

SÒLS PER LA RESTAURACIÓ DE PEDRERES.

Ramon Josa(1) i Montserrat Jorba (2)

(1) DEAB, UPC, Avinguda Canal Olímpic s/n. 08860 Castelldefels.

(2) Universitat de Barcelona - Fundació Bosch i Gimpera. Departament Biologia Vegetal
<mailto:ramon.josa@upc.edu>

RESUM

La restauració de les pedreres simultàniament a l'explotació té avantatges per l'explotador, veïns i administració.

La reintroducció de vegetació es fa molt sovint sobre sòls formats per materials de la pròpia explotació (material del terrabuidat o similar). Són materials d'alta pedregositat, de textura molt variable, pobres en matèria orgànica i de baixa fertilitat química i física que cal esmenar.

La vegetació comercial que s'introdueix amb la hidrosembra comporta un consum elevat d'aigua, poc compatibles amb les condicions mediterrànies i per tant la viabilitat de l'hidrosembra és limitada. L'aplicació de regs de suport, és una pràctica emergent en els treballs de restauració.

En aquest treball es presenten els resultats del seguiment de la humitat dels substrat de restauració en pedreres catalanes. S'ha utilitzat material de rebuig esmenat o no amb RSU compostats. S'ha utilitzat la corba de secada del substrat com a base pel càlcul de dosis de reg.

PARAULES CLAU

TDR, Contingut d'aigua en sòls per la restauració, Clima mediterrani, Revegetació de talussos.

INTRODUCCIÓ.

La utilització dels recursos miners és una activitat humana ben antiga. En major o menor intensitat es troba en totes les cultures i des de ben antic ha anat augmentant amb el pas del temps i l'augment de la població. Actualment a nivell mundial, és una activitat econòmica de principal importància.

Una idea de la seva importància econòmica ens la dona el fet que l'any 2004, sense comptar amb les extraccions per ciment, el valor de material extret a peu de pedrera al conjunt dels Països Catalans ratllava els 300 M€ (299.138.506,00 €) i donava feina a unes 2000 persones (exactament 1912).

És una activitat que comporta una actuació sobre l'entorn i que té com a resultat uns efectes ambientals. Poden ser extremadament complexos i d'elevat risc per la salut de les persones o poden alterar altres recursos també d'aprofitament humà, com és ara l'aigua, l'aire o el sòl.

En tot cas comporten una modificació rellevant de la qualitat del paisatge, que és més important en el cas de la mineria a cel obert. Com exemple tenim la mineria del carbó, on l'àrea afectada per l'extracció pot estendre's al llarg de quilòmetres de mines a cel obert. En el nostre espai geogràfic en tenim alguns exemples (actualment força recuperats) com es el cas de les mines de Fígols al peu del Pedraforca, per citar-ne una de les més rellevants.

La litologia del nostre país és molt variada però, no ha resultat ser un espai de gran importància minera, tot i les nombroses explotacions mineres inventariades (l'any 1999 existien 2134 explotacions a cel obert inventariades, operatives o no), però el desenvolupament urbà i d'infraestructures que requereixen l'extracció de pedra per la fabricació d'àrids i ciment fa que la major part de les explotacions en funcionament siguin explotacions a cel obert. L'any 2005 hi havia 821 explotacions en funcionament (Anuari Estadístic de Catalunya, l'any 2007).

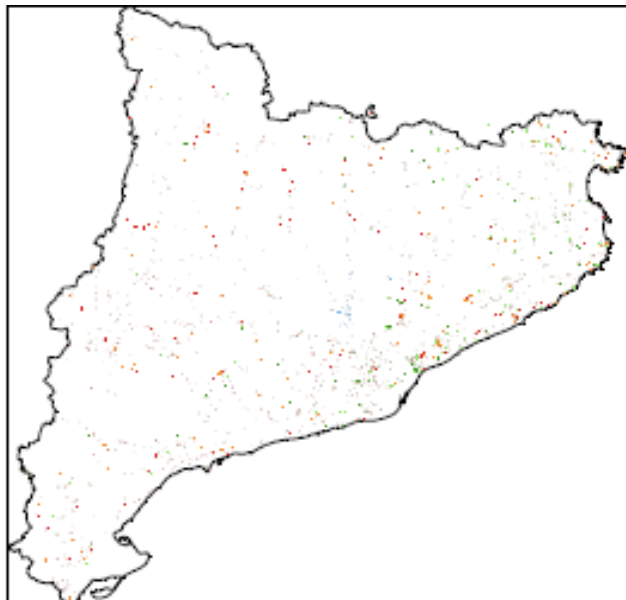


Figura 1. Mapa d'exploracions mineres a Catalunya

Aquestes explotacions es distribueixen de forma irregular pel territori, responent a la litologia i la proximitat geogràfica a la demanda (vegeu la figura 1), ja que per la gran quantitat de materials que requereix una obra, cal que el seu preu sigui el més baix possible. Un exemple el tenim amb dades de 1999, en el Baix Llobregat, on 16 explotacions ocupaven el 2,26% del territori (Llopis, 2001).

La demanda d'aquest tipus de material és creixent amb el desenvolupament econòmic. Actualment el consum equivalent per persona, a Catalunya és de 22 kg de pedra / dia, (equivalent a 8 tones /persona i any). Tot i que les dades no sempre son coincidents, degut al seu recent i ràpid creixement i varien segons les fonts. L'horitzó, és cap els 24 kg/dia, similar al consum d'Alemanya, per exemple. Als països desenvolupats la pedra, després de l'aigua, és el segon recurs més utilitzat (Roca Riera, 2004).

Conjuntament amb aquests beneficis, comporten impactes ambientals rellevants i ben diversos sobre el medi físic i les persones. Alguns que afecten de forma genèrica la salut del planeta, son les emissions atmosfèriques de CO₂ i components de sofre de les fàbriques de ciment (crema de combustible i descomposició de la calcària), les emissions de partícules sòlides a l'atmosfera i eventualment les aigües de refrigeració. D'altres tenen una incidència més local, com son l'alteració del paisatge (relleu, coberta vegetal, xarxa de drenatge,...) o efectes sobre la salut, vinculats al soroll i la pols.

Podem afegir, que a Catalunya, una part important de les reserves de calcària estan localitzades en espais inclosos en el Pla d'Espais d'Interès Natural, que d'alguna manera adjectiva més aquests impactes de caire local (Departament de la Presidència, G.C. (1981) i Departament de Política Territorial i Obres Públiques, G.C. (1983).

ELS OBJECTIUS DE LA RESTAURACIÓ

La legislació preveu la obligatorietat de restaurar els espais utilitzats per la mineria, amb l'exigència d'una fiança, fins i tot es preveu la seva retenció temporal fins l'acompliment dels plans de restauració aprovats per la administració.

Els procediments de restauració, no son simples. Actualment es basen en la "restauració integrada" amb el procés d'extracció, amb la finalitat "d'aconseguir que la zona afectada per l'explotació quedi integrada en el conjunt natural que l'envolta" de forma que el resultat sigui "coherent amb els usos del sòl existents abans d'iniciar l'explotació". En aquest cas també es parla de restauració ecològica (<http://mediambient.gencat.cat>).

RECONSTRUCCIÓ DE LA GEOMETRIA

Més enllà de l'impacte visual provocat per les accions de tala, decapat, i les pròpiament d'extracció (voladura, càrrega, transport i trituració de la pedra, en el cas dels àrids), molt sovint la xarxa hidrològica local queda substancialment modificada per aquestes operacions. Més enllà dels impactes visuals, la importància de modificar la morfologia del territori rau en l'alteració dels sistemes d'evacuació d'aigües pluvials preexistent.

L'evacuació (immediata o diferida) de l'aigua de pluja és el mecanisme més important que regula el modelat del nostre paisatge, de forma que la gestió de les aigües pluvials que es generen o que arriben a la zona d'explotació i després en surten, és essencial per obtenir un bon resultat dels treballs de restauració a mitjà i llarg termini.

Diverses opcions s'han aportat per la reconstrucció de la morfologia de les zones d'extracció, entre les quals podem destacar com a més novedosa (tot i que ja porta anys en funcionament) la utilització de residus inerts de la construcció, que aporten el material mineral per recrear topografies més integrades en l'entorn. També cal assenyalar la utilització de petites voladures controlades per naturalitzar els contorns i les zones limítrofes de l'explotació.

No obstant, la pràctica més habitual és aprofitar el material de rebuig de la pròpia explotació per generar talussos que permetin fer menys visible la geometria dels bancs d'explotació i a la vegada tenir el suport del sòl necessari pel desenvolupament de la vegetació que s'introduirà en el procés de revegetació.

La restauració dels espais d'extracció i explotació es fa dins un procés de restauració integrada i per tant progressivament diferida al llarg del temps (uns fronts d'extracció s'esgotaran abans que d'altres), la construcció dels talussos ha de complir els requeriments bàsics d'estabilitat geotècnica i de control de l'erosió, però també han de dissenyar-se respectant les regles necessàries per garantir la recollida i la conducció de l'aigua d'escolament superficial fins la xarxa de drenatge preexistent, sense provocar erosió, ni entollament dins o fora de l'explotació, ni enterbolir o contaminar l'aigua de la xarxa receptora.

Aquestes aigües, abans d'ésser abocades a la xarxa local poden ser utilitzades amb diverses finalitats entre les quals es pot contemplar el seu ús per afavorir la introducció d'una nova vegetació en la pròpia explotació, sense costos addicionals significatius.

Els talussos acostumen a ser la unitat de restauració i de vegades, fins i tot la unitat de fiança. En aquest context, és l'element unitari constructiu sobre el que s'organitza la captura i evaüació de les aigües pluvials. Com ja s'ha dit, cal que compleixin uns requisits d'estabilitat geotècnica, però també de protecció del sòl que s'introduirà prèviament a la sembra. Les exigències lligades al pendent, inclouen dos aspectes diferents: en primer lloc el valor del pendent (mesurat en % o en graus) i en segon lloc el perfil longitudinal que té la vessant sobre la que està el talús (rectilini, convex, còncav o complex).

Des de l'establiment de la USLE, (Wischmeier, 1976) va quedar clara la importància del pendent i la seva longitud en la producció de sediments. No obstant, els valors que es poden esperar de producció de sediments ve graduat per altres característiques, una de

les quals molt important és el recobriment vegetal i les seves especificitats i en definitiva, i aplicat al nostre cas, per la decisió sobre el tipus de vegetació que tindrà cada talús (prat sec, matollar, bosc, ...). El valor desitjable del pendent dels talussos és una solució de compromís entre diverses variables (material disponible / necessari; espai disponible; alçada dels bancs de treball, tipus de material que s'utilitza per la seva construcció i l'angle de fregament intern; costos de construcció). I també l'ús a que va destinat el talús (revegetació amb hidrosembra; revegetació amb plantes autòctones; creació de bosquines,...).

Actuar sobre el valor final del pendent és relativament fàcil. Per exemple, el sistema de trabucar el material residual des del camió que l'ha transportat dona com a resultat un talús amb una inclinació corresponent al de l'angle de fregament intern, que acostuma a ser suficient per assegurar en molts casos la seva estabilitat geotècnica de forma prou duradora, especialment si està recobert d'una densa coberta vegetal activa.

Pel contrari la major part de vegades aquest pendent no assegura les condicions necessàries per a la implantació de vegetació menys vivaç com és el cas de la introducció de vegetació autòctona. Ni de garantir un control de l'erosió, si no es pot alimentar hídricament la vegetació hidrosembada. De forma que sovint cal construir talussos amb un pendent inferior al de l'angle de fregament intern.

L'angle del talús és especialment important si es té en compte que caldrà aportar-hi a sobre, un cop estigui estabilitzat el vessant, el material edàfic necessari pel desenvolupament de la vegetació que s'introduirà, ja sigui de forma voluntària, ja sigui de forma espontània (colonització).

ELS SÒLS QUE CALEN PER RESTAURAR LA VEGETACIÓ

Aquest material és precisament l'objecte d'aquesta comunicació. Per referir-nos a ells utilitzarem el terme de sòl i coberta edàfica, malgrat que no en el sentit tradicional del

terme. Alguns autors propugnen el terme "tècnosol" per referir-se en general als materials formats a partir de materials minerals naturals modificats mecànicament. També s'utilitza el terme de "minesoil" de forma més genèrica en els treballs de restauració.

La missió d'aquest sòl es suportar satisfactòriament i de forma autònoma la vegetació que s'hi introduirà. Per tant ha de ser capaç de subministrar l'ancoratge necessari, els nutrients, l'oxigen per la respiració de les arrels i l'aigua necessària pel seu desenvolupament. Hi ha diversos estudis que avaluen els nutrients que cal aportar, amb la hipòtesi que, en no haver-hi exportacions, serà fàcil tancar el cicle dels nutrients.

Ens centrarem en el problema de la disponibilitat d'aigua, que en l'àrea mediterrània és molt variable al llarg de cicle anyal. L'elevat contingut en elements grossos (fracció més

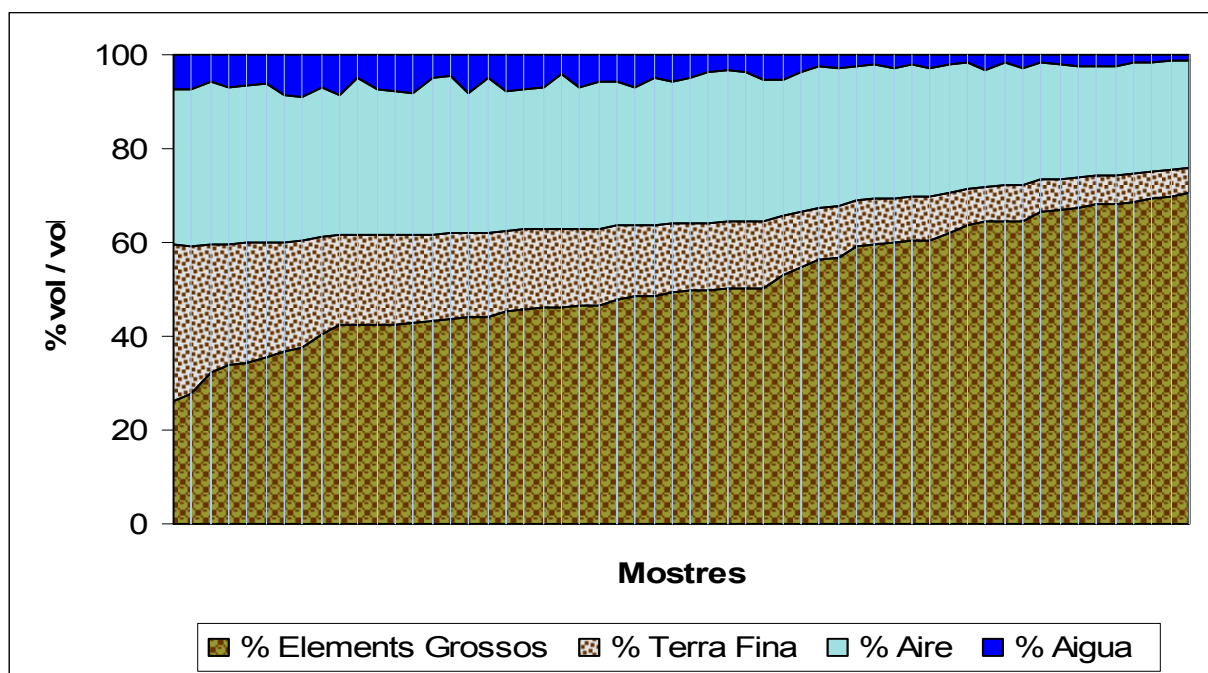


Figura 2. Distribució de les fases líquida i gasosa i de dues fraccions minerals amb els substrats de restauració a capacitat de camp

gran de 2 mm) que presenten els tècnosols fa que la seva capacitat d'emmagatzemar aigua sigui molt limitada.

En la Figura 2 es pot veure la distribució percentual de les diferents fases (aire, líquid i sòlid) a capacitat de camp, així com la distribució de les fraccions minerals d'una sèrie de

tècnosols d'unes pedreres del massís de Garraf (Josa, et al, 2003). Com es pot veure el contingut d'elements fins pot ser molt baix i la capacitat de retenció d'aigua (que no la porositat total) pot ser realment molt baixa. Aquesta gràfica s'ha establert en base a la densitat aparent de les mostres, les densitats aparents parcials de la terra fina i dels elements grossos i la granulometria. Amb aquestes dades es va calcular l'aigua retinguda a CC mitjançant la funció d'edafotransferència (Saxton, et al, 1986). Això fa vulnerables a mig i llarg termini aquests substrats per suportar segons quin tipus de vegetació herbàcia, especialment aquella que se sol aplicar per l'estabilització de talussos amb pendents fortes.

Tot seguit, tractarem d'exposar els resultats obtinguts gràcies al seguiment del contingut d'aigua en la part superior de la coberta edàfica d'una sèrie de talussos corresponents a 8 pedreres de calcària situades en la zona litoral i prelitoral de les serres catalanes.

L'objectiu de l'experiència es el de fer una aproximació a l'evolució del contingut d'aigua i la seva disponibilitat en talussos de restauració, alguns dels quals porten incorporat en la seva composició petites quantitats de fangs compostats de RSU. Aquesta aproximació es fa amb l'objectiu d'establir unes pautes de recomanacions de reg d'aquests talussos en la fase inicial d'implantació de vegetació.

Cal dir d'entrada que una dificultat addicional està en la definició d'un reg òptim en aquestes circumstàncies, on, no es busca la màxima producció, si no un equilibri entre desenvolupament vegetal suficient i costos de restauració. En aquests termes una resposta que es pugui considerar òptima, no és ni única ni fàcilment identificable.

Es va monitoritzar de forma discreta (periodicitat aproximadament setmanal) el contingut d'aigua d'un total de 75 talussos, dels quals en el 41% no s'havia incorporat matèria orgànica residual (fangs compostats de RSU), mentre que si s'havia fet en el 58% restant (dosi aplicada: 27 tm ms /ha).

En aquesta presentació tractarem només d'una d'aquestes pedreres, per presentar el procediment seguit per fer una proposta de regs, en la fase inicial (primer estiu) de la sembra i/o de la plantació. Durant el període de control es van registrar els valors de P i ET0 diari que subministren les estacions meteorològiques més pròximes. Pel que fa a l'estació de sant Pere i pel període de seguiment, la precipitació total fou de 390 mm i la ET0 total de 750 mm i una mitjana de ET0 de 3,4 mm/d, una desviació tipus d'1,4 mm/d i amb valors extrems de 5,7 i 0,26 mm/d.

Calibració

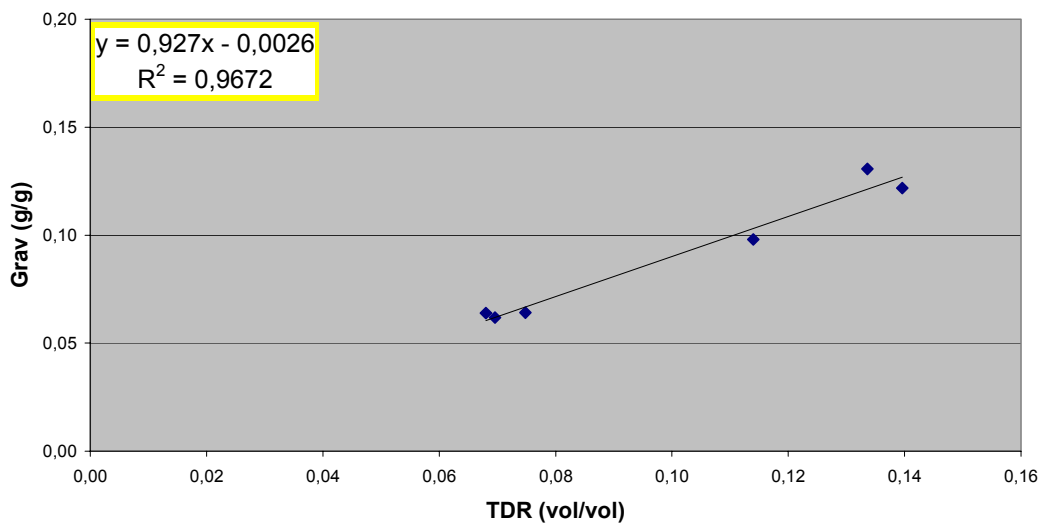


Figura 3. Exemple de resultats de calibrar d'una sonda TDR en condicions d'humitat de camp.

Es fer sembres amb barreges d'espècies natives (llostó, sempreviva i botja) i d'espècies comercials (alfals, dactil, raigrass italià, pimpinella i lotus) i posteriorment es van fer plantacions de llenyoses pròpies del matollars mediterranis (coscoll, llentiscle, romaní, aladern, càdec, savina i arçot). La monitorització del contingut d'aigua es va fer amb una sonda de TDR de 20 cm, implantada verticalment i de forma permanent a cada talús. Els valors d'humitat mesurada s'han extrapolat fins els 25 cm de fondària; fondària que es va estimar que exploraven les arrels de la vegetació introduïda.

Aquest disseny, presenta algunes avantatges i també té limitacions substancials. L'avantatge més important és la mesura reiterada exactament en el mateix punt i amb la mateixa geometria de l'espai porós al llarg de tota l'experiència (mesura no destructiva) i per tant els resultats obtinguts son comparables al llarg de tota l'experiència. La limitació més important, és la manca de dades sobre de la variabilitat lateral del contingut d'aigua en el substrat. En alguns dels talussos es va fer el calibratge dels substrats (veure Figura 3) en dues condicions d'humitat diferents. Donada la linealitat de la resposta, s'ha utilitzat la funció de Topp, et al, (1980). per transformar les lectures d'impedància elèctrica a valors d'humitat dels substrats.

RESULTATS I DISCUSIÓ

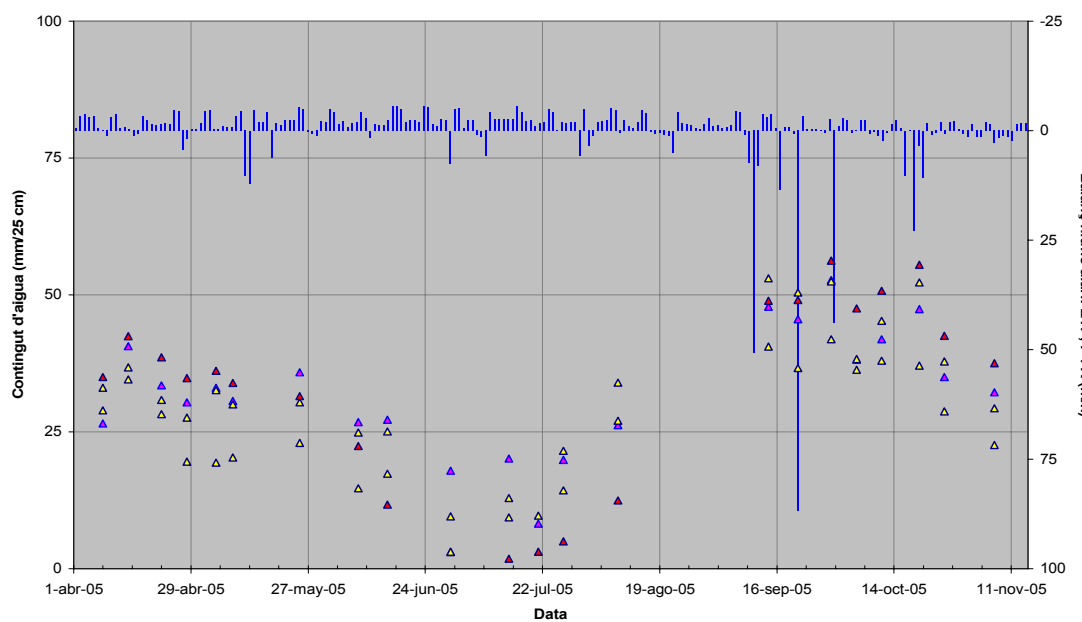


Figura 4. Seguiment del contingut d'aigua en els substrats de restauració, amb compost.

En les Figures 4 i 5, es presenten respectivament, els resultats del seguiment del contingut d'humitat, agrupant les mostres segons tinguin compost o no. En general s'observa que els valors d'humitat en els talussos que tenen compost, son lleugerament més elevats, tot i que no de forma significativa. Cal tenir present la gran variabilitat lateral que presenten aquests medis.

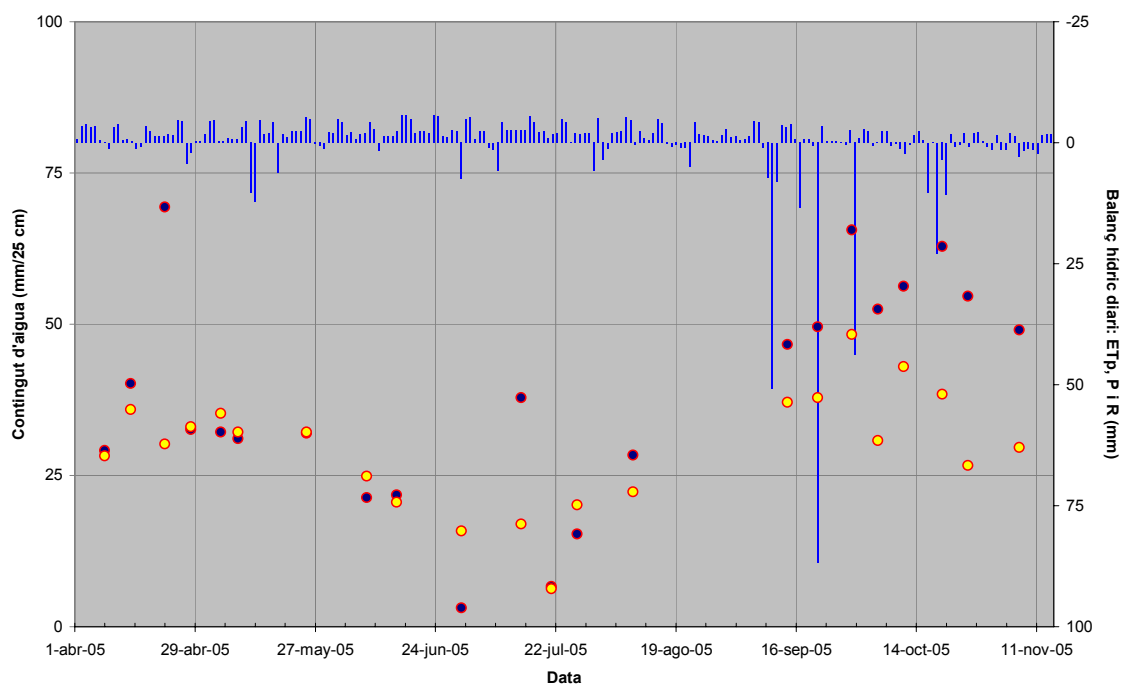


Figura 5. Seguiment del contingut d'aigua en els substrats de restauració, sense compost.

En tot cas s'observa que en els moments de sequera prolongats o en les pedreres on es sospita que l'aplicació dels regs ha estat menys rigorosa, el contingut d'aigua és una mica més gran si el substrat té compost, però les diferències no son significatives. De l'experiència, com a molt es pot desprendre que hi ha indicis raonables que la presència de compost pot fer augmentar la quantitat d'aigua retinguda pels substrats en els moments més secs, tot i que no necessàriament augmenti l'aigua útil.

El seguiment del contingut d'aigua durant els períodes de sequera prolongats permet estudiar amb major atenció el comportament dels substrats durant el procés d'assecat i predir la seva evolució. Es a dir establir la corba d'assecat del substrat que pot permetre predir la pèrdua d'aigua en funció del contingut hídric immediatament anterior.

Per construir la corba d'assecat, s'ha calculat la variació diària d'aigua mitjana (w_i) entre dues mesures consecutives: $(w_i - w_{i-1})/d$. S'han pres en consideració només els valors positius, ja que són els que corresponen al procés d'assecat, no al d'humectació (valors

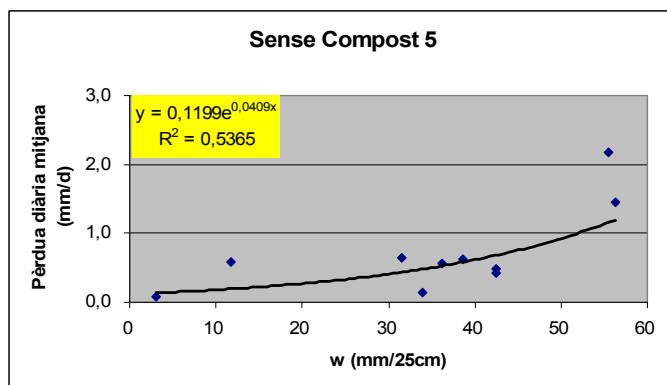
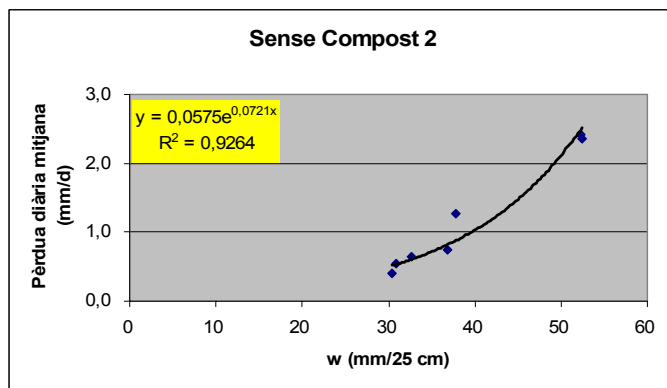
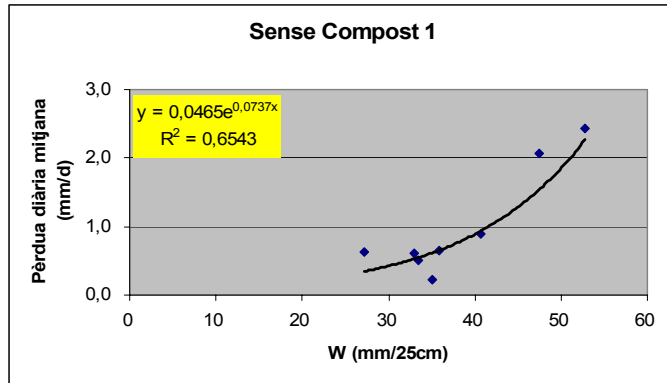


Figura 6. Corba d'assecat, mesurada en els talussos sense compost.

Tot i que en una altra pedrera s'ha detectat l'existència de transferència d'aigües freàtiques cap al sòl (segurament com a conseqüència de la interrupció pels treballs

negatius) dels substrats. Aquesta corba d'assecat s'ha construït per cada talús de forma que la funció resultant és específica de cada substrat.

En les figures 6 i 7, es presenten les corbes d'assecat dels talussos d'una de les pedreres. La línia de tendència que presenta els millors coeficients de correlació és de tipus exponencial, amb valors d' R^2 molt baixos pels talussos amb compost i millors valors de la correlació per aquells que no l'incorporen (fins $R^2 = 0,92$).

El procés de pèrdua d'aigua del sòl per evapotranspiració, és un procés complex, especialment si no es produeix a partir d'un nivell freàtic que mantingui l'aportació contínua d'aigua fins la part del perfil on serà

d'exploració, d'algun nivell freàtic local), en el cas concret de la pedrera que ens ocupa, no existeix cap nivell freàtic local que afecti el substrat de restauració. Després de pluges intenses, hi poden haver hagut pèrdues per drenatge, però limitades només a les primeres 24 hores i per tant fóra de les condicions més habituals de mesura.

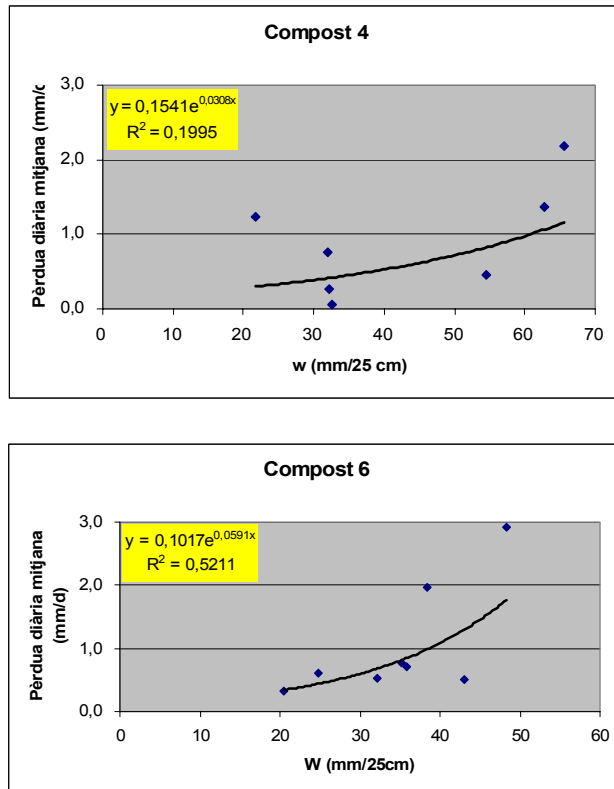


Figura 7. Corba d'assecat mesurada en els talussos amb compost.

Si hi ha consum d'aigua capil·lar en un punt del perfil (per exemple el volum de substrat en la proximitat d'una arrel pròxima a la superfície), és d'esperar que no es faci fins esgotar completament l'aigua en aquell punt, sinó que el gradient de potencial màtric creat pel diferent contingut d'aigua actua com mecanisme de reposició de l'aigua capil·lar, creant un flux matricial, que tendeix a restablir el nivell inicial d'aigua. En el nostre cas això ve suportat pel fet que malgrat produir-se un dèficit d'aigua de més de 350 mm/període, mai no s'ha trobat el sòl assecat, tot i que s'han assolit continguts d'aigua molt baixos. Aquest mecanisme explica també la forma decreixent però contínua de pèrdua d'aigua del substrat. De fet aquest flux d'aigua no saturat és el veritable mecanisme de regulació de la ET_{real}

La reducció continuada del contingut d'aigua observada, ha d'interpretar-se com una variació deguda estrictament als processos d'evaporació / transpiració, en sòl no saturat i drenatge nul (consum hídic) i restringida al volum que correspon als primers 25 cm del perfil. Aquestes pèrdues conceptualment han de relacionar-se amb els valor ET_{real} , encara que sigui amb certes restriccions.

Per tant, la corba de dessecació mostra la transferència d'aigua des de les parts més humides cap a les més seques (on es produeix el consum) expressat com a volum d'aigua desplaçada per unitat de temps. La corba de dessecació, en realitat ens mostra com s'atenua la transferència d'aigua de les parts més humides cap als punts més secs (tant secs com la humitat que mostren els punts de mesura). Aquesta transferència d'aigua és la que cal mantenir a un nivell adequat, mitjançant el reg per tal de mantenir l'alimentació hídrica necessària.

En les condicions de l'experiència, amb els substrats més secs estimem que el flux diari mitjà d'aigua en els 25 cm superficials va ser inferior a 0,5 mm/dia, mentre que després de pluges i un cop arribat a capacitat de camp, les pèrdues es poden situar entre 2 o 3 mm/dia de mitjana, poden assolir màxims majors. Entre aquest dos valors, és d'esperar que en funció del contingut d'aigua i dels fenòmens d'histeresi el flux variarà de forma contínua.

CONSIDERACIÓ FINAL

Malauradament aquest valors s'han de prendre amb moltes reserves per diverses causes. En primer lloc ja s'ha citat la variabilitat lateral (i vertical) d'aquests substrats. Les mesures fetes son puntuals i afecten un volum de sòl relativament gran per l'escala dels fenòmens que s'estudien. És especialment important assenyalar que l'abundància d'elements grossos augmenta més la variabilitat del comportament del substrat en provocar la interrupció de la continuïtat dels capil·lars. La manca d'un control directe i prou precís de la precipitació (l'estació meteorològica no està situada a la mateixa explotació) tot i que s'han triat períodes el control sense precipitació (registrada), en realitat poden quedar inclosos episodis de precipitació local, no registrats. Els fenòmens d'histeresi són una causa important de comportament irregular de la retenció d'aigua.

No obstant, allò que creiem què és important de ressaltar, és la eficàcia de la tècnica del TDR (sondes verticals de 0,2 m) que permet detectar variacions de contingut hídric

associades al consum d'aigua i permet utilitzar-les en la mesura dels valors d' ET_{real} , en unes condicions experimentals granulomètricament més homogènies i més controlades.

AGRAÏMENTS

Els autors volen agrair a les persones que han participat en el Projecte ECOQUARRY.

BIBLIOGRAFIA

Departament de la Presidència, G.C. (1981). Llei 12/1981, de 24 de desembre. *DOGC* num. 189 de 31/12/1981.

Departament de Política Territorial i Obres Públiques, G.C. (1983). Decret 343/1983, de 15 de juliol. *DOGC* num. 356 de 19/08/1983.

Llopis, J. (2001). "Intervencions restauradores de sòls en talussos de pedreres de roca calcària a Catalunya. Estudi comparatiu de característiques físiques del sòl". Treball de Final de Carrera. Escola Superior d'agricultura de Barcelona, p.85 + annexos.

Josa, R.; Jorba, M.; Hereter, I.; Vallejo, R. (2003). "Los rechazos minerales procedentes de la explotación de calizas. Limitaciones para su uso como sustrato para la restauración ecológica". *Ingeopres*, 116: p. 42-47.

Roca Riera, P. (2004). "Compareixença dels representants del Gremi d'Àrids de Catalunya". *Diari de Sessions del Parlament de Catalunya*, 1 de desembre de 2004, Sèr. C 2004; 121: p. 3-16.

Topp, G.C.; Davis, J.L. y Annan, A.P. (1980). "Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines". *Water Resour. Res.*, 16, pp. 579-582.

Saxton, K. E., W. J. Rawls, J. S. Romberger and R. I. Papendick (1986). "Estimating generalized soil water characteristics from texture". *Trans. Am. Soc. Agri. Eng.* 50(4):1031-1035.

Wischmeier, W.H., (1976). "Use and misuse of the universal soil loss equation. *J. Soil and Water Cons.*. 31 (1): p.5 a 9.

<http://mediambient.gencat.cat>. Consulta feta el dia 26 de Juliol de 2007.