

Les argiles expansibles. Anàlisi d'un problema geotècnic i primeres dades de l'abast del fenomen a les comarques gironines

Rogelio Linares
Lluís Pallí
Ignaci Capellà
Carles Roqué
David Brusi

32

1. Introducció

Entre el conjunt de factors que condicionen l'ús constructiu d'un territori, entès com a element del medi que suporta edificis i obres en general, les característiques geotècniques del terreny adquireixen un paper molt rellevant. Resulta de primordial interès conèixer, prèviament, el comportament mecànic del terreny, a fi de preveure'n la incidència en les construccions i, d'aquesta manera, estar en condicions de poder projectar-les adequadament.

En aquest context, l'informe geotècnic elaborat per especialistes esdevé un document imprescindible. S'hi determina la càrrega admissible o capacitat portant, resultat de la valoració conjunta de les càrregues d'enfonsament i els assentaments previstos.

Habitualment, en els sòls (en el sentit geotècnic del terme) la deformabilitat és el factor més restrictiu del valor de les càrregues que el terreny pot admetre i, com és prou sabut, fonamentar sobre materials amb capacitats altes de càrrega comporta un abaratiment de costos, i a la inversa. Aquest és el principal condicionant o restricció que imposa el terreny.

Tot i això, hi ha determinats tipus de terrenys que, en condicions geotècniques concretes, són especialment problemàtics. Es tracta, principalment, dels anomenats sòls expansibles i sòls col·lapsables, fenòmens molt documentats en publicacions especialitzades

Hi ha tipus de terrenys que, en condicions geotècniques concretes, resulten especialment problemàtics: són els anomenats sòls expansibles i sòls col·lapsables

i amb nombrosos exemples arreu del món. Malgrat les seves conseqüències socials i econòmiques, s'acostumen a veure com una cosa llunyana, sense projecció en el nostre àmbit territorial.

L'Equip de Geotècnia de la Universitat de Girona ha constatat la seva existència en diverses zones de les comarques gironines. Per aquesta raó s'ha iniciat una línia de recerca amb l'objectiu d'acotar cartogràficament i de quantificar-ne experimentalment l'abast. En aquest treball es tracten els anomenats sòls expansibles, amb la finalitat d'aportar la informació teòrica imprescindible per comprendre el fenomen correctament i, al mateix temps, donar a conèixer unes primeres dades sobre el seu abast territorial.

2. Transcendència socioeconòmica

Del conjunt de processos dinàmics que poden motivar situacions de risc geològic, probablement el derivat de les inestabilitats volumètriques dels sòls argilosos és el menys evident. El seu caràcter no catastròfic i el llarg període de temps que a vegades triga a desenvolupar-se, fins i tot decennis, fan que sovint no es prenguin amb la importància que es mereixen (Salinas, 1988). El títol del ja clàssic treball *Argiles expansives: el desastre ocult*, de Jones & Holtz (1973), sintetitza aquesta situació.

Les pressions que poden desenvolupar els sòls expansibles arriben a superar els 10 kg/cm² (Ayala *et al.*, 1985), encara que en general són molt més reduïdes. Els increments de volum arriben a valors de fins al 10% i en condicions experimentals se superen àmpliament. Tot i que es poden produir moviments diferencials superiors a 10 cm, n'hi ha prou amb inestabilitats molt més moderades per causar danys substancials si no s'han pres mesures preventives i/o correctores.

En aquest context, els problemes constructius derivats de l'expansibilitat dels sòls poden ser importants i afecten un gran nombre de països (Gromko, 1974). En el cas, per exemple, de determinades zones de Jordània, més del 40% dels edificis estan fortament danysats per l'inflament de sòls expansibles; als Estats Units, i per aquest motiu, es preveuen pèrdues econòmiques per a l'any 2000 de l'ordre de 1.000 milions de dòlars (Wiggins *et al.*, 1978; Jones, 1981). Tot i que a Espanya no hi ha estadístiques detallades sobre l'abast econòmic dels danys per expansibilitat, després d'una anàlisi de casos aïllats i considerant les pèrdues econòmiques d'altres països no és aventurat donar xifres mínimes de 5.000 milions de pessetes l'any (Salinas, 1988; González de Vallejo, 1988).

A Catalunya tampoc no es diposa de cap valoració precisa de danys. En el cas, per exemple, de la comarca del Vallès Occidental, els antecedents ens menen a opinar que les pèrdues ocasionades per l'acció de les argiles expansives referides a danys en edificacions i en l'estabilitat de talussos són de l'ordre de centenars de milions de pessetes (Linares, 1990; Zarroca, 1994).

Els problemes constructius derivats de l'expansibilitat dels sòls poden ser importants, i afecten un gran nombre de països

3. La inestabilitat volumètrica de les argiles expansibles

3.1. Generalitats

Qualsevol tipus de sòl experimenta canvis de volum en originar-se una variació de la pressió efectiva entre les seves partícules, tant si és deguda a canvis d'humitat com a variacions de la pressió total que actua sobre el sòl.

Tot i que determinats sòls i roques poden experimentar canvis de volum derivats d'una descompressió o de modificacions mineralògiques o texturals (fenòmens de meteorització física i/o química), l'expansibilitat fa referència habitualment a la propietat d'alguns components argilosos dels sòls, sobretot els montmoril·lonítics, de modificar la seva estructura laminar per adsorció de molècules polars. No solament pot produir-se un inflament del sòl, sinó, evidentment, retracció, si té lloc una aproximació de les partícules d'argila per dessecació.

Així doncs, en aquest terme d'expansibilitat s'engloben els sòls argilosos, que poden desenvolupar variacions volumètriques o, si aquest canvi els és impedit, generar pressions prou acusades per produir efectes perjudicials en les obres construïdes al damunt seu, si no es prenen precaucions especials (Nilson i Miller, 1992). El problema bàsic rau en el fet constatat que, en el cas dels sòls expansibles, les deformacions que poden experimentar són notòriament superiors a les deformacions elàstiques i, per tant, no es poden preveure mitjançant les teories elàstiques o plàstiques clàssiques.

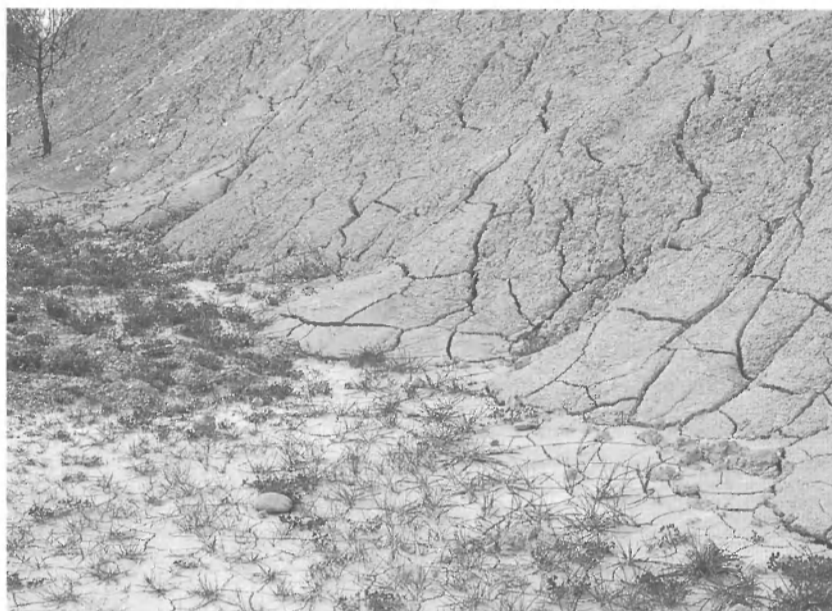
3.2. Manifestació de l'expansibilitat

La capacitat expansiva d'un sòl depèn estretament de la seva naturalesa mineralògica, que haurà de ser argilosa en proporció significativa. Per aquest motiu s'utilitza habitualment el terme d'argiles expansives com a substitutiu de sòls expansibles, ja que són els components argilosos del sòl els que poden desenvolupar expansibilitat (Ayala *et al.*, 1985). De la mineralogia, volum i organització textural resultarà la seva capacitat intrínseca d'experimentar canvis de volum; i la composició, percentatge d'argila, grau de compactació i textura globals determinaran l'expansibilitat del sòl.

Perquè un sòl tingui expansibilitat cal que pugui experimentar canvis d'humitat i, per fer-ho, són necessàries determinades condicions mediambientals, vinculades bàsicament al clima, però també relacionades amb la posició del nivell freàtic, vegetació, profunditat, estructura del sòl i posició estratigràfica. Les modificacions de l'entorn natural provocades per l'activitat antròpica, especialment pel que fa a les condicions d'admissió i eliminació d'aigua, sovint acostumen a ser la causa extrínseca que desencadena el procés expansiu.

Per tant, en realitat, els canvis de volum es produeixen com a conseqüència de les variacions en els estats tensionals del sòl, tant

En el terme d'expansibilitat s'engloben els sòls argilosos, que poden generar pressions prou acusades per produir efectes perjudicials en les obres construïdes al damunt seu



Les deformacions que experimenten les argiles expansives s'han de preveure per evitar danys posteriors. (Foto: Arxiu UdG)

externs com interns. Els externs es consideren com a resultants de la pressió total aplicada i els interns com la succió o pressió equivalent de l'aigua intersticial, normalment negativa en el cas dels sòls no saturats.

3.3. Mecanismes d'expansió

En la literatura tècnica especialitzada s'han presentat diversos mecanismes per explicar l'inflament de les argiles, els quals poden participar en diferents graus en el procés d'expansió. Les conclusions que es poden obtenir de l'estat actual del coneixement del sistema aigua-argila indiquen que el canvi de volum de les argiles expansives s'ha d'interpretar com a causat per una combinació de diversos mecanismes fisicoquímics fonamentals dependents els uns dels altres, els quals actuen en el nivell microescalar. Es tracta concretament de l'atracció de les partícules d'argila, de la repulsió osmòtica i de la hidratació de cations (Snethen *et al.*, 1977). Tots aquests mecanismes, actuant conjuntament, determinen l'afinitat del sòl per l'aigua, que pot ser quantificada acotant la succió, és a dir, el dèficit de la pressió de l'aigua existent en el sòl respecte de l'atmosfèrica.

3.4. Factors que influeixen en l'expansió

Un bon nombre de publicacions han aconseguit enumerar, definir i analitzar els factors que afecten o determinen les característiques del comportament dels sòls expansibles (Holtz i Gibbs, 1956; Escario, 1965 i 1969; Kassiff i Baker, 1971; Gromko, 1974, i Elsohby i Rabba, 1981, entre molts altres). En molts casos, es van fer intents d'aïllar-los individualment i explicar el comportament a partir d'un de sol o d'una combinació de les contribucions de diversos factors. No obstant això, tant en les situacions de laboratori com en les de camp, el comportament real és una funció complexa en què cal considerar els diversos factors implicats.

Les variables principals que afecten l'expansió es poden dividir en tres grups. El primer concerneix les propietats intrínseques de les partícules i les condicions de la massa del sòl, com ara tipus de minerals argilosos, contingut en argila, densitat seca i contingut d'humitat. El segon es refereix a les propietats del fluid dels porus, com són la composició electroquímica de l'aigua i la interacció aigua-argila. I el tercer representa les condicions mediamientals, ja sigui al camp o al laboratori. En aquest darrer grup es troben factors com la història geològica del dipòsit o el registre de pressions aplicades; la temperatura i la disponibilitat d'aigua.

En síntesi, es tracta, com apunten alguns autors (Ayala *et al.*, 1985), de factors intrínsecs i extrínsecs vinculats a l'expansibilitat. Entre aquests últims, responsables dels canvis necessaris perquè es manifesti el potencial expansiu del sòl, les variacions en contingut d'aigua en els primers metres acostumen a ser el desencadenant del procés. En aquesta zona superficial, no saturada, coneguda amb el terme de zona o capa activa, el volum d'aigua present fluctua d'acord amb el caràcter estacional de les variacions climàtiques.

La forma del perfil dinàmic del sòl depèn principalment de la disponibilitat d'aigua superficial, de l'evapotranspiració, de la difusivitat i de la posició del nivell freàtic (Sullivan i Mc Clelland, 1969). El terme "difusivitat" equival al de "permeabilitat", si bé es refereix a un gradient de succió. El sòl dessecat té una difusivitat escassa, perquè els seus porus estan molt comprimits. Així, partint de consideracions teòriques, les variacions estacionals no haurien de penetrar més que fins a una profunditat molt limitada. A la península Ibèrica aquesta profunditat, segons els càlculs teòrics, no sobrepassa els 1,5 m.

Tanmateix, a la pràctica, la profunditat o gruix de la zona activa és superior precisament en les argiles expansibles, encara que són justament les més impermeables. Això és degut al fet que, en contraure's, les argiles s'esquerden, i no només en sentit vertical, sinó també horitzontal, de manera que la superfície queda totalment quarterada i fragmentada en blocs. Aquesta estructura es renova cada nou cicle estacional. L'esquerdament genera una macroporositat en termes hidrogeològics que afavoreix que l'evaporació actuï en el terreny fins a una profunditat major que la que resulta teòricament. Amb tot, la profunditat de la zona activa és basant limitada, de manera que no sol sobrepassar els 4 m.

4. Identificació geotècnica de sòls expansibles

4.1. Potencial d'expansió

La mesura de la capacitat d'inflament s'anomena usualment potencial d'expansió.

Holtz (1959) defineix el potencial d'expansió com la deformació d'una mostra inalterada, en passar de l'estat sec a l'aire al saturat, sota una sobrecàrrega de 0,07 kg/cm². Tanmateix, Seed (*et al.*,

El canvi de volum de les argiles expansibles és causat per una combinació de mecanismes fisicoquímics fonamentals, dependents els uns dels altres

1962) defineix el potencial d'expansió com la deformació (inflatament) d'una mostra remodelada, amb contingut d'humitat òptim i densitat seca màxima, sota una sobrecàrrega de 0,31 kg/cm². Les sobrecàrregues emprades, tot i que varien des de zero fins a 0.5 kg/cm², usualment són de 0.07 kg/cm² o 0,1 kg/cm².

4.2. Assajos per a la identificació i classificació dels sòls expansibles

La identificació i classificació dels sòls expansibles té com a propòsit principal la caracterització qualitativa del canvi potencial de volum dels terrenys que se sospita que poden presentar problemes d'expansibilitat. Aquesta caracterització, d'una banda, serveix per prevenir el tècnic o enginyer projectista, durant les etapes preliminars de planificació, sobre els problemes potencials d'aquests sòls, i, d'altra banda, subministra la informació necessària per decidir sobre la necessitat real d'assajos addicionals, fent servir tècniques quantitatives de predicció.

Els mètodes o tècniques d'assaig utilitzats per a la identificació i classificació dels sòls expansibles són bastant variats i nombrosos, i és possible dividir-los en tres categories: indirectes, directes i combinats.

- Els indirectes consisteixen en la mesura d'una o més propietats intrínseques del material, complementades amb l'experiència disponible sobre el canvi de volum potencial.
- Els directes són els que utilitzen mesures de canvi de volum, emprant per a aquest objectiu un aparell del tipus edomètric convencional.
- Els combinades són aquells en què es correlacionen dades de tècniques directes i indirectes per proporcionar millors grups de classificació en relació amb la magnitud del canvi de volum. Permeten desenvolupar mètodes d'estimació quantitativa que subministren una primera idea de la magnitud de la inestabilitat volumètrica.

4.3 Assajos per a la quantificació de les característiques d'expansió

Hi ha diversos assajos destinats a quantificar el percentatge d'inflatament i la pressió d'inflatament. A efectes d'estudi i anàlisi, es poden subdividir en dos grans grups: assajos d'inundació i assajos de succió controlada.

- Els primers són realitzats a partir d'equips edomètrics convencionals. Presenten l'inconvenient que imposen al sòl unes condicions límits, quant a la seva inundació total. A més, en les mostres molt consolidades, l'accés d'aigua al seu interior pot demorar-se fins i tot alguns mesos, fet pel qual no arriben a desenvolupar tot el seu potencial expansiu en el temps usual d'assaig.
- Els segons, mitjançant equips edomètrics de succió controlada, quantifiquen la magnitud del potencial expansiu del sòl. En aquest cas, es mesura l'inflatament en funció del valor de succió i, per tant, s'obtenen resultats més propers a la realitat (Pousada, 1984).

La identificació i classificació dels sòls expansibles serveix per prevenir el tècnic o enginyer projectista durant la planificació de l'obra, i subministra la informació necessària per decidir sobre la necessitat d'assajos addicionals

5. Dades preliminars de l'abast del fenomen a les comarques gironines

Dins les terres gironines es té constància de l'existència d'argiles expansibles en àmbits geogràfics molt diversos. Així, apareixen a les zones de Palau i Montilivi, a la rodalia de la ciutat de Girona; a la Vall d'en Bas; a l'entorn de Breda; a la zona de la Bisbal; entre els municipis de Quart i Fornells; als sectors litorals de les planes empordaneses; a l'est de Peralada i als voltants de Banyoles, entre altres llocs.

En general, corresponen a formacions superficials genèticament associades a processos fluviotorrencials, a mecanismes de meteorització *in situ* i a ambients lacustres i palustres.

Les dades fins ara disponibles, relatives a la composició mineralògica de la fracció argilosa, a les característiques fisicoquímiques, a les propietats índex (límits d'Atterberg i activitat de l'argila, principalment) i a les proves Lambe i CBR, indiquen que es tracta de sòls amb un grau d'expansibilitat qualificable com de moderat-alt. Tanmateix, cal precisar de nou que perquè aquest potencial s'arribi realment a desenvolupar cal que hi actuïn, de manera concomitant, altres factors. Tot seguit s'analitzen alguns casos il·lustratius d'aquesta situació.

A la zona volcànica de la Garrotxa s'han reconegut sòls amb continguts significatius de fracció argilosa de tipus expansiu, concretament montmoril·lonítica, i, en canvi, la seva capacitat d'inflament –avaluada mitjançant proves edomètriques– ha resultat ser pràcticament nul·la. Aquesta circumstància, equiparable amb la detectada per González de Vallejo (1979; a Ayala *et al.*, 1985), per a sòls de característiques similars procedents de La Laguna (illes Canàries), és explicada per aquest autor a partir de l'existència d'una important porositat residual que limita la capacitat d'inflament.

En determinats sectors propers a la ciutat de Girona, s'han identificat nivells dominantment pelòtics que presenten fraccions fines caracteritzades per límits líquids considerablement alts ($w_l > 40$). En canvi, la pressió d'inflament més elevada que s'ha detectat és de l'ordre d'1 kg/cm², amb una quantia d'inflament lliure del 2,15% (fig. 1), valors qualificables de mitjans. Les dades disponibles indiquen que el grau de cimentació del sòl és el factor condicionant principal, ja que, igual com altres factors, el contingut en carbonat de calci s'incrementa en aquelles mostres que presenten una pressió d'inflament més baixa, i a la inversa.

Aquest dos casos posen de manifest que factors qualificables d'intrínsecs –condicions texturals i grau de cimentació del dipòsit– actuen inhibint el procés expansiu.

En altres zones de les comarques gironines, especialment en àrees properes a la línia de costa, l'existència de nivells freàtics molt alts manté els sòls expansibles en condicions, pràcticament constants, de màxima deformació. En aquest context, els problemes identificats es produeixen com a conseqüència de modificacions antrò-

Dins les terres gironines es té constància de l'existència d'argiles expansibles en àmbits geogràfics molt diversos; no obstant això, actualment les àrees en què aquest risc potencial es desenvolupa són molt localitzades

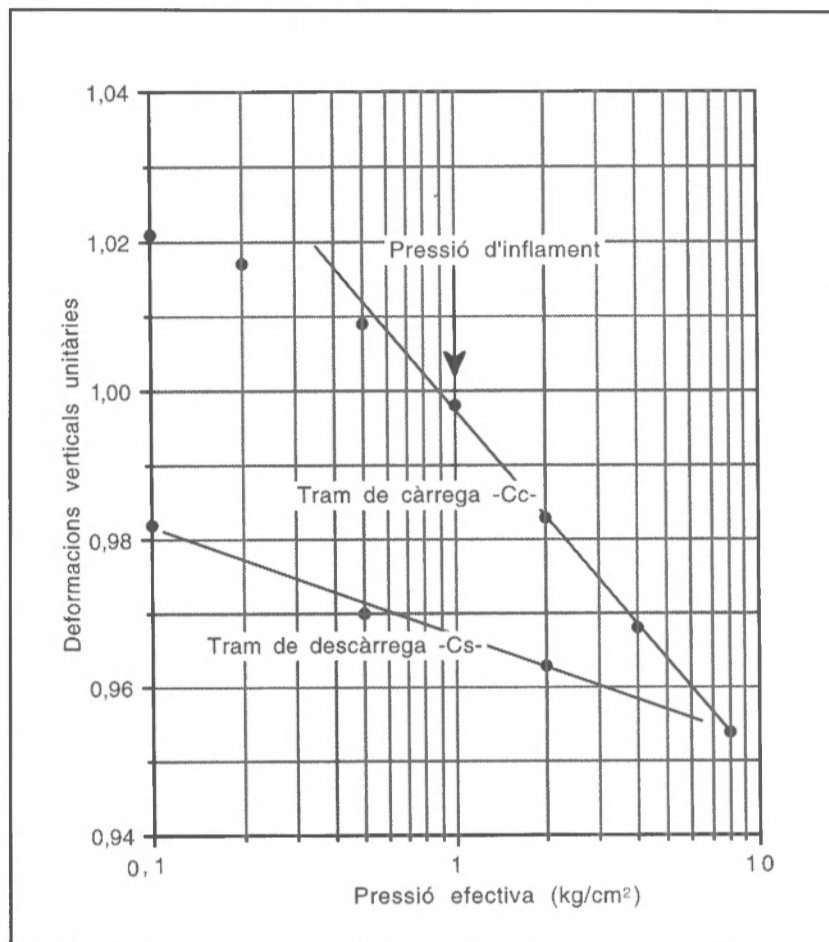


Figura 1.
Assaig de pressió d'inflament i inflament
lliure realitzat amb argiles terciàries de
l'entorn de la ciutat de Girona.
Corba edomètrica.

piques de la dinàmica de les aigües subterrànies en un àmbit d'affectació local (zones de bombeig), i es concreten en deformacions per mecanismes de retracció. Aquest seria un exemple de com factors extrínsecs poden inhibir o bé desenvolupar inestabilitats volumètriques significatives.

En concordança amb la quantia de pressions i/o deformacions verticals generades, el procés afecta especialment estructures lleugeres i l'estabilitat de talussos.

A la figura 2 s'esquematitza l'entorn més freqüent en què es manifesten inestabilitats volumètriques per argiles expansives: estructures lleugeres que transmetren càrregues totals inferiors a les pressions d'inflament del sòl expansiu.

En el cas dels processos gravitatoris, els talussos en sòls expansibles acostumen a presentar perfils d'equilibri de només 5 a 10 graus (Rodríguez Ortiz, 1975) i, per tant, són especialment problemàtics.

En resum, doncs, el conjunt de dades fins ara disponibles ens mena a considerar l'existència d'un considerable percentatge de litologies presents a les terres gironines que contenen argiles amb una capacitat expansiva alta. No obstant això, actualment, a causa de factors de caire divers, són molt localitzades les àrees en les quals aquest risc potencial es desenvolupa. De totes

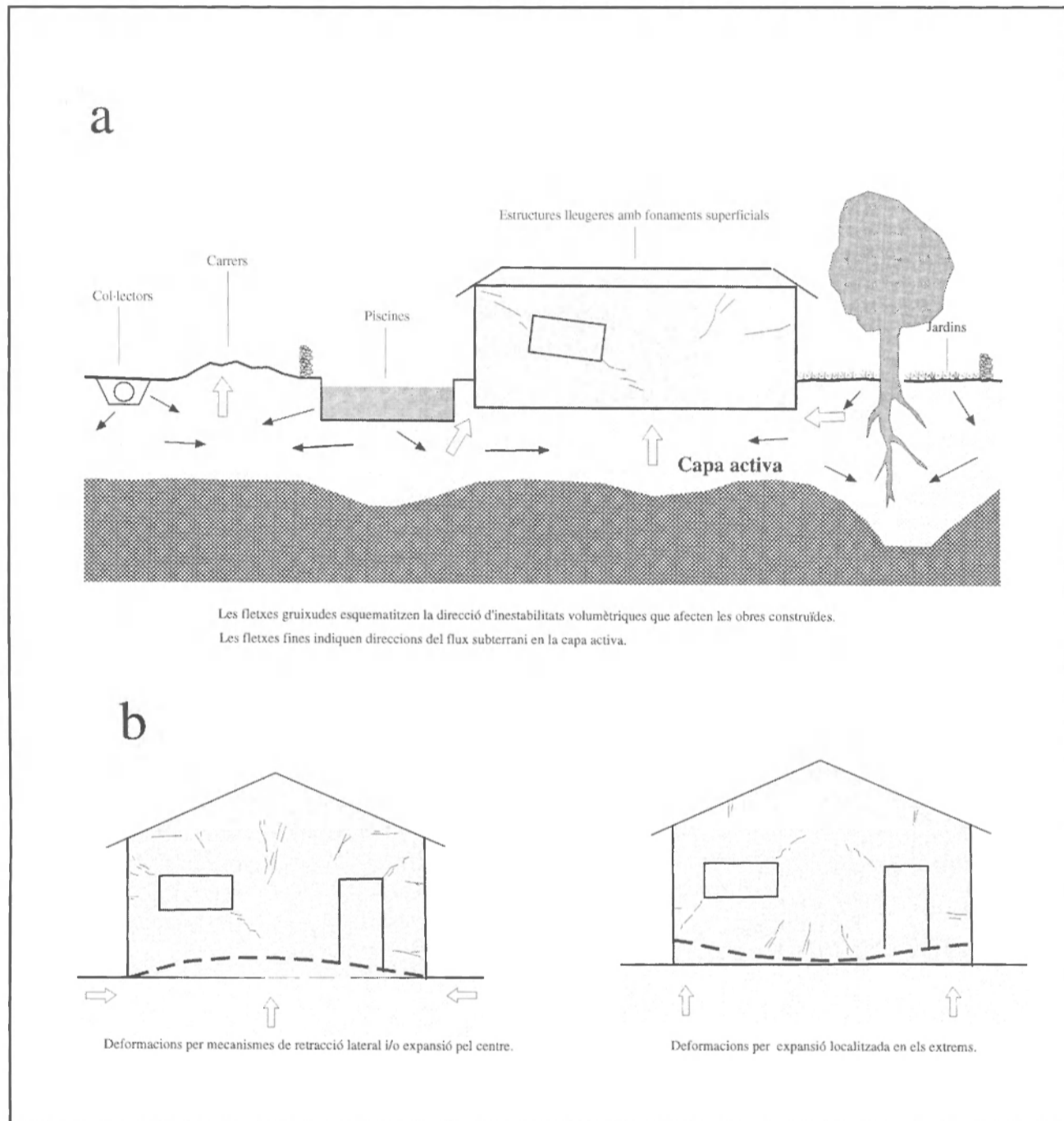


Figura 2.
(a) Entorn habitual en què es manifesten inestabilitats volumètriques per l'acció d'argiles expansibles, segons Salinas, 1988, modificat;
(b) esquema de la distribució d'esquerdes en edificis construïts sobre argiles expansibles, segons Jiménez Salas, 1965.

maneres, i per prevenir-lo, és recomanable un estudi geotècnic previ per identificar-lo, acotar-lo i poder adoptar les mesures preventives escaients.

Bibliografia

- AYALA, F.J., FERRER, M., OTEO, C. i SALINAS, J.L. (1985): *Mapa previsor de riscos por expansividad de arcillas en España* a escala 1: 1.000.000. ITGE.
- EL-SOHBY, M.A. i RABBA, E.A. (1981): *Some factors affecting swelling of clayey soil*. Geotechnical Engineering, vol. 12, pàg. 19-39.

- ESCARIO, V. (1965): *Los fenómenos de hinchamiento de arcillas en España*. Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo. Madrid. Publicació núm. 20.
- ESCARIO V. (1969): *Determination of geotechnical characteristics of expansive soils*. Proceedings of the 2nd International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils. Texas, pàg. 114-120.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. (1988): *La importancia socioeconómica de los riesgos geológicos en España*. Riesgos Geológicos. ITGE, pàg. 21-34.
- GROMKO, G.J. (1974): *Review of expansive soils*. Journal of the Geotechnical Engineering Division, June, pàg. 667-687.
- HOLTZ, W.G. i GIBBS, H.J. (1956): *Engineering properties of expansive clays*. Trans. of ASCE, vol. 121, paper núm. 2814, pàg. 641-677.
- HOLTZ, W.G. (1959): *Expansive clays: Properties and problems*. Quarterly of the Colorado School of Mines. Vol. 54, núm. 4, pàg. 89-125.
- JIMÉNEZ SALAS, J.A. (1965): *Calculation methods of the stresses produced by swelling clays*. First International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils. Texas, pàg. 330-344.
- JONES, D.E. (1981): *Perspectives on needs for an availability of scientific and technical information*. Dept. Housin and Urban Development, presented at 1st meeting of Committee on Emergency Management, Commission on Sociotechnical Systems, National Research Council, Washington, D.C.
- JONES, D.E. i HOLTZ, W.G. (1973): *Expansive soils – the hidden disaster*. Civil Eng., ASCE núm. 43 (8), pàg. 49-51.
- KASSIFF, G. i BAKER, R. (1971): *Aging effects on swell potencial of compacted clay*. Proceedings of the ASCE, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, vol. 97, núm. SM3, pàg. 529-540.
- LINARES, R. (1990): *Caracterización geotécnica de los terrenos situados en el llano de Terrassa y alrededores*. Tesi de llicenciatura. Universitat Autònoma de Barcelona. Treball inèdit.
- NILSON, J. i MILLER, D. (1992): *Expansive soils: problems and practice in foundation and pavement engineering*. Ed. John Wilwy & Sons, Inc. 259 pàg.
- POUSADA, E. (1984): *Deformabilidad de las arcillas expansivas bajo succión controlada*. Cuadernos de Investigación. C8. CEDEX, 274 pàg.
- RODRÍGUEZ ORTIZ, J.M. (1975): *Las arcillas expansivas: su estudio y tratamiento*. Bol. de Inf. del Lab. del Transporte y Mecánica del Suelo, núm. 108, pàg. 3-30. Madrid.
- SALINAS, J.L. (1988): *Riesgos ligados a arcillas expansivas*. Riesgos Geológicos. ITGE, pàg. 295-304.
- SEED, H.B.; MITCHELL, J.K. i CHAN, C.K. (1962): *Prediction of swelling potencial for compacted clays*. Proceedings of the ASCE. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, vol. 88, núm. SM3, pàg. 53-87.
- SNETHEN, D.R.; JOHNSON, L.D. i PATRICK, D.M. (1977): *An investigation of the natural microscale mechanisms that cause volume change in expansive clays*. Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-77-55, 285 pàg.
- SULLIVAN, R.A. i Mc CLELLAND, B. (1969): *Predicting heave of buildings on unsaturated clay*. 2nd International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils. Texas, pàg. 404-420.
- WIGGINS, J.H., SLOSSAN, J.E. i KROHN, J.P. (1978): *Natural hazards: Earthquake, landslide, expansive soils*. J.H. Wiggins Co. report for National Science Foundation under Grants ERP-75-09998 (Oct.) i AEN-74-23993.
- ZARROCA, S. (1994): *Expansividad de las arcillas del Vallès Occidental*. Tesi de llicenciatura. Universitat Autònoma de Barcelona. Treball inèdit.