A REXENERACIÓN DOS ECOSISTEMAS

Tarsy Carballas

Instituto de Investigacións Agrobiolóxicas de Galicia (CSIC)

O tema desta conferencia refírese ás medidas que é necesario adoptar para a rexeneración dos ecosistemas afectados polos incendios forestais, aínda que estritamente debía chamarse restauración, posto que se trata de rehabilitar non só a vexetación, senón tamén o solo que a sustenta. Xulgo que é imprescindible integrar este proceso de restauración na loita integral contra os incendios forestais, xa que afecta a dous recursos naturais interdependentes, cuxa importancia non é necesario xustificar, e, polo tanto, o devandito proceso é necesario para reconstruír ecosistemas sostibles para a protección do medio natural, compatible cunha produción rendible, que garantan a cobertura das necesidades actuais e futuras en materias primas (fibras e madeira), enerxía e alimentos.

Este proceso de restauración debe contemplar tres fases: 1ª) a avaliación dos danos producidos polo lume no ecosistema, que van depender principalmente da intensidade do incendio e que, polo tanto, non serán iguais se se trata dun lume prescrito ou planificado, dun incendio non controlado de baixa ou mediana intensidade, ou dun incendio non controlado de alta intensidade, que son os máis daniños, 2ª) a aplicación inmediata de medidas para evitar que a degradación do ecosistema continúe e 3ª) a aplicación das medidas específicas necesarias para restaurar o ecosistema inicial, se for posible, ou, nos casos máis desfavorables, proceder simplemente a unha restauración paisaxística, que protexa o medio natural.

Con relación á primeira fase, a avaliación de danos, convén considerar os danos que producen os incendios forestais e destacar impactos que nos indicarán as pautas que cómpre seguir para realizar a restauración.

A destrución da vexetación, arbórea, arbustiva e herbácea, que afecta non só ás partes aéreas e raíces, senón tamén á follaxe e ás sementes, é o efecto máis visible dos incendios e o que máis im-

pacto causa na sociedade. Efectivamente é un impacto moi grave porque paraliza a función fotosintetizadora e osixenante e, xa que logo, a produción de fibras e madeira, destrúe o alimento e refuxio dos animais, así como os restos vexetais e animais, importantes porque son a materia prima da materia orgánica do solo, diminúe o potencial biolóxico para a revexetación e a diversidade biolóxica e, sobre todo, elimina a cuberta vexetal. Quero facer fincapé en que a cuberta vexetal protexe o solo do impacto directo da choiva e, ademais, coa súa armazón de raíces sostén o solo evitando a erosión. O lume, ao destruír a vexetación, elimina esta protección e, daquela, favorece a erosión postincendio, que pode arrastrar a capa de cinzas, os nutrientes que conteñen estas cinzas, as capas orgánicas do solo e o banco de sementes, imprescindibles para que se produza a revexetación; a erosión é pois o impacto máis grave dos incendios forestais porque se se perden estes materiais a restauración será moito máis lenta ou non será posible.

A degradación do solo, que afecta profundamente á restauración do ecosistema en xeral e da vexetación en particular, prodúcese: a) pola destrución total ou parcial da materia orgánica, o que afecta a outras moitas propiedades do solo, b) pola degradación da estrutura, que lles afecta ás demais propiedades físicas, e c) pola destrución da meso e microfauna e da microbiota do solo, que son os axentes de dous dos procesos máis importantes que teñen lugar no solo: a mineralización da materia orgánica, mediante a cal se liberan os nutrientes necesarios para o desenvolvemento das plantas, e a humificación desta, e interveñen no proceso de agregación e noutros procesos edáficos.

Interésame destacar aquí, pola súa incidencia na rexeneración, outros dous feitos moi importantes. A materia orgánica que non é destruída polo lume e queda no solo é moito máis estable ca a inicial porque o lume elimina as substancias orgánicas máis lábiles e as máis recalcitrantes permanecen co ataque microbiano (lignina, humina e N orgánico residual non hidrolizable). Isto significa que, logo dos incendios, a mineralización da materia orgánica vai ser moito máis lenta e, xa que logo, a velocidade de cesión dos nutrientes necesarios para o desenvolvemento das plantas e

dos microorganismos vaise retardar, o que atrasará a restauración vexetal. De aquí dedúcese xa a importancia dos nutrientes incorporados nas cinzas procedentes da combustión da vexetación e da materia orgánica do solo, que quedan depositadas sobre a superficie do solo na chamada capa de cinzas, que serán a base da fertilidade para a rexeneración das plantas.

O incendio interrompe o ciclo biolóxico dos nutrientes, base do sostemento do bosque, modifica o réxime hídrico debido á diminución ou perda da intercepción da auga da choiva pola vexetación, o que aumenta o impacto da choiva sobre o solo e favorece a destrución dos agregados, a diminución da infiltración e o aumento da escorrentía e da erosión, diminúe a retención de auga no solo, provoca cambios na calidade da auga e pode provocar a formación dunha capa hidrófoba subsuperficial que impide a infiltración e favorece a escorrentía e, xa que logo, a erosión. Outros efectos son a destrución da macrofauna, a diminución da biodiversidade microbiana e a contaminación da atmosfera.

Todos estes impactos dos incendios ocasionan graves problemas ambientais, sociais e económicos.

Da avaliación dos danos provocados polo lume dedúcese que para a restauración do ecosistema cómpre recuperar o solo degradado e rexenerar a vexetación, ben deixando actuar a revexetación natural ou mediante a instalación de novas plantacións. Ambos os procesos, recuperación do solo e rexeneración da planta, son interdependentes.

En efecto, en condicións favorables (localización do ecosistema en situación chá ou con pendente suave e destrución só parcial da materia orgánica do solo) case todas as propiedades do solo recuperan os valores dos solos non queimados nun período de entre 2 e 10 anos despois do incendio, dependendo da velocidade da revexetación, que proporciona novos residuos e favorece a recuperación do solo, sempre que non se producisen procesos de erosión postincendio que acentúen a degradación. Pero tanto a revexetación natural como a instalación dunha nova plantación arbórea non son procesos rápidos abondo para evitar a erosión postincendio, porque deixan unha gran porcentaxe de solo espido

durante un período de tempo suficiente para que as precipitacións postincendio poidan provocar a perda de nutrientes por infiltración ou procesos erosivos que poden arrastrar a capa de cinzas e a capa orgánica superficial do solo, e con elas os nutrientes e o banco de sementes necesarios para a rexetación, e tamén a arxila, o que provoca procesos de areización e atrasa a restauración. En solos con moita pendente, a rexeneración da vexetación pode non producirse nunca, debido á perda total do solo por erosión e ao afloramento da rocha, e entón é practicamente irrecuperable o ecosistema. Por todo iso, resulta evidente que se se quere evitar a degradación total dos ecosistemas afectados polos incendios incontrolados é necesario, nesta segunda etapa, adoptar medidas de protección do ecosistema queimado, inmediatamente ou a curto prazo despois do incendio, para evitar a erosión postincendio e conservar o solo en condicións idóneas para que se produza a rexetación natural ou a implantación dunha nova vexetación.

E que medidas son estas? Pois tendo en conta todo o dito anteriormente e, sobre todo, que a falta de vexetación e de estrutura favorecen a erosión, estas primeiras medidas cómpre que se orienten cara á rexeneración rápida da cuberta vexetal, a fixación da capa de cinzas e a retención dos seus nutrientes, a mellora da estrutura do solo, promovendo a agregación e estabilidade dos agregados, e a rexeneración da microbiota do solo e da súa actividade metabólica e encimática.

Pois con esta finalidade, comprobamos a eficacia dos seguintes métodos de biorremediación: a implantación temporal dunha cuberta vexetal herbácea, acompañada ou non da adición de residuos orgánicos, técnica de aplicación xeral inmediatamente despois do incendio, e a inoculación de microorganismos, cianobacterias, rizobio e micorrizas, para mellorar as propiedades dos solos cuxa restauración se inicia a curto ou medio prazo.

A instalación dunha vexetación herbácea, acompañada da adición de residuos orgánicos, é unha técnica de manexo dos solos queimados extraordinariamente eficaz. Aínda que se poden empregar diversas herbáceas, logo de ensaiar numerosas plantas herbáceas anuais e perennes, propónse a sementeira a oito, sen

ningunha preparación do terreo, dunha mestura de dúas leguminosas perennes (*Trifolium repens* e *Lotus corniculatus*) e dunha gramínea (*Lolium perenne*), debido a que esta mestura produce as mellores porcentaxes de fitomasa aérea e radicular, e a que a gramínea absorbe máis N das cinzas ca as leguminosas, o que dá lugar á rápida formación dunha cuberta vexetal, á fixación da capa de cinzas polas raíces e á retención nos órganos das plantas dunha gran cantidade de nutrientes procedentes das cinzas. A adición ao solo, coincidindo coa sementeira, de residuos orgánicos ricos en fibras, particularmente esterco de galiña, nas súas doses mínima ou óptima, que achega unha gran cantidade de microorganismos, aumenta a produción de fitomasa, aérea e radicular, promove a formación de agregados e incrementa a estabilidade da auga destes, mellora outras propiedades físicas, como a porosidade e a aireación, impulsa a proliferación de todos os grupos microbianos, que pola súa vez favorecen a estabilidade dos agregados, e aumenta a actividade biolóxica, particularmente a actividade metabólica, como consecuencia da cal aumentan a velocidade de mineralización do C e do N e a cesión de nutrientes necesarios para a revexetación e o bo funcionamento do ecosistema. Finalmente, esta cuberta vexetal herbácea protexe o solo contra a erosión, que diminúe significativamente (ata un 50%, en só un ano de seguimento) en comparación coa que se produce no solo queimado non tratado, o efecto é estable e duradeiro, e prepara e conserva o solo para a implantación da vexetación arbórea.

En efecto, piñeiros implantados no solo queimado tratado desenvólvense normalmente e recupérase ademais o ciclo dos nutrientes no sistema solo afectado polo incendio-vexetación herbácea-vexetación arbórea xa que os restos mortos da vexetación herbácea incorpóranse de novo no solo queimado, no cal aumentan as reservas de nutrientes, como consecuencia da achega destes, procedentes dos restos da vexetación herbácea e do residuo, e ambos contribúen á nutrición da vexetación arbórea xa que, en só dous períodos de crecemento dos piñeiros, demostrouse que estes absorben o 33% do N da vexetación herbácea incorporada ao solo e entre o 7 e o 20% do N do esterco de galiña, segundo a dose de residuo achegado.

Demostrouse tamén con este método que a recuperación cómpre iniciala case inmediatamente despois do incendio, porque senón as primeiras choivas postincendio provocan a erosión e é posible que produzan un lavado de nutrientes que pode deixar o solo practicamente esgotado para a revexetación. Comparando a recuperación dun solo queimado, inmediatamente despois do incendio, coa doutro cuxa recuperación se iniciou tres anos despois do incendio, observouse que, no primeiro caso, aínda no solo sen adición de residuos prodúcese un bo desenvolvemento das plantas sementadas debido aos nutrientes acumulados na capa de cinzas, mentres que no de tres anos a vexetación que se desenvolve é esquelética, porque apenas quedan nutrientes suficientes para soste unha vexetación. No entanto, ambos os dous reaccionan á adición de esterco de galiña sólido e aumenta o crecemento das plantas, mentres que o rendemento do solo estercado cun fertilizante mineral é claramente menor, o que demostra tamén a eficacia da adición dos residuos orgánicos fronte á fertilización inorgánica.

Teño que insistir en que con este método non se pretende transformar o bosque nun pasteiro senón simplemente conservar o solo, protexéndoo contra a erosión postincendio, e preparalo para a implantación dun novo bosque.

A inoculación de microorganismos mellora as propiedades do solo queimado, particularmente en solos que perderon a súa capa de cinzas ou os seus nutrientes, e acelera a súa recuperación, a curto e medio prazo.

As cianobacterias filamentosas son fixadoras de carbono e nitróxeno atmosféricos e teñen unha elevada capacidade de crecemento en moi diversas condicións. Se unha mestura de diversas cepas se inocula na superficie do solo ou se mestura con este prodúcese unha gran proliferación microbiana en forma de costra microbiana, co cal aumenta a actividade biolóxica e sobre todo o contido de carbono e nitróxeno e, en menor medida, dos demais nutrientes. A propia costra microbiana, que aínda que sexa de pouca espesura pode cubrir a superficie do solo rapidamente, pode protexer o solo queimado, en certa medida, e evitar a súa perda por erosión.

Ensaíouse tamén a implantación en solos queimados de diversas leguminosas inoculadas con *Rhizobium leguminosarum* e observouse que se a concentración de nitróxeno no solo queimado é elevada, o que ocorre inmediatamente despois do lume, a leguminosa asimila preferentemente este N, a produción de nódulos é escasa e o mesmo ocorre coa fixación de N_2 atmosférico. Pola contra, se o contido en N do solo queimado é baixo, o que sucede a curto ou medio prazo despois do incendio debido ás perdas de N por lavado que provoca a choiva, prodúcese unha boa nodulación e fixación de N_2 atmosférico e aumenta o rendemento da planta, tanto da parte aérea como radicular. Sementar leguminosas inoculadas con *Rhizobium* é, polo tanto, unha técnica útil para a aceleración da formación da cuberta vexetal protectora e a restauración das reservas de N do solo, a curto e medio prazo despois do incendio, o que favorece a revexetación natural. O mesmo ocorre coa inoculación de micorrizas arbusculares en plantacións de árbores. No noso Instituto desenvolveuse un biofertilizante granular, coa micorriza incorporada, e produciuse a micorrización da especie utilizada para a reforestación de forma automática, por autoinoculación, simplemente engadindo estes gránulos no buraco en que se introduce o pé da planta implantada.

Con relación á terceira fase, restauración do ecosistema por revexetación natural ou artificial, paréceme oportuno recordar que a produción vexetal depende do desenvolvemento da planta, que vén determinado polos seguintes factores, que é necesario ter en conta á hora de proceder á restauración: clima, que lle proporciona á planta, luz, osíxeno, calor, auga, CO_2 , etc., solo, que lle serve de soporte, proporciónalle auga e nutrientes, favorece ou inhibe a actividade biolóxica, etc., e un factor económico, isto é, capital para investir en man de obra, adquisición das plantas, que inflúe na elección da técnica de manexo. E posto que é difícil modificar as condicións climáticas, para que a plantación teña éxito é necesario actuar sobre as propiedades do solo susceptibles de ser melloradas, sobre as técnicas de manexo, utilizando técnicas de xestión conservadoras, e sobre a planta, elixindo o xenotipo ou a especie que mellor se adapte ás condicións do medio, que sexa competitiva e con boa produtividade.

No caso de Galicia, é necesario recordar tamén: 1) a vocación forestal dos nosos montes, xa que a superficie forestal alcanza os 2/3 da superficie total, cun 57% de vexetación arbórea e un 43% de matogueira, 2) que a maioría dos nosos solos son acedos, e 3) que a fertilidade destes solos en xeral se fundamenta na súa riqueza en materia orgánica e nas condicións climáticas, con abundantes choivas, temperaturas moderadas e esporádicos períodos de seca prolongada, dado que, en xeral: a) a textura dos nosos solos non é equilibrada, a arxila é escasa e abunda a area, b) abunda tamén o Al, que estabiliza a materia orgánica e, polo tanto, retarda a súa mineralización e a produción de nutrientes para o desenvolvemento das plantas, particularmente N, e que favorece a inmovilización do P, e c) o contido en Ca e outros nutrientes é baixo. Pero á beira destas características, quero destacar tamén a abundantísima presenza nos nosos solos forestais, ben no sotobosque ben nos matos, de plantas leguminosas fixadoras de N atmosférico, particularmente do tan deostado toxo, de xestas e outras, entre as plantas leñosas, cuxa función fixadora e restos vexetais enriquecen os nosos solos en N, principal elemento nutriente, xunto co P, limitante da produción vexetal.

A rexeneración da cuberta vexetal pódese producir por revexetación natural, pero na maioría dos casos de vexetación arbórea cómpre que se realice por reforestación ou por repoboación, isto é, realizando novas plantacións, dependendo das características da zona, do ecosistema queimado e dos danos sufridos polo ecosistema, é dicir, da intensidade do incendio.

A revexetación das áreas queimadas, tanto do mato como da vexetación arbórea, pódese producir de forma natural, debido a que as plantas teñen mecanismos para rexenerárense por si mesmas; con todo, o tempo necesario para que se produza esta rexeneración natural depende do ecosistema afectado, da intensidade e da época do incendio, e pode tardar entre 1 e 5 anos e ás veces máis, dado que, como xa indiquei, co incendio pérdese potencial biolóxico para a revexetación e tamén diversidade biolóxica, polo cal a vexetación que se instala non será igual ca a queimada. Esta

situación agrávase se a frecuencia dos incendios sobre a mesma zona é maior do normal.

En xeral, a rexeneración natural dos matos mixtos de toxo e uz prodúcese en tres etapas. Na primeira (0-3 meses) unha alta porcentaxe de solo permanece espido, iníciase a rexeneración de especies preexistentes con sistemas de supervivencia e a instalación de especies oportunistas procedentes de áreas adxacentes. Na segunda etapa (3 meses-2,5 anos) predominan as especies herbáceas invasoras e aparecen plántulas das especies leñosas pirófitas (*U. europaeus*, entre outras), que van desprazando as demais e coas cales os maiores aumentos se producen en cobertura e biomasa. Na terceira etapa (2,5-10 anos) predominan as especies leñosas, con gran regresión das herbáceas, e consolídase o mato. A cobertura alcanza o 26% ao cabo dun ano (pero aínda hai un 74% de solo espido, moi vulnerable aos procesos de erosión), o 70% aos 3 anos e o 98% aos 10 anos. A biomasa ten un crecemento moi rápido nos tres primeiros anos, que se atenúa a medida que a comunidade se fai máis estable. Debido á súa diferente resistencia ao lume e ás súas distintas estratexias de rexeneración (o toxo, cuxas raíces sobreviven ao lume, rexenérase por rebrote e por semente, aínda que predomina o primeiro sistema, mentres que as uces, con raíces superficiais e pouco desenvolvidas, non sobreviven ao incendio, e rexenéranse exclusivamente por xerminación das sementes), o mato mixto afectado polo incendio xeralmente evoluciona cara a unha toxeira por desprazamento da competencia toxo-uz a favor do toxo, o que explicaría en parte a enorme extensión das toxeias en zonas acedas. Este modelo xeral de sucesión secundaria sofre variacións en función do tipo de mato.

En canto ás especies arbóreas, utilizan tamén distintas estratexias rexenerativas para sobrevivir logo de sufrir un incendio.

Q. robur, a especie autóctona máis estendida, presenta unha resistencia natural ao lume, sobre todo se conserva o seu sotobosque natural. O carballo ten un abundante banco de sementes, aínda que de vida curta, e un extensivo banco de plántulas. A súa estratexia de rexeneración é por medio de rebrotes e por xerminación de sementes de diferente tamaño. Con todo, en

zonas incendiadas, *Q. robur* apenas aparece ou non se atopa en fase adulta, polo cal a súa rexeneración natural é difícil. É preciso realizar novas plantacións, que en xeral teñen éxito.

Considérase que as especies do xénero *Pinus* teñen características pirófitas, cunha combustibilidade moi alta, que favorece a propagación do lume e incrementa a súa intensidade. A maioría das especies non poden rebrotar despois do incendio, polo que só se poden reproducir por sementes, pero ademais do banco de sementes do solo teñen un banco de sementes aéreo. Cando se produce un incendio, as sementes que xa se desprenderon dos froitos poden ser destruídas polas chamas, de tal forma que só as sementes que permanecen dentro dos seus froitos ou enterradas no solo se poden utilizar para a rexeneración da especie. Poucos días despois do incendio, as piñas abren devagar e liberan as sementes. Este feito responde a unha estratexia que lle permite ao piñeiro esperar a que o incendio se extinga e a temperatura do solo descenda a niveis que non danen as sementes, o cal evita que se queimen ou perdan viabilidade.

O eucalipto (*E. globulus*) ofrece certa resistencia ao lume, excepto as súas ramas secas e as cascas desprendidas. O elevado quecemento que se produce durante os incendios provoca tamén a apertura dos froitos e a diseminación das sementes. En masas adultas en que adoitan coexistir, nun mesmo pé, froitos de varios anos sen diseminar, a apertura de todos estes froitos ao mesmo tempo dá lugar, en condicións adecuadas do sotobosque, a unha rápida xerminación das sementes e a unha gran densidade de plántulas. Como, ademais, os eucaliptos queimados poden rebrotar de cepa, a rexeneración destas árbores está garantida, mesmo despois de incendios de alta intensidade.

No entanto, para a rexeneración da maioría das especies arbóreas será necesario realizar novas plantacións. É preciso lembrar, a este respecto, que toda perturbación do terreo afectado polos incendios, como, por exemplo, a retirada prematura do material vexetal queimado, principalmente toros de árbores, ramas grosas, etc., vai repercutir negativamente sobre a restauración do ecosistema se non se toman antes as medidas de protección do solo

indicadas. En xeral, os procesos de corta e rareo, ou cando se vai realizar unha nova plantación, a preparación do terreo para reforestación ou repoboación, producen grandes perturbacións no funcionamento da capa superficial orgánica do solo que se traducen en perdas de materia orgánica, base da fertilidade dos nosos solos, de ata o 50% do valor inicial, por mineralización da materia orgánica, con emisión de CO_2 á atmosfera e outros efectos que aumentan a degradación do solo. Por iso, é necesario utilizar técnicas de manexo do solo conservadoras, que perturben o menos posible as capas orgánicas do solo.

Os incendios planificados para control do combustible e os lumes prescritos para transformación das uceiras en pasteiros producen perdas considerables non só da follaxe senón tamén da capa superficial de materia orgánica do solo e erosión subseguinte con perda de partículas finas, materia orgánica e arxila, e nutrientes, ata en solos con pendentes suaves e lumes rápidos e superficiais. É necesario buscar outras alternativas, xa que estas queimas, aínda estando ben planificadas e sendo executadas de acordo con esta planificación, provocan danos nas capas orgánicas do solo que, malia seren menores ca os que producirían os incendios incontrolados, deben ser tidos en conta. Non me cansarei de repetir que na maioría dos solos de Galicia a fertilidade destes está ligada ao seu contido en materia orgánica.

As panasqueiras degradadas, como consecuencia de queimas planificadas, hai que restauralas, primeiro controlando o lume usado para a destrución das plantas leñosas, e logo controlando a frecuencia e intensidade do pastoreo e aumentando a produtividade mediante a adición de fertilizantes, preferentemente orgánicos, e a implantación de leguminosas e especies de alto rendemento para que a armazón de raíces as protexa contra a erosión.

Quero rematar dicindo que, á hora de abordar a restauración das zonas afectadas polos incendios forestais, importantísimo e irrenunciable aspecto da loita integral contra os incendios forestais, é necesario ter en mente os seguintes principios: 1) a conservación do solo afectado polos incendios e a recupera-

ción das propiedades deste dependen estreitamente do proceso de revexetación, isto é, da rexeneración da cuberta vexetal, 2) o proceso de restauración cómpre que se inicie inmediatamente ou pouco tempo despois do incendio, para evitar que coas primeiras choivas logo da queima se inicie o lavado de nutrientes da capa de cinzas e/ou os procesos de erosión, 3) é importante reter, mediante a implantación rápida dunha vexetación, que loxicamente debe ser herbácea, os nutrientes acumulados na capa de cinzas para evitar a súa perda, e 4) sempre que sexa posible, a restauración do monte afectado por incendios forestais debe tender á rexeneración do bosque, o sistema natural máis evolucionado, cos seus tres estratos, herbáceo, arbustivo e arbóreo, para garantir a súa estabilidade, utilizando especies, preferentemente autóctonas, si, pero, sobre todo, que se adapten ao medio físico, para poderlles garantir os recursos que precisan para o seu desenvolvemento.

BIBLIOGRAFÍA

- ACEA, M.J., CARBALLAS, T. 1996. «Changes in physiological groups of microorganisms in soil following wildfire». *FEMS Microbiology Ecology* 20, 33-39.
- ACEA, M.J., CARBALLAS, T. 1996. «Microbial response to organic amendments in a forest soil». *Bioresource Technology* 57, 193-199.
- ACEA, M.J., DIZ, N., PRIETO FERNÁNDEZ, A. 2001. «Microbial populations in heated soils inoculated with cianobacteria». *Biol. Fertil. Soils* 33, 118-125.
- ACEA, M.J., PRIETO-FERNÁNDEZ, A., DIZ-CID, N. 2003. «Cyanobacterial inoculation of heated soils: effect on microorganisms of C and N cycles and on chemical composition in soil surface». *Soil Biol. Biochem.* 35, 513-524.
- CARBALLAS, M. ACEA, M.J., CABANEIRO, A., TRASAR, C., VILLAR, M.C., DÍAZ-RAVIÑA, M., FERNÁNDEZ, I., PRIETO, A., SAA, A., VÁZQUEZ, F.J., ZEHNER, R., CARBALLAS, T. 1994. «Organic matter, nitrogen, phosphorus and microbial population evolution in forest humiferous acid soils after wildfires». *Fire in Mediterranean Ecosystems* (L. Trabaud, R. Prodon, eds.). Ecosystems Research Series. Report 5, 379-385. CE, Bruxelas, Bélxica.
- CARBALLAS T. 1997. «Effects of fires on soil quality. Biochemical aspects». *Forest fires risk and management* (P. Balabanis, G. Eftichides, R. Fantechi, eds.). Science Research Development 249-261. CE, Bélxica.
- CARBALLAS, T. 2003. «Los incendios forestales en Galicia» (edición en castelán e en galego). *Reflexiones sobre el medio ambiente en Galicia* (J.J. Casares Long, coordinador), 363/545-415/547. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela.
- CASAL, M. 1987. «Post-fire dynamics of shrubland dominated by Papilionaceae plants». *Ecologia mediterranea* 13 (4), 87-98.

- CASTRO, A., GONZÁLEZ PRIETO, S.J., VILLAR, M.C., CARBALLAS, T. 2000. «Lowest effective and optimum poultry manure dose for reclaiming burnt soils: pot experiments». *Biol. Fertil. Soils* 32, 494-499.
- CASTRO, A., GONZÁLEZ PRIETO, S.J., CARBALLAS, T. 2005. «Effects of ^{15}N labelling and burning on soil organic N distribution». *Geoderma* (no prelo).
- DALDA, J. 1978. «Los efectos del fuego en la vegetación forestal de Galicia». *Naturalia Hispanica* 16. ICONA, Ministerio de Agricultura, Madrid.
- DÍAZ-RAVIÑA, M., VILLAR, M.C., PETRIKOVA, V., CARBALLAS, T. 2002. «Bioremediation of degraded forest soils affected by wildfires». *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 1, 1-14.
- FERNÁNDEZ, I., CABANEIRO, A., CARBALLAS, T. 1997. «Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating». *Soil Biol. Biochem.* 29, 1-11.
- FERNÁNDEZ, I., CABANEIRO, A., CARBALLAS, T. 1999. «Carbon mineralization dynamics in soils after wildfires in two Galician forests». *Soil Biol. Biochem.* 31, 1853-1865.
- FERNÁNDEZ, I., CABANEIRO, A., CARBALLAS, T. 2001. «Thermal resistance to high temperatures of different organic fractions from soils under pine forests». *Geoderma* 104, 281-298.
- IGLESIAS, M.I., SÁINZ, M.J., LÓPEZ MOSQUERA, M.E., PINTOS, C., MANSILLA, J.P., VILARIÑO, A. 2004. «Mineral nutrition of *Taxus baccata* L. as affected by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi». *Acta Hort.* 630, 225-229.
- PINAYA, I., SOTO, B., ARIAS, M., DÍAZ-FIERROS, F. 2000. «Revegetation of burnt areas: relative effectiveness of native and commercial seed mixtures». *Land Degradation and Development* 11, 93-98.

- PRIETO-FERNÁNDEZ, A., ACEA, M.J., CARBALLAS, T. 1998. «Soil microbial-and extractable C and N after wildfire». *Biol. Fertil. Soils* 27, 132-142.
- PRIETO-FERNÁNDEZ, A., CARBALLAS, M., CARBALLAS, T. 2004. «Inorganic and organic N pools in soils burned or heated: immediate alterations and evolution after forest wildfires». *Geoderma* 121, 291-306.
- PRIETO-FERNÁNDEZ, A., VILLAR, M.C., CARBALLAS, M., CARBALLAS, T. 1993. «Short term effects of a wildfire on the nitrogen status and its mineralization kinetics in an atlantic forest soil». *Soil Biol. Biochem.* 25, 1657-1664.
- REYES, O., BASANTA, M., CASAL, M., DÍAZ-VIZCAÍNO, E. 2000. «Functioning and dynamics of woody plant ecosystems in Galicia (NW Spain)». *Life and Environment in the Mediterranean* (L. Trabaud, ed.), Wit Press, Southampton, Inglaterra.
- SAA, A., TRASAR, M.C., GIL-SOTRES, F., CARBALLAS, T. 1993. «Changes in P fraction distribution and phosphomonoesterase activity immediately following forest fires». *Soil Biol. Biochem.* 25, 1223-1230.
- SALGADO, J., GONZÁLEZ, M.I., ARMADA, J., PAZ-ÁNDRADE, M.I., CARBALLAS, M., CARBALLAS, T. 1995. «Loss of organic matter in Atlantic forest soils due to wildfires». Calculation of the ignition temperature. *Thermochimica Acta* 259, 165-175.
- VÁZQUEZ, F.J., ACEA, M.J., CARBALLAS, T. 1993. «Soil microbial populations after wildfire». *FEMS Microbiology Ecology* 13, 93-104.
- VÁZQUEZ, F.J., PETRIKOVA, V., VILLAR, M.C., CARBALLAS, T. 1996. «The use of poultry manure and plant cultivation for the reclamation of burnt soils». *Biol. Fertil. Soils* 22, 265-271.
- VILLAR, M.C., GONZÁLEZ-PRIETO, S.J., CARBALLAS, T. 1998. «Evaluation of three organic wastes for reclaiming burnt soils: improvement in the recovery of vegetation cover and soil fertility in pot experiments». *Biol. Fertil. Soils* 26, 122-129.

- VILLAR M.C., PETRIKOVA V., DÍAZ-RAVIÑA M., CARBALLAS T. 2004. «Changes in soil microbial biomass and aggregate stability following burning and soil rehabilitation». *Geoderma* 122, 73-82.
- VILLAR, M.C., PETRIKOVA, V. DÍAZ-RAVIÑA, M., CARBALLAS, T. 2004. «Recycling of organic wastes in burnt soils: combined application of poultry manure and plant cultivation». *Waste Management* 24, 365-370.