaminació. La introducció massiva de cianurs, metalls, fenols, etc., pot fer desaparèixer la vida al llarg d'un riu.

Mentre l'eutrofització té un efecte previsible, amb uns canvis graduals molt en relació amb la intensitat i qualitat de l'enriquiment de nutrients, la contaminació té uns efectes del tot imprevisibles.

Andorra, lliure de concentracions industrials o d'explotacions molt contaminants, té en canvi una densitat de població elevada a la vora dels seus rius en relació a la grandària del seu territori. Els seus rius reben, per tant, una bona quantitat de clavegueres amb aigua carregada de material orgànic, detergents, etc., però sense una concentració elevada de contaminants perillosos. Andorra resulta, doncs, un marc idoni per a l'estudi dels efectes de l'eutrofització sobre els rius.

MATERIAL I MÈTODES

L'estudi es va portar a terme l'estiu de 1978 en dues èpoques diferents: entre el 10 i el 14 de juliol de 1978 i entre el 21 i el 25 d'agost. Al juliol les aigües presentaven un flux viu com a resultat de la fi del desglaç, mentre que a l'agost el flux era més feble per la secada. Notes sobre el règim hidrològic dels rius d'Andorra poden trobar-se a ADELLACH & GANYET (1977).

De 50 estacions de mostratge repartides per tot Andorra (fig. 1) varen ésser estudiats diferents paràmetres físico-químics i mostres qualitatives de fauna macrobentò-

nica. Entre els primers es va determinar el pH, la temperatura, la conductivitat, l'alcalinitat i la quantitat en solució d'oxigen, nitrats, nitrats, fosfats, clorurs, Ca, Na, K, i Mg (Per a resultats més detallats, vegeu PRAT *et al.*, 1979).

Al mateix temps s'agafaven mostres qualitatives de fauna, principalment dels organismes que es trobaven sobre les pedres. Aquestes mostres eren filtrades per un sedàs de 250 micres de diàmetre i es fixaven amb formol. Més tard, al laboratori es procedia a la separació de les mostres i a la identificació dels organismes sota lupa binocular a 12 x. Èmfasi especial es va fer en la classificació dels insectes, principalment dels grups plecòpters, efemèropters (PUIG, 1980), tricòpters (BAUTISTA, 1980) i dípters (GONZÀLEZ, 1980).

L'EUTROFITZACIÓ: CAUSES I CONSEQÜÈNCIES

Com ja hem dit abans, l'eutrofització és un procés d'alteració d'un ecosistema degut bàsicament a un gran aport de nutrients (fòsfor i nitrogen) o de material orgànic aliè al sistema. És un procés ben conegut que ha estat objecte d'alguns simposia (RÖHLICH, 1969; LIKENS, 1972).

Com és ben conegut, el creixement dels autòtrofs es veu limitat en les aigües continentals per la manca de nutrients bàsics, que són aquells que es troben de manera escassa en solució a l'aigua, i que són principalment el fòsfor i el nitrogen. Tots els organismes han de fer un esforç de concentració d'aquests nutrients que es presenten, en la seva forma inorgànica, de manera escadussera en solució, com a resultat de la seva relativa absència en els materials que renta l'aigua de pluja.

Però l'activitat de l'home modifica la situació i pot aportar a l'aigua quantitats importants de matèria orgànica i també directament de nutrients. La tala del bosc, l'excessiu adob agrícola, l'ús de l'aigua per les comunitats urbanes, carregada de residus i detergents, tenen el mateix efecte: un augment del material en suspensió i en solució a l'aigua i per tant també dels nutrients.

Les comunitats vegetals, que en condicions naturals es veien privades de créixer tant com podien, poden ara fer-ho i ho fan de manera exhaustiva. L'aigua que abans era neta, transparent, es torna tèr-

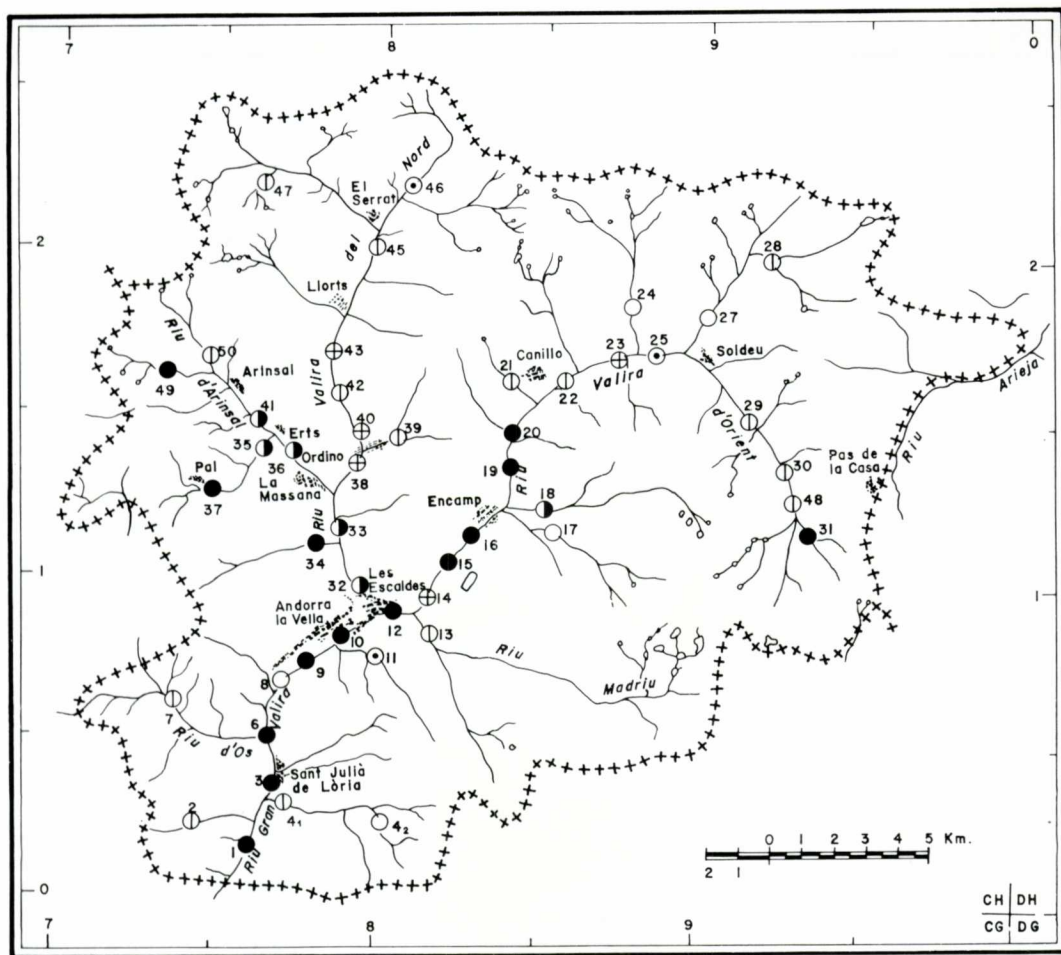


FIG. 1. Concentració de fòsfor (en $\mu\text{g-at/l}$) a diferents estacions dels rius d'Andorra el mes d'agost de 1978. De PRAT *et al.* (1979).

Phosphorus concentration in sampling stations of Andorra in August 1978. From PRAT *et al.* (1979).

bola i amb gran proliferació d'algues (i per tant de comunitats animals) que poden cobrir les pedres d'un riu o colorejar de verd les aigües de llacs i embassaments.

En els rius, el procés és més complex, puix que abans de l'alliberament dels nutrients hi ha una oxidació del material orgànic abocat, per això el primer efecte que es nota és una disminució en la concentració d'oxigen i un gran desenvolupament dels organismes heteròtrofs, principalment bacteris. Una vegada mineralitzada la matèria orgànica, es produeix l'alliberament dels nutrients i el creixement de les comunitats vegetals.

Ara bé, no és que les comunitats primitives que abans teníem sobre les pedres variïn només de nombre, sinó que hi ha un veritable recanvi d'espècies i aquelles són substituïdes per altres més adaptades a les noves condicions. Això passa a tots nivells i també amb els insectes que hi ha sobre les pedres.

Els processos d'eutrofització han estat ben estudiats en els embassaments de Catalunya (VIDAL, 1976) i de la resta d'Espanya (MARGALEF *et al.*, 1976) però l'enriquiment en nutrients dels nostres rius no ha rebut una atenció preferent, principalment pels greus problemes de contaminació per

altres elements que els nutrients. Andorra presenta unes condicions favorables per a aquest tipus d'estudi i hom pot detectar en els seus rius aquest enriquiment en elements nutritius i el recanvi que es produeix en les comunitats petrícules.

CONCENTRACIÓ DE FÒSFOR A LES AIGÜES DELS RIUS D'ANDORRA

D'entre els nutrients principals (nitrogen i fòsfor) és aquest darrer el que en els rius i llacs ens informa més fidelment dels possibles enriquiments, ja que el nitrogen pot patir processos de desnitrificació que ens amaguin la seva concentració inicial. D'altra banda, no tenim determinacions d'amoni que ens completin la visió de totes les formes possibles de nitrogen inorgànic, que podrien existir als rius andorrans.

Hom considera que quantitats superiors a 1 microgram-àtom per litre (0,096 mg/l de fòsfor en forma de fosfat) són suficients per a crear problemes d'eutrofització als llacs. Podem retenir aquest valor com a frontera per a reflectir els indrets on l'activitat humana es fa sentir més, tot i que els valors en els rius són més fluctuants que en els llacs.

Si s'observa el mapa de la figura 1 es veu que el mes d'agost, 19 dels 47 punts mostrejats tenien valors superiors a la quantitat esmentada, mentre que el juliol eren 15 les estacions en aquesta situació. Són, doncs, una bona proporció els punts amb disponibilitat de nutrients.

Aquests punts es poden classificar en dos tipus: els situats cap a la part baixa del país (números 1, 3, 6, 9, 10, 12, 32, 15, 16), o sia els que es troben entre les aglomeracions urbanes més fortes o dintre d'elles; i d'altres punts allunyats d'aquestes aglomeracions (números 34, 37, 49, 41, 35, 36, 31, 19, 20) (fig. 1). Mentre els primers pateixen d'una situació generalitzada, els segons semblen més afectats per condicions particulars o transitòries.

Entre aquest segon grup de punts poden endevinar en alguns casos la causa directa del augment del fòsfor en solució. Així, el punt 31 és el torrent que recull les clavegueres d'un hotel de la zona de Grau Roig. El punt 34 es troba sota Sispony i també deu rebre la influència d'aquesta població. El punt 37 (molt eutrofitzat) es troba a la sortida de Pal. Aquest torrent rep les cla-

vegueres de la petita població i com que té molt poc flux, en situar-se el curs d'aigua en la zona calcària, el fòsfor s'hi troba concentrat. La intensitat de l'acció és forta respecte del cabal del riu i per això encara es nota l'efecte al punt immediatament inferior (35); però la concentració de fòsfor es dilueix totalment a la riera d'Arinsal. L'estació 49 també presenta valors de fosfat elevats que podrien ésser deguts al moviment de terres efectuats per l'estació d'esquí. Com que aquesta estació és situada en una zona calcària, pot ser que augmenti el fòsfor en solució.

Aquesta situació a les parts altes del Valira i de la riera d'Arinsal té relativament poca importància, ja que el fòsfor és digerit i diluït per nous aportats d'aigua neta. El procés d'autodepuració del riu és suficient per assimilar aquesta introducció de fòsfor.

Al Valira d'orient s'observen uns valors que fan pensar en la irregularitat del flux d'aigua, puix que d'uns valors molt alts en la concentració de fòsfor a les estacions 15 i 16 (principalment a l'agost), a l'estació 14 aquells són reduïts. Això es pot veure més clarament a la figura 2, en la qual es presenta un perfil de la quantitat de fòsfor en solució al llarg del Valira d'orient i el Gran Valira els mesos de juliol i agost.

Aquesta situació es pot explicar molt bé si és té en compte que a l'estació de mostratge 22 (sota Ransol) existeix una derivació de les aigües del Valira d'orient cap a Engolasters. Aquest embassament fa de dipòsit i proporciona el saltant d'aigua necessari perquè es fabriqui energia elèctrica. L'aigua és retornada al riu entre els punts 14 i 15. Al juliol la situació és menys greu perquè això suposa només una disminució del cabal del riu, tot i que es pot observar una diferència de concentració de fòsfor entre els punts 15 i 14. A l'agost, però, el riu s'asseca i a partir d'aquest punt el Valira d'orient es nodreix només dels aportats dels torrents laterals, molt mígrats en aquesta època. Aquest aport no és suficient per diluir les quantitats de fòsfor que primer Canillo i després Encamp aboquen al riu, dues poblacions situades en aquest tram de riu abans del retorn de l'aigua.

Com a resultat hi ha un increment espectacular en les concentracions de fòsfor dissolt a l'aigua (fig. 2) en les estacions 15 i 16 principalment. Al punt 14, amb el

retorn de les aigües del riu, la concentració de fosfats és reduïda un altre cop a nivells més normals. Però l'aglomeració urbana que de seguida arriba augmenta un altre cop els valors de fosfats, els quals ja continuen alts (tant al juliol com l'agost) fins a la sortida d'Andorra.

Els fosfats, doncs, reflecteixen molt bé els processos d'enriquiment en nutrients de les aigües com a resultat de l'activitat de l'home, i per això el fòsfor ha estat assenyalat per molts autors com el responsable principal de l'eutrofització (VALLENTYNE, 1974).

COMUNITATS D'ORGANISMES MACROBENTÒNICS RELACIONADES AMB EL GRAU D'EUTRÒFIA

La presència d'una comunitat determinada sobre les pedres d'un riu és resultat de la combinació de diferents factors, per això les comunitats s'han utilitzat com a indicadors de les condicions ecològiques

dels llocs on es troben i així s'ha desenvolupat la idea de l'espècie o comunitat indicadores o tipus. En els rius hi ha alguns factors que afecten a grans trets la distribució de les espècies o grups d'elles. L'altitud, la grandària del riu, el flux i la temperatura són factors de macrodistribució de les espècies i comunitats (CUMMINS, 1975).

Aquests factors poden endevinar-se com a causants de la distribució a grans trets de les comunitats d'animals bentònics dels rius d'Andorra (fig. 3). A les parts més altes, d'aigües fredes i netes, o bé en parts més baixes, però en torrents petits, estrets, amb corrent fort, se situa normalment una comunitat dominada per dípters de les famílies simúliids i blefacocèrids, a més d'un subgrup de quironòmids (dípters també), els diamesins, i acompanyada gairebé sempre dels característics estoigs del tricòpter *Drusus*. Aquests grups són característics i en diferents proporcions es troben sempre en aquestes aigües netes, fredes i ràpides dels torrents no massa grans,

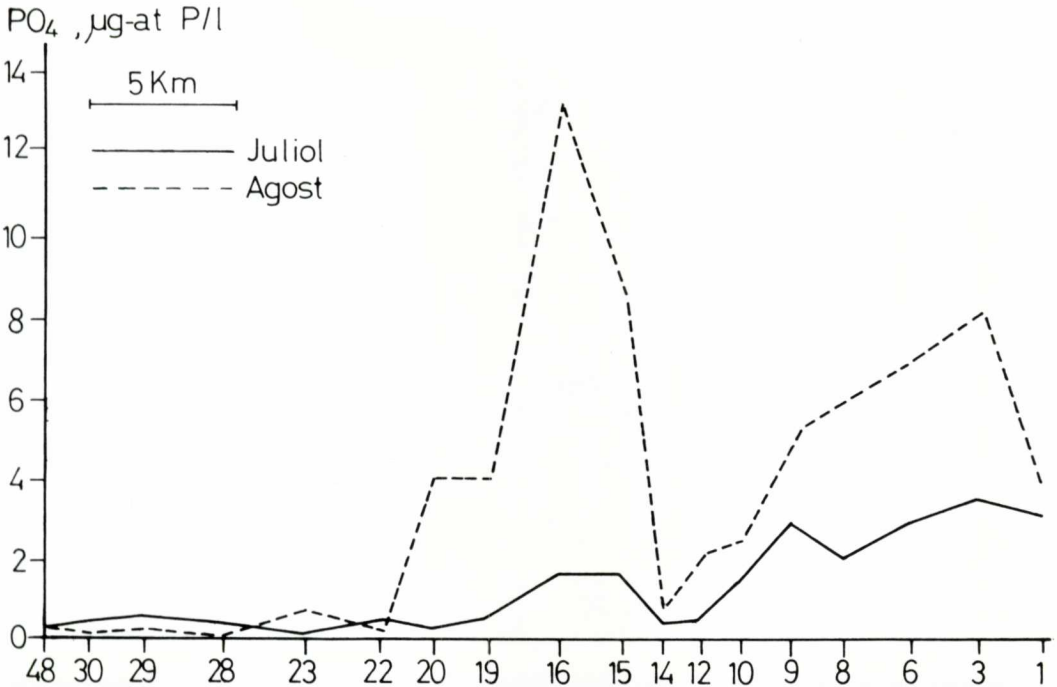


FIG. 2. Perfil longitudinal de la concentració de fòsfor al llarg del Valira d'orient i el Gran Valira als mesos de juliol i agost. El nombre en abscises és el de les estacions de mostreig de la fig. 1. Longitudinal profile of the phosphorus concentration along the Valira del Nord and the Gran Valira in July and August. In abscises the sampling stations according to map of fig. 1 is indicated.

on poden estar acompanyats per altres espècies mai no tan freqüents o abundants.

Quan el riu es fa més gran i augmenta la seva amplada, el corrent continua essent fort, però a certes contrades pot arregar-se l'aigua i adquirir una certa fondària. En aquestes condicions, les comunitats varien totalment i passen a ésser dominades per un tricòpter, *Allogamus auricollis*, el qual forma veritables eixams sobre les pedres, orientats respecte a la corrent.

Aquests dos tipus de comunitats sembla que serien les dominants a Andorra (a excepció dels llacs i de les zones més enllà dels 2.500 m, on poden haver altres tipus

de comunitats no estudiades) i de fet al juliol *Allogamus auricollis* es troba fins a Engolasters. Però a partir d'aquest punt, i abans al Valira d'orient, les alteracions produïdes per l'home i expressades abans com a concentracions de fosfat provoquen un canvi profund en la composició de la comunitat. Aquest canvi es tradueix en la desaparició d'*A. auricollis* en totes les estacions eutrofitzades (fig. 3) i la substitució d'aquesta espècie per una associació de quironòmids (dípters) i d'efemeròpters del gènere *Baetis*, i, en els casos més greus, l'aparició de tubíficids i del bacteri heteròtrof *Sphaerotilus natans*.

Hem vist abans que algunes de les esta-

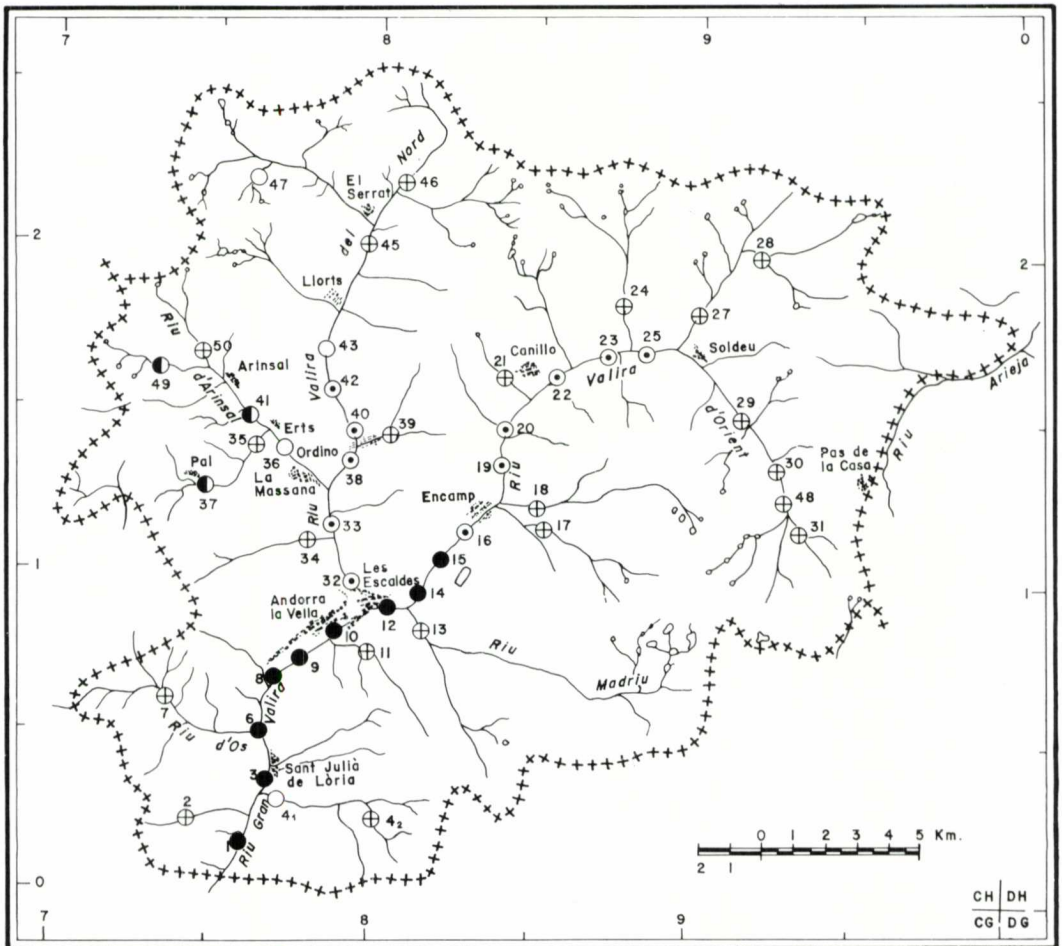


FIG. 3. Comunitats de macroinvertebrats característiques de les diferents estacions al mes d'agost. Cada comunitat és anomenada per l'espècie, gènere o grup característic. De PRAT *et al.* (1979). Characteristic communities of macroinvertebrates in Andorra in August 1978. Each community is named after the more representative species, genus or group. From PRAT *et al.* (1979).

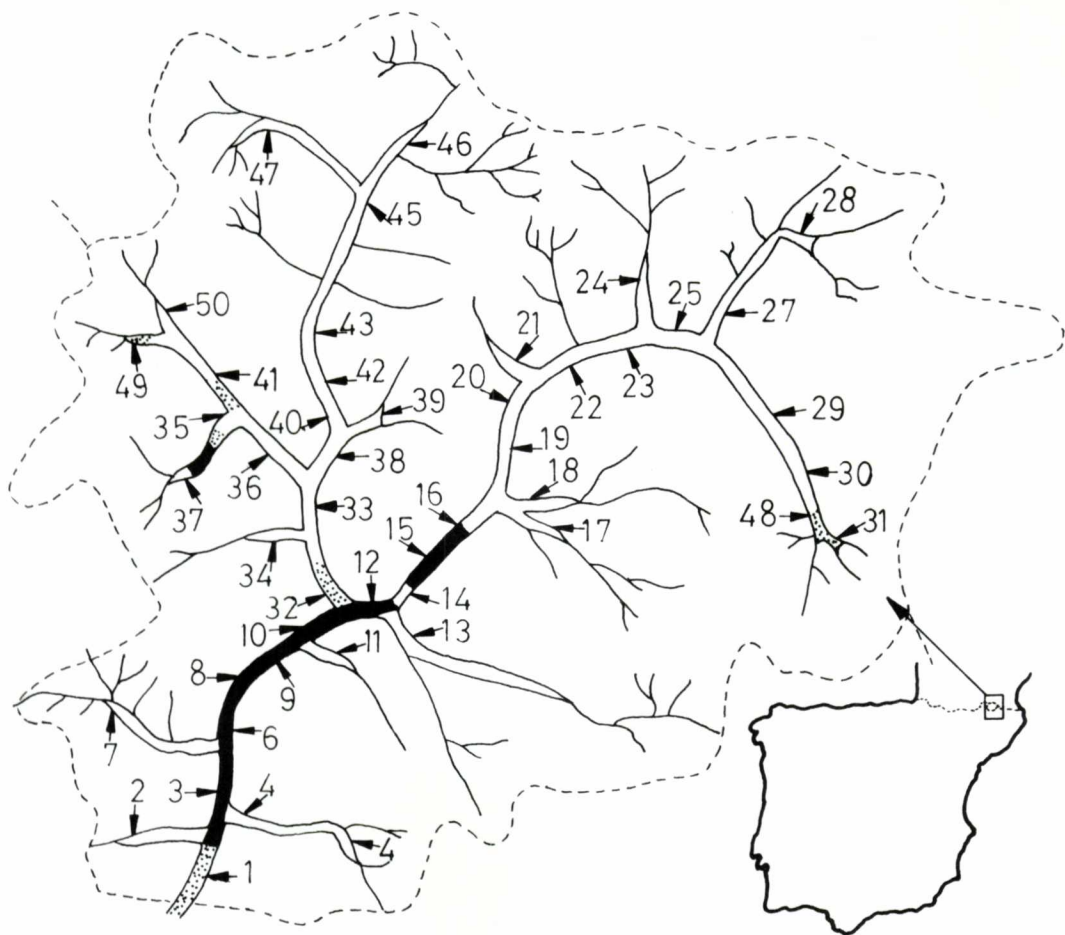


FIG. 4. Zones no alterades (en blanc), zones poc alterades o amb una alteració transitòria (puntejat) i zones molt alterades (negre) que es poden deduir de la informació extreta a Andorra el juliol i l'agost del 1978. Unalterate (white), with small modifications (spots) and very highly modified (black) zones delimited by this study in the streams of Andorra.

cions situades a la part alta del país també sofrien un procés d'enriquiment de la seva aigua amb nutrients. Això provoca així mateix canvis en la composició de la comunitat. En alguns casos es conserva, encara que molt malmesa, la composició inicial (estacions 31 i 43), però les espècies abans més infreqüents (com els quironòmids) poden ara ésser dominants.

Hi ha també algunes estacions (punts 34, 19, 20) que tot i tenir unes concentracions altes de fosfats no presenten alteració de la comunitat (compareu els mapes de les figures 1 i 3). Això ens pot informar de la relativa validesa dels efectes de les

concentracions d'alguns paràmetres químics sobre la composició de les comunitats. Mesures aïllades no poden, en general, acceptar-se com a indicadors de condicions més generals, que són les que realment influencien la presència dels organismes. En aquest cas, les fortes concentracions de fòsfor podrien ésser degudes a circumstàncies temporals que no arribin a fer desaparèixer les comunitats originals. Les comunitats, doncs, tenen un sentit indicador més ampli, ja que ressalten i conserven la informació de temps passats, la qual pot haver estat més important per determinar la composició de la comunitat

que les condicions mesurades en un moment determinat.

CONCLUSIONS

Tot i que no es pot parlar pròpiament d'eutrofització en les aigües corrents (HYNES, 1969), és evident que un enriquiment en nutrients és molt clar a les parts baixes i en alguns indrets determinats de les parts altes d'Andorra. Això és degut, sens dubte, a la pol·lució orgànica que té com origen la concentració de població en poc espai i com a causa un enriquiment del riu, primer en material orgànic, i després en sals inorgàniques que s'alliberen. Una manera d'estudiar la quantitat d'aquesta acció ha estat exposada en aquest treball en referir-nos a les variacions de les concentracions de fòsfor i al canvi de composició de les comunitats macrobentòniques.

La situació pot veure's resumida al mapa de la fig. 4, que indica les zones no alterades, les sotmeses a una alteració parcial o transitòria i una àmplia zona greument alterada pels abocaments de l'home.

D'altra banda, el fòsfor que s'escapoleix representa una quantitat important que contribueix ben segur a l'eutrofització del proper embassament d'Oliana, ja al Segre. Hom pot calcular, segons les dades d'aigua que surt del país i les concentracions de fòsfor de la estació 1., que entre 4 i 8 tm de fòsfor poden escapar-se en els mesos d'estiu d'Andorra i que potser entre 50-100 tm a l'any seria una xifra no massa alta de fòsfor en forma de fosfat que aporta el Valira al Segre. Aquesta xifra no és gens menyspreable si es compara amb les 800 tm que s'estima que el Llobregat transporta anualment (dades de l'any 1975) per a Sant Joan Despí (LINATI *et al.*, 1976). Tenint en compte la diferència i la situació de tots dos rius, la xifra d'Andorra és relativament alta. Hom pot adonar-se de la poca «racionalitat» de l'ús del fòsfor per part de l'home quan aquell és un recurs relativament escàs.

Agraïments

Els autors volen agrair al Departament d'Ecologia les facilitats obtingudes per a

la realització d'aquest estudi, especialment al cap del departament Dr. R. Margalef. L. Campàs, A. de Sostoa i V. Daroca participaren en el mostratge.

BIBLIOGRAFIA

- ADELLACH, B. & GANYET, R. 1977. *Estadístiques de les Valls d'Andorra*. Consell General de Les Valls d'Andorra. Andorra la Vella. 374 pàgs.
- BAUTISTA, I. 1980. Contribució a l'estudi dels tricòpters d'Andorra. *Butll. Inst. Cat. Hist. Nat.*, 45 (Sec. Zool., 3): 89-96.
- CUMMINS, K. W. 1975. Macroinvertebrates. In: *River Ecology* (B. A. Whitton, ed.). *Studies in Ecology*. Vol. 2. University of California Press: 170-198.
- GONZÁLEZ, G. 1980. Primeres dades sobre la distribució dels *Simuliidae* (Diptera, Nematocera) d'Andorra. *Butll. Inst. Cat. Hist. Nat.*, 45 (Sec. Zool., 3): 97-106.
- HYNES, H. B. N. 1969. The enrichment of streams. In: *Eutrophication* (G. A. Rochlich, ed.). National Academy of Sciences. Washington: 188-196.
- LIKENS, G. E. (ed.) 1972. *Nutrients and Eutrophication*. American Society of Limnology and Oceanography. Lawrence, Kansas. 328 pàgs.
- LINATI, J. A., APARICIO, I., GUARDIOLA, J. & VERGÉS, C. 1976. El problema de la contaminació de la cuenca del Llobregat. In: *La Contaminación de los cauces públicos*. Comisión Intercolegial del Medio Ambiente. Laia. Barcelona, 75-92.
- MARGALEF, R., PLANAS, D., ARMENGOL, J., VIDAL, A., PRAT, N., GUISET, A., TOJA, J. & ESTRADA, M. 1976. *Limnología de los embalses españoles*. Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas. Madrid. Núm. 123.
- PRAT, N., BAUTISTA, M.-I., GONZÁLEZ, G. & PUIG, M.-A. 1979. La xarxa hidrogràfica. In: *El patrimoni natural andorrà* (R. Folch, ed.): 261-309. Ketres. Barcelona.
- PUIG, M.-A. 1980. Contribució a l'estudi de l'ecologia comparada dels plecòpters i efemeròpters d'Andorra. *Butll. Inst. Cat. Hist. Nat.*, 45 (Sec. Zool., 3): 77-87.
- ROHLICH, G. A. (ed.) 1969. *Eutrophication: causes, consequences and correctives*. Proceedings of a symposium. National Academy of Sciences. Washington. 661 pàgs.
- VIDAL, A. 1976. Eutrofización del embalse de Sau en el transcurso de sus primeros años. *Resúmenes de la II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica*. Barcelona, diciembre de 1976. 43 pàgines.
- VALLENTYNE, J. R. 1974. *The algal Bowl*. Public. of the Dept. of Environmental Fisheries and Marine Service Office. Ottawa. Canada. 186 pàgs. (Traduït al castellà sota el títol de «Introducción a la Limnología». Omega. Barcelona.)