

Recursos Rurais

Serie Cursos



Serie Cursos



IBADER
Instituto de Biodiversidade
Agraria e Desenvolvimento Rural

Volume 1 número 1 Setembro 2004

Recursos Rurais

Revista oficial do Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural (IBADER)

O Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural (IBADER) é un instituto mixto universitario, situado na cidade de Lugo e conformado pola Universidade de Santiago de Compostela, a Consellería de Medio Ambiente, a Consellería de Política Agroalimentaria e Desenvolvemento Rural da Xunta de Galicia e o Instituto Lucense de Desenvolvemento Económico e Social (INLUDES).

Unha das actividades do IBADER é a publicación e difusión de información científica e técnica sobre o medio rural desde unha perspectiva pluridisciplinar. Con este obxectivo publícase a revista **Recursos Rurais** orientada a fortalecer as sinerxías entre colectivos vinculados á I+D+I no ámbito da conservación e xestión da Biodiversidade e do Medio Ambiente dos espazos rurais, os Sistemas de Producción Agrícola, Gandeira, Forestal e a Planificación do Territorio, tendentes a propiciar o Desenvolvemento Sostible dos recursos naturais.

Recursos Rurais estrutúrase en tres series. A serie **Científico-Técnica** publica artigos, revisións, notas de investigación e reseñas bibliográficas. Os artigos, revisións e notas deben ser orixinais, sendo avaliados previamente polo Comité Editorial e o Comité Científico Asesor. A serie **Cursos** publica reunións, seminarios e xornadas técnicas e de divulgación. A serie **Monografías** destínase a promocionar a difusión de Teses Doutorais, revisións o á reedición de obras fundamentais.

Dirección

IBADER
Instituto de Biodiversidade Agraria e
Desenvolvemento Rural
Universidade de Santiago de Compostela
Campus Universitario s/n
E 27002 Lugo, Galicia (España)

Tfno 982 285888
982 285900 Ext. 22490
Fax 982 285916

ibader@lugo.usc.es
www.usc.ibader.es

Recursos Rurais non se responsabiliza da opinión nin dos contidos dos artigos. Sen a autorización escrita dos titulares do copyright, queda prohibida a reprodución total ou parcial por calquera medio gráfico ou electrónico do contido de **Recursos Rurais**.

Edita

IBADER
Universidade de Santiago de Compostela

DL C-2188-2004
ISSN 1698-5427

Imprime

LITONOR

Deseño cuberta

Luis Gómez-Orellana Rodríguez

Maquetación

Luis Gómez-Orellana Rodríguez

Este número foi publicado gracias á subvención recibida pola Consellería de Innovación, Industria e Comercio da Xunta de Galicia (IN819A 2004/42-0).



Recursos Rurais

Revista oficial do Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural (IBADER)

Comité Editorial

Dirección

Pablo Ramil Rego
Inst. Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural
Departamento de Botánica
Universidade de Santiago de Compostela

Secretaría

M^a Elvira López Mosquera
Inst. Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural
Departamento de Produción Vexetal
Universidade de Santiago de Compostela

Membros

Carlos Alvarez López
Inst. Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural
Departamento de Enxeñería Agroforestal
Universidade de Santiago de Compostela

Rafael Crecente Maseda
Departamento de Enxeñería Agroforestal
Universidade de Santiago de Compostela

Elvira Díaz Vizcaino
Inst. Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural
Departamento de Botánica
Universidade de Santiago de Compostela

María Luisa Fernández Marcos
Inst. Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural
Departamento de Edafoloxía
Universidade de Santiago de Compostela

Agustín Merino García
Inst. Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural
Departamento de Edafoloxía
Universidade de Santiago de Compostela

Antonio Rigueiro Rodríguez
Inst. Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural
Departamento de Produción Vexetal
Universidade de Santiago de Compostela

Luciano Sánchez García
Inst. Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural
Departamento de Produción Animal
Universidade de Santiago de Compostela

Dirección para envíos postais:

IBADER
Instituto de Biodiversidade
Agraria e Desenvolvemento Rural
Universidade de Santiago de Compostela
Campus Universitario s/n.
E 27002 Lugo, Galicia (Spain)



IBADER
Instituto de Biodiversidade
Agraria e Desenvolvemento Rural

Comité Científico Asesor

Dr. Juan Altarriba Farrán
Dpto. Producción Animal
Universidad de Zaragoza

Dr. José Manuel Barreiro Fernández
Dpto. de Organización de Empresas
Universidade de Santiago de Compostela

Dr. Christian Buson
Institut de l'Environnement
Liffrée, Francia.

Dr. Emilio Chuvieco Salinero
Dpto. de Geografía
Universidad de Alcalá de Henares

Dr. Estanislao De Luis Calabuig
Dpto. de Ecología
Universidad de León

Dr. Francisco Díaz-Fierros Viqueira
Dpto. de Edafología
Universidad de Santiago de Compostela

Dr. Javier Esparcia Pérez
Dpto. de Geografía
Universidad Politécnica de Valencia

Dra. Dalila Espirito Santo
Instituto Superior de Agronomía
Universidad Técnica de Lisboa

Dra. María Teresa Felipó Oriol
Dpto. de Edafología
Universidad Politécnica de Cataluña

Dr. Eduardo Galante
Centro Iberoamericano de la Biodiversidad
Universidad de Alicante

Dr. Domingo Gómez Orea
Dpto. de Proyectos y Planificación Rural
Universidad Politécnica de Madrid

Dr. Helena Granja
Dpto. de Geología
Universidad do Minho

Dr. Jesús Izco Sevillano
Dpto. de Botánica
Universidad de Santiago de Compostela

Dr. Knut Kryzywinski
Botanisk Institut
Universidad de Bergen, Noruega

Dr. Jaume Lloveras Vilamanyá
Producción Vegetal
Universidad de Lleida

Dr. Edelmiro López Iglesias
Dpto. de Economía Aplicada
Universidade de Santiago de Compostela

Dr. Felipe Macías Vázquez
Dpto. de Edafología
Universidade de Santiago de Compostela

Dr. Manuel Madeira
Instituto Superior de Agronomía
Universidad Técnica de Lisboa

Dr. Francisco Maseda Eimil
Dpto. de Enxeñería Agroforestal
Universidad de Santiago de Compostela

Dr. Guillerma Meaza Rodríguez
Dpto. de Geografía
Universidad del País Vasco

Dr. Diego Rivera Núñez
Dpto. de Botánica
Universidad de Murcia

Dr. Antonio Rodero Franganillo
Dpto. de Producción Animal.
Universidad de Córdoba

Dr. Isidro Sierra Alfranca
Dpto. de Producción Animal
Universidad de Zaragoza

Dr. Louis Trabaud.
Dpto. de Ecología.
Universidad de Montpellier

Dr. Eduardo Vigil Maeso
Dpto. de Producción Animal
Universidad de Zaragoza

Recursos Rurais

Revista oficial do Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural (IBADER)

SERIE CURSOS nº 1 Setembro 2004

Xestión de Solos Forestais: Producción Sostible e Calidade Ambiental

Curso realizado polo IBADER, Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural e o Departamento de Edafoloxía e Química Agrícola da Universidade de Santiago de Compostela, ca colaboración da Dirección Xeral de Montes e Industrias Forestais da Consellería de Medio Ambiente da Xunta de Galicia, o Concello de Lugo, TRAGSA, Asociación Galega Monte-Industria, Sociedad de Ciencias del Suelo e Sociedad de Ciencias Forestales

Presentación

A península Ibérica e, especialmente, a zona de influencia Atlántica, representa un dos maiores potenciais mundiais para produción forestal, ó mesmo tempo que alberga varios dos sistemas naturais máis valiosos de Europa. A axeitada xestión dos solos forestais axuda a manter as capacidades de xeración de bens económicos e ambientais destes sistemas. De feito, o solo é un dos obxectivos dos programas de Xestión Forestal Sostible, nos que se basean a recente aprobada Lei de Montes ou os sistemas de certificación forestal.

Os relatorios do curso **Xestión de Solos Forestais: Produción Sostible e Calidade Ambiental**, celebrado na Escola Politécnica Superior de Lugo, versaron sobre as diferentes facetas nas que interveñen os solos forestais. Durante o curso realizouse unha síntese didáctica de recentes avances que confirman o importante papel que os solos desempeñan sobre a produción sostible de bens e a calidade ambiental. A produción, o cambio climático, a biodiversidade, a erosión ou a calidade das augas son algunhas destas temáticas.

Durante estas intervencións puxéronse de relevancia diferentes coñecementos e ferramentas que axudarán a preservar nosos valiosos recursos forestais. Neste sentido, a celebración do curso é especialmente oportuna, posto que coincide no momento en que estanse discutindo os criterios de avaliación dos indicadores de xestión forestal sostible.

Hai que destacar que boa parte destas aplicacións adquiríronse a través de colaboracións entre os grupos de investigación, empresas de importante calado na economía do país e a propia administración. Este marco permitiu desenrolar unha importante actividade científica no ámbito forestal por parte das universidades galegas e os centros de investigación dependentes da administración autonómica.

A relevancia do tema que se trata, xunto coa enorme calidade dos conferenciantes, fixeron posible ofertar un curso de calidade, que logrou suscitar o interese tanto en Galicia como noutras Comunidades.

La península Ibérica y, especialmente, la zona de influencia Atlántica, representa uno de los mayores potenciales mundiales para producción forestal, al mismo tiempo que alberga varios de los sistemas naturales más valiosos de Europa. La adecuada gestión de los suelos forestales ayuda a mantener las capacidades de generación de bienes económicos y ambientales de estos sistemas. De hecho, el suelo es uno de los objetivos de los programas de Gestión Forestal Sostenible, en los que se basan la recién aprobada Ley de Montes o los sistemas de certificación forestal.

Las ponencias del curso **Xestión de Solos Forestais: Produción Sostible e Calidade Ambiental**, celebrado en la Escuela Politécnica Superior de Lugo, han versado sobre las diferentes facetas en las que intervienen los suelos forestales. Durante el curso se ha realizado una síntesis didáctica de recientes avances que confirman el importante papel que los suelos desempeñan sobre la producción sostenible de bienes y la calidad ambiental. La producción, el cambio climático, la biodiversidad, la erosión o la calidad de las aguas son algunas de estas temáticas.

Durante estas intervenciones se han puesto de relevancia diferentes conocimientos y herramientas que ayudarán a preservar nuestros valiosos recursos forestales. En este sentido, la celebración del curso es especialmente oportuna, puesto que coincide en el momento en que se están discutiendo los criterios de evaluación de los indicadores de gestión forestal sostenible.

Hay que destacar que buena parte de estas aplicaciones se han adquirido a través de colaboraciones entre los grupos de investigación, empresas de importante calado en la economía del país y la propia administración. Este marco ha permitido desarrollar una importante actividad científica en el ámbito forestal por parte de las universidades gallegas y los centros de investigación dependentes de la administración autonómica.

La relevancia del tema que se trata, junto con la enorme calidad de los conferenciantes, ha hecho posible ofertar un curso de calidad, que ha logrado suscitar el interés tanto en Galicia como en otras Comunidades.

Tomás Fernández-Couto Juanas
Director Xeral de Montes e Industrias
Forestais
Consellería de Medio Ambiente
Xunta de Galicia

Limiar

O curso **Xestión de Solos Forestais: produción sostible e calidade ambiental** permitiu recompilar, de maneira didáctica, as importantes funcións que desempeña o solo nos sistemas forestais. Durante o seu desenvolvemento abordáronse unha serie de coñecementos que xeralmente non se inclúen na docencia de primeiro e segundo ciclos universitarios, pero que son necesarios para resolver as actuais esixencias ambientais e de produción no sector forestal.

Ó curso asistiron alumnos de segundo ciclo e recentes titulados de diferentes disciplinas agro-forestais e ciencias ambientais. De igual xeito, contouse con profesionais dos cales a súa actividade está relacionada coa xestión, docencia ou investigación forestal e/ou medio ambiente. Todos eles, un total de 121 asistentes, participaron activamente, promovendo o debate e complementando as presentacións e as actividades prácticas con exemplos da súa propia experiencia.

O contido do curso organizouse en catro bloques principais: 1: Propiedades e limitacións dos solos para a xestión forestal sostible, 2: Xestión sostible de solos forestais, 3. Conservación e recuperación de solos forestais, 4. Solos forestais e calidade ambiental. Estes temas tratáronse ó longo de tres días de conferencias, unha sesión práctica no campo e unha mesa redonda.

Durante a xornada dedicada ás **Propiedades e limitacións dos solos** realizouse unha recompilación na zona temperada húmida dos principais condicionantes dos solos forestais para o seu aproveitamento e conservación. Os traballos realizados durante os últimos anos mostran a necesidade de mellorar o estado nutricional dos solos ácidos, así como o estado sanitario dalgunhas masas forestais.

Realizar unha axeitada selección dos terreos destinados a este recurso é importante, pero tamén o é o deseño dunha serie de intervencións que melloran o desenvolvemento e conservación dos bosques. Durante as últimas décadas houbo avances considerables, pero tamén fracasos dos que debemos aprender. Os relatores do apartado de **Xestión de solos forestais** realizaron unha valiosa síntese da evolución dos sistemas de xestión dos solos ao longo das últimas décadas.

Durante a sesión centrada na **Conservación e recuperación de solos forestais** destacou a importancia de prever a degradación deste medio. Mostráronse diferentes estratexias de recuperación de solos. Para elo seleccionáronse casos recentes e próximos o noso ámbito xeográfico.

Os relatores que interviñeron no apartado de **solos forestais e calidade ambiental**, destacaron o feito de que o solo forestal é unha peza clave para os novos retos ambientais do século XXI. A erosión, a contaminación ou a recuperación de solos afectados pola choiva ácida seguen sendo importantes problemas ambientais que afectan a estes solos. Durante este século, os retos ambientais máis importantes serán sen dúbida, desenvolver novas formas de acumulación de carbono atmosférico e, ó mesmo tempo, manter e mellorar a biodiversidade. Do mesmo modo, recoñécense ós solos forestais unha serie de valores intanxibles, de difícil valoración económica, que deben estar presentes na xestión forestal.

Durante a actividade práctica mostráronse diferentes modelos de xestión que contribúen a conservar os solos forestais, tanto baixo masas produtivas como de conservación. Tamén visitáronse áreas onde se realizan traballos que conduciron á recuperación de terreos degradados.

A nova Lei de Montes considera a conservación dos solos e as augas como obxectivos imprescindibles da xestión forestal. Os sistemas de certificación de xestión forestal sostible, inclúen como criterios básicos as importantes funcións produtivas e ambientais deste medio. Na mesa redonda dedicada a debater a xestión dos solos fíxose unha revisión actualizada dos criterios e indicadores aprobados nas Conferencias Ministeriais para a protección dos Bosques de Europa celebradas en Helsinki (1993) e en Lisboa (1998) e subscritos por todos os países da UE.

O ambicioso programa presentado non houbo sido posible sen o cofinanciamento da Dirección Xeral de Montes e Industrias Forestais da Xunta de Galicia, o Concello de Lugo, a empresa TRAGSA e a Asociación Galega Monte-Industria.

O presente volume, o primeiro da revista Recursos Rurais, recolle os aspectos máis importantes das intervencións dos relatores durante o curso. Esta publicación vai permitir que o debate entaboadado durante as xornadas mantéñase activo e teña unha maior proxección. Aproveitamos estas liñas para desexar un especial éxito á revista que con este número inicia a súa andadura. Estamos seguros de que a acollida que recibirá estará á altura da ilusión coa que o equipo do Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural (IBADER) traballou para elo.

Agustín Merino e Beatriz Omil

Prólogo

El curso **Xestión de Solos Forestais: Producción Sostible e Calidade Ambiental**, permitió recopilar, de manera didáctica, las importantes funciones que desempeña el suelo en los sistemas forestales. Durante su desarrollo se abordaron una serie de conocimientos que generalmente no se incluyen en la docencia de primer y segundo ciclos universitarios, pero que son necesarios para resolver las actuales exigencias ambientales y de producción en el sector forestal.

Al curso asistieron alumnos de segundo ciclo y recién titulados de diferentes disciplinas agro-forestales y ciencias ambientales. De igual modo, se contó con profesionales cuya actividad está relacionada con la gestión, docencia o investigación forestal y/o el medio ambiente. Todos ellos, un total de 121 asistentes, participaron activamente, promoviendo el debate y complementando las presentaciones y las actividades prácticas con ejemplos de su propia experiencia.

El contenido del curso se organizó en cuatro bloques principales: 1: Propiedades y limitaciones de los suelos para la gestión forestal sostenible, 2: Gestión sostenible de suelos forestales, 3: Conservación y recuperación de suelos forestales, 4. Suelos forestales y calidad ambiental. Estos temas se trataron a lo largo de tres días de conferencias, una sesión práctica en el campo y una mesa redonda.

Durante la jornada dedicada a las **Propiedades y limitaciones de los suelos** se realizó una recopilación en la zona templada húmeda de los principales condicionantes de los suelos forestales para su aprovechamiento y conservación. Los trabajos realizados durante los últimos años muestran la necesidad de mejorar el estado nutricional de los suelos ácidos y el estado sanitario de algunas masas forestales.

Realizar una adecuada selección de los terrenos destinados a este recurso es importante, pero también lo es el diseño de una serie de intervenciones que mejoren el desarrollo y conservación de los bosques. Durante las últimas décadas ha habido avances considerables, pero también fracasos de los que debemos aprender. Los ponentes del apartado de **Gestión de suelos forestales** realizaron una valiosa síntesis de la evolución de los sistemas de gestión de los suelos a lo largo de las últimas décadas.

Durante la sesión centrada en la **Conservación y recuperación de suelos forestales** se destacó la importancia de prevenir la degradación de este medio. Se mostraron diferentes estrategias de recuperación de suelos. Para ello se seleccionaron casos recientes y próximos a nuestro ámbito geográfico.

Los ponentes que intervinieron en el apartado de **Suelos forestales y calidad ambiental** destacaron el hecho de que el suelo forestal es una pieza clave para los nuevos retos ambientales del siglo XXI. La erosión, la contaminación o la recuperación de suelos afectados por lluvia ácida siguen siendo importantes problemas ambientales que afectan a estos suelos. Durante este siglo, los retos ambientales más importantes serán sin duda, desarrollar nuevas formas de acumulación de carbono atmosférico y, al mismo tiempo, mantener y mejorar la biodiversidad. Del mismo modo, se reconocen en los suelos forestales una serie de valores intangibles, de difícil valoración económica, que deben estar presentes en la gestión forestal.

Durante la actividad práctica se mostraron diferentes modelos de gestión que contribuyen a conservar los suelos forestales, tanto bajo masas productivas como de conservación. También visitaron áreas donde se realizan trabajos que han conducido a la recuperación de terrenos degradados.

La nueva Ley de Montes considera la conservación de los suelos y las aguas como objetivos imprescindibles de la gestión forestal. Los sistemas de certificación de gestión forestal sostenible, incluyen como criterios básicos las importantes funciones productivas y ambientales de este medio. En la mesa redonda dedicada a debatir la gestión de los suelos se hizo una revisión actualizada de los criterios e indicadores aprobados en las Conferencias Ministeriales para la protección de los Bosques de Europa celebradas en Helsinki (1993) y en Lisboa (1998) y suscritos por todos los países de la UE.

El ambicioso programa presentado no hubiese sido posible sin la cofinanciación de la Dirección Xeral de Montes e Industrias Forestais de la Xunta de Galicia, el Concello de Lugo, la empresa TRAGSA y la Asociación Galega Monte-Industria.

El presente volumen, el primero de la revista Recursos Rurais, recoge los aspectos más importantes de las intervenciones de los ponentes durante el curso. Esta publicación va a permitir que el debate entablado durante las jornadas se mantenga activo y tenga una mayor proyección. Aprovechamos estas líneas para desear un especial éxito a la revista que con este número inicia su andadura. Estamos seguros de que la acogida que recibirá estará a la altura de la ilusión con la que el equipo del Instituto de Biodiversidad Agraria e Desenvolvemento Rural (IBADER) ha trabajado para ello.

Agustín Merino e Beatriz Omil

Rosa Calvo de Anta

Suelos forestales de las regiones templado-húmedas

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

En su "Estrategia temática para la protección del suelo" (Bruselas, 2002) la Comisión de las Comunidades Europeas hace una valoración de las principales amenazas para los suelos de todo el territorio de la UE y de los países candidatos en ese momento. Entre estas amenazas se señalan los riesgos de erosión, la pérdida de materia orgánica, la contaminación local y difusa, la compactación... y otras. La necesidad de la prevención de la degradación del suelo se revela imprescindible dadas las funciones que éste ejerce en la protección de otros sistemas más sensibles, fundamentalmente el medio hídrico y la vegetación.

Para la planificación de las medidas de protección es indispensable el establecimiento previo de la "vulnerabilidad" de los suelos de diferentes regiones frente a las distintas amenazas consideradas. Dado que no se dispone de una cartografía de suelos que abarque todo el territorio europeo se hace necesario recurrir a los conocimientos obtenidos en las zonas mejor estudiadas y proceder a su ajuste, en lo posible, a las áreas carentes de datos, de acuerdo a las características de sus principales factores de formación.

Desde que Jenny en 1941 estableciera su teoría de los factores de formación, se reconoce el papel de la vegetación como uno de los determinantes de las variaciones de las propiedades de los suelos, dentro de cada región climática y litológica y, por supuesto, para un tiempo de desarrollo determinado; por su parte, el relieve

puede actuar como un factor de distribución de componentes y, por lo tanto, de propiedades, dentro de cada catena particular. Dado que todos estos factores son fácilmente cartografiables, la obtención de una base geográfica para toda Europa con unidades resultantes de una combinación de estos mapas temáticos sería de enormemente utilidad para el establecimiento de la cartografía de vulnerabilidad, siempre que se dispusiera de los datos suficientes para caracterizar satisfactoriamente los diferentes sistemas, es decir, se estableciera el modelo de comportamiento frente a los posibles escenarios de riesgo.

En todo caso el término "suelo forestal" no responde a un concepto único. Así, los suelos forestales de regiones frías son muy diferentes a los de regiones templadas o cálidas y los de regiones húmedas tampoco se parecen a los de ambientes áridos y semiáridos. Ni siquiera puede hablarse de un concepto único de "suelo forestal" en una misma región climática y litológica, entre otras razones por que el hombre ejerce un papel fundamental, trasgresor de una gran parte de las tendencias naturales.

Así por ejemplo, cuando se realiza una planificación del uso del suelo se aplican normalmente métodos en los que el hombre jerarquiza el uso de acuerdo a unos criterios en los que se prima la producción de alimentos sobre la producción de fibras. P.e. el método de Clases Agrológicas (USDA) (y lo mismo los métodos FAO de Riquier y Bramao), realizan una evaluación de las tierras según diferentes categorías, considerándose que los suelos de categorías más elevadas (1, 2 y 3) deben destinarse a cultivos, mientras que los suelos de clase 6 y 7 (delgados, pedregosos, en pendiente, escasa reserva de humedad, menos fértiles...) se deben utilizar para el aprovechamiento forestal. Si esto se aplicase rigurosamente, deberíamos decir que la vegetación no influye sobre las características de los suelos, si no que es, más bien, el suelo quien determina el uso, y si los peores suelos están bajo las repoblaciones forestales no es, como a veces se señala, debido a una influencia negativa de la vegetación sino, por el contrario, por una resistencia y adaptación de ésta a las condiciones más adversas.

De todas formas, siempre es posible indicar algunas características propias de los suelos forestales de regiones templadas y más concretamente de los climas templado-húmedos. Uno de los aspectos más generalizados y contrastados es la influencia de las cubiertas arbóreas sobre el balance hídrico, fundamentalmente a través de la interceptación de la precipitación y de la evapotranspiración, que pueden resultar en un descenso muy importante del flujo efectivo de agua hacia los cauces fluviales. En Galicia este descenso puede resultar del orden de un 40%, o superior, de la precipitación. La influencia sobre el ciclo hidrológico afecta a todos los procesos edáficos, desde la meteorización, la acidificación, neoformación mineral... etc. Uno de los aspectos más relevantes es la mitigación del impacto de las lluvias sobre la erosión hídrica del suelo (cantidad de flujo e intensidad). En este sentido la reforestación, productiva o no, se considera una práctica de prevención, sobre todo en áreas de fuertes pendientes, suelos lépticos, carácter mediterráneo de las precipitaciones... etc. Es obvio que este efecto positivo puede cambiar de signo cuando no se realiza una gestión adecuada de las masas forestadas, en especial en la prevención de incendios. En la actualidad, las principales pérdidas de suelo por erosión en la península ibérica se producen, precisamente, en áreas forestadas, subvirtiendo los pronósticos de sensibilidad establecidos mediante la denominada ecuación universal (Wischmeier y Smith, 1958).

Otro de los aspectos comunes a los suelos forestales de regiones templado-húmedas es su importante contenido en materia orgánica. En líneas generales, las condiciones climáticas favorecen un desarrollo importante de las masas vegetales y, consecuentemente, una elevada tasa de producción de hojarasca y otros restos orgánicos. Aunque el ritmo de descomposición y mineralización por actividad biológica es también elevado, el balance final resulta en una acumulación de carbono orgánico en el suelo, que puede superar el 5% en los horizontes superficiales, úmbricos o móllicos, de estas áreas. La presencia de materia orgánica mejora las propiedades físicas y físico-químicas de los suelos, a la vez que actúa incrementando su carga crítica frente a la contaminación atmosférica por algunos compuestos orgánicos y por metales tóxicos.

Así mismo, la vegetación forestal puede actuar, a través de la materia orgánica inducida al suelo, amortiguando los efectos derivados de los impactos ácidos contaminantes. En este sentido han sido señalados algunos aspectos de la influencia de las masas forestales que pueden resultar contradictorios. Por una parte, es correcto señalar que las cubiertas forestales influyen sobre las aguas de precipitación incrementando su acidez al contacto con las ramas y hojas y, sobre todo, con los troncos, fundamentalmente como consecuencia del lixiviado de ácidos orgánicos. Por otra parte, la materia orgánica de los horizontes humíferos tiene carácter ácido y, además, la presión de CO_2 en estas capas suele ser particularmente elevada como consecuencia de la actividad biológica. Por otra parte, frente a la deposición ácida con exceso de SO_2 y NO_x la presencia de arbolado y, más concretamente los

bosques de coníferas, resulta en un incremento neto de la inmisión a través de los procesos de interceptación y captación de los contaminantes atmosféricos. Este hecho llevó a realizar la cartografía de Cargas críticas de Acidez de los suelos de Europa de los años 90 (Nivel 0) considerando la presencia de coníferas como un factor de riesgo e incremento de la sensibilidad.

Sin embargo, existen otros datos de tendencia contraria no menos relevantes. Por un lado, el carácter fijador de las cubiertas forestales por los contaminantes ácidos es extensivo también a los compuestos de carácter básico, como los aerosoles marinos o las partículas en suspensión provenientes de los suelos naturales o encañados, de manera que los bosques de coníferas suelen recibir un mayor aporte de Ca, K, Mg por pluvio-lavado que los suelos de praderas o cultivos de sus inmediaciones. Por otra parte, los compuestos húmicos del suelo forestal, aunque ácidos, presentan carácter de ácido débil y frente a deposiciones atmosféricas de ácidos fuertes pueden ejercer un importante papel amortiguador de la solubilización del Al litológico en las disoluciones del suelo y en las aguas superficiales, a través de la formación de complejos Al-MO insolubles, en muchos casos de elevada estabilidad. A este respecto existen abundantes datos de los suelos forestales de Galicia que a pesar de su acidez (natural) muestran un efectivo control del Al soluble en comparación con los suelos de cultivo de áreas próximas.

Otra de las características propias de los suelos forestales es su importante contribución a la ralentización de la pérdida de elementos del sistema a través de los ciclos biogeoquímicos. Este efecto es particularmente importante en los suelos más desgastados de las áreas cálidas y templadas con fuertes precipitaciones. Incluso en sistemas productivos, el consumo de nutrientes por la biomasa maderable resulta despreciable frente a las pérdidas inducidas por el lixiviado de los suelos. Las masas forestales influyen positivamente en estos balances, tanto como consecuencia de la reducción de los flujos efectivos de agua al suelo (por interceptación), como, y sobre todo, por la importante absorción de elementos solubles que son devueltos a la superficie del suelo en forma orgánica. En este sentido resulta de particular importancia el manejo adecuado de estos sistemas. Si en los suelos ferralíticos, de máxima evolución y mínima productividad, de los países del trópico húmedo, la tala de biomasa forestal puede conducir a la eliminación del último reservorio de nutrientes del sistema (se habla de deforestación), en los países templado-húmedos el suelo mantiene un potencial productivo importante, incluso en sistemas extractivos sin fertilización, que, no obstante, debe ser protegido al máximo, sobre todo cuando se trata de suelos ácidos y con bajas reservas minerales. En estos sistemas se debe cuidar al máximo la devolución de los restos de la tala como materia orgánica en fresco, debidamente tratada para su mejor incorporación.

A pesar de los avances realizados en los últimos años en el estudio de los suelos forestales de Europa, los resultados obtenidos de la aplicación de diferentes modelos de cálculo no siempre resultan satisfactorios, poniéndose de manifiesto la necesidad de ampliar el banco de datos

existente y, por lo tanto, de ajustar paulatinamente las sucesivas aproximaciones a medida que lo hacen los conocimientos.

Bibliografía

- Calvo de Anta, R. (1992). El eucalipto en Galicia. Sus relaciones con el medio natural. Servicio de Publicaciones. Universidad de Santiago de Compostela, 211 pp.
- Calvo de Anta, R. (2001). Influencia de diferentes especies forestales sobre las propiedades del suelo en Galicia. En: XXII Reunión Nacional de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Universidad de Santiago de Compostela. 112-116 pp.
- COM (2002)179. (2002). Hacia una estrategia temática para la protección del suelo. Comisión de las Comunidades Europeas, Bruselas.
- Gómez-Rey, M.X., Calvo de Anta, R. (2002). Datos para el desarrollo de una red integrada de seguimiento de la calidad de suelos en Galicia (NO de España): Balances geoquímicos en suelos forestales (*Pinus radiata*). 2. Salidas de elementos y balance del suelo forestal. Edafología 9 (2), 197-212.
- Jenny, H. (1941). Factors of Soil Formation. McGraw-Hill Book Co., Inc. 281 pp.
- Riquier, J. Bramaio, D.L. , Cornet, I.L. (1970). A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity. FAO AGLTERS 70/6.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1958). Rainfall energy and its relationship to soil loss. Transactions of the American Geophysical Union 39; 285-291.

M^a Tarsy Carballas

Microbiología y bioquímica del suelo forestal

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

La Microbiología del suelo, ciencia relativamente reciente que estudia los organismos del suelo y su actividad, y la Bioquímica del suelo, que trata de las reacciones bioquímicas que tienen lugar en el suelo, en las que intervienen los microorganismos y sus enzimas, son dos disciplinas que se complementan. En su acepción más moderna, no sólo incluyen la microfauna y la microbiota, sino también la mesofauna y algunos organismos de la macrofauna. Todos estos organismos tienen funciones específicas importantes como descomponedores y mineralizadores de los restos vegetales y animales que llegan al suelo, sino también como mezcladores de estos restos con la materia mineral del suelo.

La microbiota edáfica, constituida por todos los organismos vivos menores de 5.000 m³ que viven en el suelo, comprende tres grandes grupos: bacterias (en el que se incluyen actualmente los actinomicetos y algunas algas), hongos y algas, que a su vez se subdividen en función de sus fuentes de carbono y de energía o en su supervivencia en presencia o en ausencia de oxígeno. Las bacterias y hongos son fundamentalmente organismos mineralizadores mientras que las algas son organismos productores. Cada grupo de organismos tiene funciones específicas en los ciclos de los elementos: degradación de celulosa, almidón, lignina, etc., fijación de nitrógeno atmosférico, proteólisis, amonificación, nitrificación, etc., mineralización del S orgánico, oxidación y reducción de sulfatos, etc., oxidación o reducción del hierro, etc., pero al mismo tiempo, sus funciones se complementan. Los hongos pueden formar

asociaciones simbióticas, denominadas micorrizas, con las raíces de plantas superiores, que son muy importantes para la nutrición y crecimiento de los árboles, distinguiéndose fundamentalmente las ectomicorrizas y las endomicorrizas, con características diferentes y características, a su vez, de distintas familias de árboles forestales, aunque un único árbol puede estar asociado con varias especies de hongos.

Un papel importantísimo en los procesos bioquímicos que se producen en el suelo corresponde a las enzimas, proteínas catalizadoras que promueven reacciones químicas sin sufrir una alteración permanente. Son responsables de las distintas transformaciones que sufren las fracciones orgánicas del suelo, interviniendo independientemente de los microorganismos vivos o coexistiendo sus acciones con las acciones microbianas. Participan tanto en reacciones de degradación como en procesos de síntesis.

El suelo, con sus componentes y sus propiedades, es el hábitat natural de los organismos que viven en él. No obstante, de acuerdo con la definición de materia orgánica del suelo, según la cual "está constituida por una mezcla de residuos de plantas y animales en distintos estados de descomposición, sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente a partir de los productos de la descomposición y cuerpos de microorganismos vivos y muertos y los restos de su descomposición", los organismos vivos, al menos los componentes de la meso y microfauna y de la microbiota, forman parte de la materia orgánica del suelo. Por esta razón, la relación que existe entre los organismos del suelo y la materia orgánica del mismo es muy estrecha.

La supervivencia, desarrollo y diversidad de todos estos organismos depende de los propios organismos y de determinados factores del suelo como son la humedad, la temperatura, la aireación, la acidez y el suplemento de nutrientes y energía. Su distribución espacial también depende de estos factores y de la profundidad del suelo, probablemente por la relación de esta con la distribución de la materia orgánica.

Todos los microorganismos, considerados en conjunto, desempeñan una función muy importante en su hábitat natural porque influyen sobre ciertas propiedades del suelo e intervienen en los grandes procesos edáficos: meteorización de minerales, mineralización de la materia orgánica, humificación, agregación y ciclo de los nutrientes, promoviendo la solubilización o liberación de nutrientes para las plantas y otros organismos, la formación de sustancias húmicas y complejos órgano minerales estables y la formación de una estructura más o menos estable, aunque también promueven la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera y su contrapartida, el secuestro o fijación de carbono estable en el suelo.

El estudio de la microbiota del suelo comprende su identificación, la determinación del número de microorganismos, de su biomasa, de su actividad metabólica (mineralización del carbono y del nitrógeno orgánicos) y enzimática, y de su diversidad (estructura de la comunidad microbiana).

La identificación de los microorganismos se realiza *in situ* o por su aislamiento del suelo, cultivo de los microorganismos e identificación por características morfológicas, fisiológicas o bioquímicas.

La determinación del número de microorganismos se realiza por recuento directo o por recuento indirecto mediante el método de la placa de agar o recuento de colonias y el método de las diluciones.

La biomasa microbiana se evalúa por métodos directos (estimación del número de microorganismos, que se multiplica por el volumen y la densidad de los microorganismos) o indirectos (fumigación-incubación, fumigación-extracción, método fisiológico, medida del ATP, clorofila, lipopolisacáridos (LPS), ergosterol, glucosamina, etc.). Por algunos de los métodos indirectos se determinan el carbono y el nitrógeno de la biomasa microbiana y el flujo de los principales nutrientes a través de esta biomasa, que constituye no sólo una de las fracciones más lábiles de la materia orgánica sino también una reserva de nutrientes que se pone a disposición de las plantas a la muerte de los microorganismos.

Para la medida de la actividad de la población microbiana pueden usarse diversos índices, siendo los más comunes la tasa de respiración, la medida de actividades enzimáticas específicas y la medida de la carga de energía adenilato.

La tasa de respiración, midiendo el oxígeno consumido o el CO₂ desprendido en la oxidación de la materia orgánica, es una técnica que se usa con mucha frecuencia, no sólo para medir la actividad biológica global del suelo, sino también para la determinación de la cinética de mineralización de la materia orgánica del suelo o de una sustancia determinada añadida al suelo. Mediante esta técnica se puede hacer el seguimiento del metabolismo de la sustancia añadida y la incorporación de los metabolitos en los distintos compartimentos de la materia orgánica o del nitrógeno o fósforo orgánicos del suelo, cuando esta sustancia está marcada con isótopos radiactivos o estables del carbono, nitrógeno o fósforo.

La medida de la tasa de respiración suele hacerse en respirómetros, algunos de los cuales pueden utilizarse también para estudiar la cinética de mineralización del nitrógeno orgánico del suelo, midiendo el nitrógeno inorgánico del suelo a diferentes intervalos de tiempo. Igual que en el caso del C, puede hacerse el seguimiento del metabolismo de diversas sustancias nitrogenadas y la incorporación de los metabolitos en los mismos compartimentos, utilizando sustancias marcadas con isótopos radiactivos o estables.

La medida de la actividad enzimática de determinadas enzimas no se correlaciona con la tasa de respiración o con el número de microorganismos debido a que cada medida responde a procesos metabólicos o ciclos de nutrientes específicos. Para evaluar la actividad microbiana se han propuesto diversas ecuaciones que combinan la actividad de varias enzimas. La actividad de las enzimas se mide *in vitro*, bajo condiciones controladas.

La diversidad de la comunidad microbiana se determina actualmente por técnicas que no conllevan el uso de medios de cultivo y que permiten el análisis estructural y funcional de la totalidad de las comunidades microbianas. Entre estas técnicas se encuentran el análisis de ácidos grasos de los fosfolípidos, el análisis de ácidos nucleicos (ADN y ARN) usando técnicas de biología molecular adaptadas para este fin y los métodos de análisis de la diversidad funcional tales como el BIOLOG.

Tanto en los suelos agrícolas como en los forestales, el mantenimiento de la productividad, directamente relacionada con la calidad o salud del suelo, es esencial para el desarrollo sostenible. El concepto de calidad o salud del suelo se identifica con la "capacidad del suelo para funcionar como un sistema viviente vital, para sostener la productividad biológica, promover la calidad del aire y del agua y mantener la salud de plantas, animales y hombres". Por el contrario, la degradación del suelo es definida por la FAO como "un proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir cuantitativa y/o cualitativamente bienes y servicios". Significa, por lo tanto una pérdida de calidad, que puede deberse a cambios adversos en las propiedades físicas, químicas o biológicas, cambios que en la naturaleza puede producirse simultáneamente. La búsqueda de indicadores de la calidad o de la degradación de los suelos es un objetivo nada fácil de alcanzar por el número de parámetros y propiedades del suelo implicados y porque estos indicadores han de ser buenos, sensibles y fáciles de medir y de interpretar. La materia orgánica, que interviene en la mayor parte de los procesos edáficos fundamentales para el buen funcionamiento del ecosistema, puede ser un buen indicador de la calidad del suelo porque su pérdida cuantitativa o cualitativa advierte de una posible degradación del suelo; sin embargo, en muchos casos estas variaciones no son fáciles de poner de manifiesto de forma rápida. A falta de un indicador general, se utiliza el análisis de diferentes parámetros físicos, físico-químicos o químicos para detectar diferentes tipos de degradación.

Teniendo en cuenta que la distribución y densidad de la población microbiana vienen determinadas por un conjunto

de factores bióticos y abióticos y que, por consiguiente, los microorganismos reflejan las condiciones del medio, cuando el ecosistema es alterado, bien por causas naturales bien por la acción del hombre, la comunidad microbiana, que presenta una elevada tasa de renovación, va a reaccionar rápidamente para adaptarse a las nuevas condiciones del medio. Algunos microorganismos morirán y otros sobrevivirán y proliferarán, observándose como resultado final cambios en su composición cuantitativa y cualitativa, que se reflejarán en una nueva estructura de la comunidad, y cambios en el funcionamiento de la comunidad microbiana. Por esta razón, el uso de los parámetros microbiológicos como indicadores de la calidad o de la degradación del suelo presentan muchas ventajas sobre los parámetros físicos y químicos porque permiten evaluar globalmente la influencia de los múltiples factores que interactúan en el medio edáfico y son indicadores muy sensibles, capaces de detectar a muy corto plazo la degradación producida por mecanismos y procesos diversos.

Para contrarrestar los inconvenientes que pueden presentar estos indicadores biológicos es imprescindible determinar previamente el nivel de base del parámetro utilizado y su variación natural. Asimismo, para determinar si el impacto de un proceso de degradación sobre la microbiota edáfica es significativo, se pueden utilizar como criterios la magnitud del impacto y la duración del mismo.

La aplicación de productos fitosanitarios en los bosques, la proximidad de estos a determinadas fábricas, minas, carreteras, los incendios forestales, el uso de retardantes u otros productos en la extinción de los incendios, la lluvia ácida, etc., puede conducir a la contaminación del suelo con metales pesados u otros productos que pueden ser tóxicos para los microorganismos o pueden causar modificaciones importantes en el medio edáfico que, en general, conducen a diversos tipos de degradación del suelo.

En todos estos casos pueden utilizarse como indicadores de calidad o de degradación del suelo los parámetros microbiológicos definidos anteriormente, aunque en cada caso será más eficiente uno u otro.

La calidad del suelo, así como las modificaciones producidas en el medio, en particular la variación del contenido y calidad de la materia orgánica del suelo, o el posible efecto de sustancias adicionadas al suelo, pueden detectarse determinando el número de microorganismos, particularmente el recuento de viables, la biomasa microbiana, la actividad metabólica y las actividades enzimáticas.

Para la detección de la contaminación química por metales pesados pueden utilizarse las medidas de biomasa y actividad microbianas, así como el recuento de microorganismos sensibles y tolerantes a la contaminación. Sin embargo, para detectar la toxicidad y tolerancia de toda la comunidad bacteriana a los metales pesados existen técnicas más específicas, tales como las de incorporación de substratos marcados como timidina marcada con tritio y leucina marcada con ^{14}C . La medida de la tolerancia microbiana a los metales pesados, expresada en función de la concentración del metal que produce un determinado

descenso en la actividad microbiana, es un parámetro muy eficaz para detectar y cuantificar la presencia de metales pesados en el suelo y para determinar la concentración límite a partir de la cual el ecosistema edáfico puede considerarse dañado.

Otro índice microbiológico que puede usarse para la detección de suelos contaminados por metales pesados o para estudiar el efecto positivo o negativo de determinadas sustancias, por ejemplo, las usadas en la extinción de los incendios, es la diversidad microbiana, es decir, todos los métodos descritos para la determinación de la estructura de la comunidad microbiana: análisis de ácidos grasos de los fosfolípidos, análisis de ADN (ensayo de hibridación cruzada, perfiles de desnaturalización del ADN y distribución de las bases en el ADN) y el método de la diversidad funcional, BIOLOG.

Para detectar el impacto de los incendios forestales sobre el suelo, los índices microbiológicos más eficaces son la biomasa microbiana, el recuento de microorganismos, la mineralización del carbono y nitrógeno orgánicos, las actividades enzimáticas, la actividad bacteriana medida por los métodos de incorporación celular de timidina y leucina y la estructura de la comunidad microbiana. En este caso, el estudio de los componentes de la materia orgánica y del nitrógeno orgánico dan también una excelente información sobre los efectos de los incendios sobre el suelo.

Bibliografía

- Acea, M.J., Carballas, T. (1990). Principal component analysis of the soil microbial population of humid zone of Galicia (Spain). *Soil Biol. Biochem.* 22, 749-759.
- Alef, K., Nannipieri, P. (1995). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, Londres.
- Bååth, E., Frostegård, Å., Díaz-Raviña, M., Tunlid, A. (1998). Microbial community-based measurements to estimate heavy metal effects in soil: the use of phospholipid fatty acid patterns and bacterial community tolerance. *Ambio* 27, 58-61.
- Basanta, M.R., Díaz-Raviña, M., Carballas, T. (2003). Microbial biomass and metabolic activity in a forest soil treated with an acrylamide copolymer. *Agrochimica* 47, 9-13.
- Basanta, M.R., Díaz-Raviña, M., Cuiñas, P., Carballas, T. (2004). Field data of microbial response to a fire retardant. *Agrochimica* 48, 51-60.
- Basanta, M.R., Díaz-Raviña, M., González-Prieto, S.J., Carballas, T. (2002). Biochemical properties of forest soils as affected by a fire retardant. *Biol. Fertil. Soils* 36, 377-383.
- Carballas, M., Carballas, T., Jacquin, E. (1979). Biodegradation and humification of organic matter in humiferous atlantic soils. I. Biodegradation. *An. Edafol. Agrobiol.* 38, 1699-1717.
- Carballas, T. (2003). Los incendios forestales. En: *Reflexiones sobre el medio ambiente en Galicia* (J.J. Casares Long, coordinador), Xunta de Galicia, Santiago de Compostela, 361-415/545-547.

- Coine, M. (2000). *Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio*. Editorial Paraninfo, Madrid.
- Díaz-Raviña, M., Acea, M.J., Carballas, T. (1993). Microbial biomass and its contribution to nutrients in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 25, 25-31.
- Díaz-Raviña, M., Bååth, E., Martín, A., Carballas, T. (2004). Microbial community structure in forest soils treated with a fire retardant. *Bioresource Technology* (enviado).
- Díaz Raviña, M., Carballas, T., Acea, M.J. (1988). Microbial biomass and metabolic activity in four acid soils. *Soil Biol. Biochem.* 20, 817-823.
- Díaz-Raviña, M., Prieto, A., Acea, M.J., Carballas, T. (1992). Fumigation-extraction method to estimate microbial biomass in heated soils. *Soil Biol. Biochem.* 24, 190-195.
- Fernández, I., Cabaneiro, A., Carballas, T. (1999). Carbon mineralization dynamics in soils after wildfires in two Galician forests. *Soil Biol. Biochem.* 31, 1853-1865.
- Fisher, R.F., Binkley, D. (2000). *Ecology and management of forest soils*. 3ª ed. J.Wiley & Sons, Nueva York.
- González-Prieto, S.J., Carballas, M., Carballas, T. (1991). Mineralization of a nitrogen-bearing organic substrate model (^{14}C , ^{15}N -glycine) in two acid soils. *Soil Biol. Biochem.* 23, 53-63.
- González-Prieto, S.J., Carballas, M., Carballas, T. (1992). Incorporation of the degradation products of labelled glycine in the various forms of organic carbon and nitrogen of two acid soils. *Soil Biol. Biochem.* 24, 199-208.
- González-Prieto, S.J., Villar, M.C. (2003). Soil organic N dynamics and stand quality in *Pinus radiata* pinewoods of the temperate humid region. *Soil Biol. Biochem.* 35, 1395-1404.
- Leirós, M.C., Trasar Cepeda, C., Seoane, S., Gil Sotres, F. (1999). Defining the validity of a biochemical index of soil quality. *Biol. Fertil. Soils* 30, 140-146.
- Pankhurst, C., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. (1998). *Biological indicators of soil health*. Cab International.
- Paul, E.A., Clark, F.E. (1989). *Soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, Londres.
- Pennanen, T. (2001). Microbial communities in boreal coniferous forest humus exposed to heavy metals and changes in soil pH—a summary of the use of phospholipid fatty acids, Biolog and ^3H -thymidine incorporation methods in field studies. *Geoderma* 100, 91-126.
- Ritz, K., Dighton, J., Giller, K.E. (1994). *Compositional and functional analysis of soil microbial communities*. John Wiley & Sons, Nueva York.
- Saá, A., Trasar-Cepeda, M.C., Carballas, T. (1998). Soil P status and phosphomonoesterase activity of recently burnt and unburnt soil following laboratory incubation. *Soil Biol. Biochem.* 30, 419-428.
- Tate, R.L. (2000). *Soil microbiology and biochemistry*. Wiley & Sons, Nueva York.
- Trasar Cepeda, C., Leirós de la Peña, M.C., García Fernández, F., Gil Sotres, F. (2000). Biochemical properties of the soils of Galicia (N.W Spain): Their use as indicators of soil quality. En: *Research and perspectives of soil enzymology in Spain* (C. García y M.T. Hernández, eds.), Cap. 3, 147-173 (español), 175-206 (inglés). CSIC y CEBAS, Murcia.
- Trasar Cepeda, C., Leirós, M.C., Gil Sotres, F., Seoane, S. (1998). Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. *Biol. Fertil. Soils* 26, 100-106.
- Vázquez, F.J., Acea, M.J., Carballas, T. (1993). Soil microbial populations after wildfire. *FEMS Microbiol. Ecol.* 13, 93-104.

Francisco J. Fernández de Ana-Magán

El papel de los hongos en los suelos forestales

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

Introducción

Los hongos forman un grupo de seres vivos talófitos eucariontes desprovistos de clorofila que en número superior a 69.000 especies conocidas forman una importante muestra de un inmenso conjunto, por conocer en buena medida, que se estima en 1,6 millones de especies (Hawksworth 1983). Este mismo autor nos dice que la diversidad morfológica y de adaptación ambiental de los hongos es reflejada en el espectacular éxito en términos de biomasa, en el número de especies, en la variedad de los habitats ocupados y en la capacidad de simbiosis con otros microorganismos, plantas o animales.

De acuerdo con los más recientes criterios, los hongos tienen un origen Precámbrico donde se extendieron en el mar, primero en aguas saladas y luego en aguas dulces, para posteriormente en el Devónico colonizar la tierra firme. Este paso debió suponer un serio problema de desecación por lo que posiblemente actuaron como endofitos de las primeras plantas. (R.C Cooke 1993)

De este conjunto fúngico, el reino de los hongos, una parte muy importante viven en los suelos y de forma más concreta se presentan aquellos que viven en medios forestales; estos medios vienen caracterizados, tanto por las especies vegetales allí presentes como por los sistemas de tratamiento de las mismas en amplios turnos de corta que permiten a los hongos completar largos ciclos biológicos.

Es importante anotar que la gran mayoría de los hongos que viven en los suelos forestales no llegan a ser visibles a simple vista, ya que su parte vegetativa está constituida por un conjunto de células filamentosas denominadas hifas de tamaño microscópico que se ramifican; el conjunto de hifas constituye el micelio y que da lugar a una colonia; la colonia ya se pueden observar a simple vista presentando colores variables y tamaños visible a simple vista en la mayoría de los casos. En algunas especies su micelio puede alcanzar grandes dimensiones y vivir largos periodos de tiempo. Es destacable el caso de una colonia de *Armillaria bulbosa* detectada en Michigan (USA) que se extiende en el suelo en una en un área de 20 km² de bosque; a esta colonia se le calculó una edad de 1.500 años, de tal forma que se le considera uno de los seres vivos de mayor tamaño y con más edad del planeta tierra.

La biomasa fúngica puede alcanzar grandes proporciones en relación con la totalidad de la biomasa producida en un bosque. Fogel y Hunt (1979) cuantificaron esta biomasa por hectárea en un bosque de *Pseudotsuga douglasii* en Oregón (USA); de un total de 32.324 Kg de biomasa medida, 6.991 Kg pertenecían a mantos micorrícicos, 2.323 Kg eran de carpóforos y otras fructificaciones fúngicas y 7.106 Kg de hifas de hongos, lo que supone un 50,8 % del total de biomasa producida.

En una segunda etapa de desarrollo de estos seres destinada a la reproducción aparecen, en algunas de estas especies, estructuras formadas por los carpóforos que se pueden hacer visibles al alcanzar tamaños macroscópicos y formas muy características. Estos carpóforos pueden ser epígeos o hipógeos según se encuentren sobre o bajo el nivel del suelo aportando algunas especies cantidades importantes de elementos gastronómicos de alto valor económico como pueden ser las trufas o las setas comestibles.

La gran adaptación de estos seres al medio suelo viene dada, entre otras razones, por su gran capacidad de reproducción y por la diversidad de sistemas sexuales y asexuales que pueden utilizar. Las esporas son los

elementos esenciales en este proceso reproductor y a partir de ellos se forman las estructuras vegetativas propias de estos seres (hifas y micelios). Estas esporas pueden formarse en un proceso sexual (meiosporas) o vegetativo (mitosporas).

Las esporas por su tamaño microscópico pueden ser transportadas con facilidad por muy diversos vectores de tal forma que se extienden fácilmente en el suelo mediante el agua, el aire, los insectos o el propio hombre. En muchos casos estas esporas adaptan formas más adecuadas para vivir en un determinado medio (zoosporas) o resistir en otros más adversos (clamidosporas).

Las esporas tienen generalmente una baja actividad metabólica. Su estructura externa más o menos impermeable, al igual que la de las semillas de las plantas, presentan formas y sistemas protectores que pueden constituirse con varias capas, muy variables en forma y naturaleza, que les permiten soportar condiciones desfavorables, germinando cuando las condiciones ambientales son las idóneas para hacerlo o los estímulos producidos por elementos químicos segregados por otros seres que están presentes. En estas condiciones la germinación de las esporas puede retrasarse, pasando por largos períodos de hibernación o letargo que pueden llegar a los 75 años en algunas especies, o producirse en poco tiempo por encontrar las condiciones idóneas.

Con estas facilidades de reproducción las especies fúngicas sufren fuertes adaptaciones al medio presentándose mutaciones que permiten adaptarse a un nuevo medio, resistir ataques o conquistar a nuevos hospedantes antes resistentes.

¿Cómo viven los hongos en los suelos?.

La principal característica que define a los hongos desde el punto de vista de la nutrición es la ausencia de clorofila, lo que reduce las posibilidades nutricionales a la heterotrofia. Al carecer de la capacidad de síntesis de compuestos orgánicos a partir del CO₂ atmosférico por medio de la fotosíntesis, necesitan conseguir los compuestos de carbono ya elaborados previamente por otros seres vivos.

Esta ausencia de clorofila en los hongos junto con la presencia de quitina los hace más parecidos a un animal que a un vegetal, lo que nos indica que son fundamentalmente descomponedores de la materia orgánica, aunque pueden presentar otras estrategias nutritivas de enorme importancia ecológica tales como el parasitismo y la simbiosis.

En estas relaciones nutritivas las diferentes especies fúngicas se especializan en los suelos forestales y se presentan formadas colonias de mayor o menor número de especies dependiendo de las características del suelo, de otras condiciones del medio natural y de las especies vegetales en las instaladas. Estas colonias no son estables y forman asociaciones entre ellas que varían formando sucesiones en número y tipo de especies dependiendo de las condiciones del medio (micotopo) en donde se desarrollan.

Los hongos saprófitos.

Se denominan saprofitos los hongos que obtienen el carbono a partir de material vegetal, fúngico o animal, en vías de descomposición. A este grupo pertenecen la inmensa mayoría de los hongos que junto con las bacterias y algunos animales constituyen el sistema autodepurador de la naturaleza ya que degradan las moléculas complejas en moléculas más simples hasta los elementos y compuestos que de nuevo serán empleados por las plantas. Una de estas moléculas compleja abundantes en los ecosistemas forestales es la celulosa y ahí juegan los hongos un importante papel descomponedor de la misma.

Para este proceso de hidrólisis, estos seres vivos están dotados de unas encimas extracelulares capaces de atravesar las paredes de los hongos y difundirse en el medio, facilitando la descomposición de la materia orgánica en moléculas más simples capaces de ser asimiladas por el hongo.

El papel que juegan estos hongos en el medio forestal es determinante para la evolución de la gran cantidad de materia orgánica que en ellos se acumula procedente de la defoliación de la masa arbórea, la producción del sotobosque o el material acumulado en la formación radical.

Los hongos parásitos.

Una forma de vida de algunos hongos viene dada por su capacidad de alimentarse a cuenta de otros seres vivos. Cuando esto sucede se les denomina parásitos. Si un parásito causa daño al hospedante le denominamos patógeno ya que son hongos parásitos de las plantas que en este caso al tomar alimento de ellas le causan un daño y pueden producir la muerte de las mismas.

Estos hongos tienen la capacidad de interferir las actividades fisiológicas de las plantas atacadas incrementando su sensibilidad a este daño. Normalmente presentan una gran diversidad genética debido a su posibilidad de mutación; esta diversidad les permite adaptarse fácilmente a diferentes medios y al mismo tiempo les permite parasitar plantas que en otro momento eran resistentes.

Algunos de estos hongos patógenos pueden atacar a un gran número de especies, mientras que otros solamente atacan a una especie determinada.

Los hongos micorrícicos.

La simbiosis constituye una forma de nutrición en la que los hongos se asocian a otro ser vivo para intercambiar sustancias de las que se benefician las dos partes. En el caso de las plantas esta aporta a la asociación a más de un nicho ecológico, los hidratos de carbono procedentes de la fotosíntesis que serán la fuente de alimento principal del hongo. Por otro lado el hongo actúa como órgano de absorción, acumulación y traslocación de agua y nutrientes tomados del suelo hacia la planta, realizando además otras funciones como la producción de encimas, vitaminas, hormonas y otros compuestos que influyen en el desarrollo de la raíz y que pueden ejercer una función protectora sobre la planta ante situaciones de deficiencia.

Existen varios tipos de micorrizas dependiendo de las características morfológicas y taxonómicas de los hongos y de las plantas que constituyen la asociación pero en el caso que nos ocupa daremos preferencia a las ectomicorrizas por ser estas las que se presentan con mayor frecuencia en los árboles que forman las masas forestales de Galicia, aunque algún otro tipo, como las vesículo-arbusculares, también están presentes en alguna otra de las especies forestales.

Las ectomicorrizas pueden observarse a simple vista sobre las raíces finas de los árboles que se encuentran en la parte más superficial del suelo donde la actividad de nutrición de la planta es mayor. Estas formaciones se observan bien en otoño que es cuando se presentan en su máximo desarrollo.

Estas micorrizas se presentan de forma general como engrosamientos de las partes terminales de estas raíces nutritoras adquiriendo formas y colores variados. Su estructura exterior recubriendo la raíz forma con hifas del hongo una capa continua que se denomina el manto y que puede tener espesores diferentes. Ya en el interior del espacio radical encontramos hifas que se sitúan en los espacios intercelulares y que se conoce como la red de Hartig. De forma especial encontramos hifas que se extienden a través del suelo y que prospectan la zona perirradicular con misión de transporte de alimentos.

Dentro de las misiones de obtención de alimentos las micorrizas llegan a captar hasta un 60% más de agua para la planta gracias a ese micelio que se desarrolla en la zona perirradicular lo que evitará en buena medida los problemas de desecación que esta pueda sufrir.

El fósforo es otro de los elementos minerales que la micorriza es capaz de obtener del suelo aún en casos de escasa presencia de este. En suelos ácidos este elemento puede estar en fuentes no asimilables que imposibilitan a la planta su absorción de forma normal. Algo similar sucede con otros elementos como el potasio, el zinc o el sodio.

Pero a más de estas funciones nutricionales las ectomicorrizas protegen a la planta por crear en las raíces una barrera física que constituye el manto fúngico y por la emisión de sustancias antibióticas y compuestos fungistáticos contra determinados patógenos telúricos impidiendo el establecimiento de muchos agentes nocivos.

La utilidad de los hongos en el medio forestal.

Como hemos visto con anterioridad, las posibilidades de actuación de los hongos en el medio forestal son múltiples y su manejo adecuado permitirá obtener unos buenos rendimientos o evitar daños importantes para lograr una mayor rentabilidad económico-social de las masas instaladas. En este sentido y dada la extensión de la temática nos ceñiremos a presentar diferentes casos prácticos en los tres tipos o formas de alimentación de estos seres (Fernández de Ana-Magán & Rodríguez Fernández 2000).

En el caso de los hongos patógenos tomaremos como referencia a algunos específicos que atacan y dañan a las especies forestales a través de la raíz; estos pueden presentar formas microscópicas, tales como los pertenecientes al género *Phytophthora*, o las formas macroscópicas de aquellos otros que son responsables de la destrucción radical de muchas plantas arbóreas, como los del género *Armillaria*, que presentan grandes carpóforos superficiales y cuyos largos rizomorfos son perfectamente visibles en el suelo. Cada uno de ellos requiere unas condiciones especiales del suelo en donde se desarrollan con facilidad y que aprovechando las condiciones adversas del medio para la planta actúan dañando a la misma.

También haremos una breve incidencia en la función que desarrollan los hongos micorrícicos en estos suelos tanto desde el punto de vista de recuperación de áreas degradadas como de aportación a la planta para mejorar su vitalidad y producción. Dentro de esta función de micorrización dedicaremos una primera parte a conocer algún ejemplo de interrelación planta-hongo y posteriormente dedicaremos una especial atención a la producción de carpóforos comestibles en ensayos con *Boletus edulis* en plantaciones de castaños.

Ya por último analizaremos la incidencia de factores externos como el fuego, la contaminación o las labores selvícolas en la alteración de los micotopos de los suelos forestales presentando un trabajo sobre *Leptoglyphum galleciae* y su controlador natural *Trichoderma viride*.

Bibliografía

- Cooke R.C. , Whipps J.M. (1993) Ecophysiology of Fungi. Blackswell Scientific Publications. Oxford.
- Fernández de Ana-Magán F.J., Rodríguez Fernández A. (2000). Os fungos nos ecosistemas forestais galegos. Xerais. Vigo
- Hawsksworth, D.L, Sutton,B.C. & Ainsworth, G.C. (1983) Dictionary of the Fungi. Kew, Commonwealth Mycological Institute.

Roque Rodríguez Soalleiro

Condiciones de las masas forestales y su relación con las propiedades de los suelos I

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

Introducción

Las propiedades de los suelos condicionan de forma directa a las masas forestales existentes, tanto en el caso de masas naturales como en plantaciones. Se ha considerado que las propiedades que tienen una incidencia directa son en particular: profundidad, permeabilidad, capacidad de retención de agua, fertilidad, y determinadas propiedades que informan de la posible presencia de disfunciones por la presencia de sustancias tóxicas o inhibidoras de la nutrición o absorción de agua: salinidad, presencia de caliza activa y reacción del suelo (Serrada, 1997).

Profundidad del suelo

La profundidad del suelo, definida en el sentido de profundidad efectiva, resulta un buen indicador del volumen de suelo disponible por los sistemas radicales. En masas naturales puede indicarse que la profundidad afecta directamente el grado de desarrollo del arbolado, de forma que resulta clásica la consideración de la exigencia en profundidad de muchas especies frondosas para desarrollarse en altura plenamente (Lanier, 1994).

En plantaciones, la profundidad del suelo resulta una variable de primera importancia en los modelos explicativos y predictivos del crecimiento. Se han obtenido resultados en este sentido para numerosas especies, en particular en Galicia con pino pinaster (Bará y Toval, 1983; Sánchez et al, 2001; Merino et al, 2003).

Es importante considerar que además de la profundidad, el volumen de suelo disponible para las raíces viene condicionado por la presencia de tierra fina, por lo que el porcentaje de elementos gruesos (gravas y gravilla), se relaciona de forma inversa con el crecimiento de plantaciones, aspecto que se ha estudiado en choperas o eucaliptares. La pedregosidad elevada reduce por tanto el volumen de suelo disponible.

Se han citado con frecuencia casos de plantaciones de crecimiento muy limitado debido a la presencia de suelos esqueléticos, como es el caso de *Pinus sylvestris* plantado en lomas pedregosas en la provincia de Ourense (Martínez, 2004). Resulta por tanto importante en este sentido tener un conocimiento general de los valores mínimos de profundidad requeridos y del objetivo concreto de la repoblación que se está realizando. Cabe mencionar en este sentido que muchos terrenos que soportan pastos de montaña no podrían plantarse con un objetivo económico con especies que requieran cierta profundidad del suelo. En plantaciones con objetivo netamente productivo, debe contarse con un suelo de profundidad suficientemente grande como para obtener crecimientos que permitan rentabilizar las inversiones.

El método de preparación más efectivo para incrementar la profundidad efectiva del suelo es el subsolado, posible cuando la roca es disgregable o cuando un horizonte compacto natural o artificialmente limita esa profundidad efectiva. Es importante en este caso aplicar el trabajo a suficiente profundidad, lo que condiciona la maquinaria, el apero y la dirección del trabajo.

Permeabilidad y capacidad de retención de agua

La permeabilidad evalúa la posibilidad de respiración de las raíces de las plantas, y viene condicionada directamente por la textura y estructura del suelo. La abundancia de limo favorece la presencia de microporos por los que el agua no drena al quedar retenida por capilaridad. La riqueza en

Profundidad	Calificación	<i>Pino pinaster</i>	<i>Pino radiata</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>
< 90 cm	Muy alta	Sin limitación	Posible uso	Posible uso
60 a 90 cm	Alta	Sin limitación	Posible uso	Posible uso
30 a 60 cm	Mediana	Calidades medias	Bajas calidades	Posible uso menor crecimiento
< 30 cm	escasa	Peores calidades	No plantar	Mayor incidencia de plagas

Tabla 1.- La profundidad resulta limitante en muchos suelos forestales, pudiendo emplearse la siguiente clasificación

arcilla, particularmente en suelos pobres en materia orgánica, favorece la compactación, especialmente si el suelo es muy pedregoso. Pueden emplearse para la cuantificación de la permeabilidad los coeficientes CCC y CIL, capacidad de cementación y coeficiente de impermeabilidad debida al limo (Gandullo, 1994), a partir de los cuales se cuantifica en una escala de 1 a 5.

La falta de permeabilidad actúa como limitante en el área de distribución natural de distintos pinos españoles, particularmente *Pinus pinaster* ssp atlantica, que es relativamente estenótico, *Pinus pinaster* ssp mediterránea y *Pinus pinea*, si bien estos últimos son más eurioicos, de forma que otros factores edáficos pueden compensar en parte la falta de permeabilidad (Gandullo y Sánchez, 1994).

El encharcamiento del suelo derivado de su permeabilidad y de la fisiografía es una circunstancia en general negativa para el crecimiento y supervivencia de las plantaciones forestales, habiéndose establecido con claridad la escasa resistencia de especies como *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus radiata* o *Eucalyptus globulus*. La reducción de la aireación del suelo limita el crecimiento radical y resulta coincidente con una elevada disponibilidad de N en el suelo (Sánchez et al, 2001). En las condiciones gallegas *Pinus pinaster* puede aceptar un cierto encharcamiento, al menos con mayor facilidad que otros pinos de crecimiento rápido. El castaño del país presenta una mayor incidencia de tinta en suelos con exceso de humedad. Puede destacarse la concepción equivocada de los chopos como especies de plantación en terrenos que se encharcan de modo prolongado. De cara a la elección de especie para plantación es importante determinar cuánto se prolonga el encharcamiento y la proximidad de la zona afectada a cursos de agua (posible uso de especies ripícolas).

La capacidad de retención de agua depende de la textura (mejor en las más arcillosas y limosas), la materia orgánica, la pedregosidad, la pendiente, y la presencia de capas inferiores impermeables (Serrada, 1997). Este parámetro determina de forma fundamental la composición y crecimiento de la vegetación, en combinación con el régimen de precipitaciones. Una elevada CRA compensa la existencia de una sequía estival marcada, de forma que la duración del periodo seco puede calcularse a partir de balances hídricos. CRA es calculable para cada horizonte del suelo, y toma valores variables en general entre 0 y 200 mm.

Se ha demostrado la reducción del crecimiento de las plantaciones incluso en condiciones de clima relativamente húmedo del norte de España, como en el caso del eucalipto (Merino et al, 2003). La mayoría de los pinos españoles presentan un crecimiento muy afectado por este parámetro del suelo (Gandullo y Sánchez, 1994). Un ejemplo de la compensación de deficiencias hídricas estivales en suelos profundos de adecuada CRA puede ser el elevado crecimiento de algunas plantaciones de *Pinus radiata* en Cataluña y Andalucía (Romanyà y Vallejo, 2004). Para las plantaciones de chopo fuera de valle (*Populus trichocarpa* y *Populus x interamericana*) en áreas atlánticas se recomienda seleccionar suelos con CRA > 100 mm (Souleres, 1992).

Numerosos procesos de preparación del suelo se encaminan fundamentalmente a incrementar la capacidad de retención de agua, ya sea aumentando la profundidad útil del perfil (subsolados) o bien afectando a la pendiente y reduciendo la escorrentía (acaballados, aterrizados).

Fertilidad

Indica la mayor o menor existencia de elementos minerales, distinguiéndose 10 macronutrientes (C, H, O, P, K, N, S, Ca, Fe, Mg) y numerosos micronutrientes (Cu, Zn, B, Mo, Mn, Cl). De los macronutrientes, C, H y O se toman por fotosíntesis, N, P y K son a menudo deficientes (formulaciones típicas de los fertilizantes), un tercer grupo es abundante en unos suelos y escaso en otros (Ca y Mg) y un cuarto grupo incluye nutrientes que suelen ser suficientes (S y Fe). La calificación de la fertilidad debe referirse al uso del suelo.

En cuanto a concentraciones de elementos asimilables, y referido a plantaciones forestales, los límites que indican suelos pobres en nutrientes son 15 ppm de P (Mehlich), 50 ppm de K, 20 ppm de Mg y 60 ppm de Ca. En plantaciones jóvenes y segundas rotaciones se aprecian con frecuencia deficiencias nutritivas (Bará, 1998), derivadas normalmente de extracciones que no pueden reponerse con los aportes atmosféricos o la alteración de la roca. Problemática especial con P, Ca y Mg en Galicia. Esto es particularmente problemático en suelos pobres y bajo clima lluvioso. La importancia de la materia orgánica, y particularmente del mantillo y restos de corta como fuente de nutrientes

derivada de su descomposición es generalmente aceptada (González Prieto y Villar, 2003; Ouro et al, 2002).

Reacción del suelo

El valor del pH del suelo incide directamente en la descomposición de la materia orgánica y en la asimilabilidad de determinados nutrientes. En suelos muy ácidos la descomposición de restos orgánicos será muy lenta y la nutrición en P es problemática por la formación de fosfatos insolubles de Fe y Al. Lógicamente el pH se relaciona directamente con la fertilidad, ya que los suelos ácidos tienen desaturado el complejo adsorbente. Además, en los suelos gallegos el Al^{+3} resulta muy abundante y desplaza a los cationes alcalinos y alcalinotérreos. El pH de los suelos gallegos se encuentra con mucha frecuencia tamponado en valores de 4 a 5. Niveles inferiores a 4 serían de extrema acidez. Los mejores crecimientos y desarrollo de las plantaciones forestales del norte de España se encuentran en general en valores próximos a 6.

Este parámetro químico es el que mejor permite discriminar los hábitats naturales de los pino españoles, de forma que Gandullo y Sánchez (1994) agrupan las especies de la siguiente forma: *Pinus pinaster atlantica* y *Pinus radiata*, umbral inferior menor de 5 y superior menor de 6, grupo de especies de mayor eurioicidad, que incluye a *P. canariensis*, *P. pinaster mediterránea*, *P. pinea* y *P. sylvestris*, con UI < 6, medias entre 6,5 y 7 y Us entre 7,3 y 8,3. *Pinus nigra hispánica* sería especie basófila, pero ese carácter estaría todavía más marcado en *P. halepensis* y *P. nigra* (UI > 7,5 y US > 8). El pH es una de las variables que con mayor frecuencia se emplean en ecuaciones predictivas de la productividad, como las plantaciones de *Pinus radiata* en Galicia (Sánchez et al, 2002).

No ha sido frecuente en plantaciones forestales aplicar tratamientos de corrección de pH como los encalados, ue si se han aplicado de forma generalizada para establecer pastizales de monte. Recientemente sin embargo se han establecido ensayos y algunas plantaciones con ese tipo de tratamiento. Resulta en este sentido de interés el posible uso de cenizas de carteza arbórea procedente de las industrias forestales, que tienen capacidad para incrementar el pH, además de aportar cantidades considerables de K, Ca, Mg y otros nutrientes (Solla et al, 2004).

Abundancia de caliza activa

Puede dar lugar a disfunciones, debido al antagonismo entre Ca y K y también entre Ca y Fe. El primero es especialmente fuerte en las especies denominadas calcifugas, mientras que en otras el antagonismo es casi nulo (Serrada, 1997). Se valúa mediante la concentración de carbonato cálcico finamente dividido, evaluando en cada horizonte. Se considera el suelo totalmente descarboxatado si el % de caliza activa es inferior a 2,5, bastante descarboxatado con 2,5 a 10%, algo descarboxatado de 10 a 20, poco de 20 a 40 y nada si >40%.

Para las especies de pino españolas se definen claramente

dos grandes grupos, siendo el segundo el que agrupa especies no calcifugas (*P. halepensis*, *P. nigra hispanica* y *P. nigra pyrenaica*). Es destacable el hecho de que en áreas de clima lluvioso incluso en suelos asentados sobre calizas la descarboxatación es muy fuerte, por lo este parámetro no resulta de gran relevancia.

Salinidad

Resulta relevante por la importancia del potencial osmótico en los procesos de absorción de agua, así como el papel del Na como inhibidor de la absorción de otros nutrientes, particularmente el K. Se evalúa mediante la conductividad eléctrica en extracto de pasta saturada. Las circunstancias más problemáticas se derivan de la presencia de margas salinas, capas freáticas salobres o riego con aguas salobres. La presencia de yesos (sulfato cálcico) también se relaciona con la salinidad, aunque en menor medida. La salinidad del suelo es un problema de gran relevancia en casi toda España, salvo en climas húmedos. Para muchas especies forestales se ha destacado su presencia sobre yesos (*Quercus faginea*, *Pinus halepensis* en cierta medida) (Ceballos y Ruíz de la Torre, 1979).

Suelos intrazonales

Existen algunos casos concretos de suelos que dan lugar a problemas de arraigo de repoblaciones, particularmente en la España atlántica. Las turberas se producen en medios mal aireados, saturados en agua de forma permanente o casi permanente (Gley de anmoor). Los suelos en este caso están formados por restos orgánicos y determinan en general pobres resultados de crecimiento de las plantaciones (caso de *Pinus sylvestris* en la Sierra del Xistral), a lo que debe añadirse la importancia ecológica de estas formaciones. Los suelos sobre serpentinitas, rocas metamórficas ultrabásicas, si bien poco frecuentes, dan lugar a problemas de crecimiento derivados del antagonismo entre el Mg, muy abundante en estos casos, y el P. Las plantaciones de *P. radiata* presentan entonces pobres crecimientos.

Bibliografía

- Bará, S. , Toval, G. (1983). Calidad de estación del *Pinus pinaster* Ait. en Galicia. Comunicaciones INIA, nº 24, Madrid.
- Bará, S. (1998). Fertilización forestal. Consellería de Agricultura. Xunta de Galicia, 166 pp.
- Ceballos, L. , Ruíz de la Torre, J. (1979). Árboles y arbustos de la España Peninsular. Fundación Conde del Valle de Salazar. UPM, 512 pp.
- Gandullo, J.M., Sánchez Palomares, O. (1994). Estaciones ecológicas de los pinares españoles. ICONA. Madrid, 188 pp.
- González-Prieto, S., Villar, MC. (2003). Soil organic N dynamics and stand quality in *pinus radiata* pinewoods of

the temperate humid region. *Soil Biology and Biochemistry*, 35, 1395-1404.

Lanier, L. (1994). *Précis de sylviculture*. ENGREF, Nancy.

Martínez, E. (2004). Estudio del crecimiento, producción y gestión de masas forestales de *P. sylvestris* en Galicia. Tesis doctoral. EPS de Lugo. USC. Inédito.

Merino, A., Rodríguez, A., Brañas, J. Rodríguez Soalleiro, R. (2003). Nutrition and growth in newly established plantations of *Eucalyptus globulus* in northwestern Spain. *Ann. For. Sci.* 60, 1-9.

Ouro G., Pérez Batallón P., Merino A. (2001). Effect of silvicultural practices on nutrient status in a *Pinus radiata* plantation: Nutrient export by tree removal and nutrient dynamics in decomposing logging residues. *Ann. For. Sci.*, 58: 411-422.

Romanyà, J., Vallejo, V.R. (2004). Productivity of *Pinus radiata* plantations in Spain in response to climate and soil. *For. Ec. Man.*, 195, 177-189.

Sánchez, F., Rodríguez Soalleiro, R., Español, E., López, C., Merino, A. (2002). Influence of edaphic factors and tree nutritive status on the productivity of *Pinus radiata* D. Don plantations in northwestern Spain. *For. Ec. Man.*, 171, 181-189.

Serrada, R. (1997). *Apuntes de selvicultura*. EUITF. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid.

Solla, F., Taboada, M.P., Rodríguez Soalleiro, R., Merino, A. (2004). Respuesta inicial del aporte de cenizas de biomasa arbórea en el estado nutricional de una plantación joven de *Pinus radiata* D. Don. *Inv. Agr.: Sist y Rec. For.* 13(2), en prensa.

Souleres, G. (1992). *Les milieux de la populiculture*. IDF, Paris, 309 pp.

Federico Sánchez Rodríguez

Condiciones de las masas forestales y su relación con las propiedades de los suelos II: Fertilidad y Nutrición

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

El estudio de la nutrición de especies forestales ha experimentado un gran desarrollo desde la segunda mitad del siglo XX hasta nuestros días. Gran parte del esfuerzo se centró desde un principio en profundizar en las variables que determinaban los niveles de nutrientes en las hojas de los árboles en el monte, o en el laboratorio aplicando soluciones nutritivas en plántulas para determinar niveles carenciales y la sintomatología visual que éstos ocasionaban. Algunos de estos trabajos, realizados en el I.F.I.E. son todavía de referencia en la literatura sobre nutrición forestal pasados más de 30 años de su realización (Bará, 1970; Marcos de Lanuza, 1966, etc.).

A pesar de la ralentización sufrida por la investigación forestal en España en el último cuarto del siglo XX, el indudable interés que presenta el conocimiento de la nutrición forestal para la gestión de las masas de una forma óptima y sostenible ha concentrado el afán de algunos investigadores forestales en esta materia.

El gestor forestal puede aprovecharse de los conocimientos existentes en nutrición forestal para mejorar la productividad en algunos casos, o evitar la comisión de errores en prácticas selvícolas y en la selección de especies o variedades no adecuadas a la estación donde se pretenden introducir.

Existen dos vías sencillas de aplicar los conocimientos de la nutrición forestal a la gestión. Por un lado, reconocer visualmente los síntomas de deficiencias nutricionales permite determinar carencias agudas sin más problemas

que el de adquirir un cierto entrenamiento. Para ello, es posible ayudarse de guías fotográficas y claves específicas para cada nutriente y especie o grupos de especies relacionadas (Will, 1985; Dell, 1996, etc.).

Para no confundir síntomas ocasionados por organismos patógenos o por episodios climáticos como lluvias ácidas, heladas, etc., con carencias nutricionales, existen algunas reglas que pueden ser consultadas. En todo caso, conviene señalar que los síntomas de carencias nutricionales siguen una pauta regular y predecible en el árbol o rodal afectado que una vez recordada permite una fácil identificación.

A pesar de todo, carencias pueden presentarse sin necesidad de una sintomatología visual clara, por lo que la otra vía de aplicar fácilmente la nutrición forestal a la gestión es ayudarse de análisis foliares para determinar el estado nutricional del arbolado. Para ello se requerirá de muestras de hojas que deben tomarse cuidadosamente siguiendo un protocolo preestablecido.

El análisis foliar pretende obtener los niveles de nutrientes en hojas expresados en porcentaje, partes por millón o cualquier otra unidad de concentración sobre materia seca. La información así adquirida tiene inmediatas aplicaciones en el diagnóstico del estado nutricional de las masas forestales, en las medidas a aplicar para alcanzar una óptima producción y una gestión sostenible del recurso, e incluso en la evaluación de impactos medioambientales sobre los ecosistemas forestales (Leaf, 1973; Lambert, 1984; Richards y Bevege, 1972; Oren y Schulze, 1989, etc.).

Se han seguido diversas técnicas para evaluar el estado nutricional de las masas forestales e identificar los nutrientes que limitan la producción de la estación considerada. La determinación de niveles críticos, los cocientes de nutrientes, y el sistema DRIS son, por este orden, los procedimientos más usuales (Lambert, 1984; Sumner, 1978; Schultz y de Villiers, 1988).

El cálculo de niveles críticos es la técnica más empleada en el campo forestal. El concepto de nivel crítico fue definido

por Ulrich (1961), trabajando con remolacha azucarera, como la concentración en la que aparece una reducción del 10% de la producción. De forma similar se ha extendido al campo forestal, definiéndose como aquella concentración asociada con el 90% de la máxima producción (Richards y Bevege, 1972; Prichett, 1979). Según Richards y Bevege (1972), es implícito a dicho concepto el que sólo uno de los nutrientes limita la producción, precisamente aquél cuyo nivel crítico pretende ser determinado.

Se han señalado algunos defectos que restringen la utilidad de esta técnica. Por un lado, dichos niveles se ven afectados por numerosos factores, tantos como los que inciden en el contenido de nutrientes en las hojas (clima, estación del año, orientación, altitud, parte de la planta, estrés, edad del tejido, dotación genética, humedad, etc.), por lo que se requiere un alto grado de estandarización que limita su utilidad (Lambert, 1984).

Por otro lado, los niveles de nutrientes no son independientes entre sí, por lo que se parte, según Prichett (1979), de un concepto mal definido, que no es capaz de revelar desequilibrios, excesos, o el orden de necesidad de los elementos nutritivos. Por ello, es conveniente combinar la técnica de los niveles críticos con otra que relacione los nutrientes entre sí, por ejemplo la de las razones o cocientes de concentraciones.

Una forma práctica de determinar niveles críticos consiste en establecer parcelas de experiencias de fertilización en el campo, relacionar las concentraciones foliares con alguna variable de crecimiento, para finalmente identificar el punto que represente el 90% del crecimiento máximo. En otras ocasiones se ha acudido a realizar mediciones directas sobre masas arboladas ya existentes, relacionando éstas con alguna variable de productividad, por ejemplo el índice de sitio. Los resultados obtenidos de experiencias con plántulas en cultivos hidropónicos, o en muestras de suelo en maceta no son siempre extrapolables a las condiciones de campo (Binkley, 1986).

Nutriente	Deficiente <	Marginal	Satisfactorio >
N	1,20	1,20-1,50	1,50
P	0,12	0,12-0,14	0,14
K	0,30	0,30-0,50	0,50
Ca	0,10	0,10	0,10
Mg	0,07	0,07-0,10	0,10
B	8	8-12	12
Cu	2	2-4	4
Zn	10	10-20	20
Mn	10	10-20?	20?

Tabla 1.- Valores foliares para *Pinus radiata* (macronutrientes en % y micronutrientes en ppm). Fuente Will (1985).

Dadas las dificultades que presenta el cálculo de niveles críticos para cada especie y cada nutriente, no siempre es posible encontrar en la literatura datos de referencia para el problema que se plantea. Así, según el grado de desarrollo

de los estudios de nutrición para la especie, es posible que nos topemos con uno de estos problemas:

En el mejor de los casos se contará con dichos niveles y con otros de deficiencia, bajo los cuales los árboles manifiestan mermas considerables de crecimiento y síntomas visuales de carencia. Tal es el caso por ejemplo, de los valores recogidos por Will (1985) para *Pinus radiata*.

Otros autores solventan este inconveniente agrupando las especies por niveles de exigencia. Bonneau (1995) establece, revisando los estudios realizados en Francia, un grupo de resinosas de acículas grandes (*P. pinaster*, *P. nigra* ssp. *laricio*, etc.), otro de acículas pequeñas (*Picea abies*, *Abies alba*, *P. sylvestris* y *Pseudotsuga menziesii*), un tercero de alerces, uno de frondosas poco exigentes (*Fagus sylvatica*, *Quercus* spp., etc.), y por último uno de frondosas más exigentes (*Populus* spp., *Fraxinus excelsior*, *Juglans regia*, *Alnus glutinosa*, etc.). Este autor indica tres niveles, uno carencial, un segundo crítico y un tercero óptimo.

	N	P	K	Ca	Mg
<i>E. globulus</i>	1,87	0,14	0,79	0,72	0,20
<i>E. nitens</i>	1,99	0,14	0,75	0,40	0,15

Tabla 2.- Niveles de referencia de macronutrientes (%) de plantaciones fertilizadas en distintos lugares de ensayo del Norte de Tasmania (Judd y col., 1996).

En otros, como es el caso de *Eucalyptus globulus* se aportan valores de deficiencia y otros calificados como "adecuados", comparando árboles que presenten síntomas carenciales con los aparentemente sanos, sin una indicación explícita de su asignación a niveles críticos. Estos valores de referencia para plantaciones o masas naturales (Judd y col., 1996) servirán de comparación, pero deben ser tomados con la debida precaución por las diferencias de productividad entre los lugares que se trate, entre otras razones.

Desde que Shear y col., (1948) sugirieron que el crecimiento de las plantas es función de dos variables nutricionales, intensidad y equilibrio, se han realizado numerosos trabajos de evaluación de relaciones de nutrientes. Los trabajos de Ingestad (1979) pusieron de manifiesto que la proporción de nutrientes aprovechada por las raíces debe estar equilibrada de forma precisa para compensar los niveles relativos requeridos, y que las razones de las concentraciones de los nutrientes en hojas ofrecían una gran similitud de unas especies forestales a otras.

Es por ello que resulta indispensable verificar el equilibrio existente entre las concentraciones de los principales nutrientes una vez que se han comparado los niveles analizados con los hallados en las referencias bibliográficas.

Uno de los cocientes que han sido más investigados en masas forestales ha sido la relación N/P. Para un crecimiento adecuado de las masas de *Pinus radiata*, se ha calculado un rango de 6 a 16 (Raupach, 1967; Waring,

1972), en *Eucalyptus* spp. Judd y col. (1996) han precisado un valor óptimo de 15. Otra de las razones de interés es la N/Mg, ya que valores superiores a 17,5 pueden revelar dificultades en nutrición magnésica (Altherr y Evers, 1974).

Kelly y Lambert (1972) calcularon un valor fijo de 0,068 (expresado en peso o 0,03 en átomos-gramos) para la razón de S_{org}/N_{org} , azufre a nitrógeno orgánico en acículas de *Pinus radiata*, ambos componentes de aminoácidos y proteínas. El azufre puede acumularse en forma de sulfato en las hojas, mientras que el N_{total} y el N_{org} presentan pocas diferencias. Valores S_{total}/N_{total} superiores al indicado y concentraciones de N inferiores a la óptima apuntan a la acumulación de sulfato en las hojas. Valores S_{total}/N_{total} iguales a 0,068 pueden indicar insuficiencia en S o en ambos nutrientes.

Otros muchos ratios han sido propuestos para estudiar el estado nutricional del arbolado. Así para *Eucalyptus globulus* se han señalado valores de 0,5 para K/P (Judd y col., 1996) y 3,3 para Ca/Mg (Herbert, 1996).

El sistema DRIS, desarrollado en la década de los 50 por E.R. Beaufils en Estados Unidos de America, ha sido ampliamente empleado en cultivos agrícolas desde que dicho autor publicara su monografía describiéndolo (Beaufils, 1973). Este sistema se fundamenta en el concepto de equilibrio nutritivo antes expresado, siendo la interrelación de todos los nutrientes considerados simultáneamente.

Una de las virtudes de este sistema es señalar el orden probable en el que los elementos nutritivos limitan la producción, por lo que es especialmente útil como herramienta de diagnóstico cuando 2 ó más elementos nutritivos son limitantes.

El menor empleo de este sistema en el campo forestal, comparado con el uso generalizado de niveles críticos y de los cocientes, puede deberse a lo gravoso que resulta el cálculo de las normas para cada especie o variedad. Este esfuerzo generalmente no compensará las ventajas que puede proporcionar en el campo forestal, inferiores a las del agrícola por tratarse de inversiones a largo plazo. Por otro lado, las demandas relativas de nutrientes varían con la edad del arbolado, lo que restringe también su aplicación.

Nutriente	Medias <i>P. radiata</i>	Medias <i>E. globulus</i>
N	1,64	1,52
P	0,08	0,06
K	0,76	0,60
Ca	0,17	0,32
Mg	0,07	0,17

Tabla 3.- Valores medios de las concentraciones de macronutrientes en 46 muestras de masas *Pinus radiata*, y 44 plantaciones de *Eucalyptus globulus* en Galicia (Fuente: Sánchez Rodríguez, 2001; Merino y col., 2003).

Como aplicación de lo referido, pueden considerarse los datos ofrecidos por Sánchez (2001) y Merino y col. (2003) para masas de *P. radiata* y plantaciones de *E. globulus* en Galicia. En el primero de los casos se aprecian bajos contenidos en P y Mg, con desequilibrios en las relaciones N/P y N/Mg; en el segundo, niveles muy por debajo de los de referencia en P y Ca, con desequilibrios en las razones K/P y Ca/Mg.

Bibliografía.

- Altherr E., Evers F.H. (1974). Unerwarteter Dúngungserfolg ber Magnesiummangel in einem jungem Buchenbestand auf mittlerem Bundsandstain des Odenwaldes. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, 145 (7): 121-124.
- Bará S. (1970). Estudio en *Eucalyptus globulus* I. Composición mineral de las hojas en relación con la posición en el árbol, composición del suelo y la edad. Evolución del suelo para el cultivo de eucaliptos en el monte Muíño. Anales del IFIE, 67:1-32.
- Beaufils E.R. (1973). Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Soil Science Bulletin n° 1. Department of soil science and agrometeorology, University of Natal, Pietermaritzburg, 132 pp.
- Binkley D. (1986). Forest nutrition management. John Wiley & Sons, New York, 290 pp.
- Bonneau M. (1995). Fertilisation des Forêts dans les pays tempérés. ENGREF. Nancy.
- Dell B. (1996). Diagnosis of nutrient deficiencies in eucalypts. En: Nutrition of eucalypts, P.M. Attiwill y M.A. Adams eds., pp. 417-440. CSIRO, Australia.
- Herbert M.A. (1996). Fertilizers and eucalypt plantations in South Africa. En: Nutrition of eucalypts, P.M. Attiwill y M.A. Adams eds., pp. 303-325. CSIRO, Australia.
- Ingestad T. (1979). Mineral nutrient requirements of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedling. Physiologia Plantarum, 45: 373-380.
- Judd. T.S., Attiwill P.M., Adams M.A. (1996). Nutrient concentrations in *Eucalyptus*: A synthesis in relation to differences between taxa, sites and components. En: Nutrition of eucalypts, P.M. Attiwill y M.A. Adams eds., pp. 123-154. CSIRO, Australia.
- Lambert M.J. (1984). The use of foliar analysis in fertilizer research. Proceedings of I.U.F.R.O. Symposium on Site and Productivity of Fast Growing Plantations. Pretoria, South África, pp. 269-291.
- Leaf A.L. (1973). Plant analysis as an aid in fertilizing forest. En: Soil Testing and Plant Analysis. L.M. Walsh y J.D. Beaton eds. Soil Science Society of America, pp. 427-454.
- Merino A., Rodríguez López A., Brañas J., Rodríguez Soalleiro R. (2003). Nutrition and growth in newly established plantations of *Eucalyptus globulus* in northwestern Spain. Annals of Forest Science, 60: 1-9.

- Prichett W.L. (1979). Properties and management of forest soils. John Wiley & Sons, New York, 500 pp.
- Marcos De Lanuza J. (1966). Nutrición hidropónica con microelementos I: Manganeso, Boro y Molibdeno en *Pinus radiata*. Ministerio de Agricultura, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid, 399 pp.
- Oren R., Schulze E.D. (1989). Nutritional disharmony and forest decline: a conceptual model. En: Air pollution and forest decline. Schulze E.D., Lange O.L. y Oren R. eds. Ecological Studies, Springer, Berlin, Vol. 77, pp. 425-443.
- Raupach M. (1967). Soil and fertiliser requirements for forests of *Pinus radiata*. *Advances in Agronomy*, 19: 307-353.
- Richards B.N., Bevege D.I. (1972). Principles and practice of foliar analysis as a basis for crop logging in pine plantations I. Basic considerations. *Plant and Soil*, 36: 109-119.
- Sánchez Rodríguez F. (2001). Estudio de la calidad de estación, producción y selvicultura de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Tesis Doctoral. USC.
- Schultz C.J., De Villiers J.M. (1988). Foliar diagnosis and fertilizer prescription in forestry: The DRIS system and its potencial. En: Forest site evaluation and long-term productivity. Cole D.W. & Gessel S.P., ed. University of Washington, pp. 34-43.
- Shear C.B., Crane H.L., Myers A.T. (1948). Nutrient-element balance: application of the concept to the interpretation of foliar analyses. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 51: 319-326.
- Sumner M.E. (1978). Interpretation of nutrient ratios in plant tissue. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 9 (4): 335-345.
- Ulrich, A. (1961). Plant analysis in sugar beet nutrition. In: Plant analysis and fertilizer problems. Publ. nº 8. Am. Inst. Biol. Sci., Washington D. C., pp. 190-211.
- Waring H.D. (1972). *Pinus radiata* and the nitrogen-phosphorus interaction. En: Australian forest tree nutrition conference. Boardman R. ed., Forestry and Timber Bureau, Canberra, pp. 144-161.
- Will G.M. (1985). Nutrient deficiencies and fertiliser use in New Zealand exotic forests. F.R.I. bulletin nº 97, Rotorua, New Zealand, 53 pp.

Rafael Serrada Hierro

La preparación del suelo en la repoblación forestal

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

Introducción

El diseño de una repoblación forestal debe abarcar, en un primer nivel de estudio, dos decisiones: planificación y ejecución. La planificación se ocupa de proponer, en función de los objetivos preferentes para la masa forestal a crear, la extensión, la localización y la elección de especies de la nueva masa, es decir responder a las preguntas de ¿por qué?, ¿cuánto?, ¿dónde? y ¿con qué? repoblar. Resueltas estas cuestiones se puede pasar a la ejecución, ¿cómo repoblar?, proponiendo una correcta forma de realizar las tres operaciones básicas: desbrozar; preparar el suelo; y plantar o, en su caso, sembrar, incluyendo la propuesta de tipo y calidad de planta adecuados.

Tras la instalación de la nueva masa forestal procede aplicarle un correcto tratamiento según propone la Silvicultura General, para que se mantenga con vigor y pueda cumplir las funciones que de ella se demandan.

La presente intervención dentro de este Curso de Verano sobre Gestión de Suelos Forestales, y más concretamente dentro del Módulo cuyo contenido es el relativo a la Silvicultura y a la Repoblación Forestal, se centra fundamentalmente en lo referente a la operación denominada preparación del suelo, sin incidir en los temas de edafología básica y especialmente en el análisis de propiedades limitantes para la instalación y desarrollo de las masas forestales, pues son aspectos que han sido tratados en anteriores sesiones.

La exposición, dada la necesaria brevedad, se centrará en los siguientes aspectos: definición de objetivos para la preparación del suelo en un rodal concreto; clasificación de los procedimientos de preparación del suelo; enumeración y descripción de los procedimientos habituales; efecto hidrológicos de los procedimientos de preparación del suelo en combinación con los desbroces. A este esquema responde el texto que se presenta, sin embargo, la exposición oral resumirá la enumeración y descripción de los procedimientos mediante la agrupación de lo mismos por el tipo de labor que efectúan.

La enumeración de los tipos de labor es: hoyos, mecanizados o no; raspas, picadas o someras; banquetas, con o sin microcuenca; subsolados, simples o cruzados; caballones, en sus tres modalidades (superficiales, con desfonde y en llano); terrazas; y alzados. Se incluye como anexo al presente texto las fichas-resumen de los tipos de labor que se utilizan en la exposición.

Estos siete tipos de labor son perfectamente mecanizables en la actualidad, lo que conduce a mayor eficacia y menor costo. Paradójicamente, la mecanización ha tenido serias críticas que, en muchos casos no han discriminado respecto del tipo de labor, de sus efectos y del tipo de perfil en que se aplican.

Justificación y objetivos de la preparación del suelo para la repoblación forestal

La preparación del suelo para la repoblación forestal, que está justificada en todo caso para poder alojar la planta o la semilla, tiene otra justificación genérica en la debilidad y poca edad de las plantas de la nueva masa a las que hay que facilitar el arraigo y el primer desarrollo. También en la mayor parte de los casos se justifica la preparación del suelo en que las deficientes condiciones edáficas del monte que se repuebla pueden ser mejoradas y con ese fin debe ser proyectada.

La preparación del suelo a que nos vamos a referir es únicamente física. El empleo de enmiendas o abonados no ha estado justificado con carácter general en el campo forestal, reduciéndose a casos especiales relacionados con la instalación de jardines o parques y con repoblaciones forestales de muy alta productividad. En la actualidad, y con el desarrollo de los fertilizantes pastillados, se ha avanzado en la fertilización sobre el hoyo de plantación, con objetivos y metodologías se suelen estudiar junto con el conjunto de la fertilización forestal como tratamiento de mejora en selvicultura (Bará, 1990).

Otras líneas, todavía en fase de ensayo, que pueden catalogarse como preparaciones del suelo no físicas para la repoblación son: la aplicación de residuos sólidos urbanos y fangos de depuradoras, con graves complicaciones sobre el modo de incorporación de los productos al suelo e importantes limitaciones por razón de la pendiente y los costos; la aplicación al hoyo de plantación de productos absorbentes de agua o acondicionadores de estructura, cuya eficacia, con relación al costo, no ha sido comprobada (Oliet *et al.*, 2003).

De la justificación enunciada se deducen los objetivos de la preparación física del suelo, que en cada caso pueden ser todos o varios de los siguientes según las condiciones edáficas iniciales, pero que siempre cubrirá el enumerado en último lugar (Serrada, 2000):

- Aumentar la profundidad útil del perfil, disgregando capas profundas mediante acción mecánica, para conseguir una mayor profundización de los sistemas radicales.
- Aumentar la capacidad de retención de agua del perfil, a través del aumento de profundidad explicado en el punto anterior.
- Aumentar la velocidad de infiltración de agua en el perfil mediante un mullido que posibilite anular la escorrentía y por tanto la erosión hídrica. Esta reducción de la escorrentía se puede reforzar con cambios en la forma de la superficie del suelo, creando estructuras que contengan el agua.
 - Facilitar la penetración mecánica de las raíces de las plantas introducidas mejorando transitoriamente la permeabilidad mediante las labores, de modo que un sistema radical más extenso pueda compensar la baja fertilidad y las posibles sequías. El mullido también facilita la aireación de las capas profundas del perfil mejorando el ambiente edáfico.
- Reducir las posibilidades de invasión del matorral después de la plantación o siembra que puede haber sido conseguida con los desbroces.
- Facilitar las labores de plantación o siembra y mejorar la supervivencia de las plantas introducidas.

Para definir claramente estos objetivos, cuestión previa e ineludible en cada rodal, es necesario en cada caso estudiar el perfil del suelo y diagnosticar sobre sus carencias, estado de degradación, posibilidades de evolución, riesgos que pueden inducir labores no adecuadas y finalmente decidir el procedimiento de preparación que corresponda.

Un estudio edáfico completo no debe ser obviado, salvo en casos donde sea fácilmente previsible la inexistencia de disfunciones o carencias y el diagnóstico edáfico realizado a través del análisis de la fisiografía, la litología y el clima resulte suficiente. No obstante, también en este caso y aunque no se realicen análisis de laboratorio, es necesario proceder a la apertura de calicatas que permitan una descripción de la profundidad, la pedregosidad global y sus variaciones, el color de los horizontes y de la disposición de los sistemas radicales.

Clasificación de los procedimientos de preparación del suelo

Para definir adecuada y suficientemente una preparación del suelo es necesario referirse a cuatro criterios de clasificación que suministran para cada procedimiento cuatro atributos simultáneos. A continuación se refieren los cuatro criterios, los tipos que según ellos se establecen y los factores que en cada uno es necesario analizar para fijar el tipo conveniente.

El primer criterio se refiere a la extensión superficial afectada por la preparación. Los tipos de preparación que se definen en función de ella son: puntual; lineal y a hecho. No necesitan aclaración.

Los factores a tener en cuenta para decidir en esta cuestión son: la calidad del suelo o la importancia de sus carencias y estado de degradación, necesitando mayor intensidad de preparación los perfiles de peor calidad; la pendiente, en cuanto es factor determinante del estado erosivo del monte y hay que tener en cuenta el efecto hidrológico de cada tipo de preparación, que en los puntuales es indiferente, en los lineales positivo si se ejecutan en curva de nivel y en los plenos o a hecho muy variable según el procedimiento empleado; el tipo de planta o en su caso el método de repoblación empleado, las plantas en envase requieren menos intensidad de preparación, las siembras a voleo preparaciones a hecho y las siembras por golpes preparaciones puntuales; el objetivo preferente de la repoblación, pues en las productoras puede resultar rentable preparaciones intensas que mejoren sensiblemente el crecimiento de la masa y abaraten los desbroces posteriores; y los efectos sobre el paisaje, siendo los más patentes los que producen las preparaciones lineales.

El segundo criterio está relacionado con la acción sobre el perfil del tipo de preparación. Los tipos que se definen en función de ella son: con inversión de horizontes y sin inversión de horizontes. Tampoco estos tipos necesitan aclaración.

El factor a analizar para decidir entre los tipos de este criterio es únicamente las características del perfil. En perfiles evolucionados o maduros, salvo excepciones que más adelante tendremos ocasión de tratar, la inversión de horizontes supondrá un rejuvenecimiento y una cierta pérdida de calidad edáfica. También en perfiles calizos poco evolucionados la inversión de horizontes es inconveniente pues pueden aflorar en superficie tierras con mucha caliza

activa y pH extremadamente básico que, entre otros inconvenientes, tiene el de dificultar la nutrición de las plantas a instalar. En el caso de perfiles silíceos poco o nada evolucionados, la inversión de horizontes resulta indiferente. Los casos en los que, en principio, puede resultar necesaria la inversión de horizontes se refieren a la podsolización y a la planosolización.

El tercer criterio se refiere a la forma de ejecución de la preparación. Distinguiremos dos tipos: manual y mecanizada.

Los factores a analizar para decidir sobre la forma de ejecución son: la pendiente, en cuanto que es un factor limitante para la mecanización en curvas de nivel (en tramos de 0% a 15% de pendiente se puede mecanizar en curva de nivel con tractor agrícola normal; en tramos de 15% a 35% puede actuar en curva de nivel el tractor de cadenas; en pendientes del 35% al 55% puede trabajar en curva de nivel el equipo TTAE o el Foresta); por encima del 55% sólo se puede mecanizar en línea de máxima pendiente, habitualmente con retroexcavadoras); la pedregosidad del perfil y su consistencia que puede hacer inviable la manual en unos casos y algunos procedimientos de mecanización en otros; la pedregosidad superficial y los afloramientos rocosos frecuentes que pueden impedir el tránsito de maquinaria; los defectos del perfil, que si son muy graves pueden no ser superados por una preparación manual; los aspectos económicos, pues las preparaciones manuales comparables con las mecanizadas, a igualdad de densidad de plantación, tienen un costo del orden del doble que las mecanizadas; y los aspectos sociales, pues las preparaciones manuales generan mayor empleo siendo, por otra parte, muy onerosas por lo que se tiende a descartarlas cuando se repueblan grandes superficies.

El cuarto criterio es la profundidad que alcanza la preparación del suelo. Se valora en tres tipos: profundidad baja cuando alcanza entre 0 y 20 cm; media entre 20 y 40 cm; y alta entre 40 y 60 cm, aunque algunos procedimientos pueden superar esta profundidad.

Los factores a considerar para decidir sobre la profundidad que debe alcanzar la preparación del suelo en la repoblación son: el método de repoblación, ya que en las siembras es suficiente con profundidades medias y bajas; la calidad del perfil, pues los suelos buenos no necesitan altas profundidades; el tipo de planta, ya que según la longitud del sistema radical la profundidad de la preparación variará, siendo ésta al menos 10 cm más con planta a raíz desnuda que utilizando planta en envase; y régimen hídrico de la estación, pues donde no haya sequía estival la profundidad podrá ser menor.

Como se ha dicho, para definir completamente un procedimiento de preparación del suelo hay que hacer mención a su clasificación según los cuatro criterios. En principio se pueden hacer todas las combinaciones posibles entre los tipos definidos, aunque hay algunas incompatibilidades que se manifiestan a continuación:

-las preparaciones a hecho y en fajas tienden a ser únicamente mecanizadas por el esfuerzo y el costo que suponen.

- las preparaciones manuales, realizadas con herramientas de cava y profundidad más que baja, siempre alteran el orden de los horizontes, aunque este efecto, al ser puntuales, no es inconveniente por alcanzar profundidades medias y no afectar más que a una pequeña parte de la superficie del monte.

- según lo comentado en el punto anterior, todas las preparaciones puntuales pueden ser consideradas como sin inversión de horizontes.

En el siguiente epígrafe se describen los procedimientos más usuales de preparación del suelo, ordenados según la extensión superficial afectada y dentro de ésta exponiendo en primer lugar los manuales y después los mecanizados.

En cada procedimiento se expresa su denominación y definición; las herramientas, equipos y aperos; el método operativo; las condiciones de aplicación y efectos; y finalmente el rendimiento. Es importante resaltar, al estudiar cada procedimiento, sus efectos sobre: las posibilidades de mejora del perfil; la supervivencia de la planta a introducir; el régimen hidrológico; y el paisaje.

Descripción de los procedimientos de preparación del suelo

Ahoyado manual

Los hoyos realizados manualmente son cavidades con dimensiones alrededor de 40x40x40 cm en los que la dimensión que debe ser más controlada es la profundidad.

Herramientas.- Azada, pico, zapapico y pala. Cuanto más duro sea el terreno, más estrecha será la boca de la herramienta y mayor su peso.

Método operativo.- Se realiza un marcado previo a marco real o tresbolillo, que puede obviarse si se han hecho casillas de desbroce. Se forman cuadrillas de 15 a 25 trabajadores que avanzan en línea de máxima pendiente y de arriba hacia abajo, o en curva de nivel, abriendo los hoyos en los que lo más habitual es dejarlos abiertos con la tierra extraída aguas abajo. Se trabaja cuando el terreno tiene buen tempero y sin heladas. El relleno de hoyo se hace a la vez que la plantación. El hoyo se vuelve a tapar inmediatamente en climas muy secos donde se puede desecar la zona profunda del perfil si permanecen abiertos largo tiempo. El tapado también se puede realizar cavando en la zona aguas arriba del hoyo, con lo que se amplía la superficie desbrozada por arranque.

Condiciones de aplicación y efectos.- Es un procedimiento puntual, con inversión muy parcial de los horizontes, manual y de profundidad media. Su efecto hidrológico es muy limitado contribuyendo en poca medida a la reducción de la escorrentía. Al ser un procedimiento muy caro, la densidad de plantación deberá ser baja cuando se emplea. No tiene limitaciones ni por la pendiente, ni por la pedregosidad del perfil, ni por la superficial, ni por los afloramientos rocosos. Su efecto paisajístico es muy reducido, por lo que es el más empleado en repoblaciones ornamentales. Por el escaso

mullido que hace en el suelo es recomendable, cuando se utiliza, emplear planta en envase para disminuir las marras. Es muy discutible su efecto social, pues aunque da mucho empleo, resulta un trabajo muy penoso.

Rendimiento.- Es muy variable con la pendiente, la dureza del suelo y la habilidad del operario. Es una tarea que tradicionalmente se ha contratado a destajo. Los rendimientos oscilan entre 50 y 38 hoyos/jornal, lo que para una densidad de 1500 hoyos/ha, requiere un empleo de 30 a 39 jornales/ha. Antiguamente, en ejecuciones a destajo, se obtenían rendimientos de 100 hoyos/jornal. En precios actuales, se puede valorar un hoyo en dos €/unidad.

Raspas

Las raspas, también denominadas casillas (por ir asociadas frecuentemente a desbroces puntuales), son preparaciones del suelo que consisten en una cava superficial en forma rectangular o cuadrada de 40x40 cm, realizadas con azada, sin extraer la tierra removida. Se llaman someras cuando la profundidad es de 10 cm y picadas cuando alcanza 30 cm. Su ejecución requiere un desbroce previo.

Herramientas.- Azadas, pico y zapapico o retamero.

Método operativo.- Igual que en el caso del ahoyado, excepto que no se extrae la tierra y no se puede comprobar la profundidad alcanzada. Puede mecanizarse su ejecución con el llamado cabezal mullidor (Masip y Arno, 1993) que realiza preparaciones puntuales mecanizadas sin alteración de horizontes de media profundidad, mediante un apero montado sobre brazo hidráulico acoplado a tractor, que acciona un soporte giratorio provisto de cuchillas verticales.

Condiciones de aplicación y efectos.- Es un procedimiento puntual, sin inversión de horizontes, manual y de profundidad baja. Su efecto hidrológico es muy reducido, así como la mejora del perfil. El efecto paisajístico es inapreciable. Se pueden emplear con dos objetivos: bajo climas húmedos empleado casi como un sistema de desbroce o escarda y como operación previa a la preparación con barrón o plantamón que se describe a continuación para realizar una plantación simultánea; y como preparación del suelo para realizar siembras por golpes, debiendo tener en este caso el suelo una buena calidad que permita el arraigo efectivo de las plántulas. De forma manual y simultáneamente a la siembra, se realizan sobre surcos de subsolado o sobre caballones, preparaciones lineales mecanizadas. La ejecución con cabezal mullidor convierte el procedimiento en mecanizado.

Rendimiento.- Con densidades de 1500 raspas/ha, para las someras del orden de 5 a 12 jornales/ha y para las picadas del orden de 20 jornales/ha.

Empleo de barrón o plantamón

Consiste el procedimiento en realizar hoyos de escasa anchura y profundidad suficiente mediante percusión sobre el suelo de una herramienta adecuada.

Herramientas.- El barrón es una barra metálica, cilíndrica, de 1,50 a 1,70 m de longitud, de 5 a 7 cm de diámetro, de 7 a 15 kg de peso y con un extremo afilado. El plantamón es una pala recta de sección romboidal con mango de madera

de 1,50 m, que una vez clavada en el suelo y tras un movimiento de vaivén, genera una cavidad de forma paralelepípedica (Navarro, 1975).

Método operativo.- En ambos casos el procedimiento consiste en levantar verticalmente la herramienta y dejarla caer sobre el suelo para que profundice entre 30 y 40 cm. Una vez clavada se le imprime movimiento de giro al barrón y de vaivén al plantamón, abriéndose así una cavidad suficiente para alojar el sistema radical de una planta. El tempero del suelo para poder operar debe ser muy favorable. Inmediatamente a la apertura, se procede a la plantación, por lo que se puede considerar como un procedimiento de preparación del suelo con plantación simultánea.

Condiciones de aplicación y efectos.- Es un procedimiento puntual, sin inversión de horizontes, manual y de profundidad media. Los efectos hidrológico, paisajístico y sobre la mejora del perfil son inapreciables. No tiene más limitación que una alta pedregosidad interna en el perfil y que la textura de la tierra fina sea poco arcillosa para que la percusión no genere una zona compactada alrededor del sistema radical de la planta introducida. Se emplea siempre para plantación y en dos casos característicos: bajo climas húmedos y sobre suelos de calidad con una ejecución previa de raspas someras o picadas, como auxiliar a la plantación; y en terrenos con muchos afloramientos rocosos de imposible mecanización, pero con zonas discontinuas de suelo arenoso o franco que se seleccionan para instalar las plantas sin un marco previamente definido.

Rendimiento.- Es una operación relativamente barata, apropiada para la plantación de planta en envase que a veces también se aplica como auxiliar a la plantación sobre preparaciones lineales mecanizadas. Incluyendo la plantación, el rendimiento es de 180 a 110 pies/jornal.

Ahoyado con barrena

Con barrena helicoidal, consiste en la apertura de hoyos cilíndricos de unos 30 cm de diámetro mediante barrenas helicoidales accionadas por un motor, la profundidad del ahoyado oscila entre 0,40 y 1,00 m, en función del tipo de planta y las condiciones edáficas. Con barrena romboidal, los hoyos tienen forma cónica en su parte inferior y cilíndrica en la superior, con diámetro máximo de 40 cm y profundidad de 60 cm.

Equipos y aperos.- Hay dos tipos: barrenas helicoidales; y barrenas romboidales (Arenas y Riveiro, 1997), que consiste en un rombo formado por una pletina metálica, con enganche y broca opuesta en la diagonal mayor y diagonal menor de 40 cm.

Se montan sobre equipos portátiles, o motoahoyadoras, manejadas por uno o dos operarios y accionadas por un motor de dos tiempos similar al de las motosierras, que ha resultado poco operativo y oneroso para los trabajadores en el campo forestal. El trabajo con este equipo se puede considerar como manual. También se montan las barrenas enganchadas a la toma de fuerza trasera de un tractor de más de 75 CV, que puede ser de ruedas o de cadenas, con

diámetros y longitudes mayores que las manuales, que están resultando más operativas. El trabajo con este equipo resulta mecanizado.

Método operativo.- Tras un marcado previo de los hoyos, el tractor o los operarios avanzan y se estacionan en cada punto para perforar hasta la profundidad deseada. La tierra extraída queda depositada alrededor del hoyo, aunque nunca se extrae toda la tierra. La profundidad se controla con señales pintadas sobre la propia barrena. El tempero debe ser muy favorable para operar con buen rendimiento. Se sufren frecuentes roturas en suelos pedregosos y barrenas helicoidales.

Condiciones de aplicación y efectos.- Es un procedimiento puntual, con inversión muy parcial de horizontes, mecanizado y de profundidad de media a alta. Sus efectos hidrológicos y paisajísticos son inapreciables. Como el tractor circula en línea de máxima pendiente, la limitación por pendiente no es muy estricta y se puede operar hasta un 60%. Las limitaciones edáficas son mayores pues sólo es efectivo en suelos profundos, poco pedregosos y poco arcillosos para evitar compactación en las paredes del hoyo, siendo esta restricción mucho menos importante empleando barrenas romboidales. El terreno debe carecer de matorral o haber sido previamente desbrozado. Se suele aplicar en la repoblación de frondosas que utilicen plantones de más de un metro de longitud, en terrenos muy favorables como cultivos agrícolas abandonados, como son las plantaciones de choperas a profundidad normal. También se emplea en repoblaciones ornamentales.

Rendimiento.- Variable con la densidad de plantación, la potencia del tractor y la profundidad del ahoyado. En choperas con hoyos de 1 m y 300 pies/ha el rendimiento es de 15 horas/ha. En ahoyados de 0,5 m de profundidad y con densidades de 1600 pies/ha para especies con planta de tamaño normal, incluyendo la plantación se tienen rendimientos de 26 horas/ha. Con motoahoyadoras de dos operarios se obtienen rendimientos de 500 hoyos/jornal.

Ahoyado con pico mecánico

Consiste en la formación de banquetas con microcuencia, formadas por remoción de la tierra contenida en un prisma de dimensiones variables entre 0,4 y 0,6 m de ancho, 0,4 y 0,8 m de largo y 0,3 y 0,5 de profundidad, sin extraerla, mediante un pico mecánico o pala percutora, haciendo a continuación una plataforma horizontal o con contrapendiente y unos regueros o canales laterales que arrancan de los dos vértices superiores, en ángulo de 45° y que tienen la misión de recoger el agua de escorrentía de la ladera, con azada (de Simón, 1990).

Herramientas y equipo.- Azadas. Picos mecánicos percutores con boca plana de 10 cm de ancho y vástago de longitud suficiente en función de la profundidad deseada accionados por un motor eléctrico conectado a un generador mediante conductor eléctrico. El peso de cada pico mecánico varía según modelos y longitud del vástago entre 5 y 12 Kg. El generador eléctrico puede ser un modelo portátil transportado por dos operarios, teniendo en este caso capacidad para dos o tres picos. Más operativo es instalar un generador de mayor potencia enganchado a la

toma de fuerza de un tractor de cadenas ligero que abastece a 6 u 8 picos y es transportado por el propio tractor.

Método operativo.- Se hace un marcado previo de los hoyos y banquetas. Si el matorral es muy denso se requiere la elaboración de un desbroce previo, siendo el más concordante las casillas y si no es denso el matorral, la acción del pico mecánico procede a un desbroce por arranque en la zona de la banqueta. El operario clava el pico en el terreno hasta la profundidad deseada y realiza movimientos de oscilación que ayudan al mullido de la tierra. Repite la operación hasta que se alcanzan las dimensiones superficiales proyectadas. A continuación otro operario con azada forma la microcuencia. Se controla la profundidad con señales pintadas sobre el vástago del pico mecánico.

Condiciones de aplicación y efectos.- Es un procedimiento de preparación del suelo puntual, sin inversión de horizontes, mecanizado en las tareas más penosas y manual por su accesibilidad, y de profundidad media o alta. El efecto hidrológico es favorable para reducir la escorrentía. El efecto sobre el paisaje es poco apreciable. Respecto del desarrollo de las plantas mejora sensiblemente los efectos del ahoyado manual, pues el volumen removido es superior. No tiene limitaciones importantes ni por la pendiente, ni por las condiciones edáficas. Se ha empezado a emplear recientemente en repoblaciones protectoras con fuertes pendientes y bajo clima muy torrencial. La ejecución banquetas con microcuencia, aunque se clasifica como preparación puntual, el hecho de que las microcuencias queden desfasadas según una distribución al tresbolillo, consigue respecto de la escorrentía un efecto similar al de las preparaciones del suelo de tipo lineal.

Rendimientos.- Los rendimientos obtenidos en las zonas donde se aplica el procedimiento están oscilando entre 18 y 36 unidades de banqueta, incluido el marqueo y la formación de microcuencias, por jornal. Hay que añadir el costo del tractor y de los picos.

Ahoyado con retroexcavadora

Consiste en la remoción del suelo, sin extracción de la tierra, en un volumen de forma prismática mediante la acción de la cuchara de una retroexcavadora. El hoyo removido es posteriormente refinado en su plataforma y se ejecutan, con azada, los regueros para conformar una banqueta con microcuencia.

Equipos y aperos.- El único equipo necesario es una máquina retroexcavadora convencional, preferiblemente de cadenas, con cazo de 40 a 50 cm, de buena estabilidad y potencia de más de 100 CV. Como variante cabe instalar en vez de la cuchara convencional, otra formada por pletinas y no por una chapa, que puede realizar el despedregado de piedras de diámetro superior a la separación de las pletinas. También se ha ensayado un apero similar a un subsolador en forma de uña.

Otro equipo alternativo de reciente implantación es la llamada retroaraña. En este caso la retroexcavadora tiene dos ruedas sin capacidad motriz y dos patas de acción

hidráulica regulables en longitud. Desde la cabina, autonivelable según la pendiente, se regulan los apoyos y la prolongación del brazo telescópico, que clavado en el suelo, actúa como tracción para el desplazamiento de la máquina. Su potencia es del orden de 60 CV.

Método operativo.- Tras un marcado previo de hoyos, la máquina avanza en línea de máxima pendiente y hacia arriba estacionándose de forma que desde un mismo punto puede realizar los hoyos correspondientes a tres o cinco líneas. En cada hoyo clava el cazo, gira, levanta y suelta la tierra en el mismo sitio, repitiendo la operación hasta alcanzar las dimensiones del prisma proyectado que oscilarán entre 0,5 y 0,8 m de largo, 0,4 y 0,6 m de ancho y 0,4 y 0,6 m de profundo. Con esta operación concluye la preparación del suelo propiamente dicha, pero se puede complementar con la elaboración de una plataforma horizontal o con contrapendiente y de unos canales laterales en ángulo de 45° que parten de los vértices superiores y que tienen la misión de recoger el agua de escorrentía. Todas estas últimas operaciones se realizan manualmente y con azada y la resultante se denomina también banquetas con microcuenca (de Simón 1990).

Condiciones de aplicación y efectos.- Se trata de un procedimiento de preparación del suelo puntual, sin inversión de horizontes, mecanizado en su mayor parte y de profundidad alta. El efecto hidrológico si se forman microcuencas es favorable a la reducción de escorrentía. El efecto paisajístico es apreciable pero no muy desfavorable. La mejora de las condiciones del perfil es notable por el alto volumen removido. La limitación en pendiente es poco estricta, pues las máquinas convencionales pueden circular en línea de máxima pendiente, siempre que no se presenten afloramientos rocosos, hasta un 65%. Las retroarañas tienen menores restricciones por pendiente, irregularidad de la superficie o por afloramientos rocosos o pedregosidad superficial. Las condiciones edáficas no son limitantes. Sobre la banqueta removida por el cazo se produce un desbroce por arranque simultáneo, por lo que el terreno no requiere un desbroce previo. Se está empezando a aplicar el procedimiento en repoblaciones protectoras en fuerte pendientes y zonas de alta torrencialidad, aunque no es despreciable utilizarlo para productoras también en fuertes pendientes y con alta competencia del matorral.

Rendimiento.- Varía con la pendiente, el espaciamiento de los hoyos y la potencia de la máquina. Valores entre 40 y 65 hoyos/hora para la retroexcavadora convencional. Con retroaraña el rendimiento es de 60 a 80 hoyos/hora, lo que supone con precios actuales, costos del orden de 1 €/hoyo. Se comprueba la ventaja económica, con mayor eficacia, frente al ahoyado manual.

Caso especial.- Un caso especial del ahoyado con retroexcavadora y empleado habitualmente lo constituye la plantación a raíz profunda de chopos. La retroexcavadora con cazo de 90 cm profundiza hasta alcanzar la capa freática en una longitud de 1,8 a 3 m, sobre un punto previamente marcado. En este momento se introduce un plantón de 2 o 3 savias y de más de 4 m de longitud que es sostenido por un operario mientras se rellena el hoyo con la tierra extraída del siguiente. El rendimiento de esta

operación es de 6 a 10 min/hoyo plantado. Estas choperas tienen un abastecimiento hídrico independiente de la precipitación.

Ahoyado mecanizado transversal

Consiste en la remoción, sin extracción, de la tierra en forma de triángulo, con dimensiones de 40 x 40 x 60 cm, ejecutada con el ahoyador forestal o "cangrejo".

Equipos y aperos.- Se trata de un equipo diseñado por J. Ezpeleta y promovido por el Gobierno de Navarra, conseguido mediante apero acoplado a barra portaherramientas de tractor convencional que circula en línea de máxima pendiente y trabaja en ambos sentidos de la marcha, formado por dos cucharas o rejonos que se clavan simultáneamente en el suelo por acción hidráulica

Método operativo.- El tractor circula en línea de máxima pendiente. Estacionado en un punto, el maquinista acciona los brazos hidráulicos, que clavan el suelo los dos rejonos. La separación entre la pareja de hoyos puede oscilar entre 2,5 y 3,5 m. A continuación se desplaza el espacio necesario según el marco y repite la operación.

Condiciones de aplicación y efectos.- Es un procedimiento puntual, mecanizado, sin alteración de horizontes y de alta profundidad. No tiene más limitación que pendientes superiores a 60 o 65% y que la superficie resulte muy irregular por afloramientos rocosos. Los efectos hidrológicos y paisajísticos son inapreciables. Requiere refinado manual al realizar la plantación. El terreno debe de carecer de matorral o haber sido previamente desbrozado.

Rendimiento.- El rendimiento máximo se sitúa en 250 hoyos/hora.

Ahoyado mecanizado con ripper

Consiste en la apertura de hoyos mediante la introducción intermitente sobre el suelo de los subsoladores de un tractor convencional de cadenas que circula en línea de máxima pendiente.

Equipo y aperos.- Tractor de cadenas de más de 120 CV, dotado con dos subsoladores o ripper separados 2 m sobre la barra portaherramientas de elevación hidráulica. El movimiento del sistema hidráulico admite variantes que condicionan el proceso operativo (Torre, 1995). Estos subsoladores o rejonos van modificados mediante la soldadura de unas pletinas triangulares en la cercanía de la bota, para conseguir un efecto mullidor con el movimiento ascendente. También admiten la fijación de una chapa rectangular en la parte alta del rejón para favorecer la formación de plataformas y el desbroce puntual por arranque.

Método operativo.- Situado el tractor en la parte alta de la ladera, circula en línea de máxima pendiente clavando, alternativamente y a distancia prefijada, los dos rejonos separados entre sí dos metros. Completa la doble línea de hoyos y puede remontar según tres alternativas: marcha atrás sin hacer labor; marcha atrás, interrumpiendo alternativamente la subida para realizar al ahoyado con cortos movimientos de bajada; marcha adelante, invirtiendo la colocación de los rejonos para realizar el ahoyado

interrumpiendo alternativamente la subida para realizar al ahoyado con cortos movimientos de bajada en marcha atrás. Los hoyos así realizados, y en el momento de la plantación, son refinados en su plataforma mediante azada.

Condiciones de aplicación y efectos.- Se trata de un procedimiento puntual, sin inversión, mecanizado y de alta profundidad. Da, a igualdad de costo que otros procedimientos mecanizados puntuales, mayor densidad. Tiene una limitación en pendiente máxima del orden del 65% y otra por presencia de afloramientos rocosos. El terreno no debe requerir un desbroce intenso, o estar desbrozado previamente por roza. El efecto paisajístico es medio, los efectos sobre la planta favorables, sobre el conjunto del perfil no produce las mejoras que corresponden al subsolado en curva de nivel, y tiene reducido efecto hidrológico.

Rendimiento.- Para unos 2.000 hoyos/ha, de 7 a 15 horas/ha, según pendiente y proceso operativo.

Cuencas de contorno discontinuo

Consiste en un mosaico de pequeñas cuencas, formadas por una cuneta vaciada, de forma prismática, de bases triangulares y aristas horizontales, limitada aguas abajo por un caballón formado por las tierras que ocupaban dicho espacio (Martínez Artero *et al.*, 1997).

Equipo y aperos.- Tractor convencional de cadenas de más de 120 CV, dotado de tres subsoladores separados entre sí un metro y de pala frontal empujadora de más de 3,5 m de ancho.

Método operativo.- En forma parecida al procedimiento anterior, al bajar por la pendiente el tractor primero clava los rejonés y los eleva haciendo tres hoyos, a continuación da marcha atrás y clava la pala aguas arriba de los hoyos y desciende empujando y moviendo la tierra para realizar la cuenca. El caballón de la cuenca queda sobre la zona ahoyada. Las cuencas se separan entre 4,5 y 6 m según línea de máxima pendiente. En las pasadas paralelas, las cuencas quedan al tresbolillo. Se realizan entre 333 y 635 cuencas/ha. Se planta en los dos hoyos externos de cada cuenca, y se está ensayando la localización más eficaz: alto del caballón; zona intermedia; base del caballón.

Condiciones de aplicación y efectos.- Es un procedimiento puntual que se acerca al tipo lineal, con inversión de horizontes muy localizada, mecanizado y de profundidad alta. Tiene efecto paisajístico mediano, efecto hidrológico favorable y sobre la supervivencia de la planta parece muy efectivo. Implica un desbroce asociado, por arranque y puntual. Tiene las mismas limitaciones que el ahoyado con ripper.

Rendimiento.- De 6 a 10 unidades de cuenca por hora.

Terminan aquí los procedimientos puntuales. Se insiste en que la formación de banquetas con microcuenca (bien con pico mecánico, bien con retroexcavadora o retroaraña) y la ejecución de cuencas de contorno discontinuo, aunque descritas entre procedimientos puntuales, tienden a tener efectos hidrológicos que aproximan a los de los procedimientos lineales.

Subsolado lineal

Consiste en producir cortes perpendiculares en el suelo de una profundidad de 40 a 60 cm, dados generalmente en curva de nivel, que no alteran el orden de los horizontes, mediante un apero denominado subsolador o ripper.

Equipo y aperos.- Tractor de cadenas de más de 120 CV con barra portaaperos de elevación hidráulica sobre la que se pueden instalar 1, 2 o 3 subsoladores separados 2 m cuando son dos y un metro cuando son tres. Se utiliza también en los subsolados el nuevo tractor con ejes de ruedas independientes, denominado todo-terreno de alta estabilidad (TTAE), cuyo ripper único tiene unas pequeñas aletas superiores que realizan un ligero acaballonado a la vez que el subsolado. Hay que advertir que este tractor se ha diseñado y construido recientemente en España, por IARA, IBERSILVA, Diseños y Montajes Andaluces SA, Servicios Forestales SA y TAIFOR en Andalucía, que lleva sus ruedas sobre dispositivos hidráulicos independientes y puede circular con diferente altura de los ejes y por tanto mantener la cabina horizontal hasta pendientes del orden del 55%.

Método operativo.- Sobre un terreno previamente desbrozado o que no lo necesite, circula el tractor en curva de nivel más o menos inclinado según lo sea la ladera, dando uno, dos o tres surcos de subsolador. Trabaja en los dos sentidos. Es muy importante conseguir la correcta nivelación de todos los surcos de subsolado. Cuando con el mismo tractor dotado de pala frontal se realiza una roza al aire como desbroce, en la primera pasada sobre una faja hace el desbroce y vuelve sobre la misma subsolando. Se deben ejecutar en tiempo seco preferiblemente por ser más efectivo el mullido del suelo en la zona de influencia del subsolador. En suelos con pedregosidad de gran tamaño es preferible no utilizar tres subsoladores. El TTAE circula en curva de nivel manteniendo la horizontalidad de la cabina.

Condiciones de aplicación y efectos.- Se trata de una preparación lineal, sin inversión de horizontes, mecanizada y de profundidad alta. Su efecto hidrológico es bastante notable. El efecto paisajístico del subsolado en sí es inapreciable, aunque el desbroce lineal que le suele acompañar sea más patente. Sobre el perfil actúa muy favorablemente al no invertir los horizontes, mejorar sensiblemente la profundidad, la capacidad de retención de agua y la velocidad de infiltración en los surcos. El desarrollo de las plantas sobre el surco subsolado es más rápido que en ahoyados. El subsolado en curva de nivel con tractor convencional tiene una limitación de un 35% de pendiente por riesgo de vuelco lateral. Con el TTAE se puede alcanzar hasta un 55%. El procedimiento no tiene limitaciones de tipo edáfico, salvo los frecuentes afloramientos rocosos. Se aplica ventajosamente en todo tipo de repoblaciones, tanto protectoras como productoras, y es especialmente aconsejable en los suelos evolucionados y en los calizos.

Rendimiento.- Para ejecutar 5000 m/ha de subsolado con dos ripper se emplean del orden de 4 horas/ha.

Caso especial.- El subsolado lineal paralelo se aplica en algunos casos especiales en línea de máxima pendiente,

únicamente donde el riesgo de erosión hídrica sea muy bajo. Se supera así la limitación impuesta por la pendiente.

Acaballonado superficial

Este procedimiento que también se denomina terraza volcada, es la combinación en una misma faja de un decapado y un subsolado, ejecutados en curva de nivel.

Equipos y aperos.- Tractor de cadenas de más de 100 CV de potencia dotado de pala o cuchilla frontal angledozer y tillodozer y barra portaaperos trasera con elevación hidráulica con dos ripper separados dos metros.

Método operativo.- En una primera pasada en curva de nivel la pala produce un decapado que forma un caballón de restos vegetales y tierra en la parte inferior de la faja, cuya anchura total es de 3 a 2,5 m. En la segunda pasada y en sentido contrario levanta la pala y clava los subsoladores. Se dejan entrefajas sin alterar de anchura variable según la densidad de plantación que se desee. Es muy importante conseguir la correcta nivelación de las fajas y surcos.

Condiciones de aplicación y efectos.- Se trata de un procedimiento de preparación del suelo lineal, con inversión de horizontes muy limitada al espesor de 5 cm afectado por el decapado, mecanizada y de profundidad alta. Su buen efecto hidrológico se debe al subsolado y a la formación de caballones que superan con creces el efecto negativo producido por el decapado. El efecto paisajístico es notable por la alternancia de fajas paralelas de diferente color producidas por el decapado lineal. La mejora del perfil para la instalación de las nuevas plantas es similar a la que produce el subsolado. El decapado libera de competencia por parte del matorral a la nueva masa durante bastante tiempo.

Está limitada su aplicación hasta una pendiente del 35 % y no tiene otras limitaciones edáficas, aunque es más recomendable en suelos silíceos degradados. Es un procedimiento con desbroce simultáneo muy efectivo, por lo que, en relación con el objetivo, es adecuado a las repoblaciones productoras y a aquellas que tengan alto riesgo de incendio forestal por la profusión del matorral. Se pueden ejecutar acaballonados superficiales en pendientes entre 35% y 55% con el TTAE, ya que este tractor puede montar en la parte delantera, en vez de la desbrozadora de martillos, una pala frontal tillodozer y angledozer de 2 m de anchura.

Rendimiento.- Para ejecuciones con 5.000 m/ha de subsolado, con separación entre ejes de faja de 4 m, y entrefajas de 1 m, los rendimientos están entre 4 y 6 horas/ha.

Acaballonado con desfonde

Consiste en la formación de lomos de tierra o caballones, según curva de nivel, de diferente anchura y altura en función del tamaño del apero, a base de hacer pasar arados de vertedera, lo que a su vez deja un surco o canal en la zona aguas arriba del caballón que se ha formado con la tierra extraída del surco.

Equipo y aperos.- Tractor de cadenas de más de 100 CV de potencia equipado con un arado forestal de vertedera

bisurco y reversible, modelo Alchi o Chirlaque. El arado es forestal por que es de gran tamaño lo que permite alcanzar una profundidad de labor de hasta 70 cm. Tiene dos vertederas desfasadas del orden de dos metros con ataque también desfasado lo que hace que el caballón se forme en dos etapas. Y es reversible por que tiene dos equipos iguales pero con sentido de desplazamiento de tierras contrario, lo que permite trabajar al tractor en ladera en los dos sentidos de marcha, dejando siempre el caballón aguas abajo sin más que girar el eje que sostiene las vertederas al final de cada besana.

Método operativo.- El tractor trabaja en curva de nivel manteniendo estrictamente la horizontalidad del surco. Como se ha dicho al describir el apero, trabaja en ida y vuelta cambiando las vertederas. Si el terreno tiene un matorral muy denso, es necesario que esté desbrozado por roza previamente, mejor con desbrozadora de cadenas, pues las partes aéreas pueden embozar las vertederas, cuyo efecto posterior arranca las cepas completando el desbroce. Si el matorral no es muy denso y continuo, la aplicación directa del arado realiza el desbroce simultáneamente. El tempero para la ejecución debe ser bueno, pues en suelos excesivamente secos se pueden formar terrones que hagan el caballón discontinuo. Este es el único procedimiento lineal y mecanizado de preparación del suelo que permite realizar una plantación simultánea a su ejecución. Con planta preferiblemente a raíz desnuda, un operario situado entre las dos vertederas va andando a la vez que el tractor y va colocando las plantas sobre el caballón formado por la primera vertedera de manera que el sistema radical va siendo tapado por la tierra que aporta la segunda vertedera. De esta forma, en casos especiales, se pueden realizar al tiempo las tres operaciones de la repoblación.

Condiciones de aplicación y efectos.- Es un procedimiento de preparación del suelo lineal, con inversión de horizontes en la faja donde se aplica con una anchura de 60 a 90 cm, mecanizado y de profundidad alta. Su efecto hidrológico es bastante efectivo si los surcos están bien nivelados, pues aunque no se hace subsolado, la escorrentía se almacena sobre ellos permitiendo un mayor tiempo de infiltración que permite absorber el aguacero. El efecto sobre el paisaje es apreciable, pero menos que en el caso de las fajas decapadas. El efecto sobre la plantación es bastante favorable tanto si se hace simultáneamente como si se hace después, lo que en este caso se puede ejecutar sobre el caballón o en el fondo del surco. Su aplicación se limita por la pendiente hasta un 30%. La alta pedregosidad del perfil es un grave inconveniente, así como los afloramientos rocosos. Es más apropiado para suelos silíceos, homogéneos, poco evolucionados y erosionables.

Rendimiento.- Para 3000 m/ha de caballón, precisa 3 horas/ha.

Aterrazado con subsolado

Consiste en la formación de terrazas o plataformas horizontales o con contrapendiente en una ladera, horizontales según curvas de nivel, mediante la ejecución de un desmonte y un terraplén, con anchura suficiente para la circulación del tractor que la construye y que son

subsoladas en toda su longitud. Las dimensiones que definen un aterrazado son la anchura de la terraza y la separación entre ejes de dos consecutivas, que junto con la pendiente de la ladera y las pendientes de tierras en desmonte y terraplén, permiten configurar su geometría. Son un procedimiento de preparación del suelo que es muy discutido en la actualidad. Constituyen la herramienta más segura para anular la escorrentía en una ladera, por lo que su concepción está más en el campo de la hidrología que en el de las repoblaciones forestales, siendo por tanto estructuras que se dimensionan en función de la intensidad máxima del aguacero y cuya repoblación es necesaria para asegurar a largo plazo la defensa del suelo.

Equipos y aperos.- Se emplea en la construcción de terrazas un tractor de cadenas de más de 100 CV de potencia provisto de pala o cuchilla frontal angledozer y tilldozer y de barra portaaperos trasera de elevación hidráulica dotada de dos o tres ripper o subsoladores. La anchura de la pala frontal condiciona la de la plataforma.

Método operativo.- La labor se debe empezar desde la parte baja de la ladera hacia arriba, para evitar la rodadura de piedras. Se replantea con nivel una línea horizontal que sirva de guía a la primera terraza y conseguir así una perfecta e imprescindible correcta nivelación del conjunto. El tractor realiza en primer lugar la plataforma con la pala dando un ángulo de ataque adecuado a la dureza del terreno y a la anchura de plataforma que se desee, a base de extraer tierras en desmonte de la parte alta de la ladera y verterlas en terraplén sobre la parte baja. Va circulando sobre la plataforma recién construida. Cuando termina la plataforma, da la vuelta y vuelve a circular por ella con la pala levantada y subsolando a 50 o 60 cm de profundidad con los dos o tres ripper. A continuación pasa a construir la terraza siguiente paralela a la anterior. Es muy conveniente no cruzar con las terrazas los cauces de circulación natural de las aguas, pues la concentración de caudales romperá con toda probabilidad la estructura provocando un inútil movimiento de tierras.

Condiciones de aplicación y efectos.- Se trata de un procedimiento de preparación del suelo lineal, con inversión de horizontes, mecanizado y de alta profundidad. Es el que tiene mayor capacidad de control de la escorrentía. También es el que mayor impacto negativo paisajístico posee, por ser muy visibles los desmontes y terraplenes formados durante un tiempo cercano a los 20 años. Realiza simultáneamente un desbroce intenso por arranque. Permite en todo caso, al formar una plataforma horizontal, la plantación mecanizada que se explica en el siguiente capítulo.

Deja el monte en difíciles condiciones de transitabilidad en línea de máxima pendiente, lo que dificulta a posteriori la ejecución de cuidados culturales en la masa. El marco de plantación que se obtiene no es homogéneo, pues el espaciamiento entre las dos filas de una terraza es de 2 m y la separación entre dos próximas de diferentes terrazas del orden de 4 m o más, en función de la pendiente, del volumen del terraplén y de la anchura del terreno inalterado entre terrazas.

Las limitaciones para su aplicación por razón de la pendiente son: como límite inferior el 35%, pues en

pendientes inferiores las condiciones de riesgo erosivo se pueden superar con procedimientos lineales mecanizados ya descritos que no tengan los inconvenientes de éste; y como límite superior una pendiente del orden de 60%, pues con esta cifra la pendiente de la ladera tiende a ser igual a la de vertido natural de tierras en terraplén y por tanto la longitud de éste sería demasiado grande, lo que obliga a separaciones entre ejes excesivas y a alturas de desmonte también demasiado grandes. No tiene limitaciones respecto del tipo de vegetación preexistente, pues produce simultáneamente el desbroce. No es limitado por la pedregosidad del perfil o superficial, pero sí por los afloramientos rocosos. Por invertir el orden de los horizontes no es aconsejable su empleo en suelos evolucionados o maduros y en aquellos de naturaleza caliza o yesosa.

Resumiendo, se pueden enunciar los casos en que puede resultar adecuado el empleo del aterrazado con subsolado, que serán aquellos en que coincidan las siguientes circunstancias: lugares con erosión hídrica intensa, con suelos silíceos no evolucionados o degradados y con pendientes comprendidas entre 35% y 60%. Se resumen también a continuación las ventajas e inconvenientes que este procedimiento presenta. Ventajas: corregir la erosión hídrica con su simple aplicación; abaratar los costos de ejecución al hacer innecesario un desbroce previo y permitir la plantación mecanizada; y conseguir repoblaciones con muy bajos porcentajes de marras por la intensidad del mullido, el tipo de plantación y la anulación de la escorrentía. Inconvenientes: generar masas con espaciamientos muy heterogéneos; dificultar la aplicación de cuidados culturales posteriores por hacer bastante intransitable la superficie en línea de máxima pendiente; impacto paisajístico negativo y duradero. Los inconvenientes apuntados se refieren, lógicamente, a los que el procedimiento tiene en las condiciones de aplicación debidas y con una correcta ejecución, que son ajenos a los que se pueden derivar de una ejecución defectuosa o de unas condiciones de aplicación inadecuadas.

La aplicabilidad actual de los aterrazados se ha reducido mucho al surgir equipos, como el TTAE o el asurcador Foresta, capaces de realizar labores de alta eficacia hidrológica en pendientes del 35 al 55% por una parte, y otros, como los empleados en procedimientos mecanizados puntuales que realizan banquetas con microcuena, que superan el 55% de pendiente.

Rendimiento.- Variable con la potencia del tractor, separación entre ejes de terrazas, pendiente, longitud de las besanas y dureza del terreno. Oscila, para 2.500 metros de terraza por ha (separación entre ejes de terraza de 4 m, normalmente esta separación es mayor), entre 6 y 12 horas/ha.

Acaballonado forestal

Consiste en la ejecución de un surco de 70 a 80 cm de ancho, con caballón aguas debajo de 30 a 40 cm, realizando en segunda pasada un subsolado en el fondo del surco (Abascal, 1997).

Equipos y aperos.- Sobre un tractor de cadenas convencional de 130 a 170 CV, se montan dos nuevos aperos: un asurcador, que sustituye a la pala convencional, y que consiste en una o varias puntas de ataque, un plano inclinado rematado en una teja de volteo y una cuchilla taluzadora, disponiendo de dos asurcadores independientes para poder trabajar en ambos sentidos de la marcha; un subsolador que sustituye al ripper convencional, de modo que la barra portaherramientas quede horizontal aunque el tracto marche inclinado, así, el subsolado se realiza siempre verticalmente y actúa en cada pasada un único subsolador.

Método operativo.- El tractor se desplaza en curva de nivel realizando en la primera pasada el surco y caballón con el asurcador frontal. La cadena de aguas arriba circula por el surco mejorando la estabilidad del equipo y permitiendo trabajar en pendientes mayores del 35%. A la vez realiza un desbroce simultáneo lineal y por arranque. En la segunda pasada, se levanta el asurcador y se clava el subsolador correspondiente, que mulle el suelo y favorece la infiltración después de haber pasado la cadena sobre el surco.

Condiciones de aplicación y efectos.- Se trata de un procedimiento lineal, mecanizado, de alta profundidad y con inversión de horizontes en la anchura del surco. La pendiente máxima que puede alcanzarse, según el fabricante, es del 55%. Está limitado por afloramientos rocosos o irregularidades bruscas en la superficie de la ladera. Los surcos no deben interrumpir la red natural de drenaje. Un matorral excesivamente denso puede ser limitante por embozar los aperos y por no ser suficientemente ancho el desbroce asociado, por lo que en este caso sería necesario aplicar un desbroce lineal por roza y trituración. Parece más adecuado el sistema sobre suelos silíceos y calizos descarbonatados, en ambos casos de baja pedregosidad. Sus efectos son: hidrológicos favorables; para la supervivencia de la planta eficaces; y para el paisaje poco importantes y poco duraderos. Como todos los procedimientos que ejecutan un subsolado, es mejor ejecutar el trabajo con el suelo seco.

Rendimiento.- Según el fabricante, entre 800 y 3000 metros lineales de surco subsolado por hora, en función de la pendiente, tipo de matorral y dureza del terreno.

Laboreo pleno

Consiste en realizar una labor similar a la de los alzados que se utilizan en el campo agrícola, removiendo toda la superficie del terreno.

Equipos y aperos.- Tractor agrícola de ruedas de más de 50 CV de potencia con arados de vertedera o de discos, de diferentes anchuras de labor y pesos.

Método operativo.- Se procede de la misma forma que en el cultivo agrícola, dando pasadas paralelas, preferiblemente en curva de nivel. La pendiente para esta forma de operar será inferior al 20 %, en evitación de vuelco del tractor.

Condiciones de aplicación y efectos.- Es un procedimiento de preparación del suelo a hecho, con inversión de horizontes, mecanizado y de profundidad media pues difícilmente se superan los 40 cm de

profundidad de labor. El efecto hidrológico se puede considerar negativo, pues puede favorecer los procesos erosivos, por lo que únicamente se debe emplear en zonas de pendiente reducida, en todo caso inferior al 15 %. El efecto sobre el paisaje, al aplicarse en terrenos relativamente llanos y no dejar fajas alternas de diferente color, no es muy patente. Su aplicación requiere un monte sin vegetación consistente o previamente desbrozado por roza y trituración. No es conveniente aplicarlo a suelos con alto contenido de caliza activa en profundidad alcanzable por la labor. Su aplicación en reforestación está limitada a la ejecución de siembras a voleo. Puede ser de aplicación con especies adecuadas en la repoblación de terrenos agrícolas abandonados con suelos de buena permeabilidad, siendo siempre conveniente realizar un subsolado profundo previo. También puede ser de aplicación en montes de pino piñonero y rodeno, de poca pendiente, texturas arenosas, a regenerar por siembra tras un incendio o una corta a hecho. Implica un desbroce a hecho, simultáneo a la preparación del suelo, por arranque y con efectos duraderos.

Rendimiento.- Dadas las fáciles condiciones, escasa pendiente y desbroce previo o innecesario, el rendimiento es alto, alrededor de 4 horas/ha.

Acaballonado superficial completo

Se trata de un procedimiento de acaballonado en toda la superficie del monte conseguido a través de aproximar suficientemente los ejes de las fajas descritas anteriormente en el acaballonado superficial (IV.11).

Equipo y aperos.- Similar al descrito en IV.11.

Método operativo.- El tractor realiza un decapado sobre una faja que posteriormente subsola. Al realizar la siguiente faja se aproxima a ella de manera que el nuevo caballón queda sobre el borde de la anterior faja decapada, afectando de esta forma a toda la superficie del monte y no dejando entrefajas inalteradas.

Condiciones de aplicación y efectos.- Es un procedimiento de preparación a hecho, con inversión de horizontes limitada a la profundidad del decapado, máximo 10 cm, mecanizada y de profundidad alta por el subsolado. El efecto hidrológico es similar al del acaballonado superficial. El efecto paisajístico es algo menor al no observarse fajas alternas de diferente color. Produce un desbroce simultáneo, a hecho y por arranque de gran efectividad, que reduce largo tiempo la reinvasión por el matorral. Esta limitada su ejecución con tractores convencionales a un 35% de pendiente. No es aconsejable en suelos calizos ni en casos de alta torrencialidad climática. Será interesante en repoblaciones productoras sobre suelos profundos, de escasa pendiente, con matorral que no necesite desbroces selectivos, todo ello para retrasar los desbroces posteriores.

Rendimiento.- De 5,5 horas/ha a 8 horas/ha.

Acaballonado completo en llano

Es un procedimiento de preparación del suelo que se ha denominado también acaballonado en páramo ácido, tomando el nombre de las muy particulares condiciones en que se aplica. Éstas son zonas llanas, con suelo silíceo, de

relativamente alta pluviometría en las que una deforestación provocada frecuentemente por el cultivo agrícola y su posterior abandono o la reiteración de incendios y pastoreo han conducido a la existencia de una vegetación de matorral de escasa talla formada por ericáceas y a un suelo evolucionado y profundo caracterizado por la presencia de un horizonte intermedio muy impermeable por su alto contenido en arcillas. Las condiciones fisiográficas y edáficas provocan encharcamientos periódicos en invierno y primavera del perfil lo que limita en gran medida la instalación de una vegetación arbórea. La preparación que se describe tiende a superar estas circunstancias mediante un rejuvenecimiento de perfil por labores muy intensas. Son particularmente frecuentes estas situaciones en extensas zonas del norte de la cuenca del Duero donde se sitúan los páramos ácidos que han dado nombre al procedimiento, pero evitamos esta denominación por que la aplicación es también extensible a algunas rañas de la cuenca del Tajo e incluso a algunas zonas del Guadiana.

Equipos y aperos.- Se precisan tractores de cadenas de gran potencia a los que en primer lugar se les aplica un subsolador de gran tamaño, a veces con topo y después un potente arado abrezanjas de doble vertedera.

Método operativo.- Se procede realizando un estudio topográfico que permita orientar los caballones para una más eficaz evacuación del agua. Perpendicularmente a esta dirección se hace un subsolado profundo y paralelo. A continuación, y perpendicularmente al subsolado, se procede a formar unos caballones de aproximadamente 60 cm de altura con el abrezanjas mediante dos pasadas, una a cada lado del eje del caballón, haciéndose una vertiente del mismo a la ida y otra a la vuelta. El terreno queda alterado en toda la superficie, ondulado y completamente desbrozado. El agua circulará por los surcos y la plantación se puede realizar en lo alto del caballón.

Condiciones de aplicación y efectos.- Es un procedimiento de preparación del suelo a hecho, con fuerte inversión de horizontes, mecanizado y de alta profundidad. Al aplicarse en zonas llanas no hay que comentar su efecto sobre la escorrentía. Consigue drenar el perfil para permitir la respiración de las raíces de las plantas introducidas. El efecto paisajístico es inapreciable al aplicarse en zonas llanas. El efecto a largo plazo es permitir la instalación de una masa arbórea que mejore por sí misma la permeabilidad del suelo y su enriquecimiento. Las limitaciones se refieren a las especiales circunstancias de aplicación comentadas.

Rendimiento.- Para el subsolado se emplean, dando 5000 m/ha, 3 horas/ha y para el acaballado un tiempo similar.

Subsolado pleno

También se denomina subsolado cruzado pues consiste en ejecutar un doble subsolado lineal según se describió en IV.3.10 en direcciones que serán perpendiculares en terrenos sensiblemente llanos y oblicuas en terrenos con pendiente.

Equipos y aperos.- Tractor de cadenas de más de 100 CV de potencia con barra portaaperos de elevación hidráulica con dos subsoladores separados 2 m.

Método operativo.- El terreno no debe necesitar desbroce o estar previamente desbrozado por roza a hecho. Se procede igual que en el subsolado lineal pero en terreno llano se repite la operación dando sucesivas pasadas perpendiculares a las anteriores. Queda el terreno con 10.000 m de subsolado/ha en forma de retícula de 2 por 2 m de lado y se planta en las intersecciones. Para densidades de plantación menores se utiliza un solo ripper central dando un solo surco en cada pasada, que se separan en función del marco real elegido. En pendiente las pasadas son oblicuas entre sí y paralelas a las diagonales imaginarias del rectángulo definido por la ladera, quedando una retícula de forma romboidal. Se plantará en las intersecciones.

Condiciones de aplicación y efectos.- Es un procedimiento de preparación del suelo a hecho, sin inversión de horizontes, mecanizado y de alta profundidad. En pendiente, el efecto hidrológico es superior al del subsolado lineal en la medida que duplica la longitud del subsolado, y menor por razón de no aplicarse en curva de nivel, no obstante, donde se ha probado no han inducido los surcos oblicuos abarrancamiento alguno. El efecto sobre el paisaje es pequeño y muy transitorio. Sobre la plantación tiene un efecto muy favorable al permitir el desarrollo del sistema radical en cuatro sentidos. Cuando se trabaja en ladera, la limitación por la pendiente a un tractor convencional es algo superior a la del subsolado simple, se puede llegar hasta un 45%. Otra limitación es la uniformidad de la ladera, que no tendrá frecuentes afloramientos rocosos ni bruscos cambios de pendiente. En repoblaciones productoras es eficaz pues favorece el crecimiento de la masa instalada, independientemente de la pendiente.

En repoblaciones protectoras de terrenos que no necesiten desbroces, uniformes y con pendiente entre 35% y 45% es un procedimiento a tener en cuenta, aunque esta posible necesidad ha sido satisfecha por el TTAE.

Rendimiento.- Variable según se empleen uno o dos ripper y según el lado de la retícula. Para 10.000 m de subsolado por ha con dos subsoladores a la vez, el rendimiento es del orden de 8 horas/ha.

Aspectos hidrológicos de los desbroces y de la preparación del suelo

Se han realizado experiencias con lluvia artificial para cuantificar el efecto hidrológico de las cubiertas forestales y de las labores de desbroce y de preparación del suelo, todo ello en parcelas situadas en Guadalajara y en Málaga (Serrada *et al.*, 1997). Sin entrar en detalles de metodología, se presentan resumidamente los resultados obtenidos en la tabla 1, donde c es el coeficiente que representa el cociente entre la precipitación registrada hasta el inicio de la escorrentía en la labor analizada y la precipitación registrada hasta el inicio de la escorrentía en las parcelas testigo, pobladas por matorral sin alterar. Significa que valores inferiores a la unidad han provocado una pérdida de capacidad de infiltración, y valores superiores a la unidad una mejora.

Lugar	Guadalajara		Málaga	
	Variación de c	V. medio de c	Variación de c	V. medio de c
Roza en puntos. 2000 casillas/ha	0,38-0,93	0,66	0,58-0,94	0,76
Roza en fajas de 2 m y 2 m de entrefaja	0,74-1,06	0,90	0,77-0,97	0,87
Roza total	0,73-0,78	0,76	0,56-0,75	0,66
Decapado en fajas de 2 m y 2 m de entrefaja	0,33-0,72	0,53		
Decapado total	0,19-0,73	0,46	0,41-0,61	0,51
Ahoyado manual. 2000 h/ha	0,74-1,89	1,32	1,07-1,51	1,29
Ahoyado con pico mecánico y microcuenca. 2000 h/ha	0,72-1,14	0,93	0,86-1,17	1,02
Ahoyado con retroexcavadora. 1111 h/ha	-	-	1,64-2,70	2,17
Ahoyado con ripper. 2000 h/ha	-	-	1,26-1,48	1,37
Subsolado lineal de 40 cm. 5000 m/ha	1,32-2,0	1,66	-	-
Subsolado lineal de 60 cm. 5000 m/ha	1,25-2,44	1,85	2,27-3,28	2,78
Subsolado cruzado en rombo. 1000 m/ha	0,94-1,90	1,42	0,87-1,09	0,98
Subsolado en máxima pendiente. 5000 m/ha			2,10-2,65	2,38
Acaballonado con desfonde. 5000 m/ha	1,41-2,46	1,94		
Acaballonado superficial. 5000 m/ha	0,71-1,44	1,08	1,39-1,68	1,54
Acaballonado con TRAMET. 5000 m/ha	1,41-3,00	2,21	-	-
Labor completa TRAMET. 5000 m/ha	1,25-1,85	1,55	-	-
Aterrazado con subsolado. 2,5 m de terraza, separación 4 m	0,87-3,47	2,17	2,74-3,41	3,08
Roza en fajas y subsolado TTAE. 3333 m/ha	2,91	2,91	1,22	1,22

Tabla 1.- Se hace notar que figuran en la tabla datos correspondientes a labores efectuadas con un equipo denominado TRAMET, que en la actualidad está en desuso. La morfología externa de la labor que hacía este equipo se aproximaba a la del equipo Foresta.

Los valores extremos de las mediciones que figuran en la tabla se corresponden con diferentes contenidos de humedad en el suelo. El comportamiento en las dos parcelas es lógicamente diferente, al estar las parcelas de Guadalajara sobre rañas y las de Málaga sobre dolomías, aunque se puede comprobar una tendencia similar en la ordenación del efecto de las labores.

El valor del coeficiente es directamente proporcional a la mejora o empeoramiento de la capacidad de infiltración que ha podido inducir la labor efectuada. El análisis de los valores medios reflejados cuantifica el efecto hidrológico de las labores que se han descrito en este y en el anterior capítulo.

También sirven los valores de c superiores a la unidad para proyectar, en cada caso, la preparación del suelo suficiente para anular la escorrentía, según las condiciones particulares del rodal a repoblar y de la torrencialidad del clima. Se puede aplicar el siguiente procedimiento:

- 1.- Se escoge un lugar que reúna las características medias, en relación con la pendiente y con la composición y espesura del matorral, del rodal o zona a repoblar.
- 2.- Se replantea una parcela testigo, de 4 m de anchura en curva de nivel y de 20 m de longitud en línea de máxima pendiente.
- 3.- Se dispone sobre la parcela de una batería de al menos

5 pluviómetros. Se realiza un tendido de 4 mangueras a partir de motobombas de incendios. Se inicia la lluvia artificial a razón de 2 a 3 mm de precipitación por minuto. Cada manguera reproduce la precipitación sobre un sector de la parcela de 4 x 5 m. Un observador comprueba, dentro de la parcela cómo se va produciendo la infiltración y el correcto reparto de la lluvia. Detiene la prueba en el momento en que comprueba escorrentía generalizada en varios puntos de la parcela.

4.- Se obtiene la intensidad del aguacero que es capaz de resistir el estado actual del monte como media de la precipitación de los pluviómetros.

5.- Con base en datos de observatorios meteorológicos cercanos, se calcula la intensidad del aguacero máximo en un plazo determinado, para una recurrencia de 15 a 20 años.

6.- Se calcula el cociente entre el aguacero natural esperable y el valor medio obtenido en los pluviómetros. Este cociente es el valor que mínimo que tiene que caracterizar al procedimiento de preparación del suelo a aplicar.

7.- Se escoge el procedimiento cuyo valor medio de c en la tabla sea superior al cociente calculado en el punto anterior.

Aplicando este procedimiento de decisión se puede asegurar que el procedimiento de preparación del suelo

elegido es el necesario, suficiente y no excesivo para cubrir el objetivo de anular la escorrentía, con efectos sobre la anulación de la erosión y sobre el abastecimiento hídrico a las plantas introducidas, que se había marcado en la discusión del primer epígrafe de este capítulo.

Bibliografía

- Abascal, J.M. (1997). Nueva trampa de agua que evita la erosión. Aplicable a repoblaciones forestales, dehesas y pastizales. *Revista MONTES*, nº 47: 17-21. Asociaciones y Colegios de Ingenieros de Montes e Ingenieros Técnicos Forestales. Madrid.
- Arenas, S.G., Riveiro, A.M. (1997). Método de repoblación manual en fajas en montes de la provincia de Lugo: Marras y posibles causas. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, nº 4 – 1997. Actas de la Reunión del Grupo de Trabajo de Repoblación Forestal. Madrid
- Bara, S. (1990). *Fertilización forestal*. Colección Técnica. Serie Tecnoloxía nº 1. Consellería de Agricultura, Gandería e Montes. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.
- De Simon, E. (1990). Restauración de la vegetación en cuencas mediterráneas: repoblaciones en zonas áridas. in *ECOLOGÍA*, Fuera de Serie nº 1. ICONA. Madrid.
- Martinez Artero, J.F., Bago, D., Castillo, V., Albadalejo, J., Roldán, A. (1997). Reforestación en áreas semiáridas mediterráneas. Ensayo de nuevas técnicas. *Actas del II Congreso Forestal Español*. Mesa 3: 383-388. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Pamplona.
- Masip, J., Arnó, J. (1993). Diseño de un prototipo de cabezal mullidor para repoblaciones forestales. *Actas del I Congreso Forestal Español*. Tomo II. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Xunta de Galicia. Pontevedra.
- Oliet, J., Navarro, R., Contreras, O. (2003). *Evaluación de la aplicación de Tubos y Mejoradores en repoblaciones forestales*. Manuales de Restauración Forestal nº 2. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Córdoba.
- Navarro, M. (1975). *Técnicas de Forestación*. Monografías nº 9. ICONA. Madrid.
- Serrada, R. (2000). *Apuntes de Repoblaciones Forestales*. Fundación Conde Valle de Salazar. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Madrid.
- Serrada, R.; Mintegui, J.A., Robredo, J.C., García, J.L., Gómez, V., Zazo, J., Navarro, R. (1997). Formación de escorrentías con lluvias torrenciales simuladas, en parcelas con diferentes cubiertas vegetales y distintas preparaciones del suelo para las repoblaciones forestales. *Actas del II Congreso Forestal Español*, Mesa 2, 605-610. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Pamplona.

Afonso Martins

Efeitos da preparação do terreno nas propriedades do solo e na resposta das plantas em sistemas florestais e agro-florestais

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

Sumário 1.-Condições fundamentais do SOLO para suportar convenientemente a vida vegetal;2.-Características gerais dos solos do N de Portugal mais utilizados em floresta e limitações daí decorrentes;3.-Possíveis técnicas para corrigir essas limitações e importância da preparação do terreno antes da plantação;4.-Referência aos resultados experimentais obtidos em novos povoamentos florestais submetidos a diferentes operações de preparação do terreno antes da plantação e conclusões retiradas dos dois primeiros anos de ensaios;5.-Gestão do solo em sistemas agro-florestais (caso dos soutos). Referência aos resultados obtidos sobre a comparação entre a prática tradicional e novas práticas de gestão do subcoberto e respectivas recomendações daí emergentes.

Esta sessão pretende contribuir para os objectivos globais do curso, através da divulgação e discussão da informação proposta numa óptica global de produção sustentada e conservação da qualidade ambiental em sistemas florestais e agroflorestais. Para tal, e após uma introdução com alguns conceitos fundamentais sobre a relação do solo com as plantas e as limitações de parte dos solos utilizados em floresta, serão apresentados alguns resultados experimentais obtidos nos últimos anos pelo autor e sua equipa, sobre a preparação do terreno e a gestão do solo em sistemas florestais e agro-florestais. No Norte de Portugal, com maior incidência no NE, grande parte da área é coberta por solos com fortes limitações para o uso florestal, principalmente devidas a: (a) baixo suporte radical, por baixa espessura efectiva; (b) elevado défice hídrico na

época estival, face à característica anterior e às próprias condições climáticas; (c) riscos de erosão elevados, devido aos declives mais ou menos acentuados; (d) presença de obstáculos, principalmente por afloramentos rochosos, o que dificulta as operações de mecanização (AGROCONSULTORES e COBA, 1991; Martins e Constantino, 1992). Crê-se que esta situação também ocorrerá em parte da área da Galiza. Assim, o sucesso das plantações florestais, numa óptica de produtividade e sustentabilidade, requer necessariamente alguns cuidados de preparação do terreno antes da plantação, no sentido de se corrigirem e ultrapassarem essas limitações, ou parte delas. Essa preparação passa pela utilização de mecanização que promova a descompactação e aprofundamento do solo e a armação do terreno, de forma a corrigir essas limitações e é reconhecido que a resposta das plantas à plantação depende muito da forma de preparação do terreno (ZWOLINSKI & DONALD, 1995). São porém várias as opções que se podem tomar e delas depende quer o sucesso das plantações quer a conservação de recursos. A utilização de técnicas incorrectas na preparação de solos florestais pode conduzir a impactes negativos, de que salientam a perda de solo por erosão e conseqüente remoção de nutrientes, compactação, alterações na concentração de matéria orgânica, no ciclo de nutrientes, no regime hídrico e na biologia do solo (PRITCHETT e FISCHER, 1987; ORLANDER et al.,1996; WORRELL & HAMPSON, 1997). Por outro lado, a utilização de técnicas ligeiras, pode traduzir-se num insucesso completo das plantações, enquanto a intensidade de operações, com elevação de custos e possível agravamento de impactes negativos, pode não se traduzir em resultados compensatórios tanto em propriedades medidas no solo, como no sucesso das plantações (PINTO, 2000).

No sentido de contribuir para um melhor esclarecimento desta problemática, instalou-se um campo experimental, suportado pelo programa AGRO, Medida 8.1, onde é testado o efeito de diferentes modalidades de preparação do terreno antes da plantação, em propriedades do solo e no comportamento das plantas.

Apresenta-se um resumo com a caracterização do dispositivo experimental, parâmetros ou propriedades medidas e metodologias usadas e conclusões sobre os resultados obtidos até à data.

Estudo sobre o efeito de diferentes operações de preparação do terreno antes da plantação

Dispositivo experimental

Foram seleccionados 8 modalidades de técnicas de preparação do terreno e implantadas num campo experimental localizado próximo de Bragança, NE de Portugal, em talhões de 15x25m, com 3 repetições cada, dispostos em 3 blocos casualizados, a 800 m de altitude, 1000 l m⁻² de PMA e 12°C de TMA. Compasso no talhão 4x2 m; Espécies utilizadas na plantação - *Castanea sativa* Miller e *Pseudotsuga menziesii* Mirb. Var. Franco.

Modalidades ensaiadas

TSMO - Testemunha, sem mobilização

TERO - Testemunha para erosão - ripagem contínua, seguida de lavoura normal no sentido de maior declive

SMPC - Não mobilização, c/ plantação à cova com broca rotativa

RCAV - Só ripagem contínua com ripper equipado com aivequinhos

SRVC – Lavoura profunda com duas passagens e armação do terreno em vala e câmore, sem ripagem prévia;

RLVC - Ripagem localizada seguida de lavoura profunda com duas passagens e armação em vala e câmore

RCVC - Ripagem contínua, seguida de lavoura profunda com duas passagens e armação em vala e câmore

RCLC - Ripagem contínua seguida de lavoura profunda contínua

Propiedades/Parâmetros a quantificar e metodologias

Morfologia do perfil do solo –por observação do perfil do solo antes e depois da preparação do terreno

Compactação – medição com *penetrolloger* Eijkelkamp

Regime hídrico do solo e disponibilidade de água – com equipamento TDR

Concentração e dinâmica de nutrientes – por amostragem e análise laboratorial

Perda de solo e de nutrientes por erosão – por recolha de sedimentos e de águas de escorrência

Desenvolvimento radical – por observação de raízes na parede do perfil do solo

Falhas à plantação – por contagem das plantas sobreviventes

Crescimentos – por medição nas plantas

Implicações na optimização de custos

Conclusões retiradas dos dois primeiros anos de ensaio

Partindo dos resultados obtidos nos dois primeiros anos, que têm sido apresentados em reuniões científicas (FONSECA, *et al.* 2003; FONSECA, *et al.* 2004), retiraram-se as seguintes conclusões:

As modalidades que apresentam taxas mais elevadas de mortalidade são SMPC e RCAV, quer no 1º ano quer no 2º, antes do período estival (ape) e depois do período estival (dpe), em ambas as espécies, tendo sido ainda observado um acréscimo elevado de mortalidade durante o período estival, essencialmente nas modalidades anteriores, o que está relacionado com o défice hídrico elevado nesse período e nessas modalidades.

Estes resultados mostram a importância do tipo de preparação no aumento da espessura efectiva do solo e os seus reflexos no armazenamento de água para o sucesso das plantações.

Não se observam diferenças estatisticamente significativas no sucesso da plantação entre as modalidades com ripagem e vala e câmore (SRVC, RLVC e RCVC) e entre estas e a modalidade RCLC.

No primeiro ano observou-se maior taxa de mortalidade na espécie PM comparada com CS, o que parece relacionar-se com o facto das plantas de PM serem enraizadas e fornecidas em saco, enquanto as de CS o foram em raiz nua, o que parece ter efeito na adaptação da planta ao terreno.

Os valores de humidade observados até 40 cm de profundidade são muito baixos, (inferiores a 6 %), desde o início do período de medição (16 de Junho), valor muito inferior ao da humidade do solo submetido a uma pressão extractiva de 1500 kPa (coeficiente de emurchecimento), mostrando que ou as plantas podem enraizar até camadas mais profundas e extrair daí a água, ou correm riscos graves de morte por falta de água.

No tocante ao potencial hídrico foliar (Yw), obtiveram-se os valores mais baixos na modalidade SMPC, a confirmar as elevadas taxas de mortalidade obtidas nesta modalidade referidas em (a).

Uma das modalidades com maior intensidade de mobilização, a RCVC, mostrou também os valores mais baixos de Yw em parte das medições, comparativamente com modalidades menos intensas, o que à partida e juntamente com o referido em (b), levanta dúvidas sobre o efeito desta modalidade de preparação mais intensa do solo.

15 meses após a plantação, observa-se em ambas as espécies até 50 cm de profundidade, um predomínio das raízes com Ø < 2 mm, mais notório na PM e um baixa ou nula % de raízes com Ø entre 5 e 10 mm.

No tocante às perdas de solo por erosão hídrica, observaram-se valores perfeitamente toleráveis, da ordem de 1 t/ha/ano, mostrando um impacto relativamente baixo sobre o solo.

Sobre o mesmo tema, observou-se aumento de valores de perda de solo e de escoamento superficial, com a intensidade da mobilização, o que recomenda a adopção de práticas pouco intensas sempre que possível.

Ainda sobre o mesmo tema observou-se que o primeiro ano é o mais sensível nas perdas de solo e de escoamento superficial.

Durante a sessão apresentam-se os resultados que suportam estas conclusões.

Gestão do solo em sistemas agro-florestais (caso dos soutos). Resultados obtidos sobre a comparação entre a prática tradicional e novas práticas de gestão do subcoberto

No quadro da agricultura regional, o castanheiro (*Castanea sativa* Mill) para produção de fruto tem elevada importância em Trás-os-Montes, constituindo a principal fonte de receita da agricultura na Terra Fria de Planalto. Mostra uma boa adaptação aos condicionalismos edafo-climáticos e bióticos nas zonas de altitude entre os 600 m e 900 m, distribuindo-se por vastas áreas do Norte e Centro interior, ocupando na actualidade cerca de 85% do total nacional, correspondente a 24 500 ha para um total no país de 29 100 ha. A produção de castanha no país é actualmente da ordem das 33500 t e contribui com um valor líquido na balança do comércio internacional da ordem dos 10 milhões de euros (INE, 2002).

Tendo em atenção que as práticas culturais no subcoberto têm uma influência marcada na rentabilidade e sustentabilidade deste agro-ecossistema, desde 1996 foram instalados campos experimentais, suportados por diferentes programas nacionais de apoio à investigação (PAMAF, PRAXIS XXI e AGRO) e mais recentemente por um projecto comunitário (MANCHEST), onde se têm desenvolvido estudos sobre o efeito das práticas culturais do subcoberto, nas propriedades do solo e no comportamento das árvores. Estes campos envolvem a modalidade tradicional de mobilização com escarificador 3 a 4 vezes ano e modalidades de mobilização menos intensa, com grade de discos e de manutenção de coberto herbáceo, com vegetação natural e com pastagem semeada, em sequeiro ou regada.

Referem-se a informação base e parte das conclusões obtidos nestes trabalhos que são reportados em diferentes trabalhos publicados e comunicações apresentadas em reuniões científicas (RAIMUNDO *et al.* 2001; RAIMUNDO, 2003; BRANCO, 2003; MARTINS *et al.* 2004).

Modalidades ensaiadas:

MTE – Mobilização tradicional com escarificador

MGD – Mobilização reduzida com grade de discos

NMR – Não mobilização, com vegetação herbácea natural e passagem de máquina rotativa (destroçadora) para destruição de folhas, ouriços e vegetação arbustiva e herbácea

NMV - Não mobilização, com vegetação herbácea natural, sem utilização do equipamento anterior

PSS – Não mobilização com instalação de pastagem semeada sem rega

PSR – Não mobilização com instalação de pastagem semeada regada

Os ensaios foram instalados em dois campos experimentais, cada um com parte das modalidades. As modalidades foram instaladas em talhões com área compreendida entre 900 e 1200 m², 9 a 12 árvores por talhão e com 3 talhões sorteados nas áreas experimentais por modalidade.

Parâmetros medidos e metodologias:

Medição do regime hídrico do solo na época estival – por equipamento TDR.

Medição do potencial hídrico foliar e outros parâmetros fisiológicos – com câmara de pressão e IRGA.

Distribuição do sistema radical das árvores no perfil do solo – por observação na parede do perfil e colheita com sonda.

Medição da compactidade do solo – por *penetrologger* Eijkelkamp.

Medição da dinâmica de N – por incubação *in situ*.

Medição da biomassa aérea (folhada e frutos – em *littertraps* (folhada) e em 1/4 da área de copa em três árvores por parcela e tratamento.

Variação da composição florística herbácea com os tratamentos – por observação das espécies em transectos.

Dinâmica das comunidades de microartrópodes – por extracção e quantificação em amostras de solos colhidas por tratamento.

Dinâmica da decomposição de folhas e ouriços com os tratamentos – método das saquetas (*litterbags*).

Conclusões mais relevantes retiradas dos resultados obtidos nos últimos 7 anos (1997-2003)

A mobilização tradicional com escarificador, mostra-se ineficiente na conservação da água no solo e na sua disponibilidade para as árvores e destrói as raízes superficiais, com prejuízo da biomassa aérea e das raízes mais profundas.

A grade de discos conduziu a maiores produções de fruto mas parece provocar um calcamento excessivo na camada superficial.

O sistema de não mobilização com vegetação herbácea espontânea conduziu a uma maior diversidade das

espécies de vegetação herbácea em relação aos restantes tratamentos.

A mobilização do solo bem como a utilização de destroçadora revelaram um maior impacto nas comunidades de microartrópodes, parecendo dever-se à destruição de habitats.

A não mobilização mostra maior produção de castanha relativamente à mobilização tradicional, conduzindo pois a uma maior produtividade.

A utilização de vegetação natural ou de pastagem semeada recomenda o pastoreio ou corte no final da primavera para reduzir a competição hídrica com as árvores.

A alimentação em água parece depender essencialmente de camadas profundas, mostrando-se independente do tratamento do solo à superfície, recomendando essencialmente uma boa preparação do solo à plantação.

Durante a sessão serão apresentados os resultados que suportaram estas conclusões.

Bibliografía

- Agroconsultores & Caba. (1991). Carta dos Solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal. Memórias. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PDRITM. Vila Real;
- Branco, M. I. (2000). Técnicas de manejo do solo em sotos: Implicações no regime hídrico e propriedades físicas e no comportamento das árvores. Tese de mestrado, UTAD, Vila Real, 75 pp.
- Fonseca, F., Martins, A., Guerra, A., Silva, E., Figueiredo, T. (2003). Crescimento e sobrevivência de espécies florestais em solos submetidos e diferentes técnicas de preparação do terreno, no 1º ano de instalação. Comunicação ao Encontro Anual da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo. Coimbra 10-12 Julho 2003. Programa e Resumos, 130 pp.
- Fonseca, F., Figueiredo, T., Guerra, A., Martins, E.A. (2004). Efeito da técnica de mobilização do solo em sistemas florestais no escoamento superficial e na produção de sedimento. Comunicação ao I Congresso Ibérico da Ciência do Solo. Bragança 15-18 Junho 2004. Programa e Resumos, 160 pp.
- INE (2002). Estatísticas Regionais da Produção Vegetal e Animal 1990-2000. INE.
- Martins, A., Constantino, A. (1992). Utilização actual e aptidão da terra em Trás-os-Montes. Perspectivas futuras no sentido de um melhor ajustamento. *Agricultura Transmontana*, nº 16: 10-13. DRATM, Mirandela.
- Martins, A., Borges, O., Linhares, I., Coutinho, J.P., Gomes-Laranjo, J., Raimundo, F., Madeira, M. (2004). Importância da água de camadas profundas na disponibilidade hídrica em sistemas agro-florestais: caso de um soto adulto em Trás-os-Montes. Comunicação ao I Congresso Ibérico da Ciência do Solo. Bragança 15-18 Junho 2004. Programa e Resumos, 39 pp.
- Orlander, G., Egnell, G., Albrektson, A. (1996). Long-term effects of site preparation on growth in Scots pine. *Forest Ecology and Management*, No 86, 27-37;
- Pinto, M. G. S. (2000). Técnicas de preparação do terreno em sistemas florestais e implicações no solo e nas relações solo-planta. Tese de mestrado. UTAD, Vila Real, 96 pp.
- Pritchett, W. L., Fischer, R. (1987). *Properties and Management of Forest Soils* (sec. edit). John Wiley & Sons, New York;
- Raimundo, F. (2003). Sistemas de mobilização do solo em sotos: Influência na produtividade de castanha e nas características físicas e químicas do solo. Tese de doutoramento. UTAD, Vila Real, 222 pp.
- Raimundo, F., Branco, I., Martins, A., Madeira, M. (2001). Efeito da intensidade de preparação do solo na biomassa radical, regime hídrico, potencial hídrico foliar e produção de castanha em sotos do Nordeste Transmontano. *Revista de Ciências Agrárias*, Vol. XXIV, N°s 3 e 4, 415-423;
- Worrell, R., Hampson, A. (1997). The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils. *Forestry*, Vol. 70, No 1, 61-85;
- Zwolinski, J.B. , Donald, D.G.M. (1995). Differences in vegetation cover resulting from various methods of site preparation for pine plantations in South Africa. *Annales des Sciences Forestale*, Vol. 52, 365-374.

Juan F. Gallardo Lancho

Propiedades de los suelos forestales de montaña

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

Introducción

La calidad ambiental es un término equívoco y se puede definir bien con un carácter ecológico (mantenimiento de la biodiversidad) o bien utilitario (capacidad para producir bienes). La calidad ambiental a su vez está íntimamente relacionada con la productividad edáfica y la salud biológica (véase Figura 1)

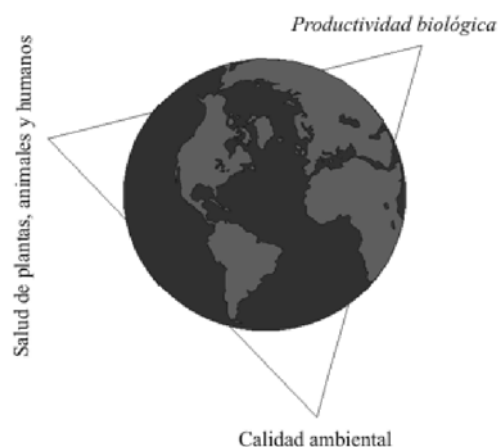
Históricamente el concepto de calidad de suelo ha estado ligado a producción, *ergo* relacionado con el concepto de fertilidad edáfica. Hoy día se ha ampliado el concepto y comprende aspectos de conservación de suelos (ausencia de erosión), biodiversidad (alta riqueza biológica) y salud biológica (actividad microbiana); por ello se dice que la calidad del suelo está íntimamente relacionado con la capacidad del suelo para funcionar, es decir, para cumplir con todas sus posibles funciones (producir, conservar, amortiguar, filtrar, depurar, embellecer, *etc.*).

Obviamente este término más bien abstracto hay que materializarlo a través de indicadores de calidad que permitan la evaluación relativamente fácil del suelo; generalmente al hablar de ellos enseguida se refiere a la permeabilidad (compactación), acidez edáfica (pH), salinidad (conductividad), al contenido de materia orgánica del suelo (MOS) o a la presencia de lombrices de tierra (actividad biológica), remitiéndose al concepto de degradación edáfica cuando algunos de estos indicadores muestran aspectos negativos. Estos indicadores permiten

simplificar, cuantificar, evaluar, seguir, comparar y comunicar fenómenos muy complejos, que abarcan áreas tan distintas como puede ser la Edafología, Ecología, Agronomía, Sociología, Economía, *etc.*; véase Figura 2). Por ello la tendencia es que estos indicadores sean los más universales posibles, estos es, permitan una normalización en los diagnósticos. Esto no es siempre posible, debido a la tremenda variación (zonal e intrazonal) de los sistemas.

Un indicador de calidad debería permitir:

- analizar la situación actual e identificar los puntos críticos respecto a la calidad ambiental;
- analizar los posibles impactos antes de una intervención;
- monitorear el impacto de las intervenciones antrópozoógenas; y
- ayudar a determinar si el uso del recurso es óptimo (sostenible).



Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Aptado. 257, Salamanca 37071
jgallard@usal.es

Figura 1.- Principales componentes de la calidad ambiental (Doran y Parkin, 1994).

La persistencia de buenos valores en los indicadores deben indicar la resiliencia o, en términos socioeconómicos, la sostenibilidad (véase Figura 3).

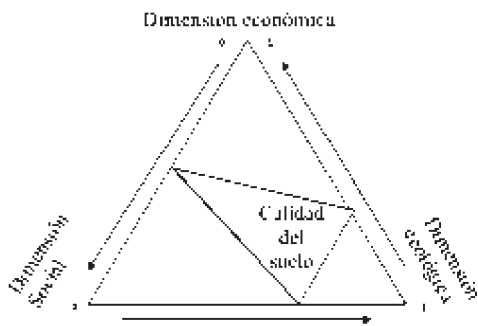


Figura 2.- Triángulo de Moebius de las tres dimensiones implicadas en el concepto de calidad de suelos (Hünne Meyer et al., 1997).

Los indicadores de calidad edáfica deben cumplir las siguientes condiciones:

- a.-Describir los procesos del ecosistema.
- b.-Integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- c.-Reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir.
- d.-Ser sensitivas a variaciones de clima y manejo.
- e.-Ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo.
- f.-Ser reproducibles.
- g.-Ser fáciles de entender.
- h.-Ser sensitivos a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropozoogénica.

Cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

A la hora práctica, hay que buscar indicadores entre las propiedades físicas, fisicoquímicas, bioquímicas y biológicas. Entre los indicadores que se han propuesto, se consideran como un mínimo:

Propiedades físicas: Algunos no se pueden cambiar fácilmente, por lo que dependen del estado inicial; otros, como el agua, dependen del manejo.

Textura: Regula la retención y transporte del agua y de compuestos químicos, y la erodibilidad del suelo; a veces depende del sitio o posición del paisaje (se mide porcentajes de arena, limo y arcilla).

Profundidad del suelo, del horizonte húmico superficial y de enraizamiento: Condiciona la productividad potencial y viene regulada por erosión (se indica en cm o m).

Densidad aparente: Regula la permeabilidad y erosividad (se mide en g cm⁻³).

Infiltración: Regula el potencial de lavado, la productividad y erosividad (se mide en minutos/25 mm de agua).

Capacidad de retención de agua: Indica la retención de agua capilar y la humedad útil; indirectamente se relaciona con transporte de agua y la erodibilidad; humedad; viene condicionada por la textura y la materia orgánica edáfica (cm³ cm⁻³ o en mm m⁻² de agua).

Agua útil: Cuantifica el agua aprovechable o útil por las plantas (se mide en cm; cm³ cm⁻³ o en mm m⁻² de agua, a veces sólo se refiere a los primeros -30 cm de suelo).

Intensidad de precipitación: Mide la erosividad del medio (mm hora⁻¹ o L m⁻² h⁻¹).

Pérdida de suelo: Indica la intensidad de erosión (hídrica y/o eólica), sea natural o acelerada antropozoógenamente (se mide en mm pérdida altura suelo año⁻¹ o Mg ha⁻¹ a⁻¹).

Propiedades fisicoquímicas: En realidad pueden cambiar a medio plazo (v. g., por el manejo) y muchos de ellos dependen directamente de contenido de C o Ca edáfico.

Acidez edáfica (pH): Define la actividad química y biológica; existen límites superiores e inferiores propicios para la actividad vegetal y microbiana

Conductividad eléctrica: Modula la actividad vegetal y microbiana; existen límites superiores e inferiores propicios para la actividad vegetal y microbiana (dS m⁻¹).

Propiedades bioquímicas: Son indicadores de calidad ambiental por excelencia en los diversos aspectos de biodiversidad, producción o de degradación.

Materia orgánica del suelo (MOS), que a veces se determina como C orgánico del suelo (COS) o el N total: Define la fertilidad del suelo, la estabilidad y erosión (Mg de C, o de N, ha⁻¹).

N potencialmente mineralizable: Es índice de la productividad del suelo y del suministro potencial de N (g de N ha⁻¹ día⁻¹ en términos absolutos o en relación al contenido de N total o COS).

P, Ca, Mg y K asimilables: Nutrientes disponibles para la planta; indican niveles suficientes (o insuficientes) para el desarrollo de los cultivos, la productividad y la pérdida potencia de nutrientes (kg forma asimilable ha⁻¹).

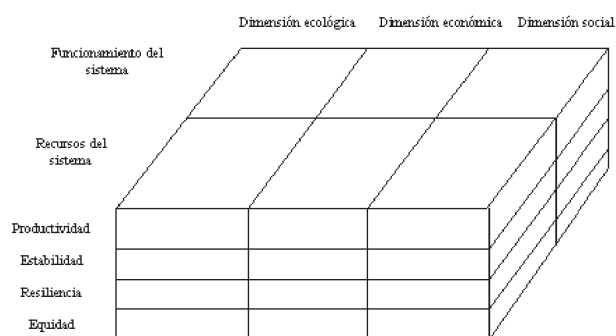


Figura 3.- Diferentes enfoques en la definición de indicadores de calidad del suelo (Hünne Meyer et al., 1997).

Propiedades biológicas: Indican biodiversidad y actividad microbiana; evalúan los cambios a corto plazo de los efectos del manejo sobre la MOS

Respiración microbiana: Mide la actividad de la biomasa microbiana; es dependiente del contenido de humedad y temperatura e indica la pérdida de C en relación con el compartimento del COS (kg de C o CO₂ ha⁻¹ día⁻¹ en términos absolutos o relativos a la biomasa microbiana o al COS).

C y N de la biomasa microbiana: Indica el potencial microbiano catalítico (kg de N microbiano, o C microbiano, ha⁻¹ en valores absolutos o relativos al N total, COS o CO₂ producidos por respiración).

Por tanto, la existencia de tantos indicadores indica que cada uno se utilizará en función del objetivo, pues no es lo mismo intentar ver la evolución a corto o largo plazo, por ejemplo.

Consecuentemente, los manejos de los suelos deben estar en función de una mejora de estos índices o, al menos, un no empeoramiento (degradación), dada la precariedad general de los suelos de montañas.

Los suelos forestales de montaña suelen ser suelos marginales, esto es, suelos con escasa fertilidad dado que existen algún factor limitante a su desarrollo, como pueden ser: a) baja temperatura media anual; b) fuertes pendientes; c) orografía que hace difícil el acceso o la mecanización agrícola; d) limitaciones físicas severas (como suelos demasiado delgados, a veces muy arenosos, a veces muy pedregosos, etc.); e) están sometidos a procesos erosivos actuales; f) otras limitaciones de cualquier tipo, como ejemplo, expuestos a frecuentes inundaciones o avalanchas. En suma, por lo general estos suelos son poco productivos y/o difícilmente accesibles a la extracción de la producción.

La pluviometría y/o humedad edáfica pueden ser sin embargo muy variables, yendo desde extremos de áreas con intensa pluviosidad o frecuentes nieblas, hasta suelos rayanos a la semiaridez, con instalación de especies forestales más bien xerófitas, de bajo consumo de agua y, usualmente, lento crecimiento.

Pocas veces (por lo que no vale la pena tenerse en cuenta) pueden encontrarse suelos profundos, desarrollados y fértiles; generalmente se asocian a propiedades estatales, en su día fueron posesiones reales destinada a caza, o monásticas sometidas a desamortización en alguna época pasada y luego transferidas a bien público o, excepcionalmente, a manos privadas que, por alguna razón (lo más usual, por absentismo), no fueron roturadas o sólo parcial y esporádicamente.

Así, en relación con la calidad ambiental, se puede afirmar que los suelos forestales obedecen a excesivas casuísticas, es decir, desde suelos forestales establecidos en ecosistemas climáticos o paraclimáticos (los segundos promovidos por un antiguo aprovechamiento; v. g., castañares), hasta suelos en degradación progresiva por efecto erosivos naturales (azonales) o promovidos por la presión antropozógenas o una mal manejo (sobrexplotación maderera; excesiva carga ganadera,

incendios sociales recurrentes).

La tendencia, al menos en Europa (en estos nos distinguimos de la mayoría de los países iberoamericanos) es a la recuperación de los suelos forestales degradados por la disminución de la presión antropozógena (motivada por el abandono de tierras marginales desde los años '60 y, más recientemente, por la política agropecuaria y ambiental de la Unión Europea); sólo en algún caso, como sucede en Extremadura, la subvención por animal de carne, en régimen extensivo, ha conllevado a una vuelta atrás en cuanto al incremento observado de carga ganadera y de nuevo han comenzando a darse claros síntomas de sobrepastoreo en las dehesas, que pudiera ser preocupante si esta Autonomía continúa con dicho régimen de subvenciones después del año 2006.

Propiedades y limitaciones

En base a lo indicado, las propiedades de los suelos forestales de montaña son muy diversas, como ya se ha señalado. Conviene hacer un repaso de ellas:

a.-Pendientes: Como se dijo, estos suelos suelen estar sobre laderas, es decir, en fuertes a muy fuertes pendientes, lo cual limita su uso, así como también su posible aprovechamiento. Los suelos más favorables y desarrollados son los que se hallan en el pie de monte, con pendientes más suaves.

b.-Profundidad del suelo, del horizonte húmico superficial y de enraizamiento: Suelen ser suelos con gran variabilidad espacial en cuanto a la profundidad, pasando de profundos bolsones de suelos a afloramientos rocosos en pocos metros, lo cual limita el debido enraizamiento; sin embargo, en alta montaña, la profundidad del horizonte húmico (*Ah*) suele ser notable.

c.-Afloramientos rocosos: La delgadez de los suelos va en general asociada a la presencia afloramientos rocosos; denotan roca dura, difícil de edafizar.

d.-Pedregosidad: Muchas veces los suelos forestales están asociados a las áreas pedregosas de las montañas (pedrizas) o de los pie de montes (rañas).

e.-Textura: Lo suelos forestales de montaña suelen ser pedregosos, frecuentemente demasiado arenosos, a veces limosos (pie de monte), raramente francos, lo cual limita su aprovechamiento. Muchas áreas de pinares del Centro y Sur ibérico, u otras zonas hoy abandonadas al bosque, en realidad son lentejones de arena continentales, de origen fluvial, o terrazas marinas de dunas o más menos fósiles, (o fijadas por la vegetación). A veces no es que el suelo sea arenoso, si no que tiene un fuerte carácter limoso que lo hacen compactos e impermeables, lo cual denotan por poseer una alta densidad aparente. La estructura suele ser mala e inestable y el riesgo de erosión alto, con tendencia a la formación de malpaíses; otras veces no se tratan de suelos limosos, si no que más bien son suelos arcilloarenosos, que igualmente tienden a ser compactos a empaquetarse la arcilla dentro de los poros de las arenas, lo cual a veces históricamente se ha evitado por el laboreo,

pero al abandonarse éste, si la vegetación no se instala rápidamente y se incorpora un buen nivel de materia orgánica al suelo, el riesgo de erosiones puede llegar a ser tan alto como si se trataran de suelos limosos.

f.-Densidad aparente: Suele ser baja cuando los suelos poseen un horizonte úmico (*Ah*) bien desarrollado; por el contrario suele ser alta si predomina la textura limosa (o la pedregosidad).

g.-Infiltración: Va en función inversa de la densidad aparente.

h.-Intensidad de precipitación: En general, los suelos de montaña suelen tener alta precipitación, pero dada la usual alta permeabilidad, los riesgos son asumibles si existe cubierta forestal suficiente (> 30 %).

i.-Capacidad de retención de agua: Suele ser baja en los suelos arenosos, pero a veces queda compensada por la alta pluviometría (en caso contrario, tienden a denotar déficit hídrico).

j.-Agua útil: Igualmente es baja, dado que la MOS suele retener fuertemente el agua.

k.-Pérdida de suelo: Por las razones aludidas arriba las pérdidas de suelos no son notables, a no ser por mal manejo, incluso en fuertes pendientes. El riesgo aumenta con el aclarado del bosque o la tala a matarrasa.

l.-Acidez (pH): Los suelos forestales de montaña suelen tener una acidez condicionada al roquedo, modulada luego si existe una alta pluviometría (en suelos no excesivamente jóvenes). Los de procedencia granítica, de esquistos cuarzosos, de pizarras compactas o con tendencia horizontal, y de cuarcitas (lo que es frecuente encontrar en todo el Oeste ibérico) suelen tener un carácter ácido, más los procedentes de las últimas. Otras veces la roca original es roca caliza a veces dura (como las que coronan los páramos de la meseta central española) que originan suelos neutros o ligeramente básicos; también suelen aparecer suelos forestales ligeramente ácidos cuando la pluviometría es baja y/o existe un verano muy seco. Ambos extremos de pH se separan bien geográficamente en la península Ibérica, de tal manera que los libros clásicos de Edafología antiguos distinguían la España ácida (Oeste) de la España caliza (Norte y Este), lo cual se refleja en el pH de los suelos y el tipo de vegetación (calcífuga y basófila, respectivamente). En el Centro hispano la línea es imbricada, agravado con la aparición de suelos salinos (y vegetación salina) dada la aridez que se denota cuando la pluviometría es baja.

m.-Conductividad eléctrica: A tener sólo en cuenta en suelos alcalinos, usualmente no forestales.

n.-Materia orgánica del suelo (MOS): Por fortuna, los suelos de montaña suelen estar en áreas lluviosas y, consecuentemente, tienen buenos contenidos orgánicos; obviamente a medida que la pluviometría desciende y la temperatura aumenta, el tenor de MOS decae paulatinamente, lo cual conduce a propiedades físicas, fisicoquímicas y bioquímicas menos favorables.

o.-N potencialmente mineralizable: Este parámetro depende

tanto del compartimento orgánico existente, como de las características meteorológicas y fisicoquímicas; usualmente ocurre que mientras que unas son favorables, las otras son desfavorables.

p.-P, Ca, Mg y K asimilables: Igualmente sucede, pues son varios factores los que inciden sobre la disponibilidad de nutriente, no sólo la reserva orgánica.

q.-Respiración microbiana: Favorece la mineralización y, con ello, el flujo de bioelementos asimilables; pero ello también conlleva un posible agotamiento de la reserva orgánica.

r.-C y N de la biomasa microbiana: Obviamente es un buen índice de calidad, incluso de biodiversidad por cuanto es base de la cadena trófica. Pero la contraparte es que ello exige mucha energía potencial disponible, esto es, un buen tenor de COS; para que ello ocurra debe existir una alta producción (entradas) o un alto compartimento orgánico (parada estacional de la actividad microbiana).

Gestión de los suelos forestales

Los suelos forestales que se encuentran en el pie de monte suelen ser buenos suelos forestales por no estar afectados por bajas temperaturas, vientos o efecto culminal y con buenos accesos, pero en muchos casos están expuestos a la tala del bosque para su aprovechamiento agrícola y/o ganadero (praderas), o a su transformación hacia el adehesamiento, es decir, a un fuerte aclarado del arbolado para favorecer el aprovechamiento del pasto.

En algún caso (en zonas densamente pobladas) se instalaron en el pasado terrazas para cultivos de supervivencia o frutales; dependiendo de lugares; hoy día, muchas de estas terrazas (salvo en algunos viñedos de gran interés) corren el peligro de derrumbarse por el abandono rural, lo que puede originar puntos de ruptura con aparición de nuevas cárcavas, incluso a pesar de las repoblaciones.

Algunos de los suelos pedregosos (v. g.: rañas) se pudieron en cultivo en los años de hambruna y la dificultad posterior a su reforestación por el estrato superficial pedregoso, ha causado el adehesamiento observable; sólo una reforestación por plantines y hoyos realizados *ad hoc*, han recuperado estas áreas que pueden dar buenas formaciones forestales, dado que la capa pedregosa actúa contra la evaporación de la humedad del suelo, aparte de la escasa competición por hierbas, al producirse un pasto más bien ralo.

Los suelos forestales arenosos en el pasado fueron a veces cultivados por la facilidad de laboreo, pero enseguida abandonados en cuanto la situación económica mejoraba (como en la actualidad); en algunos lugares cálidos y con disponibilidad de agua dulce, de nuevo estos arenales son de nuevo apetecidos para producir agricultura de tipo extratemprano (v. g., fresones de Huelva).

Otros suelos de zonas de buena pluviosidad han sido aclarados para producir pastos o forrajes, pero ha sido común encontrar una excesiva carga ganadera que atenta

contra la permanencia del arbolado, mención aparte de que al irse abriendo nuevas entradas las entresacas, legales o ilegales, se tornan más frecuentes.

Quizás en los países occidentales los suelos forestales se manejan en dos tendencias:

Los más productivos (como en el Norte lluvioso de Portugal y España, no digamos Escandinavia) seguirán su orientación para madera, de rápido crecimiento o de calidad, según demanda.

Los menos productivos orientarán su actividad hacia pastizales extensivos (más o menos adehesados, con actividad económica más bien marginal si se retiraran las subvenciones de la Unión Europea) y (probablemente más seguro si se llega a aplicar el Protocolo de Kioto) con miras a la acumulación de C (que viene a ser un tipo de subvención o impuesto ecológico compensatorio), orientada hacia al suelo en las zonas más húmedas, y orientada hacia la biomasa, en las áreas más secas.

Captura de C

Conviene extenderse en este aspecto, dado que gran parte de los suelos menos fértiles (o con climatología no favorable para una agricultura competitiva) pudieran ser enfocados hacia la captura de C, como se dijo, bien en la biomasa en los suelos de regiones semiáridas, bien en el suelo (y, en algún caso también en la biomasa) en los suelos de regiones más húmedas y templadas.

En el caso de los suelos, su capacidad de captura de C está mediatizada por: a) los compartimentos de C en el ecosistema; b) los flujos principales de C al suelo (entradas); c) la distribución del C.O.S. en sus distintos subcompartimentos; d) el tiempo de residencia del C.O.S. en cada subcompartimento (flujos internos); e) los factores que determinen los mecanismos de estabilización del C.O.S.; f) los flujos principales del C edáfico a la atmósfera (salidas); y f) la estabilidad del balance. Todo ello, más el manejo que actualmente se está dando al suelo, originará lo que se llama la "línea base".

Obviamente lo que se pague en el futuro será la diferencia del COS logrado capturar con un mejor manejo y la línea base actual. De ahí se deduce que se ganará más con los suelos que hayan estado peor gestionados y que, a demás, tengan una alta capacidad de captura.

Los factores que inciden sobre dicha capacidad de captura son: a) las características climáticas del sitio (régimen térmico e hídrico); b) las características propias del suelo (textura, pH y estructura); c) la disponibilidad de agua y nutrientes para la biota; y d) la composición y actividad de los organismos (en especial, la dinámica de la comunidad microbiana edáfica).

La oferta de captura de COS a las empresas emisoras de CO₂ exigirá la elaboración de un Proyecto detallado, que obviamente tendrá un coste, tanto más alto cuanto más sea el nivel de detalle, esto es, que el error sea menor. Este coste hay, pues, que deducirlo de los posibles beneficios a obtener, al igual que los costes de la Certificación correspondiente, tanto de la línea base inicial, como del nivel de COS obtenido finalmente.

Por tanto, el posible beneficio de los productores agropecuarios y/o forestales que fijen C será función finalmente del pago por tonelada de C capturada. Si ésta es de escasos euros por Mg CO₂ fijado, la rentabilidad quizás sea más que dudosa por esos costes y los trabajos implícitos por cambios de manejo y producciones; si superaran los 10 euros por Mg CO₂ fijado, el precio será interesante, pero habrá que ver si las industrias que emitan CO₂ estarán dispuestas a pagar tales cantidades trayéndolas de sus beneficios, por lo que intentarán repercutir esos gastos sobre las tarifas finales, es decir, sobre los consumidores, los cuales intentarán negarse. No cabe duda que el final todo posiblemente se reducirá a pagar una sobretasa (ecológica) sobre el uso energético por parte de los ciudadanos de los países desarrollados (que pudiera beneficiar a algunos de los países menos desarrollados), aunque es pronto para indicar cualquier situación futura, incluida la de la previsible extensión de la energía nuclear, no productora CO₂.

Francisco Dans del Valle · Braulio Molina Martínez

La gestión del suelo en el sistema PEFC de certificación y su incidencia en la silvicultura

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

Respaldado por más de 12 millones de propietarios forestales, el sistema PEFC de certificación forestal surge en 1998 con el objetivo de garantizar a los consumidores que los productos forestales europeos provienen de bosques gestionados con criterios de sostenibilidad.

El sistema está plenamente operativo en España y su aplicación se basa en las normas UNE de gestión forestal sostenible. Estas normas se asientan en los criterios e indicadores aprobados en las conferencias interministeriales para la protección de los bosques en Europa suscritas en Lisboa por todos los gobiernos europeos en 1998.

El sistema de certificación PEFC es un sistema de carácter privado y voluntario cuya aplicación exige a los silvicultores realizar su trabajo de acuerdo a las normas establecidas y sometiéndose a un procedimiento de control para su comprobación. La implantación del Sistema PEFC en Galicia va a acarrear una mayor preocupación y rigor por parte de los propietarios forestales en la realización de las labores silvícolas.

En relación con la gestión del suelo las principales exigencias que contempla el sistema PEFC están relacionadas con los siguientes aspectos:

Estado nutricional del suelo

La silvicultura debe velar por mantener y mejorar la calidad del suelo en especial en lo que se refiere a sus

características de fertilidad, estructura y presencia de microorganismos, considerando que en general los suelos forestales de Galicia poseen un marcado carácter ácido, una baja presencia de fósforo, magnesio y potasio, una baja profundidad, una baja capacidad de retención de agua y una escasa presencia micorrícica.

Los trabajos forestales con mayor incidencia en las características del suelo son los trabajos de preparación del terreno previos a las repoblaciones. Su ejecución debe contribuir a acelerar la evolución natural de los suelos tomando en consideración los factores antes citados.

Técnicas aplicadas a los trabajos forestales

Las normas se refieren expresamente a las precauciones y a los criterios técnicos que deben inspirar la ejecución de los principales trabajos forestales, especialmente los realizados de forma mecanizada:

Eliminación de los decapados como procedimiento de desbroce

Control de la pérdida de suelo en el surco de los subsolados y laboreos

Evitar alteraciones de la red natural de drenaje.

Rigurosidad en la ejecución de quemas controladas y evitar su aplicación en terrenos de pendiente fuerte.

Control de la compactación provocada por la maquinaria de explotación en terrenos forestales, especialmente en los suelos pesados.

También se cita expresamente en las normas la positiva influencia en la fertilidad del suelo producida por la incorporación de biomasa procedente de desbroces y de restos de corta.

Incidencia de los caminos y otras infraestructuras forestales

La ausencia de criterios técnicos apropiados en la construcción de caminos, en una región cuyos bosques requieren una alta densidad de caminos, es especialmente grave en los siguientes aspectos de la gestión del suelo:

Fenómenos erosivos en los caminos de tierra, en calzadas, cunetas y taludes.

Alteración de la escorrentía de los montes y disminución de la retención de agua debido a la insuficiencia de pasos de agua.

Falta de control de las captaciones de agua efectuadas en manantiales fin de asegurar una reserva suficiente de agua en los montes.

Función protectora de los bosques para el control de la erosión

Los problemas erosivos en Galicia tienen escasa importancia si exceptuamos los siguientes supuestos a los que las normas prestan una especial atención:

Los arrastres producidos por la lluvia y su escorrentía en las áreas de pendiente que han sido afectadas por incendios forestales (prevención de los incendios).

Los fenómenos erosivos en caminos y cortafuegos.

Los arrastres en los trabajos de explotación forestal.

El impacto producido por la maquinaria de explotación forestal en los suelos pesados o en los de baja capacidad portante y de fuerte pendiente.

Manuel A.V. Madeira

A promoção da produção florestal através da gestão dos resíduos de abate e da fertilização

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

Introdução

A produção sustentada dos ecossistemas florestais, mormente das plantações florestais exploradas intensivamente, constitui um dos grandes desafios da actualidade. A gestão sustentada depende da disponibilidade e da gestão de recursos, nomeadamente de água e nutrientes. Nas condições mediterrâneas a disponibilidade de água constitui um estrangulamento mais forte à produção florestal do que a disponibilidade de nutrientes. Esta deve ser encarada no contexto dos fluxos inerentes aos balanços geoquímico e biológico de nutrientes. Em áreas cujos solos apresentam baixa disponibilidade de nutrientes, a depleção destes deve ser evitada, recorrendo, por um lado, à fertilização e, por outro, à redução das exportações de nutrientes do sistema; porém, é necessário conhecer a susceptibilidade de cada "sítio" a essa exportação. Além do mais, é necessário conhecer as especificidades dos solos e as tecnologias aplicadas, dado que tais particularidades podem constituir um factor muito mais importante do que a disponibilidade de água e nutrientes para garantir a produtividade florestal a níveis aceitáveis.

Ciclo de nutrientes e os recursos naturais nos ecossistemas florestais

O modo de gestão de nutrientes nos ecossistemas florestais, particularmente nos de produção intensiva, é fundamental para a produção sustentada em tais sistemas. A influência dessa gestão na produtividade florestal e nas

propriedades do solo depende fortemente dos balanços geoquímico e biológico de nutrientes. Nos ecossistemas florestais naturais (ou de longa duração) as entradas de nutrientes no sistema (precipitação, alteração dos minerais primários, fixação simbiótica de N) e o ciclo biológico dos mesmos garantem a perenidade produtiva e a qualidade do respectivo solo. Porém, nos ecossistemas florestais intensivos (plantações florestais) as necessidades de nutrientes podem não ser garantidas pelas entradas naturais dos mesmos; em tal caso, atenção especial deverá ser dada ao ciclo biológico de nutrientes (queda de folhada, decomposição de folhada e raízes, translocação interna, acumulação nas camadas orgânicas e na biomassa); se o ciclo biológico não suprir as necessidades de nutrientes, estes serão em larga escala transferidos do solo para a biomassa e para as camadas orgânicas. Assim, a quantidade de nutrientes acumulados na biomassa e nas camadas orgânicas pode ultrapassar em muito a quantidade disponível no solo. A remoção dos resíduos de abate (para facilitar técnicas de replantação, para produção de energia,...), principalmente das componentes com maior concentração de nutrientes deve ser evitada, por forma a garantir a perenidade produtiva. Porém, o efeito do modo de gestão dos resíduos de abate depende do "sítio" e das condições climáticas (disponibilidades hídricas).

Em condições mediterrânicas a água é o principal estrangulamento à produtividade florestal

A avaliação do efeito relativo da disponibilidade de água e nutrientes em plantações florestais intensivas em condições mediterrâneas, foi avaliada durante seis anos numa plantação de *E. globulus*. Comparou-se, relativamente a um controlo, o efeito da aplicação de fertilizantes, a aplicação de água e a aplicação simultânea de água e nutrientes. A aplicação de nutrientes (tratamento F) promoveu o acréscimo de produtividade, mas a taxa de utilização de nutrientes foi extremamente baixa. A disponibilização de água (stress hídrico eliminado) (tratamento A) promoveu

maiores acréscimos de biomassa do que o tratamento F e, além disso, a eficiência de utilização de nutrientes foi extremamente elevada. Naturalmente, o tratamento IF (aplicação de água e nutrientes) originou os maiores acréscimos de biomassa, sendo a taxa de utilização de nutrientes inferior à observada para o tratamento A. Tendência semelhante foi observada para a biomassa aérea; a biomassa subterrânea não foi diferente entre o tratamento F e o controlo.

A manutenção dos resíduos de “abate” no sítio é considerado necessário para a sustentabilidade da produção florestal; mas o seu efeito efectivo no crescimento das árvores pode ser reduzido

O modo de gestão dos resíduos de abate é geralmente considerado essencial para reduzir a exportação de nutrientes do sítio e garantir a disponibilidade dos mesmos. O efeito dessa gestão é, todavia, muito complexo, envolvendo questões relacionadas com a erosão, com o “stock” de carbono, com os regimes hídrico e térmico do solo, com a quantidade e diversidade de vegetação sob coberto, com a lixiviação de nutrientes, Assim, o efeito do modo gestão dos resíduos de abate (bem como dos nutrientes neles contidos) vai muito para além da simples problemática da exportação/manutenção de nutrientes no sítio.

Vários estudos realizados em Portugal indicam que o modo de gestão dos resíduos de abate afecta minimamente o crescimento e o estado de nutrição das árvores; no entanto, diferentes modos de gestão dos resíduos de abate originaram diferenças na infiltração da água e na lixiviação de nutrientes a curto prazo; porém, a longo prazo não se traduzem por diferenças, nomeadamente no que toca à produção de N mineral. A utilização de vegetação de leguminosas pode reduzir a lixiviação de nutrientes e promover um melhor estado nutricional das árvores.

Ao nível da parcela experimental, num estudo iniciado em 1993, não foi observado qualquer efeito negativo no crescimento das árvores (tanto em áreas da segunda rotação como em áreas replantadas) devido à remoção dos resíduos de abate. Aliás, essa similitude está em conformidade com os resultados de análise foliar e da disponibilidade de N mineral. Num estudo mais recente (iniciado em Março de 2002) obtiveram-se resultados semelhantes; porém, observou-se uma interacção positiva entre a retenção de resíduos de abate e a aplicação de fertilizantes.

A especificidade dos solos do sítio pode ser mais importante do que a disponibilidade de água e nutrientes

A similitude de efeitos de diferentes modos de gestão dos resíduos de abate pode ser modificada por outros factores. Assim, noutros estudos observou-se que o tipo de solo e a

tecnologia na preparação do mesmo, acarretam diferenças acentuadas de crescimento das árvores, secundarizando o eventual efeito da gestão dos resíduos de abate.

a-Em solos de textura média a fina desenvolvidos sobre formações do Jurássico (Cambissolos éutricos), ao contrário do observado para solos de textura grosseira (franco-arenosa), ocorreu diferenciação entre tratamentos, perfilando-se aquele que inclui a subsolagem como o mais favorável.

b-Em solos com forte diferenciação textural devido à presença de um horizonte Bt (Lixissolos háplicos), a redução de crescimento das árvores não correspondeu à remoção dos resíduos de abate mas, sobretudo, à não efectivação de uma subsolagem e, também, à excessiva preparação do solo (gradagem após subsolagem).

A gestão dos resíduos de abate e a acumulação de carbono no sistema

A Acumulação de C orgânico no solo tem sido considerada dependente do modo de gestão dos resíduos de abate. Resultados recentes obtidos em Portugal, assim como noutros países, revelam que essa tendência não se observa, pelo menos a curto e médio prazo. Assim, num estudo iniciado em 1993, verificou-se que a remoção, incorporação e manutenção da superfície do solo dos resíduos de abate, após cerca de 11 anos, não conduziu a diferenças de quantidade de C orgânico nas camadas orgânicas e minerais do solo. Depreende-se, portanto, que o C dos resíduos de abate, tanto incorporados como mantidos na superfície do solo, terá sido libertado sobretudo para a atmosfera sob a forma de CO₂, o que se deve à elevada taxa de decomposição dos resíduos. Estes resultados sublinham a possibilidade de utilização de resíduos de abate como fonte de energia alternativa.

Conclusões

A aplicação de fertilizantes apresenta resposta limitada, dada a influência determinante da disponibilidade hídrica na produção florestal. A retenção de resíduos de abate no sítio (incorporados ou na superfície do solo) constitui um meio eficaz para reduzir as exportações de nutrientes do sistema, quer directamente, quer indirectamente pela redução da lixiviação de alguns deles. Porém, a remoção dos resíduos de abate do sítio não se repercute necessariamente por menor crescimento das árvores e inadequado estado de nutrição das mesmas, bem como por menor disponibilidade de nutrientes. Em condições hídricas favoráveis deverá haver interacção positiva entre os resíduos de abate e a aplicação de fertilizantes. A gestão dos resíduos de abate deve ser indissociável da especificidade do sítio, do tipo de solo e das propriedades deste, bem como do respectivo sistema de preparação.

Felipe Macías

Recuperación de suelos degradados, reutilización de residuos y secuestro de carbono. Una alternativa integral de mejora de la calidad ambiental

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

La Estrategia de Protección del Suelo. Funciones, amenazas y objetivos de actuación

Diferentes problemas ambientales han llevado al establecimiento por parte de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Río de Janeiro, 1992) al concepto del “desarrollo sostenible” y a la necesidad de utilización racional de los recursos por las sociedades actuales de modo que se alcancen los objetivos de crecimiento deseados sin pérdida del patrimonio que deben recibir las generaciones futuras. En el caso de la Unión Europea esto ha llevado al desarrollo de diferentes acciones o estrategias sobre los principales recursos, teniendo especial importancia los que se refieren a la Estrategia Europea de Protección del Suelo. En este nuevo contexto (fuertemente impulsado durante la Presidencia Española de la Unión Europea con la presentación en Soria del documento inicial de la Estrategia en abril de 2002, y el inicio de los trabajos que han concluido con la presentación de las conclusiones de los mismos en Bruselas en mayo de 2004), el suelo es considerado como un recurso fundamental, que junto con el Agua, el Aire y la Biota, constituyen los 4 pilares o recursos ambientales básicos que deben ser protegidos y preservados por sistemas legislativos y normas de actuación adecuados.

La Estrategia de Protección del Suelo recoge sus principales funciones (Tabla 1) y amenazas (Tabla 2), así como la importancia que tiene en todas las Políticas

Ambientales y las características específicas que presenta su gestión.

Como principales funciones del suelo se reconocen junto a las ideas utilitarias como “*productor de materias primas, alimentos y fibras*” o la de “*sistema físico que soporta las principales actividades humanas*” otras que aluden al papel clave del suelo en el mantenimiento de la calidad ambiental, como protector de los otros sistemas más sensibles y de menor capacidad de amortiguación frente a las modificaciones ambientales. La capacidad del suelo para filtrar, retener y transformar sustancias, amortiguando los impactos y regulando la movilidad y biodisponibilidad de diferentes elementos y sustancias es reconocida junto a la importancia que tiene como “*medio de vida y reserva genética*” siendo considerado como el hábitat que contiene la mayor diversidad genética y la menos conocida, siendo su actividad extraordinariamente importante en multitud de aspectos que afectan a nuestro desarrollo.

Como principales amenazas que afectan a los suelos de Europa se han identificado ocho: Erosión, Pérdida de materia orgánica, Contaminación, Sellado u ocupación destructiva, Compactación, Reducción de la biodiversidad, Salinización, Inundaciones y Deslizamientos de Tierras, poniéndose de manifiesto que son los procesos de contaminación y degradación de suelos los que tienen una mayor relevancia tanto por los daños directos como por los indirectos que produce el descenso de la eficacia de las funciones del suelo. Por ello, aunque ya en el Sexto Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente 2001-2010 se hacía especial mención de la necesidad de establecer mecanismos de Protección del Suelo contra la Erosión y la Contaminación, la Estrategia insiste en ello, reconociendo cinco grupos o temas de trabajo centrados en la Erosión, Contaminación y Pérdida de Materia Orgánica, así como en la necesidad de incrementar la Investigación, Vigilancia y Control de la Calidad de los Suelos (Monitorización). Estos 5 grupos temáticos han funcionado durante toda la elaboración de la Estrategia Europea de Protección del Suelo presentando conclusiones específicas para cada uno de ellos y un gran número de documentos

Principales funciones del suelo, según el documento “Hacia una estrategia temática para la protección del Suelo”.

La producción de alimentos y biomasa.
 La Capacidad de almacenamiento, filtración y transformación.
 El funcionamiento del suelo como un medio de vida y una importante reserva genética.
 El funcionamiento del suelo como el sustrato básico en el que se han realizado la mayor parte de las actividades humanas a lo largo del tiempo, con lo que se convierte tanto en un elemento de paisaje como en un archivo de la historia cultural.
 El suministro de materiales recursos para la humanidad.

Tabla 1.- Principales funciones del Suelo.

internos. Recuperar suelos degradados o contaminados restableciendo sus principales funciones y protegiendo a los suelos de sus amenazas es la base de las políticas de actuación elaboradas por la Estrategia de Protección del Suelo que, lógicamente, deben interactuar con otras políticas ambientales y, en especial, con las de Gestión de Residuos a través de suelos, la Protección de las aguas superficiales y subterráneas y las políticas de incentivación del secuestro de carbono en biomasa y suelos, entre otras.

En el caso de España la recuperación de suelos tiene una importancia extraordinaria por la gran extensión de suelos que han perdido una parte significativa de su “calidad” por procesos degradativos que influyen negativamente en el cumplimiento de sus funciones. Entre los más importantes pueden señalarse los siguientes:

- *Desertificación.*- Una gran parte del sureste de España (provincias de Almería, Murcia, Granada, Alicante y pequeñas extensiones de otras, se encuentra sometido, por la interacción de causas climáticas con malos usos antrópicos, a intensos procesos de desertificación, con pérdida de los horizontes superficiales y drástica disminución del contenido de materia orgánica de los suelos a valores inferiores al 1%. Estos procesos tienen como principal consecuencia la pérdida de estructura y fertilidad, la disminución de la actividad biológica y la progresiva desaparición de la vegetación arbolada y de las posibilidades de cultivo, debiendo regenerarse mediante la reintroducción de una cobertura vegetal estable y autosostenible que permita alcanzar un nuevo equilibrio en el que se proteja el suelo contra la degradación.

- *Erosión.* En amplias zonas de la Península Ibérica, con régimen mediterráneo de carácter xérico o árido, la erosión es un proceso frecuente, muchas veces favorecido por el sobrepastoreo o las técnicas de cultivo y gestión del agua utilizadas. Amplias zonas de Castilla, Asturias o Cantabria, presentan en superficie roquedos prácticamente

sin cobertura edáfica. Estos karst, lapiaces, torcales, páramos, etc., pueden ser revegetados favoreciendo la formación de suelos a pesar de las dificultades que imponen las limitaciones climáticas. Sin embargo, este proceso se ha extendido incluso a las zonas con precipitaciones abundantes que deberían encontrarse en condiciones de biotaxia, como en Galicia, Sistemas Central e Ibérico o amplias zonas de los Pirineos. La acción del fuego es, en muchos casos, la que inicia el proceso erosivo aumentando progresivamente la superficie ocupada por “suelos lépticos”, que, por su bajo espesor, son escasamente productivos y muy sensibles a todo tipo de impactos o modificaciones físico-químicas.

- *Contaminación de Suelos.* La contaminación de suelos es un proceso importante causado en España por diferentes procesos pudiendo destacarse las actividades industriales y las actividades extractivas tales como la minería, la creación de infraestructuras y la agricultura. Zonas de industrialización antigua, y muchas veces en declive, como el País Vasco, Asturias o el entorno de Barcelona presentan suelos contaminados por diferentes subproductos industriales y urbanos. También existen otras zonas puntuales en el resto de de España generalmente asociadas a enclaves dedicados a la industria química (caso de Huelva, Valencia, entre otras).que tienen el mismo problema siendo los principales contaminantes los metales pesados, hidrocarburos y derivados y los agentes acidificantes fuertes. Las actividades mineras se remontan al menos a unos 4.000 años, con importantes explotaciones en las que han quedado suelos contaminados que deben ser restaurados. Es el caso de la faja pirítica andaluza, que se extiende por el sur de Portugal, Huelva y Sevilla, con gran número de minas abandonadas con problemas de acidificación causada por la oxidación de sulfuros y con elevados contenidos de As, Cu, Pb, Zn y, a veces, Hg, derivado de procesos de amalgamación para la recuperación de metales preciosos. Otras zonas mineras

Principales amenazas del suelo, según el documento “Hacia una estrategia temática para la protección del Suelo”.

Erosión.
 Pérdida de materia orgánica.
 Contaminación del Suelo.
 Sellado u ocupación destructiva.
 Compactación.
 Reducción de la biodiversidad.
 Salinización.
 Inundaciones y deslizamientos de tierras.

Tabla 2.- Principales amenazas de los suelos europeos.

importantes son las de la minería de carbón (Asturias, León, Galicia, Teruel,..) también con problemas de acidificación, ausencia de materia orgánica y fertilidad; las canteras de rocas industriales, explotaciones de arcillas. En el caso de la Agricultura, especialmente en sus formas más intensivas, se han causado importantes procesos de contaminación de suelos en algunas áreas de las provincias de Valencia (entorno de la albufera), Murcia, Almería, etc., causados por pesticidas, exceso de nitratos y fosfatos, etc., que, en los últimos años se han extendido a prácticamente todas las zonas incrementando los riesgos de eutrofización y descenso de la potabilidad de las aguas. El incremento de la erosión ha sido también una consecuencia de la utilización de técnicas agrícolas o silvícolas inadecuadas al tipo de suelo y/o condiciones climáticas. Finalmente, las obras de construcción de carreteras, infraestructuras viarias e hídricas, parques eólicos, etc., eliminan en la mayor parte de los casos la cobertura edáfica que debe ser restaurada a partir de los materiales residuales o de diferentes materiales de préstamo cuando hay un déficit de material edáfico.

La recuperación de estos y otros suelos degradados o contaminados exige la utilización de medidas y actuaciones especiales que pueden ser extraordinariamente costosas y que incluso pueden causar afecciones, como es el caso de la eliminación de los horizontes superficiales de suelos ("tierra vegetal") de sus lugares naturales para ser utilizada en labores de restauración ambiental como el sellado de vertederos. Sin duda la utilización de materiales de préstamo edáficos es la solución más adecuada para la rápida corrección de muchos problemas y la pronta regeneración de la actividad biológica pero, en lo posible, las labores de recuperación deben realizarse con recursos como el capaceo de los materiales edáficos sólo cuando estos van a ser eliminados o perturbados por otras actuaciones y, en su defecto, deben ser sustituidos por otros materiales residuales que permitan corregir la contaminación y reconstruir un sistema edáfico adecuado.

Gestión de residuos a través de suelos. Suelos derivados de residuos

Desde que existen suelos en la Tierra una de sus principales funciones ha sido la del reciclaje de los restos orgánicos incorporando una pequeña parte de ellos en el conjunto de las moléculas que constituyen el humus y descomponiendo el resto hasta formas elementales que son liberadas a la atmósfera o eliminadas en forma disuelta en las aguas de drenaje participando el suelo, de esta forma, en los ciclos de los principales elementos biogénicos (C, N, P y S). La capacidad para transformar las sustancias orgánicas está relacionada con factores muy diversos pero, en último término, todas las moléculas orgánicas son inestables en las condiciones existentes en los suelos y otros sistemas superficiales debido a que han sido formadas a partir de procesos y condiciones de fuerte reducción (fotosíntesis: $E_h: <-600$ mvol) por lo que, en presencia de agentes oxidantes, tienden a reaccionar y transformarse en compuestos estables y en equilibrio con las condiciones del suelo mediante reacciones oxidativas. Además, estas reacciones oxidativas pueden ser

catalizadas por la actuación de microorganismos (en su mayor parte localizados en los suelos) que obtienen la energía necesaria para sus funciones vitales a través de las transformaciones metabólicas de las sustancias orgánicas. Inestabilidad termodinámica, presencia de oxidantes (O_2 , NO_3^- , $Fe(OH)_3$, SO_4^{2-} , ...) y catalisis metabólica son los factores que explican la rápida descomposición de las sustancias orgánicas en los suelos.

La adición antrópica de restos orgánicos al suelo era una consecuencia natural y lógica puesto que en el curso de sus transformaciones se producían resultados positivos. Por una parte, la propia eliminación de residuos y, sobre todo, por la mejora que se observaba en las condiciones físicas (estructurales) del suelo y en el incremento de la disponibilidad de nutrientes para la biomasa del suelo y, en especial, para las plantas cultivadas. De esta forma, todas las culturas antiguas basaron el mantenimiento de la fertilidad de los suelos cultivados en los aportes periódicos de sustancias orgánicas procedentes de diferentes orígenes: restos forestales, excrementos, cadáveres, residuos de cosechas más o menos transformados, etc., que venían a compensar las pérdidas de fertilidad y contenido de carbono del suelo que se producía a consecuencia del laboreo y la cosecha sin que, normalmente, se produjesen problemas en la estabilidad del sistema por exceso de aportes, debido tanto a la calidad de los productos añadidos como a su baja disponibilidad.

Los problemas aparecieron cuando se modificaron tanto la cantidad de los aportes (en la Estrategia europea se considera que, en los próximos años, se producirán más de 1000 millones de Tm de materia orgánica exógena) como su naturaleza y, sobre todo, se alteró el objetivo prioritario de la adición de restos orgánicos a los suelos priorizando la función de eliminación de residuos, generados y no deseados en otros lugares, sobre la de incremento de la fertilidad para las cosechas. La adición de grandes cantidades de restos agrícolas, ganaderos, industriales o urbanos aporta elementos nutritivos e influye, en muchas ocasiones, en la mejora de las propiedades físicas del suelo pero suelen ir acompañados de sustancias indeseables que pueden hacer disminuir, más o menos rápidamente, la calidad del suelo e incluso pueden llegar a causarle graves problemas de contaminación convirtiendo al suelo de sumidero en fuente de contaminantes. Un ejemplo entre muchos es el caso de los suelos del entorno de Chicago en los que, aunque se frenase totalmente el aporte de residuos, la cantidad de PCBs almacenada es suficiente para que se continúe la emisión de estos compuestos en formas volátiles durante los próximos 50 años. (Standley & Hites, 1991).

Ante este cambio de la situación se han realizado propuestas de modificación de los tipos de gestión de los residuos, en general, y de los orgánicos, en particular, en el sentido de minimizar e incluso eliminar totalmente los aportes de residuos a los suelos como una medida de prevención del mantenimiento de la calidad de estos sistemas que, por medio de sus funciones depuradoras, están protegiendo y garantizando la calidad de los sistemas hídricos, atmosféricos y bióticos superficiales mucho más sensibles (Davies, 1991). Sin embargo, por otra parte,

Residuo	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
% Arena	30	40	25	20	20
% Residuos demolición	20	20	20	25	20
Lodos Serrines graníticos	10	10	15	15	10
Lodos EDAR	10	5	5	10	10
Biomasa Vegetal	25	20	30	25	25
Cenizas	5	5	5	5	5

Tabla 3.- Algunas mezclas de residuos ensayadas con buenos rendimientos.

también existen suficientes argumentos para seguir utilizando los suelos como receptores de residuos por ser el procedimiento de eliminación más económico en la mayoría de los casos y por los beneficios indirectos que se pueden causar al suelo (incremento de nutrientes y actividad biológica, mejora estructural,..), a la atmósfera (fijación de C) y, en general, a toda la biosfera por modular el reciclaje de los elementos a través del suelo que es el sistema superficial que permite un mayor control de la movilidad y biodisponibilidad de los elementos. Así, lo afirma entre otros Mustin (1987) cuando señala que la degradación de la materia orgánica es el fenómeno fundamental que asegura el reciclaje de los elementos constitutivos de la materia viva.

En el debate sobre la utilización del suelo como sistema de gestión de residuos intervienen muchos factores socioeconómicos, naturales (incluyendo el tipo de suelo) y tecnológicos, variables espacial y temporalmente, por lo que la respuesta no podrá ser en ningún caso homogénea, siendo necesario analizar todos los elementos que pueden influir en la toma de decisiones, tales como la necesidad de fertilizantes, correctores y aportes de materia orgánica de muchos suelos, los beneficios ambientales producidos por unidad de coste y, por supuesto, los riesgos de contaminación de los suelos que pueden producirse. Obviamente, son los suelos más degradados o contaminados y los espacios sin o con escaso suelo los que ofrecen mayores perspectivas de mejora y eficacia de las actuaciones de corrección basadas en la utilización de residuos realizando así una doble e importante función ambiental: la recuperación de suelos y la gestión de residuos. En esta línea la formación de suelos derivados de residuos (materiales gárbicos, úrbicos, espólicos,...) es una importante alternativa que ha demostrado su eficacia cuando se conocen adecuadamente tanto las condiciones del medio inicial como las características de los materiales residuales utilizados y su evolución en el tiempo. Conchas de mejillón, lodos de depuradora, cenizas de combustión de biomasa, residuos silvícolas, ganaderos y agroalimentarios, serrines de rocas ornamentales, residuos de demolición, estériles de explotaciones mineras, etc., pueden ser adecuadamente gestionados construyendo a partir de ellos mezclas, más o menos complejas (Tabla 3), que pueden corregir procesos contaminantes por medio de sus características ácido-base, su poder reductor o

complejante, sus propiedades de adsorción superficial o su capacidad de retención de agua, entre otras muchas propiedades, al tiempo que originan un medio adecuado para el desarrollo de la actividad biológica que conduce a la formación de un nuevo suelo, y de sus principales funciones en el ambiente, de forma mucho más rápida que los procesos naturales. Ejemplos como la recuperación de las escombreras de la mina Puentes, el Páramo de Masa (en Burgos), explotaciones mineras en la faja pirítica andaluza, la recuperación de la cuenca del Guadiamar o los ensayos realizados en las minas de A Barquiña y Touro han demostrado que estos materiales, adecuadamente gestionados, no sólo encuentran un destino de reciclaje relativamente económico sino que causan importantes beneficios ambientales y productivos a corto, medio y largo plazo. En todo caso, es necesario insistir en la necesidad de una utilización controlada y vigilada de materiales bien caracterizados en sistemas superficiales bien conocidos y estudiados previamente.

Secuestro de Carbono en suelos y biomasa

De acuerdo con un gran número de autores (Robert, 1996) se ha producido un descenso importante en el contenido de materia orgánica de los suelos que se agravará si las condiciones de temperatura previstas en los modelos de cambio climático por efecto invernadero tienen lugar. El descenso del contenido de materia orgánica de los suelos de las praderas de EEUU puestos en cultivo hace aproximadamente un siglo se estima en un 50%. En Europa la Agencia Europea de Medio Ambiente (1998) estima que unos 115 millones de ha están sufriendo erosión por agua y otras 42 por aire, siendo el problema especialmente grave en el área mediterránea donde procesos de degradación de suelos por desertificación y salinización ya son lamentablemente frecuentes. La pérdida de materia orgánica del suelo uno de los principales factores desencadenantes de estos procesos e incluso en las zonas húmedas de Europa la pérdida de Carbono es importante. Así el informe anterior señala que en Inglaterra y Gales el porcentaje de suelos cultivados con contenidos de Carbono superiores al 4% ha descendido significativamente (más del 50%) en los últimos 15 años mientras que ha aumentado el porcentaje de los suelos con valores inferiores al 2%.

Litología	Sistemas forestales		Suelos cultivados	
	Intervalo	Media	Intervalo	Media
Granitos	2.5-13.9	7.0	0.5-15.5	4.9
Pizarras	3.3-10.2	7.0	0.5-15.8	4.8
Esquistos	1.0-13.3	6.0	0.1-11.2	3.7
Gabros	3.9-19.6	9.7	3.3-13.1	7.7
Anfibolitas	2.3-13.3	7.7	1.3-14.3	4.7

Tabla 4.- Cambios en los contenidos de materia orgánica en suelos forestales (arbolados y monte bajo) en suelos de Galicia (Calvo de Anta et al., 1992).

En Galicia, a pesar de la elevada pluviometría, se ha visto que los suelos cultivados presentan un descenso del orden del 30 al 40% (Macías y Calvo de Anta, 2000) señalando que además de la extracción de biomasa influyen en este cambio la elevación del pH por los aportes fertilizantes y enmendantes y el incremento de la disponibilidad de N, factores ambos que incrementan la actividad biológica y, por lo tanto, los procesos de mineralización de la materia orgánica. Algunos suelos cultivados presentan ya valores inferiores al 1% que se considera como un valor bajo para la conservación de la calidad del suelo (Tabla 4).

Por otra parte, además de los suelos cultivados también existen grandes carencias de C en suelos que han sufrido procesos de degradación por erosión, incendios repetidos o destrucción de los horizontes superficiales por actividades mineras, construcción de infraestructuras, suelos contaminados, etc. En estos casos la adición de materia orgánica es una acción obligada si se quiere reconstruir lo más rápidamente posible la actividad biológica y la capacidad productiva de los suelos degradados siendo estas adiciones una de las claves de la recuperación tanto por vías exclusivas de biorremediación como cuando se recurre a técnicas de recuperación físico-químicas que, en todo caso, deben incluir también la mejora de los nutrientes necesarios para la actividad vital de los microorganismos del suelo si se quiere recuperar el funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos.

En síntesis, los descensos del contenido de materia orgánica y la presencia de muchos suelos con bajos contenidos (< 1% de C) obligan a añadir compuestos orgánicos a los suelos para mantener las propiedades físicas del suelo y su actividad biológica, lo que se hace especialmente importante en zonas con climas xéricos o arídicos, en áreas de suelos pobres en nutrientes, de baja capacidad de cambio y de retención de agua, en suelos ácidos con arcillas 2:1 y altos niveles de Al cambiable y en suelos contaminados ya que la materia orgánica es un poderoso agente de retención e inmovilización de un gran número de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Además de las funciones protectoras y mejoradoras del sistema edáfico de la materia orgánica ya es ampliamente conocida la preocupación existente en diferentes organismos nacionales e internacionales por el incremento de la concentración de CO₂ atmosférico y las consecuencias previstas por el Panel Internacional sobre el Cambio

Climático (IPCC) sobre el clima. El acuerdo de Kioto incluye entre los sumideros de Carbono que deben tenerse en cuenta el incremento de biomasa producida en los sistemas forestales y los incrementos de secuestro en biomasa y suelos producidos por actividades específicas de gestión en suelos agrícolas, praderas y, sobre todo, en sistemas edáficos en recuperación ambiental por ser en estos lugares donde se puede producir una mayor intensidad de la fijación. Así, cifras obtenidas en Galicia permiten establecer ritmos de secuestro del orden de 20 tC/ha/año en algunos de estos lugares que, parece que pueden mantenerse durante unos 20 a 50 años hasta alcanzar o acercarse a las condiciones de equilibrio. Este plazo de 30 a 50 años en los que los suelos y la biomasa pueden ejercer una importante función de secuestro de C, si se realizan las actuaciones adecuadas, puede ser de extraordinaria importancia para limitar o mitigar los efectos negativos que causaría una brusca disminución de los sistemas industriales y energéticos, actualmente utilizados por lo que parece lógico incentivar el conocimiento de la potencialidad real de estos sumideros.

En USA se han realizado diferentes estudios sobre la capacidad de fijación de carbono en diferentes sistemas edáficos y de las posibilidades tecnológicas de potenciarla y mitigar el efecto invernadero (Lal et al., 1999; Follet et al., 2000;...). En sistemas de cultivo la capacidad potencial de secuestro de Carbono oscila, según Lal et al., (1999), entre 75 y 208.10⁹ kgC/año incluyendo 7% de conversión de suelos a sistemas más tamponizados, 13% producidos por la recuperación de suelos degradados, 49% debidos a las mejoras en las técnicas de conservación de suelos y manejo de residuos, 6% debido a la gestión de la irrigación y 25% debido a la adopción de sistemas de cosecha más eficientes, todo lo cual representa entre el 7.3 y el 8.5% de las emisiones totales de USA y de 1.03 a 1.16 veces las emisiones totales de las actividades agrícolas. Valores para otros sistemas productivos como las praderas, sistemas forestales, etc., se han obtenido o están en vías de obtención.

En Galicia (Macías 1999), se han realizado diversos estudios sobre el contenido de C en los diferentes tipos y usos del suelo a partir de los cuales puede determinarse el potencial de fijación en las condiciones naturales y, posteriormente, de acuerdo a estudios similares a los de USA el incremento potencial esperable con la corrección de

Tipo de suelo	Contenido total de Carbono	
Histosoles fibricos y sápricos	900-1300 t/ha	5.0-5.6 t/ha/cm
Umbrisoles de fase cumúlrica ricos en Al activo	700-950	5.0-7.7
Andosoles de fase cumúlrica	350-550	5.0-7.8
Suelos ándicos	150-250	4.5-5.2
Umbrisoles de fase somera	100-250	4.0-6.0
Umbrisoles háplicos (con B cámbico) forestales	100-200	5.0-5.7
Leptosoles	50-100	4.0-6.0
Umbrisoles háplicos (con B cámbico) cultivados	20-50	2.0-3.0

Tabla 5.- Contenidos medios de Carbono en los principales tipos de suelos y usos agronómicos de Galicia. (Macías et al., 1999).

las principales limitaciones. Los contenidos de C en suelos naturales oscilan entre 4 y 12% aunque existen suelos de tipo Histosol en los que se supera el 40% de C. Esto implica que los suelos de Galicia son, en este momento, un importantísimo reservorio de carbono (Tabla 5).

Asimismo se ponen de manifiesto los principales factores que influyen en el contenido de Carbono de los suelos tales como las condiciones climáticas (valores mínimos en la Galicia continental siguiendo las cuencas del Miño y Sil y zonas de las Mariñas y Rías Bajas, todas ellas áreas en las que el balance P-ETP da origen a un mayor número de días de sequía edáfica), topográficas (áreas de montaña, con contenidos superiores al 12% que pueden alcanzar porcentajes de Carbono entre el 40 al 55% en los Histosoles de las Sierras del Xistral, Ancares y Caurel), así como la importancia de los componentes y tipos de procesos edáficos y del uso del suelo.

En muestras representativas de los suelos bajo diferentes condiciones climáticas se ha comprobado que los suelos que presentan una mayor capacidad de acumulación de Carbono son los Histosoles y los suelos hidromorfos, seguidos de los suelos con carácter cumúlrico, tanto cuando presentan propiedades ándicas como cuando tienen carácter aluminico (Tabla 5).

Estos datos ponen de manifiesto la enorme importancia de los suelos de Galicia como reservorio de carbono, ya que teniendo en cuenta la superficie ocupada por cada tipo de suelo y el porcentaje de distribución de los usos forestal y de cultivo se obtienen las siguientes estimaciones mínimas (no se han considerado los suelos cumúlricos ni los hísticos por su pequeña representación cartográfica) para la capacidad total de los suelos de Galicia como sumidero de carbono (Tabla 6).

El valor medio para Galicia es del orden de 200 t C/ha, que, a pesar de su importancia, es bastante más bajo que el obtenido por Harrison et al., 1995 para los suelos de Gran Bretaña, que representan un total de 22.10⁹ t para una superficie unas 9 veces superior a la de Galicia) con una media de 957 t/ha. Sin embargo, si como afirman los autores anteriores, se considera que el 86% del C en Gran Bretaña está retenido en Histosoles los valores medios del resto de los suelos son prácticamente del mismo orden que los de Galicia. Además, debe tenerse en cuenta que el valor

medio del contenido de C está influenciado por dos hechos que pueden ser subsanados: el bajo porcentaje de C presente en los suelos cultivados (unas 800.000 ha en las que el valor medio es de 35 t/ha) y la gran extensión ocupada por suelos con un bajo espesor (Leptosoles y Regosoles de fase somera). Cambios de uso del suelo (p.e. paso de cultivos marginales a sistemas forestales o de praderas) y medidas de protección contra la erosión que favorezcan la biostaxia podrían aumentar significativamente el sumidero de C en el suelo. En el primer caso se encontrarían aproximadamente unas 400.000 ha que podrían representar un incremento de la fijación de al menos 0.5.10⁸ tC.

Otro valor que debe considerarse es que los contenidos medios por cm de suelo son bastante próximos entre todos los tipos de suelos con vegetación a monte o forestal y que un incremento del espesor del suelo lleva consigo un importante incremento en el total de C retenido en el suelo. La lucha contra la erosión de los suelos es, por tanto, clave en el incremento de la capacidad de fijación de C, especialmente si se tiene en cuenta que estos suelos (Leptosoles y Umbrisoles de fase somera constituyen una parte muy importante de los suelos de Galicia (43%). En cuanto a la acumulación los estudios realizados demuestran que los suelos que más C acumulan son los Histosoles y los suelos cumúlricos, tanto ándicos como aluminicos. Por centímetro de horizonte Ah los valores máximos encontrados son los existentes en suelos de carácter ándico y en suelos de fase cumúlrica ricos en aluminio activo (Tabla 7) lo que, junto con la elevada edad media de la materia orgánica de estos suelos demuestra el papel importante de los compuestos de bajo grado de orden y las formas de Al reactivas en condiciones de pH ácido (4.0-5.5) en la estabilización de la materia orgánica.

Umbrisoles de fase somera	1,1-2,9 . 10 ⁸ t C
Andosoles	0,3-0,4 . 10 ⁸ t C
Umbrisoles con B cámbico (forestal)	0,7-1,4 . 10 ⁸ t C
Umbrisoles con B cámbico (cultivos)	0,1-0,4 . 10 ⁸ t C
Total	2,3-5,3 . 10⁸ t C

Tabla 6.- Contenido de C fijado en los principales tipos de suelos de Galicia (Macías et al., 1999).

	Tm/ha	Tm/ha/cm(hor.A)	Edad (años)
Andosol fase cumúllica	514	7.82	1070
Umbrisol fase cumúllica	924	12.00	1500
Histosol sáprico	1037	4.55	>2000
Umbrisol fase somera	155	7.74	-
Leptosol úmbrico	93	6.22	-
Umbrisol ferrali-ándico	194	9.66	-
Umbrisol háplico	1201	5.74	-
Umbrisol.háplico (cultivo)	36	2.75	-

Tabla 7.- Datos de acumulación de C (Tm/ha y Tm/ha/cm) y edad media de la materia orgánica (años) en algunos suelos representativos de Galicia.(Macías et al., 1999).

Sin duda, las condiciones de los suelos de Galicia para la retención de C no son generalizables a todo el territorio peninsular, pero demuestran que las actuaciones tendientes al incremento de la fijación de C en biomasa y suelos deben realizarse dando prioridad a las zonas de clima lluvioso, con fuerte lavado, pH ácido y altos contenidos de formas de Al reactivas existentes en las zonas de la España húmeda y en áreas de montañas sobre sustratos no calcáreos. En otros lugares la eficiencia está mucho más comprometida pero aún así, las actuaciones de conservación de suelos contra la erosión y el abandono de los cultivos marginales manteniendo coberturas permanentes puede incrementar significativamente el ya importante sumidero edáfico de C y, junto con el incremento del sumidero de la biomasa (Macías et al., 2001), pueden representar actuaciones a corto plazo tan o más importantes que las de reducción de las emisiones o al menos, pueden contribuir a mitigar sus efectos si bien pueden no ser reconocidas por las normas acordadas en el Protocolo de Kioto. Los datos presentados por Lal et al., 1997 y 1999 a y b o Follet et al., 2000 para EEUU, o Sequi (1998) en Italia (un incremento del 0.26% del contenido de materia orgánica en los suelos cultivados y en la biomasa es equivalente a las emisiones producidas por los combustibles fósiles y un incremento del 0.25% de carbono supone el total de emisiones de Austria), y otros muchos autores, van en este mismo sentido y confirman la enorme importancia que supone impedir la erosión y, en lo posible, favorecer el incremento de espesor del suelo. Un incremento de 1 cm de suelo en Galicia supondría un incremento de la capacidad de sumidero del orden de 15 millones de tC.

Gestión de residuos, efecto sumidero y recuperación de suelos degradados. Necesidad de una concepción integral de las actuaciones

El incremento exponencial en la producción mundial de residuos de los últimos años ha exigido la utilización de los suelos como sistema de gestión, especialmente si se tiene en cuenta que constituye el procedimiento actualmente vigente de mayor economía y los efectos positivos indirectos que compensan parcialmente de los efectos

nocivos en muchas situaciones. Las tendencias de producción de residuos siguen siendo al alza a pesar de los intentos realizados para frenar la producción de residuos. Algunas zonas de USA han superado los 5 kg/habitante/día de RSU y el kg/hab/día de lodos de depuradoras de aguas residuales. Hue (1995) estimaba que la producción de lodos aumentaría de 8.5.10⁶ Tm/año en 1990 a 12.10⁶ tm/año en el 2000 y factores de incremento similares se han producido en países como Alemania, Reino Unido o Italia. Además, la obligatoriedad de la depuración en los núcleos urbanos propuesta por la nueva Directiva incrementará enormemente esta situación y obligará a utilizar nuevas extensiones de suelos para su gestión, especialmente si se tiene en cuenta la mayor presión legislativa sobre el vertido a sistemas fluviales, aguas marinas costeras y el incremento de los costes en la gestión a través de vertederos controlados y procesos de incineración. Algo similar ocurrirá con la gestión de la fracción orgánica de los RSU y de una gran parte de los residuos agroindustriales que son vertidos a los suelos en muchos casos directamente o previamente compostados (Stratton et al., 1995; Mustin, 1987; Robert, 1994 y 96; etc) siendo la cifra expuesta en la estrategia de 1000 millones de toneladas de materia orgánica exógena un auténtico reto para los próximos años.

El suelo tiene un gran poder de depuración aunque con fuertes variaciones según sus condiciones edafoclimáticas y la gestión tecnológica que se realice. En todo caso su utilización como depuradora o almacén de compuestos orgánicos pasa por la garantía de la sostenibilidad de sus funciones, lo que exige un conocimiento preciso de la capacidad depuradora para cada tipo de contaminantes en cada tipo o proceso que se realice y de los efectos ambientales de los diferentes componentes añadidos. A pesar de ello, los conocimientos disponibles indican que una adecuada gestión ambiental que reúna los diferentes objetivos que han sido tratados, la recuperación de suelos contaminados y/o degradados y el incremento de la cantidad y estabilidad de Carbono secuestrado en suelos y biomasa pueden lograrse en gran medida a través de una gestión adecuada de determinados residuos potenciando esta concepción integral tanto la mejora de la calidad ambiental como la economía de los diferentes procesos.

Bibliografía

- Barth, H., L'Hermite, P. (1986). *Scientific Basis for Soil Protection in the European Community*. Elsevier Applied Science. London.
- Bachmann A., Walet P., Wijnen P., Bruin W de, Huntjens J.L., Roelofsen W., Zehnder A.J. (1988). Biodegradation of alpha and beta-hexachlorocyclohexane in a soil slurry under different redox conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 143-149.
- Bachmann A., Bruin W de, Jumelet J.C., Rijnaarts H.H., Zehnder A.J. (1988). Aerobic biomineralization of alpha-hexachlorocyclohexane in contaminated soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 548-554.
- Boswell, F.C., Meisinger, J.J., Case, N.L. (1985). *Fertilizer Technology and Use*, Engelstad, O.P., Ed., SSSA, Madison, 229.
- Calvo de Anta, R., Macías, F., Riveiro, A. (1992). Aptitud agronómica de los suelos de la provincia de La Coruña (Cultivos, pinos, robles, eucaliptos y castaños). Diputación Provincial. La Coruña-
- Davies, M.C.R. (1991). *Land Reclamation: An end to Dereliction*. Elsevier Applied Science. London.
- Doran, J. W., Jones, A.J. (1996). *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication nº 49. Madison.
- Eswaran H., Vandenberg E., Reich P., Kimble J. (1995). Global Soil Carbon Resources. In: *Soils and Global Change*, Lal R., Kimble J., Levine E. (Eds.), Stewart B.A. CRC/Lewis Publishers, Boca Raton, 1995, pp. 27-43.
- European Environment Agency. (1998). *Europe's Environment: The Second Assessment*. Elsevier Science. Oxford.
- European commission. (2004). *Soil Thematic Strategy Technical working Group "Organic Matter". Task 4: Responses: Exogenous organic matter*.
- Follet, R.F., Kimble, J.M., Li, R. (2001). The potential of U.S. Grazing Lands to Sequester Carbon and mitigate the Greenhouse Effect. Lewis Publishers. Boca Raton.
- Germon, J.C. (1985). Le Sol, un système épurateur efficace... s'il est bien géré. *Rev. Du Palais de la Découverte* 133: 19-41
- Hue, N.V. (1995). Sewage sludge. In Reichcigl, (ed) "Soil Amendments and Environmental Quality". CRC Lewis. Boca Raton 199-247.
- Jones, K.C. (1991). *Organic contaminants in the Environment*. Elsevier Applied Science. London.
- Kimble, J.M., Lal, R., Follet, R.F. (2002). *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. Lewis Publishers.
- Lal, R. (1997). Residue management, conservation, tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil and Tillage Research* 43, 319-464.
- Lal, R. et al. (1999). The potential of U.S. Cropland to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. Ann Arbor Press. Chelsea, MI.
- Lal, R. (1999). Soil management and restoration for sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. *Progress in environmental Science* 1, 307-326.
- Lal, R. (2000). World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. *Adv. Agron.*, 71: 145-191.
- Lal, R. (Ed.), (2001). *Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect*. SSSA Special publication number 57.
- Macías, F. (Dir.), (1999). Informe final del proyecto "Procesos de fijación de carbono en sistemas superficiales del Noroeste de España: Elaboración de estrategias de reducción de CO₂ atmosférico a través del suelo y la biomasa". CICYT.
- Macías, F., Calvo de Anta, R. (1992). Caractérisation pédogéochimique des sols de la Galice en relation avec la diversification lithologique. Mise en évidence d'un milieu de transition entre les domaines tempérés et subtropic. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t 315, Série II, 1803-1810.
- Macías, F., Gil-Bueno, A., Monterroso, C. (2001). Fijación de Carbono en biomasa y suelos de mina revegetados con cultivos energéticos. Congreso Forestal. Sierra Nevada.
- Mustin, M. (1987). *Le compost: Gestion de la matière organique*. Ed. François Dubusc. Paris.
- Reichcigl, J.E. (1995). *Soil Amendments and Environmental Quality*. CRC Lewis. Boca Raton.
- Robert, M. (1996). *Le Sol: Interface dans l'environnement, ressource pour le développement*. Masson
- Robert, M., Cambier, Ph., Juste, C. (1994). Conditions d'utilisation des boues de station d'épuration en agriculture. *Cahiers Agricultures* 3, 285-294.
- Robert, M., Saugier, B. (2001). Contribution des écosystèmes continentaux à la séquestration du carbone. *Edafología* (en prensa).
- Schlesinger, W.H. (1997). *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. Academic Press, San Diego
- Sequi, P. (1998). *Compost Symposium*, Viena. 1998.
- Stratton, M.L., Barker, A.V., Reichcigl, J.E. (1995). *Compost*. In "Soil Amendments and Environmental Quality" (ed. Reichcigl, J.E). CRC Lewis. Boca Raton. 249-309.

José A. Vega

Recuperación de suelos en montes incendiados

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

Resumen Podemos considerar al fuego forestal como un poderoso agente que origina efectos ambientales diversos a mayor o menor plazo de tiempo. Desde hace un número relativamente reciente de años se ha ido tomando conciencia de que el fuego forestal es un factor ecológico de primera magnitud, que además de actuar sobre la atmósfera, lo hace también en el biotopo y en la biocenosis de nuestros ecosistemas, influyendo además en el ciclo de nutrientes y en el ciclo hidrológico.

Las consecuencias de su impacto en el suelo dependen, entre otros factores, de su intensidad, frecuencia, extensión y estación de ocurrencia, además de las propiedades edáficas iniciales de los sistemas afectados.

En esta exposición se presenta información sobre las características del fuego que ejercen una influencia directa en los cambios en las propiedades edáficas producidos por ese factor. Se discuten también algunas de las alteraciones más relevantes en las propiedades físicas y químicas de los suelos afectados por el fuego, mostrándose las pautas de recuperación de algunos suelos afectados por fuegos de diferente severidad e intensidad. También se comentan algunas de las relaciones empíricas encontradas que ligan de una parte, las características del fuego y de otra, las condiciones ambientales en los que éstos tuvieron lugar con los cambios observados en los parámetros edáficos. Finalmente, se comentan brevemente alguna de las técnicas más empleadas en la recuperación de suelos perturbados por incendios.

Características físicas de los fuegos con influencia en los cambios edáficos

El grado de calentamiento del suelo es un buen indicador objetivo del grado de severidad del fuego. Aunque algunos indicadores visuales del grado de consunción de los estratos ectorgánicos del suelo (hojarasca + mantillo) son usados para determinar el nivel de severidad del fuego, la intensidad lineal, la cantidad de combustible consumido (particularmente la correspondiente al mantillo y a la hojarasca) y especialmente el régimen térmico producido durante el fuego, son los parámetros del fuego que parecen ejercer una mayor influencia en las alteraciones edáficas. Las figuras 1 y 2 muestran la influencia de los contenidos de humedad de la hojarasca y mantillo en las variaciones de temperatura observadas a diferentes profundidades del suelo durante el paso de un fuego.

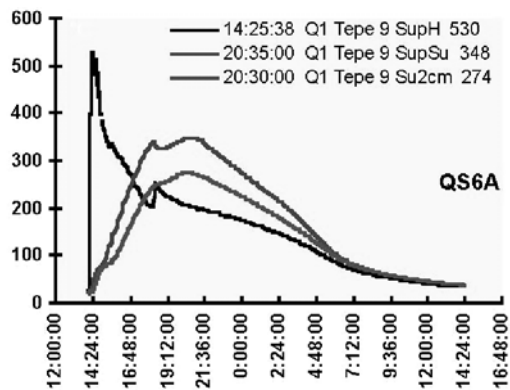


Figura 1

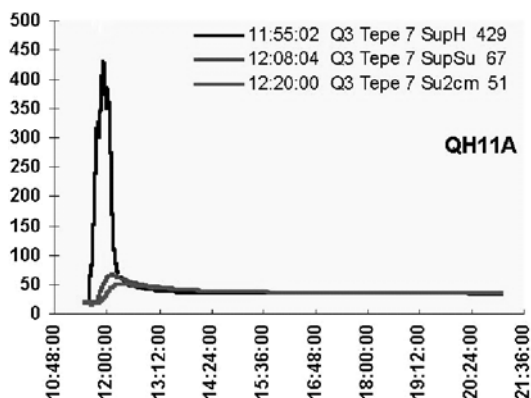


Figura 2

Modificación de las propiedades químicas del suelo.

Generalmente afectan solamente a los primeros cm superficiales pero pueden tener repercusiones importantes en la fertilidad a largo plazo y en la recuperación de la vegetación.

Frecuentemente, se produce un aumento del pH como consecuencia del aporte de cationes procedentes de las cenizas. Es corriente un incremento de los macronutrientes Ca, Mg, K y P en formas cambiables, asimilables e incluso solubles; todas ellas incrementan la fertilidad del suelo transitoriamente, poniendo a disposición de las plantas un aporte extra de nutrientes. Este incremento es muy efímero ya que otra parte de esos nutrientes son lixiviados y también perdidos por escorrentía superficial a través del perfil y erosión, con la paradoja de que dos años después del incendio es frecuente que los contenidos sean menores que antes del fuego (fig.3).

Mención especial merece el Nitrógeno. Aunque su contenido total apenas se modifica pueden cambiar notablemente las fracciones minerales NH_4^+ y NO_3^- . Al producirse la combustión de la M.O. se degradan la

proteínas y se produce una liberación importante de NH_4^+ , parte de la cual puede oxidarse a NO_3^- y tomada por la vegetación ayudando a su desarrollo. En este proceso intervienen Nitrosomonas y Nitrobacter, microorganismos que pueden verse expandidos por mejores condiciones de fertilidad, luz, pH y disminución de competencia temporalmente después del incendio. También la fijación del N_2 libre atmosférico puede aumentar durante algún tiempo.

Todo ello favorece una rápida expansión de la vegetación de corta duración. Sin embargo, a largo plazo, la dinámica del Nitrógeno se restablece e incluso puede ralentizarse su mineralización.

La materia orgánica, por su parte, puede disminuir como consecuencia del fuego en algunos casos, con temperaturas muy elevadas, aunque no es lo usual en la mayoría de los incendios forestales. Cuando esas altas temperaturas se producen, se destilan partes de los ácidos fúlvicos que son reducidos comparativamente a los ácidos húmicos, con lo que la materia orgánica puede hacerse mas resistente a la degradación y mineralizarse más lentamente, esto puede afectar a la disponibilidad de Nitrógeno en ciertos casos, haciéndola menor.

Aunque se produzca una ganancia transitoria en las condiciones de fertilidad edáfica como consecuencia de los incendios, desde el punto de vista del balance de nutrientes del ecosistema, el fuego provoca enormes pérdidas de nutrientes (muy especialmente del N total) debido a su volatilización y a las pérdidas de materia particulada en el humo y en la convección producida durante la combustión de la vegetación.

Modificación de las propiedades físicas del suelo.

La destrucción temporal de la vegetación y de la cubierta de restos vegetales del suelo junto al ennegrecimiento por el carbón provocan modificaciones en la temperatura y el régimen de humedad del suelo superficial y profundo. Generalmente las temperaturas se hacen más extremas,

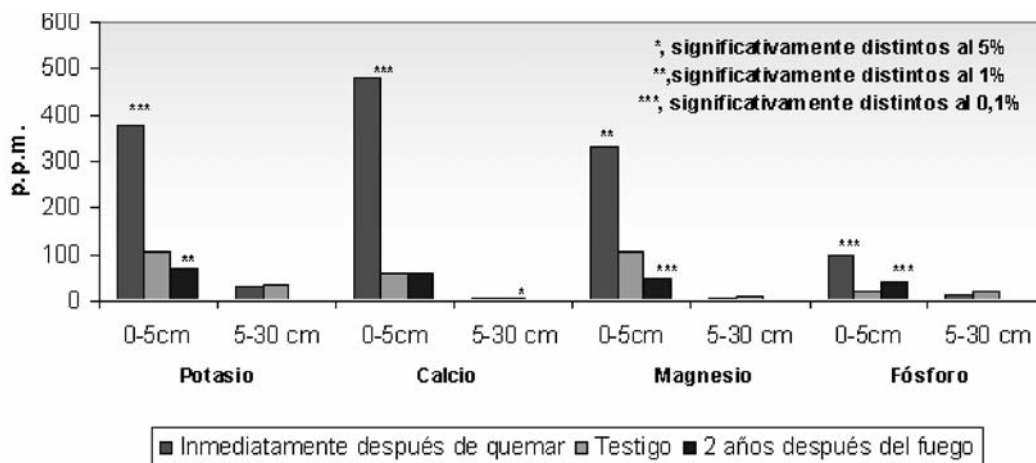


Figura 3.- Cambios en los nutrientes cambiables y asimilables en 42 suelos incendiados en Galicia

más frías en invierno y más calientes en verano y usualmente el contenido de agua superficial es más alto en invierno y más bajo en verano al haberse alterado el efecto "pantalla" de la vegetación y la cubierta orgánica del suelo. Esto va a influir en gran cantidad de procesos biológicos y químicos en el suelo que tienen lugar preferentemente en los primeros cm superficiales del mismo.

La destrucción de materia orgánica del suelo superficial puede modificar la estabilidad de los agregados, una importante propiedad físico-química con efectos en la infiltración y erosión. La figura 4 refleja las alteraciones producidas en suelos quemados en Galicia por incendios de intensidad alta y baja y cómo su recuperación después de un tiempo, sufre un fuerte retroceso debido a un nuevo incendio.

En profundidad, la destrucción de la vegetación, sobre todo la arbórea, hace aumentar el contenido de agua del suelo lo que también puede repercutir en fenómenos de lixiviación de nutrientes a través del perfil y procesos erosivos, agravados también por la falta de cobertura del suelo tras el fuego. La figura 5 muestra una típica pauta de variación de la erosión post-incendio con el tiempo en dos pinares quemados en Galicia. En uno de ellos se produjo un fuego de copas quedando el suelo totalmente desnudo, y en el otro, se originó un chamuscado de las copas con la consiguiente caída de hoja que proporcionó una protección al suelo quemado.

Finalmente, en casos extremos, la penetración del calor puede ser muy fuerte y producir fenómenos de deshidratación de arcillas y oxidación de compuestos de hierro que originan cambios en la textura del suelo en el

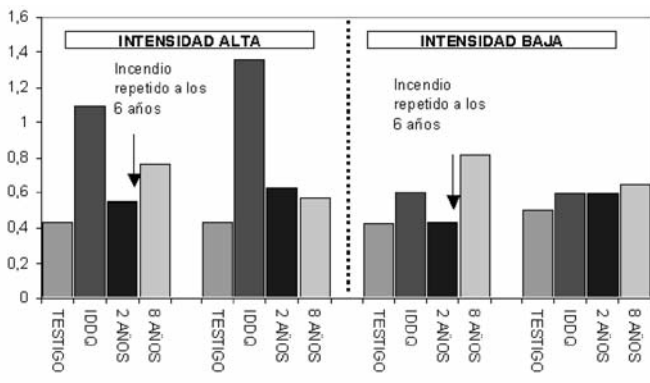


Figura 4.- Índice de inestabilidad de agregados (Henin)

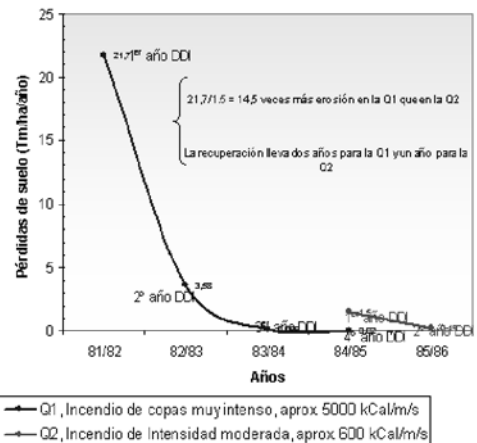


Figura 5.- Erosión después de incendios forestales en pinares de *P. pinaster*

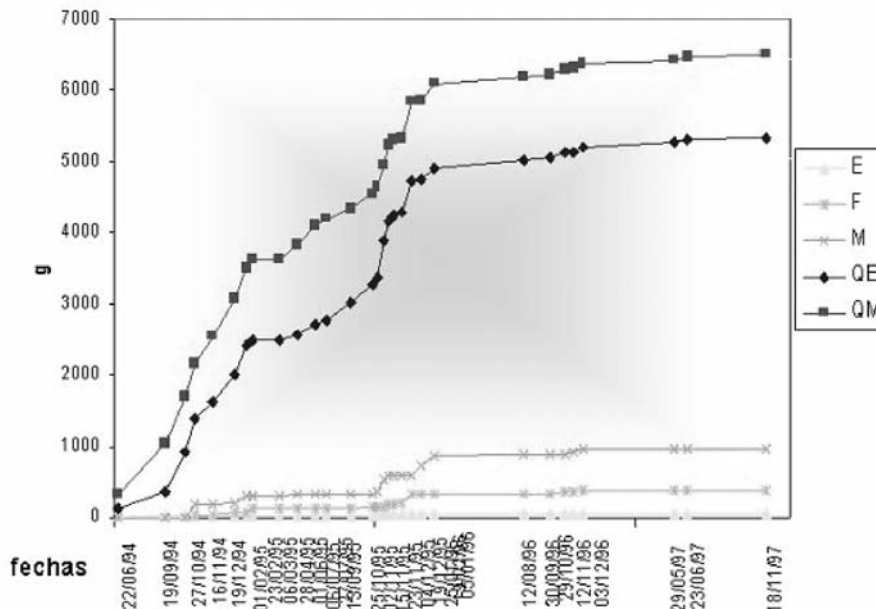


Figura 6.- Cantidad acumulada de suelo mineral perdida por erosión según tratamiento de restos de corta a lo largo del período de estudio. (E = Restos esparcidos sobre el suelo. F = Restos esparcidos + fertilización. M = Restos apilados en fajas. QE = Quema de restos esparcidos. QM= Quema de restos apilados en fajas)

sentido de disminuir el número de partículas de tamaño pequeño; esto, a su vez, puede alterar el equilibrio arcilla-humus, la capacidad de cambio y erosividad potencial del suelo superficial.

Un fuerte calentamiento del suelo puede producirse durante la quema de grandes acumulaciones de combustible, como ocurre con la quema de los residuos de corta a hecho. En este caso, la conjunción de alteraciones edáficas superficiales y la falta de protección del suelo mineral pueden provocar pérdidas apreciables de suelo como se refleja en la figura 6.

Técnicas de recuperación de suelos incendiados.

Todos los sistemas de recuperación de suelos incendiados son costosos y relativamente difíciles de ejecutar y, por tanto, su operatividad es limitada. Se practican más bien en zonas específicas que hayan sufrido un alto nivel de perturbación o en lugares que amenacen poblaciones, cauces, etc., o bien donde la recuperación de la vegetación natural esté comprometida.

Básicamente se distinguen dos tipos de actuaciones: tratamientos de laderas y tratamientos de cauces. Entre los primeros, siembras, mulching, colocación de mallas de recogida de sedimentos y banquetas transversales de troncos y ramas o de piedras son los más usuales. La siembra de gramíneas es la técnica más frecuente, más rápida y que permite un tratamiento más extensivo. Sin embargo, se ha cuestionado por su baja efectividad y por su posible competencia con la vegetación. Otros tratamientos como la colocación de mallas de sedimentos a lo largo de las laderas son muy efectivos en el control de la erosión aunque es necesario que su construcción se realice adecuadamente para evitar la formación de regueros. En todos los casos se aconseja su ejecución en el menor tiempo posible.

Los tratamientos más comunes en los cauces son la construcciones de diques de mampostería, gaviones, o de balas de paja afianzadas con troncos. Los más usados en nuestro país son los diques de gaviones. Todos ellos tienen el inconveniente de no evitar la erosión de la ladera y de exigir un plazo de ejecución relativamente dilatado.

Agustín Merino · Miguel Balboa

Aprovechamiento de la biomasa forestal y la conservación de los suelos

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

Los países miembros de la Unión Europea tienen como objetivo fijado para el 2010 que el 12 % del total de la energía primaria se genere a partir de fuentes renovables, entre las que se encuentra la biomasa. En las áreas con amplios recursos forestales, como es el norte de España, se está considerando la posibilidad del aprovechamiento de la biomasa arbórea no maderable como fuente de energía, así como de materia prima para la industria de la transformación de la madera.

Además de una alternativa energética, si esta práctica resultara ambiental y económicamente viable, el aprovechamiento de los restos podría incrementar la rentabilidad de la propiedad forestal. Si se considera que los restos de corta pueden agravar los problemas de los incendios y proliferación de enfermedades, esta práctica, además, podría ayudar a gestionar las masas forestales.

Sin embargo, antes de desprendernos de los restos de corta (o del matorral, del mantillo del suelo que también podrían emplearse), debemos considerar las funciones que estos componentes desempeñan evitando la erosión o contribuyendo a mantener el contenido de materia orgánica y nutrientes en los suelos. A continuación se hace una breve exposición de los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta para evitar la degradación del suelos en las masas forestales donde se extraigan grandes cantidades de biomasa.

Erosión y conservación de las aguas

La erosión del suelo constituye uno de los problemas más importantes que afecta a largo plazo la productividad de los suelos agrícolas y forestales. Este es un aspecto de especial interés en aquellos terrenos forestales de fuertes pendientes del norte de España, donde los suelos someros pueden ser considerados como un recurso no renovable.

La erosión afecta al propio sistema forestal, a través de las pérdidas de espesor y de fertilidad del suelo, que repercuten sobre la productividad. Además, este proceso también afecta a los sistemas acuáticos, que están ligados a los sistemas forestales.

Con respecto a otros usos, los sistemas forestales ofrecen la mejor protección del suelo frente a la erosión. Sin embargo, en explotaciones forestales intensivas, la pérdida de suelo está muy influenciada por el tipo de tratamiento posterior a la corta. Si los restos de corta permanecen sobre el terreno, o se elimina una fracción (p.e. ramas gruesas), la escorrentía tan sólo incrementa ligeramente (figura 1) y la tasa de erosión es muy baja incluso en fuertes pendientes.



Figura 1.- Valores medios de escorrentía acumulada durante dos tratamientos de restos de corta en una ladera con pendiente de 50 % (Balboa, 2004)

Por el contrario, si la extracción de biomasa es total y, además, ésta se realiza en laderas de pendiente acusada, la erosión puede ser notable. De este modo, diferentes estudios realizados en el norte de España muestran que la eliminación total de los restos de corta forestal, como consecuencia de incendios (Benito et al., 1991) o preparaciones intensivas de terreno (Edeso et al., 1999) derivan en incrementos de la erosión durante los seis primeros meses.

Efecto sobre la estabilidad nutricional de las masas forestales

Los restos de corta y el mantillo del suelo acumulan buena parte de los nutrientes que las masas han ido asimilando durante la rotación. Su retirada, por consiguiente, implica la extracción de gran cantidad de nutrientes del sistema.

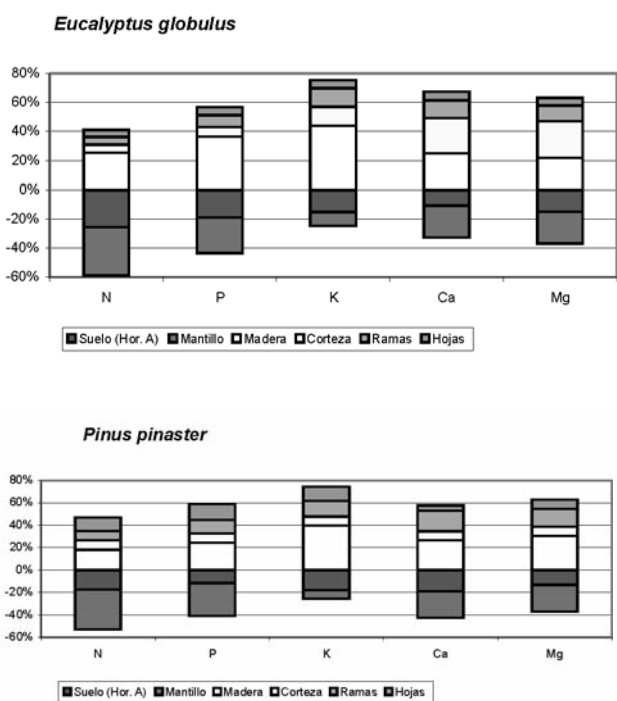


Figura 2.- Comparación de las cantidades de nutrientes acumulados en la biomasa con las cantidades disponibles a corto plazo en los suelos (mantillo y horizonte A)

El aspecto nutricional es especialmente importante en toda la Cornisa Cantábrica, donde las deficiencias nutricionales en las plantaciones son generalizadas. En estos sistemas forestales intensivos el aprovechamiento forestal supone la extracción de una cantidad grande de nutrientes (y en períodos de tiempo relativamente pequeños), si se compara con las cantidades que acumulan los suelos (Merino et al., 2003; Figura 2). Por este motivo, este tipo de masas se consideran inestables desde el punto de vista nutricional.

Dado que las fracciones más ricas en nutrientes son las ramas finas, las hojas y, en el caso del eucalipto, la corteza,

el aprovechamiento de éstas conlleva en un fuerte aumento de los nutrientes que estamos retirando del sistema (figura 2).

Esto supone que de cara a mantener la productividad a largo plazo en nuestros montes, los suelos deben recibir aportes de fertilizantes, especialmente si el aprovechamiento incluye los componentes no maderables. En este sentido, una estrategia interesante puede ser el aporte de cenizas procedentes de calderas precisamente de la biomasa forestal. Estas cenizas, además de aportar nutrientes, presentan una fuerte alcalinidad que reduce la acidez de los suelos (Solla-Gullón et al., 2003). En el caso de suelos particularmente pobres esta medida debe ir acompañada de otras estrategias selvícolas que reducen los “costes nutricionales” del aprovechamiento, como son la prolongación del turno de corta o la reducción de la densidad de plantación.

Contenido en materia orgánica

El conjunto de restos de corta de una plantación de *Eucalyptus globulus* representa el 11 % de la biomasa total del árbol. Esta cifra se eleva hasta el 20 % en las plantaciones de pinos (*Pinus radiata*, *Pinus pinaster*). Dependiendo de la especie y de la gestión selvícola, en las condiciones del norte de la península esto representa una cantidad de biomasa entre 16 y 87 t/ha. Parte de esta biomasa se incorpora al suelo como materia orgánica. Según algunos autores (Lal, 1997) hasta el 15 % del C de los restos de corta se incorpora al suelo como materia orgánica.

En algunas zonas donde el contenido de materia orgánica del suelo es reducido, la extracción de biomasa puede incrementar el problema. Este es el caso de la extracción de matorral que se practica en algunas zonas del centro y sur

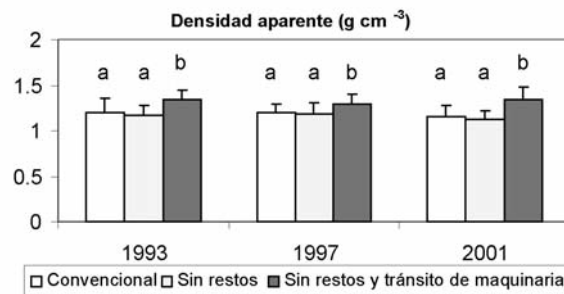


Figura 3.- Proceso de compactación de un suelo forestal arcilloso después de la retirada de restos de corta y mantillo orgánico.

de España para su uso en calderas de biomasa.

Compactación del suelo

Por otro lado, la retirada de todos los restos de corta deja el suelo expuesto directamente al peso de la maquinaria. En estas condiciones, si en la parcela se introducen vehículos de cierto peso, el suelo se compacta fácilmente. Las plantaciones se resienten de una manera importante por el

efecto de compactación, manifestando crecimientos deficientes. El efecto puede ser importante en los suelos arcillosos, especialmente, cuando se encuentran con un elevado grado de humedad, que los hace más susceptibles a la compactación.

Planificación de las labores en plantaciones donde se explota la biomasa para evitar efectos perjudiciales en los suelos

El aprovechamiento de la biomasa forestal genera unos beneficios directos e indirectos, sin embargo, los datos anteriores muestran que sin una previa planificación, esta práctica puede afectar a la conservación de los suelos. Parece lógico limitar esta práctica a las zonas de menor pendiente, esto no solo evitaría los riesgos de erosión, sino que también facilitaría la mecanización del propio aprovechamiento.

En los suelos con tendencia a compactarse, la extracción de la biomasa no debería de ser total, puesto que la presencia de estos restos amortigua el peso de la maquinaria que se emplea para esta misma labor o para posteriores.

Por último, es necesario que exista un adecuado programa de fertilización (incluso en muchas masas forestales que se gestionan convencionalmente). Y si esto no se realiza, deberían contemplarse prácticas selvícolas que reduzcan los costos nutricionales a la extracción de nutrientes (incremento de la rotación, menor densidad arbórea).

Dambrine, E., Vega, J. A., Taboada, T., Rodríguez, L., Fernández, C., Macías, F., Gras, J. M. (1999). Bilans d'éléments minéraux dans de petits bassins versants forestiers de Galice (NW Espagne). *Annals of Forest Sciences*, 57, 23-38.

Edeso, J. M., Merino, A., González, M. J., Marauri, P. (1999). Soil erosion under different harvesting managements in steep forestlands from Northern Spain. *Land Degradation and Development*, 10, 79-88.

Lal, R. (1997) Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil and Tillage Research*, 43, 81-107.

Merino, A., Rey, C., Brañas, J., Rodríguez-Soalleiro, R. (2003). Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don de Galicia. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 12, 85-89.

Sanz Infante, F., Piñeiro Veiras, G. (2003). Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena Monte-Industria. I. Situación actual y evaluación del sistema de tratamiento. *CIS-Madera*, 10, 6-25.

Solla-Gullón, F., Rodríguez-Soalleiro, R., Merino, A. (2001). Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales*, 16, 379-393.

Bibliografía

Balboa, M., Álvarez, J. G., Rodríguez-Soalleiro, R., Merino, A. (2003). Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena monte-industria. II, Cuantificación e implicaciones ambientales. *CIS-Madera*, 10, 27-37.

Benito, E., Soto, B., Díaz Fieros, F. (1991). Soil erosion studies in NW Spain. En: Sala, M.; Rubio, J. L.; García-Ruiz, J. M. *Soil Erosion Studies in Spain*, Geoderma Ediciones. Logroño.

Francisco Díaz-Fierros Viqueira

Erosión de solos e calidade das augas en sistemas forestais

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

Introducción

Os factores fundamentais que controlan a erosión do solo estan recollidos na denominada Ecuación Universal de Perda de Solo (coñecida como USLE, na versión clásica ou RUSLE, na versión actualizada) que por outra parte é o método de predicción da erosión máis amplamente utilizado. De acordo con ela os solos forestais da zona húmida española con valores do factor K (erosionabilidade) e C (cobertura) moi baixos, como consecuencia do elevado contido en materia orgánica dos mesmos e do carácter permanente e pechado de moitas coberturas, serían dos que terían menor sensibilidade a erosión. De todoos xeitos, dentro dese carácter xeral de pouco erosionables, poden existir determinadas situacións nas que a cobertura se elimina, como nos casos dos incendios e cortas a raso, e a materia orgánica pode desaparecer da superficie como consecuencia de tratamentos do terreo abusivos. Nestas situacións, os solos forestais poden volverse extremadamente sensibles a erosión e acadar valores de perdas de solos moi elevados. A continuación vanse considerar as particularidades que presentan para Galicia os diferentes factores da USLE, sinalando aquelas circunstancias nas que poden inducir riscos importantes de erosión para os solos.

R-erosionabilidade de la lluvia.- Son valores moi importantes dentro do contexto peninsular, superados soamente por algúns puntos da costa mediterranea. Neste factor interveñen a cantidade e a intensidade da chuvia,

sendo a importancia da primeira delas a que xustifica os altos valores da erosionabilidade do clima galego. Por outra parte, as zonas altas da vertente atlántica, que son as que reciben as maiores precipitacións (máis de 2000 mm, anuais) son tamen as que teñen como dedicación do solo dominante, a forestal, polo que, como consecuencia desta asociación de circunstancias, pódese concluir que son os solos forestais destas zonas os máis expostos a chuvias erosivas. Por outra parte, conven sinalar, que cunha certa periodicidade o factor intensidade pode acadar valores moi elevados nalguns outonos como consecuencia da xenese de chuvias convectivas en áreas das montañas interiores, xerando situacións que mesmo poden derivar en chuvias catastróficas. Igualmente, en algúns invernos cando chuvias fortes (pero non necesariamente, especialmente fortes) se producen sen solución de continuidade despois dun período continuado de chuvias que chegan a saturar a capacidade de saturación en auga do solo, se poden xerar importantes enxurradas con alta capacidade erosiva.

K-erosividade do solo.- Os solos de texturas intermedias e elevado contido en materia orgánica son normalmente os que maior resistencia ofrecen a liberación das suas partículas constituintes, e polo mesmo, os menos erosivos. Os solos forestais galegos, presentan contidos elevados en materia orgánica e, agás o caso das zonas de rochas básicas e algúns xistos, presentan tamén texturas areosas, polo que como conxunto se poden clasificar como pouco ou moi pouco erosivos. De todoos xeitos, coa preparación do terreo para repoboación (p.e. nalgúns casos de construción de terrazas) se pode dar un volteo esaxerado, soterrando os niveis orgánicos e deixando en superficie os máis minerais co que se consegue que a protección contra a erosión, desapareza. Tamén en incendios dunha especial intensidade (en xeral moi pouco frecuentes) poden chegar a queimarse a propia materia orgánica do solo.

LS-efecto da inclinación e lonxitude da pendente.- A inclinación da maioría dos solos con vocación forestal de Galicia teñen pendentes importantes ou moi importantes (entre o 15 e o 50%) polo que este factor reviste normalmente singular importancia, sendo as veces, o que introduce o maior risco erosivo nos solos forestais. A lonxitude das pendentes tamén pode ser importante, pero neste caso, as numerosas irregularidades do relevo do solo (microtopografía, pedras, polas, etc.) xeran obstáculos importantes á formación de enxurradas continuas, polo que dificilmente se poden dar pendentes efectivas (con formación de enxurradas continuas) superiores aos 50 metros. É moi importante ter en conta esta singularidade nos cálculos de erosión nos que este factor se determina automaticamente a partir dun SIG, pois de cote, non se ten en conta esta singularidade, sobrevalorándose o factor LS, as veces, por máis de 2 ou 3 veces. Pola contra, as pistas forestais, taxeas, ou algúnha outra estrutura civil poden servir de canalizacións para as enxurradas, xerando láminas de auga continuas de moita enerxía erosiva.

C- cobertura vexetal.- Nos ecosistemas forestais a cobertura vexetal do solo pode ter ata catro estratos: arboreo, mato, herbáceo e frouma, superpoñéndose a acción protectora de cada un deles. Por elo non é estraño que en moitos ecosistemas forestais galegos se supere o 100% e ata o 200% de cobertura vexetal. Con estes valores, mesmo sería teoricamente imposible a xénese do escoamento superficial da auga. De todos os xeitos, como consecuencia do feito de que este fluxo de auga superficial, xérase en moitos solos forestais galegos polo fenómeno de “fonte variable”, aínda con esas impresionantes coberturas, o escoamento superficial está sempre presente. En calquera caso, os solos forestais galegos pódense considerar extraordinariamente protexidos contra a erosión, compensando este factor, con ventaxa, a influencia negativa da precipitación e das pendentes. A eliminación deste factor de protección polos incendios ou as cortas a tala rasa e o que pode desencadear os procesos erosivos, como consecuencia da importancia que teñen os citados factores, de incidencia negativa, sobre as perdas de solo. Sobre todo no caso dos incendios, a sensibilidade a erosión vese incrementada pola formación dunha capa hidrofóbica, que incrementan os valores do escoamento superficial.

P- medidas de conservación.- A construción de aterrazamentos se se fai co debido coidado (boa nivelación, conservación da capa orgánica, dimensión moderada, etc.) pode ser unha boa medida que limite a xénese de enxurradas e con elas os fluxos erosivos de moita enerxía. O deseño axeitado das vías de comunicación e outras estruturas complementaris (pontes, taxeas, etc.) tendo en conta o seu posible efecto sobre a intensificación dos escoamentos, pode ser outro elemento positivo das medidas conservadoras. Finalmente, no caso dos incendios forestais, a herborización intensiva das zonas afectadas pode ser unha medida interesante de prevención da erosión, de todos os xeitos, tendo en conta que é un tratamento caro e, as veces, de difícil aplicación e futuro incerto, debe realizarse sempre un tratamento selectivo e con diferentes niveis de execución para racionalizar e optimizar a medida conservadora. E obviamente, as cortas

por aclareo, serán sempre máis conservadoras que as feitas a tala rasa.

Valores da erosión en solos forestais galegos

Os estudos realizados recentemente, sobre a os riscos erosivos nas provincias de Lugo (2003) mostran que case na metade dos solos (o 48%) a erosión prevista e superior as 10 Tm. por ha. e ano e que nesta fracción o 24% do total da superficie provincial pode ser cualificada como de “alta” ou “moi alta”.

Medidas de erosión de solos forestais galegos, realizados con técnicas micotopográficas e, sobre todo, con parcelas experimentais nos indican que estas perdas de solo poden variar, no caso dos incendios forestais, entre valores de 5 e 20 Tm /Ha. ano. Algúns episodios, de características semicatastróficas, como os acontecidos no ano 1998, na zona do Monte Faro, en Muros en 1999 ou no 2002 en Quiroga tiveron como circunstancias comúns, ademais das chuvias intensas, o feito de que as zonas foran fortemente afectadas, meses antes, por incendios forestais e de que as pistas e outras estruturas civís, xogaron un papel singular como canalizadores e activadores das enxurradas. No caso dos efectos das deforestacións a tala rasa, non existen medidas experimentais da erosión en Galicia, sen embargo, estímase, por comparación cos datos de outras zonas, que os valores poden ser só lixeiramente inferiores aos derivados dos incendios forestais.

A calidade das augas superficiais e a erosión dos solos.- Do material que é movilizado dos solos pola erosión, só unha pequena fracción chega as augas dos ríos como consecuencia dos procesos de retención do material movilizado que se poden producir nunha cunca fluvial. En xeral canto maior é unha cunca máis pequena é a fracción de solo erosionado que pode chegar as augas estimándose que para cuncas de mediano tamaño, como son a maioría das galegas que verten ao atlántico, a porcentaxe é do 5%. De todos os xeitos, un estudo experimental realizado recentemente sobre unha pequena cunca de 11 has. deu como resultado uns aportes do material erosionado ao río do 1.75%, moi inferior o inicialmente previsto, o que estaría a sinalar que esta cunca, cuberta case na súa totalidade por bosque e prados estaría especialmente protexida contra a chegada do material erosionado as augas. De todos os xeitos, este proceso é moi complexo e só recentemente comezaronse a diseñar modelos que tiñan en conta aspectos esenciais do mesmo como a “conectividade” e “continuidade” dos fluxos de auga que se xeran na cunca e que son, en definitiva, nos que en último termo poden levar as augas os materiais erosionados. Estructuras tan características da paisaxe rural galega como son a rede de camiños e pistas, a disposición das sebes e valados, o sistema parcelario e as arbores de ribeira poden xogar un importante papel na determinación da conectividade e continuidade dos fluxos.

De todas as maneiras, as medidas que se veñen realizando do material en suspensión da rede fluvial galega falannos de valores promedio que oscilan do 1 a 5 mg.l-1, pero que en situacións punta poden chegar e superar os 500-1000

mg.l⁻¹. A irregularidade destes arrastres, que as veces poden depender no curso dun ano de só algúns episodios, fan difícil o seu estudo, de todos os xeitos polo que se coñece ata o de agora e, dun xeito, provisorio poderíase sinalar que os arrastres de material en suspensión dos ríos galegos, que nun boa parte proveñen da erosión dos solos (outra parte proven da propia erosión das canles fluviais) como promedio, ou mesmo como cantidade total aportada anualmente polos ríos, son baixas, pero que existen episodios aillados, cunha frecuencia que aínda non é doado determinar, de alta intensidade e con efectos importantes sobre a calidade das augas no período no que teñen vixencia e que, mesmo, nalgúns casos, como o episodio de Muros do ano 1999 que poden chegar a afectar seriamente os medios costeiros con aterramentos p.e. de parques de cultivos mariños.

Bibliografía

- Alvarez, M., Soto, B., Pérez, R., Díaz-Fierros, F. (2000). Procesos erosivos asociados a eventos torrenciales en áreas incendiadas: Un caso de estudio el monte Faro (Galicia). Actas de la Reunión sobre Quemadas Controladas. Cuadernos Soc. Española Cienc. Forestales, 9, 137-143.
- Alvarez Enjo, M., Soto González, B., Pérez Moreira, R., Díaz-Fierros, F. (1999). Análisis de los factores desencadenantes de los arrastres sólidos e inundaciones en la zona de Muros el 20.01.99. En "1er. Congreso sobre erosión hídrica". Universidade de A Coruña, 7-20
- Díaz-Fierros, F., Gil, F., Cabaneiro, A., Carballas, T. Leirós, M.C., Villar, M.C. (1982) Efectos erosivos de los incendios forestales en suelos de Galicia. An. Edaf., XLI, 3-4, 627-639
- Díaz-Fierros, F., Benito, E., Vega, J., Caste, A., Soto, B., Pérez, R., Taboada, T. (1990). Solute loss and soil erosion in burnt soil from Galicia (N.W. Spain). Third Int. Symp. Fire Ecol. Act.. Friburg, 105-118)
- Díaz-Fierros, F., Soto, B., Pérez Moreira, R., Benito, E. (1990). Factores de escala en la medida de la erosión hídrica de suelos afectados por incendios forestales en el NW de España. Suelo y planta 1, 565-574
- Díaz-Fierros, F. (1996). Erosión y restauración de suelos afectados por incendios forestales. "Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales". Geoforma. Logroño, 84-107
- Soto, B., Benito, E., Díaz-Fierros, F. (1991). Heat-Induced Degradation Processes in Forest Soils. Int. J. Wildland Fire, 1(3), 147-152
- Ministerio de Medio Ambiente. (2002). Inventario Nacional de Erosión de Suelos: Lugo. Madrid.
- Soto, B., Basanta, R., Díaz-Fierros, F. (1993). Influence of Wildland fire on surface runoff from a hill slope. Acta Geol. Hispanica, 28, 2-3, 95-102.
- Soto, B., Díaz-Fierros, F. (1998). Runoff and soil erosion from areas of burnt scrub: comparison of experimental results with those predicted by the WEPP model. Catena, 31, 257-270.
- Vega Hidalgo, J., Díaz-Fierros, F. (1987). Wildfire effects on soil erosion. Ecol. Mediterranea, XIII, 4, 119-125.

Karl Josef Meiwes · Hennig H. Meesenburg

Suelos forestales en un ambiente de lluvia ácida y estrategias para recuperarlos

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

Los suelos forestales de Europa Central son ácidos por (1) los efectos naturales del ácido carbónico, (2) en el pasado y hasta el comienzo del uso del carbón, por la explotación excesiva de los bosques y (3) por las elevadas emisiones de azufre y nitrógeno en la fase de la industrialización, que dura hasta la actualidad (Fig. 1).

El dióxido de azufre (SO_2) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) son componentes ácidos que se originan en la lluvia. Desde los años 70, en Alemania, y otros países de Europa y América, la altas tasas de emisión de estas sustancias han derivado en el problema denominado lluvia ácida. Aunque en los últimos 20 años la emisión de SO_2 se han reducido, la emisión de óxidos de nitrógeno queda mas o menos en un nivel alto. Esto es debido a que el origen de óxidos de nitrógeno son los procesos de combustión (p.e. en los motores de los coches). En las zonas de ganadería intensiva, además hay una alta emisión de amoníaco (NH_3) que originan esos ácidos.

En la actualidad, en los suelos forestales de la mayor parte de Europa Central las tasas de acidificación son mas altas que la capacidad de amortiguación (alteración de los minerales, fundamentalmente). En los bosques existen tres tipos de sistema acidificación-amortiguación de ácidos (Fig 2). El primero (Tipo 1) se produce en las zonas donde la mitad de la acidez que entra al bosque por la atmósfera proviene del ácido sulfúrico, otra parte de la acidificación tiene su origen en el nitrógeno y sus transformaciones dentro del ecosistema (la Tabla 1 contiene las

transformaciones de nitrógeno), otra parte pequeña de la acidez se forma durante la asimilación de cationes (Na, K, Mg, Ca) por la biomasa de los árboles. El modelo 2, lo encontramos en las regiones de ganadería intensiva, donde la emisión de amoníaco (NH_3) es elevada y el óxido de N que origina representa la mayor parte de la acidificación. En el modelo 3, en general, la deposición de ácidos es menor, pero todavía sigue siendo mas alta que la amortiguación por la alteración de los minerales del suelo.

Emisión de S y N (Alemania)

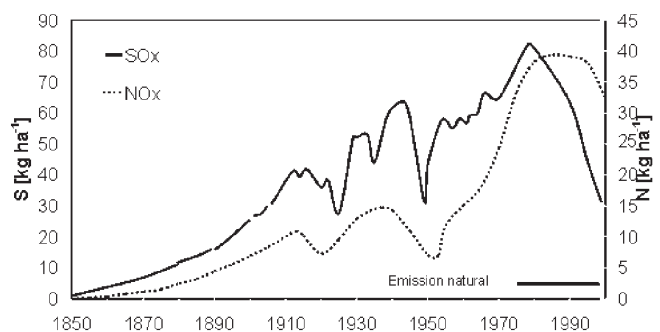


Figura 1.- Evolución de las tasas de emisión de óxidos de azufre (S) y nitrógeno (N), desde 1850 hasta 2000

Los cationes se retienen en el suelo a través de las reacciones de intercambio con la arcilla y el humus. En los suelos de las zonas de clima templado húmedo, los aniones (nitrato, cloruro, el sulfato), sin embargo, no se retienen (o se retienen poco, como el sulfato). Por la ley de la electroneutralidad la cantidad de aniones en la disolución del suelo es equivalente a la cantidad de los cationes. Al no haber un mecanismo eficaz de retención de aniones, el lavado de éstos implica la salida de una equivalente cantidad de cationes. En un ambiente de elevada deposición de dióxido de azufre (SO_2), el sulfato es el anión mayoritario en la disolución del suelo (Fig. 3). Como este anión es escasamente retenido en el suelo, el movimiento

Proceso		tipo de nitrógeno	Formación de H ⁺
Asimilación de NH ₄	NH ₄ ⁺	→ N _{org}	+1 H ⁺
Mineralización y amonificación del N orgánico	N _{org}	→ NH ₄ ⁺	-1 H ⁺
Asimilación de NO ₃	NO ₃ ⁻	→ N _{org}	-1 H ⁺
Nitrificación de NH ₄	NH ₄ ⁺	→ NO ₃ ⁻	+2 H ⁺
Desnitrificación	NO ₃ ⁻	→ N ₂ O, NO, N ₂	-1 H ⁺

Tabla 1.- Reacciones de nitrógeno y formación de protones (H⁺) relacionada con ellos

de sulfato también implica el de Mg (y otros cationes, por ejemplo aluminio), que se pierden del suelo a través de los lixiviados. Esto hace que los ambientes de elevada deposición de SO₂ se caractericen por bajos niveles de Mg en los suelos. De manera paralela a la pérdida de elementos alcalinos, el suelo se acidifica y, como consecuencia, aparece Al en la disolución. De esta manera, el sulfato controla las concentraciones del aluminio (Fig. 4).

En los suelos ácidos la saturación del complejo de intercambio con cationes básicos (Na, K, Ca, Mg) es muy baja. El catión dominante tanto en las posiciones de intercambio como en la solución del suelo es el aluminio. Este elemento dificulta la absorción de Ca y Mg por las plantas y, además, tiene efectos tóxicos sobre las células. Los parámetros indicadores del efecto nocivo del Al son las elevadas concentraciones de este elemento en la disolución del suelo, los bajos valores en la relación Ca:Al de la disolución del suelo y la elevada saturación de Al de cambio. Para evitar los efectos negativos es necesario reducir las concentraciones de aluminio en la solución del suelo.

Hay dos maneras para conseguirlo: (1) reducir la deposición de azufre y (2) encalar los suelos. Disminuir la emisión de azufre resulta a lo largo en concentraciones bajas de sulfato y de aluminio en la solución del suelo. El encalado de los suelos ácidos, además de reducir el Al, resulta en aumentos deseables de Mg y Ca en la disolución del suelo y en las posiciones de cambio.

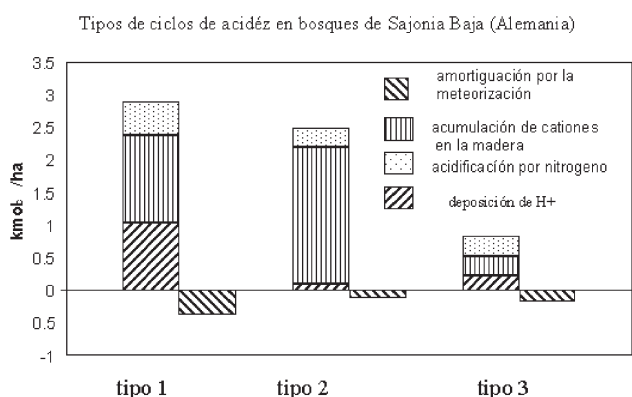


Figura 2.- Tipos de modelos de acidificación-amortiguación en los bosques de Sajonia Baja (Alemania)

Por otra parte, la deposición de nitrógeno es mas alta (15 – 60 kg N ha⁻¹ a⁻¹) que la cantidad de nitrógeno que necesitan los árboles (10 kg ha⁻¹ a⁻¹). Parte del nitrógeno que no necesitan los árboles se pierde con el agua de drenaje, otra parte se almacena en el suelo, sobre todo en la hojarasca (mantillo), y una parte pequeña se desnitrifica, liberándose en forma gaseosa como N₂O. En la Fig. 5 se aprecia la relación entre deposición de nitrógeno y la cantidad de N que se pierde a través del agua de drenaje.

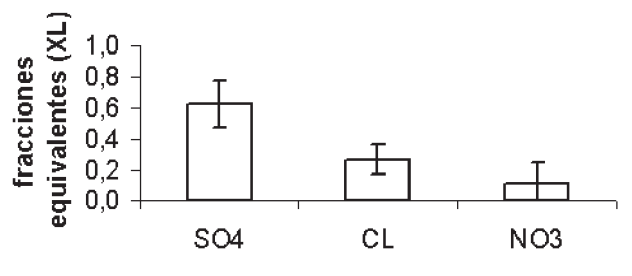


Figura 3.- Fracciones equivalentes de sulfato, cloruro y nitrato en la solución de suelo de Sajonia Baja (Alemania) en 1990

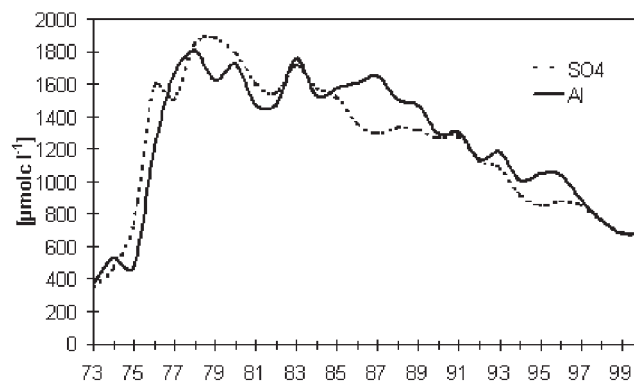


Figura 4.- Concentraciones de sulfato y aluminio en la disolución del suelo a 1 m de profundidad en un bosque de abeto en la región del Solling (Alemania)

Durante los últimos 20 años la emisión de azufre en Alemania ha disminuido en un 80 %, lo que ha reducido de manera paralela las concentraciones de sulfato y, también, de aluminio en los suelos (Fig. 4). Sin embargo, lo que no se ha conseguido con la reducción de las emisiones de dióxido de azufre es la variación de la relación Ca:Al en la disolución del suelo y tampoco el aumento de la saturación de cationes básicos en el complejo de intercambio. Esto se puede conseguir a través de la aplicación de caliza.

La dosis de caliza necesaria para corregir adecuadamente la saturación de cationes básicos y eliminar el Al depende

de la deposición de ácidos y del tipo del suelo. Aunque el aporte de caliza puede variar entre 3 y 30 t ha⁻¹, la dosis normal en una aplicación es 3 - 5 t ha⁻¹. Este producto se disuelve lentamente, por lo que esta cantidad tarda en disolverse en torno a 6 - 10 años. Es por ello, que para mantener un equilibrio con la actual tasa de acidificación sería necesario repetir la aplicación de caliza entre cada 10 y 30 años.

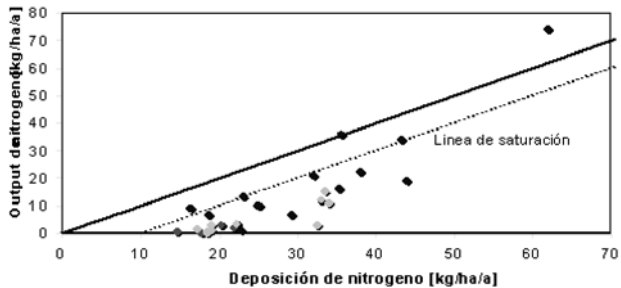


Figura 5.- Deposición y pérdidas por drenaje de nitrógeno en bosques de Sajonia Baja (Alemania)

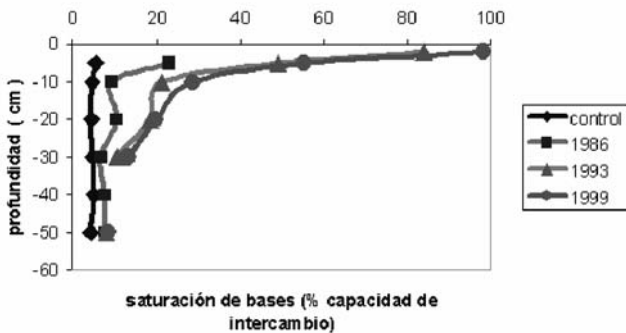


Figura 6.- Saturación de cationes básicos después de la aplicación de 30 t ha⁻¹ de caliza magnesina en un suelo pardo de loess en la región del Solling (Alemania)

Sin embargo, el incremento de la saturación de cationes básicos intercambiables (Na+K+Ca+Mg / capacidad de intercambio *100) después de la aplicación de la caliza es muy lento. En el ejemplo de la Fig. 6 se muestra los efectos de la aplicación de caliza de 30 t ha⁻¹ que se practicó en el año 1982. Después de 17 años, la saturación de bases todavía no ha alcanzado el 20 % de la capacidad intercambiable en la profundidad de 30 cm. Esto significa, que el programa de encalado para recuperar los suelos ácidos forestales tiene que ser un programa a largo plazo, posiblemente de décadas.

Bibliografía

Meiwes, K.J. (1995). Application of lime and wood ash to decrease acidification of forest soils. *Water Air Soil Poll.* 85, 143 - 152.

Meesenburg, H., Meiwes, K.J., Rademacher, P. (1995). Long term trends in atmospheric deposition and seepage output in northwest German forest ecosystems. *Water, Air and Soil Poll.*, 85, 611 - 616.

Meiwes, K.J. (2002). Amelioration of an acid forest soil by surface and subsurface liming and fertiliser application. in: Dohrenbusch, A. and N. Bartsch (eds.): *Forest development – Succession, environmental stress and forest management*. Springer, Berlin, 167 – 181.

Meiwes, K.J., Mindrup, M., Khanna, P.K. (2002). Retention of Ca and Mg in the forest floor of a spruce stand after application of various liming materials. *Forest Ecol. Managem.* 159, 27 - 36

Meesenburg, H., Merino, A., Meiwes, K.J., Beese, F. (2004). Effects of longterm application of ammonium sulphate on nitrogen fluxes in a beech ecosystem at Solling. *Water Air and Soil Pollution. Focus* 4, 415 – 426.

E. P. Farrell

The Carbon Cycle in Forest Ecosystems

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

The Carbon Cycle

Carbon is the major chemical constituent of all living organisms. It comprises about 0.038% of the earth's atmosphere. It enters terrestrial and aquatic ecosystems through the process of photosynthesis; plants and some other organisms use solar energy and carbon dioxide, together with water, to form sugar. As plants grow, they accumulate carbon. This is passed through the food chain as organisms feed off one another. Herbivores, which consume the green plants, are themselves consumed, used as sources of energy, by carnivores and so on. Carbon is also absorbed by abiotic processes, entering the oceans by the process of diffusion.

These are several reservoirs of carbon. Carbon is stored in the oceans, in the atmosphere, in vegetation, in dead organisms, in the soil and rocks (in organic matter and in carbonaceous sedimentary rocks such as limestone and dolomite) and in fossil fuels (coal, oil, natural gas).

The term carbon flux describes the rate of transfer of the element between reservoirs. Carbon is released from ecosystems, as carbon dioxide, through respiration from living organisms and during the microbiological decomposition of organic matter. It is also released, in other gaseous forms, such as methane, from some ecosystems, wetlands, for instance.

Forest Ecosystem Research Group
Department of Environmental Resource Management
Faculty of Agriculture
University College Dublin
Ireland
ted.Farrell@ucd.ie
<http://www.ucd.ie/ferg/>

Soil Organic Matter

Soil organic matter includes plant and animal residues at various stages of decomposition, cells and tissues of soil organisms and substances synthesised by the soil population. It is usually determined on soils which have passed through a 2mm sieve. The decomposition of organic matter can be considered in two phases, comminution, the reduction in particle size by a combination of biological and physical mechanisms and catabolism, the chemical breakdown of organic molecules by living organisms. Some constituents of organic matter are much more susceptible to breakdown than others. Sugars, starches and simple proteins decompose rapidly, cellulose more slowly, while lignins and phenolic compounds are very resistant to decomposition. Soil animals play an important role in comminution. They reduce the size of particles, often mixing them with the mineral soil and by increasing surface area, render the organic matter more susceptible to microbial decomposition. Of the major groups of microorganisms, bacteria thrive in near-neutral soils with moisture status close to field capacity; fungi, on the other hand, tolerate more acid conditions and tend to predominate in nutrient-poor, acid soils.

The decomposition process results in a loss of carbon to the atmosphere, as carbon dioxide. This leads to a narrowing of the carbon:nitrogen ration of the organic material. Material with a wide carbon: nitrogen ration (greater than 25:1), decomposes slowly as the growth of the microorganisms is inhibited by a shortage of nitrogen.

The Greenhouse Effect

For the past several hundred years, the carbon cycle has been significantly influenced by human activity. The burning of fossil fuels and extensive deforestation have resulted in a steady increase in the atmospheric concentration of carbon dioxide.

The term “Greenhouse Effect” is used to describe the global atmospheric warming effect caused by the imbalance in the long-wave radiation energy budget between the Earth and space. The greenhouse effect is a natural phenomenon which keeps the Earth’s surface about 30°C warmer than it would be if all emitted radiation was transferred to space. Greenhouse gases absorb infrared radiation which would, otherwise be transferred back from the surface of the earth to space. Carbon dioxide is the most abundant greenhouse gas; others include methane and carbon monoxide. As a result of increased concentrations of carbon dioxide in the earth’s atmosphere, the greenhouse effect is enhanced, with, it is predicted, the potential for climate change.

“Radiative Forcing” refers to the perturbation in the Earth’s radiation energy budget which forces the global temperature to move towards a new equilibrium (unit: $W\ m^{-2}$ or $mW\ m^{-2}$). The global warming potential (i.e. the warming effect of an emission of 1 kg of each gas relative to that of CO_2) of various greenhouse gases for a period of 100 years is carbon dioxide (CO_2), 1, methane (CH_4), 11 and nitrous oxide (N_2O), which although it is not a carbon compound, is an important greenhouse gas, 270.

The Kyoto Protocol

The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) which was signed in Rio de Janeiro in 1992, was the first attempt to combat climate change at global level. Countries which ratify the convention are required to develop, periodically update, publish and make available to the Conference of Parties (COP) its national inventories of all emissions by sources and removals by sinks of all greenhouse gases using comparable methods.

While the development of national greenhouse gas inventories was a major step forward, real progress towards dealing with climate change was unlikely in the absence of quantified emission limitation and reduction targets. This was agreed in Kyoto in December 1997, when the Kyoto Protocol was adopted and the developing countries of the world agreed to reduce their emissions of greenhouse gases to 5% below 1990 levels in the period 2008-2012. Under the terms of an EU burden sharing agreement, Ireland has undertaken to limit its greenhouse gas emissions to 13% above 1990 levels by 2008-2012 (the corresponding figure for Spain is 15%). Economic growth in Ireland in the past decade has resulted in the probability of a significant overrun on this target.

The Role of Forests

Forests play a significant role in the global C cycle. While occupying some 30% of the Earth’s land area, they contain some 80% of the plant and some 40% of the soil carbon. The Special Report on Land Use, Land-Use Change and Forestry of the Intergovernmental Panel on Climate Change suggests that approximately 20% of the global carbon emissions during the 1990’s were from deforestation in the tropics. The report further suggests that terrestrial uptake during the same period was equal to 30% of emissions.

Taken together these estimates clearly suggest that during the 1990’s the terrestrial biosphere was a net carbon sink.

The net exchange of carbon between a forest and the atmosphere is determined by two large carbon flux components. These are gross carbon uptake as a result of photosynthesis on the one hand and losses of carbon as a result of respiration by trees, both above and below ground (autotrophic), and decomposition of soil organic matter (heterotrophic) on the other. Therefore if carbon uptake exceeds loss, the forest is net carbon sink and vice versa. The difference between the rate of carbon uptake and the rate of carbon loss can be very small. Consequently a small change in the rate of carbon uptake or loss can have a large effect on the annual carbon balance. The rate of carbon sequestration can be affected by many factors such as changes in land use, forest management activities such as harvesting and fertilisation, changes in climate, nitrogen deposition and disease outbreaks. These factors may be natural or, directly or indirectly, human induced. Estimates of the carbon sequestration potential of plantation forest vary widely, but an average rate of $3.6\ t\ ha^{-1}\ yr^{-1}$ has been estimated for Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Ireland.

Under the Kyoto Protocol and the subsequent agreements at Marrakesh, forestry and land-use activities are recognised as both sources and sinks of atmospheric carbon. Several aspects of the protocol make reference to forestry. Significantly, countries that have difficulties meeting their Kyoto target can use the carbon sequestration of plantation forests established since 1990, to offset emissions. This requires scientifically verifiable estimates of carbon emissions and removals which are caused by changes in forest biomass and soil carbon stocks resulting from forest management, harvesting, conversion of non-forest land to forest land and vice versa.

The Carbon Sequestration Potential of Irish Forests

Forests are at present cover about 10% of the Irish landscape. Further expansion of the forest estate is planned; the Forest Service in its Strategic Plan for the Forest Sector in Ireland established the target of afforesting 1.2 m ha by 2030 with the target of 20,000 ha per annum.

The majority of the forests established to date are coniferous, planted either in monocultures or mixtures. During the period from the 1950’s to the 1990’s, large areas of peatland were planted. Although environmental constraints and economic incentives have brought about a swing towards the planting of better site types in recent years, peatland forests will continue to be important for many years to come. At the present time, a major research project is underway to enable the afforestation of up to 50,000 ha of industrial cutaway peatland (peatland formerly exploited for fuel).

The determination of the carbon balance of peatland plantation forests is complex. Peatlands, in the virgin state, are sinks for atmospheric carbon dioxide, but release

methane, as a result of anaerobic decomposition beneath the water table. The carbon balance is greatly influenced by forestry development. Drainage lowers the water table and leads to an increase in organic matter decomposition, which is manifested in increased CO₂ emissions. On the other hand, emissions of methane, which has a much larger radioactive forcing potential than carbon dioxide, virtually cease following drainage. As a result of these changes peatlands may change from being net sinks of carbon to net sources. The net balance of the ecosystem then will depend upon the relative amount of carbon sequestered by developing the forest stand. Further research is required in order to quantify the carbon balance.

Bioenergy

The use of biomass to produce energy is considered to be carbon-neutral because there is a balance between the carbon emitted on combustion and the carbon sequestered during growth. Although this is not quite correct, because there is expenditure of fossil fuel energy in the production, harvesting and transport of the biomass, the potential for greenhouse gas emissions is clearly much less than with other energy sources. The net energy yield for short-rotation woody crops may be of the order of 180-200 GJ ha⁻¹ yr⁻¹.

Changes in soil carbon stocks are often small compared with the total soil carbon stock. Consequently changes in the soil carbon balance can be detected only by considering the difference between carbon input and loss from the soil. Most carbon is lost as carbon dioxide efflux from the soil surface and accurate measurement of this component, taking into account not only spatial and temporal variations, but also the relative contributions of autotrophic and heterotrophic respiration are vital for constructing a soil, and forest, carbon balance.

While several factors may influence soil organic carbon pools, the role of fine roots is significant with up to 75 % of the annual net primary production allocated to fine roots.

Conclusions

Unbalanced emissions of carbon dioxide to the atmosphere influence the greenhouse effect.

While carbon dioxide is the most important greenhouse gas, other gases, such as methane, are also significant.

The influence of human activity on the carbon cycle has been very significant and may result in long-lasting, potential serious, climate change.

We can contribute to the mitigation of increased emissions and to the improvement of the carbon balance by planting new forests, better management of ecosystems in order to actively manage the carbon store, increased use of wood in buildings, using biomass for energy and recycling wood and paper products.

Bibliography

Climate Change

UNFCCC (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Bonn, UNFCCC Secretariat.

UNFCCC (1997). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Bonn, UNFCCC Secretariat.

Carbon Cycle

Byrne, K.A., Farrell, E.P. and O'Toole, P. (2000). Greenhouse gas emissions in restored industrial cutaway peatlands in central Ireland. In L. Rochefort and Y.-V. Daigle (eds), *Sustaining Our Peatlands*,. Proceedings of the 11th International Peat Congress, 11:873-877.

Raich, J.W. and Schlesinger, W.H. (1992). The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, 44B: 81-99.

Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D.J. and Dokken, D.J. (eds). (2000). *Land-use, Land-use Change and Forestry*. A Special Report of the IPCC. Cambridge, Cambridge University Press.

Green, C. and Byrne, K.A. (2004). *Biomass: Impact on Carbon Cycle and Greenhouse Gas Emissions*. Encyclopedia of Energy. Volume 1. Amsterdam, Elsevier, pp223-236.

Irish Forestry

Anon. (1996). *Growing for the Future. A Strategic Plan for the Development of the Forestry Sector in Ireland*. Dublin, Government Publications.

Kilbride, C.M., Byrne, K.A. and Gardiner, J.J. (1999). *Carbon Sequestration and Irish Forests*. Dublin, COFORD.

Soil Organic Matter

Brady, N.C., Weil, R.R. (2002). *The Nature and Properties of Soils*. New Jersey, Prentice Hall.

Some Useful Websites

General Soil Links

<http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/globe/links.htm>

<http://hintze-online.com/sos/soils-online.html#44>

Glossaries of Soils Terms

<http://www.soils.org/sssagloss/search.html>

<http://soilslab.cfr.washington.edu/S-7/soilglossary.html>

http://soils.usda.gov/sqi/soil_quality/what_is/glossary.html

Carbon dioxide

http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide#Atmosphere

Carbon cycle

<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9r.html>

Greenhouse Effect

<http://royal.okanagan.bc.ca/mpidwirn/atmosphereandclimate/greenhouse.html>

Soil Organic Matter

www.soils.org

www.nal.usda.gov

Esperanza Álvarez Rodríguez

Contaminación por oligoelementos en sistemas forestales

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

Introducción

Todos los cambios introducidos por el hombre perturban el equilibrio natural de un ecosistema, que se ha formado a lo largo del tiempo mediante el cambio evolutivo. Así, mientras las modificaciones geológicas y biológicas de la superficie terrestre han sido muy lentas, los cambios introducidos y/o estimulados por el hombre se han acumulado con extremada rapidez. Aunque la influencia del hombre sobre la biosfera data del periodo neolítico, el problema del deterioro de los ecosistemas por la contaminación ha aumentado a un ritmo alarmante durante los dos últimos decenios.

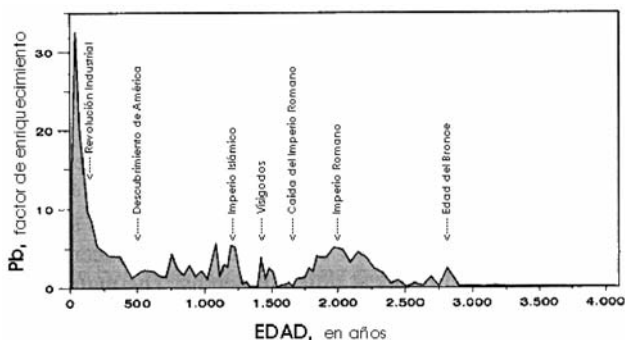


Figura 1.- Enriquecimiento de Histofoles en Pb en diferentes períodos de la historia (Martínez Cortizas et al., 1997)

La evolución de la contaminación producida por diferentes compuestos en los últimos años es muy variable. Algunos, como los radiactivos y los aportes atmosféricos de formas

ácidas de azufre parecen tener una clara tendencia a la disminución, otros, como los metales pesados, parecen estabilizados, mientras que otros, fundamentalmente los organoclorados, formas de nitrógeno acidificantes y/o eutrofizantes, derivados del petróleo y contaminaciones de origen biológico, no cesan de aumentar (Fig. 2).

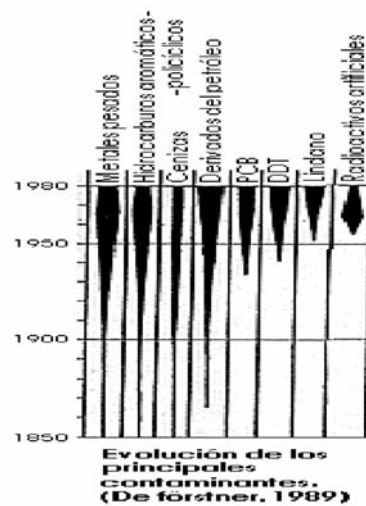


Figura 2

El consumo energético y de minerales por parte del hombre es la causa principal de la contaminación química de la biosfera. La mayor parte de la contaminación del aire se debe a la combustión de carbón y otros combustibles fósiles, así como a la fundición del hierro y de metales no ferrosos; sin embargo, los hornillos domésticos, la combustión de leña y los incendios forestales también contribuyen mucho a la contaminación local. Los desechos de las actividades humanas no son los únicos factores de la contaminación general del aire; también deben tenerse en cuenta algunas fuentes naturales como el polvo producido por la erosión eólica, las erupciones volcánicas, o el

proceso de concentración y toxicidad que muestran determinados elementos metálicos, presentes en los minerales primarios de rocas serpentinizadas (Cr, Ni, Cu, Mn); a medida que avanza el proceso de edafogénesis se produce el paso de estos elementos desde los minerales primarios a especies de mayor actividad. Por tanto, la existencia de una fuerte toxicidad para muchas plantas sólo se manifiesta a partir de un cierto grado de evolución del suelo y es máxima en condiciones tropicales húmedas.

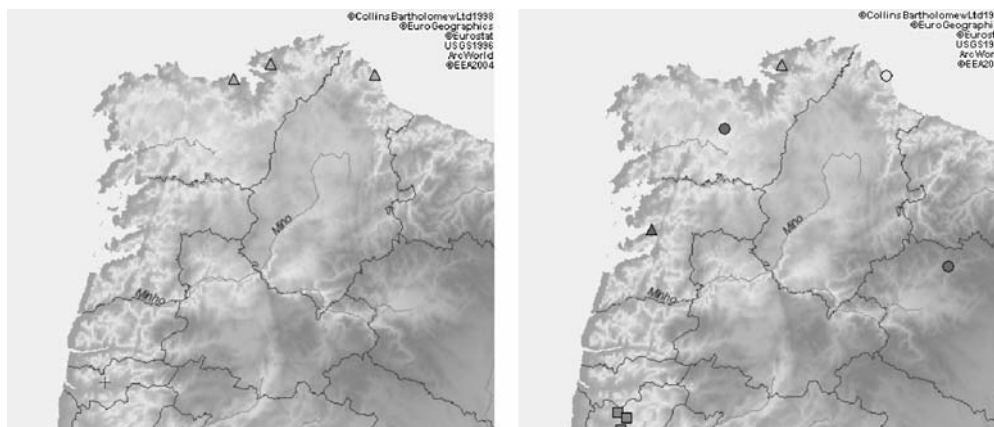
Todos los contaminantes químicos, de cualquier procedencia, acaban por llegar a la superficie terrestre, y su acción futura dependerá de las propiedades químicas y físicas del suelo que los recibe. A menudo se advierte que los suelos están afectados simultáneamente por varios contaminantes químicos (dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, fluoruro de hidrógeno) muchas veces acompañados por precipitación ácida. De todos los contaminantes químicos, se considera que el dióxido de azufre (SO₂), los complejos oxidantes (O₃, NO₂ y PAN, peroxiacetilnitratos), los hidrocarburos y los oligoelementos son los más importantes del punto de vista ecológico, biológico y sanitario. En este caso nos vamos a centrar en la contaminación por oligoelementos (F y metales pesados) en vegetación forestal, suelos y aguas.

Contaminación por oligoelementos

La presencia en el suelo de oligocontaminantes tiene su origen en fuentes industriales, urbanas y mineras, fertilizantes, plaguicidas, cenizas y escorias de combustión y materiales transportados por las aguas residuales y por el aire.

En Galicia existen varias industrias que son fuente de contaminación por oligoelementos (mapa 1). Una de ellas es el complejo industrial Alúmina-Aluminio perteneciente al grupo ALCOA, situado en los municipios de Cervo y Xove, en la costa norte de la provincia de Lugo. La actividad de esta factoría consiste en la producción de aluminio primario por proceso electrolítico. Para ello, el complejo cuenta con dos plantas, la planta de alúmina, en la que se obtiene alúmina (Al₂O₃) a partir de la bauxita, y la planta de aluminio, en la que se obtiene aluminio a partir de alúmina, mediante un proceso electrolítico. En la tabla 1 se recogen las principales emisiones de ambas plantas.

Además se generan barros rojos o estériles de bauxita con baja concentración de alúmina extraíble (8,9% aproximadamente). La producción anual de barros es del orden de las 650000 toneladas.



Mapa 1.- Emisiones de flúor (izquierda) y cobre (derecha) por distintos complejos industriales de Galicia

Planta de Alúmina		Planta de Aluminio	
Sustancia	Cantidad (kg/año)	Sustancia	Cantidad (kg/año)
F	14500	F	232000
Cu	73	PFCs (perfluorocarburos)	8130
Cd	17	CO	157000000
Ni	91	PM10	418000
SO ₂	10000000	SO ₂	3360000
NO ₂	1480000	Cl	16500
CO ₂	831000000		

Tabla 1.- Principales emisiones del complejo industrial Alúmina-Aluminio (Ministerio de Medio Ambiente, 2001)

Las emisiones fluoradas a la atmósfera son principalmente en forma de HF y partículas consistentes fundamentalmente en NaAlF_4 . También se producen emisiones de SO_2 procedentes de la quema de combustibles fósiles. Además, en la obtención de aluminio también se emiten metales pesados a la atmósfera a través de los residuos generados en los procesos primario y secundario de producción de aluminio. En estos residuos se encontraron metales pesados tales como Cr, Ni, Zn, Cu y Cd en las inmediaciones de fábricas de aluminio en Austria (Wenzel, 1990) y el Reino Unido (Healy et al., 2001).

El flúor que emiten diversas industrias (además de las fábricas de aluminio, las fábricas de ladrillos y de vidrio y las de fertilizantes fosfatados), es de los contaminantes comunes presentes en el aire el más fitotóxico. Penetra en el interior de la planta a través de los estomas en forma de gas y puede producir la muerte celular (Haiduti et al., 1993). Es fácilmente asimilable por las plantas cuando se presenta en los suelos en forma soluble.

En el año 1997, hemos iniciado un estudio sobre el estado de la vegetación forestal, las aguas y los suelos en las inmediaciones del complejo Alúmina-Aluminio de San Ciprián, en un radio de 3 km, centrándonos fundamentalmente en F y metales pesados (Gago et al., 2001, 2002, 2003 a y b; Del Río et al., 2003; Romar et al., 2004).

Vegetación forestal

Para la realización de este estudio se han tomado muestras foliares en los alrededores de la fábrica de aluminio de San Ciprián y se han analizado sin lavar y una vez lavadas. Los resultados muestran unas concentraciones de flúor más elevadas en las muestras sin lavar que en las que fueron lavadas, tanto en pino como en eucalipto, y estas concentraciones disminuyen con la distancia a la fábrica,

siendo, a partir de 2 km, similares a los que registran las muestras que fueron tomadas fuera del área de influencia de la factoría (muestras control) (Figs. 3 y 4). Valores de 30 mg kg^{-1} en planta son aceptados, normalmente, como límite por encima del cual se puede considerar que existen indicios de contaminación (Larsen y Widdowson, 1971). No obstante, el tipo de especie es determinante, ya que la sensibilidad a este elemento varía ínter específicamente (Haiduti et al., 1993). Por lo general, son las coníferas y en concreto las resinosas las especies forestales que son más sensibles al F (Vike and Håbjørg, 1995). Las muestras situadas a una distancia de la factoría inferior a 2 km presentan valores de flúor muy superiores a 30 mg kg^{-1} , 6 veces más elevados en las hojas de eucalipto y 4 en las de pino (en términos medios) (Fig. 3).

La concentración de metales pesados (Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Co y Pb) en hojas de pino y eucalipto muestran una variación similar a la señalada para F, mayor concentración en hojas sin lavar y disminución de la misma a medida que aumenta la distancia a la fábrica (se muestra la Fig. 4 para Zn). El Fe puede provenir de los residuos de bauxita, que contiene principalmente minerales de aluminio (Gibbsita, Boehmita, Diaspora, Halloysita, Caolinita), pero también contiene, en un 11% aproximadamente, distintos minerales de Fe (Hematita, Goethita, Magnetita, Siderita e Ilmenita). De la bauxita se extrae el óxido de aluminio mientras que los otros componentes (óxidos de Fe y de Si) son precipitados y separados por un proceso de filtración. Estos residuos se depositan en una balsa de lodos. El Zn, como los otros metales pesados, puede proceder de la quema de combustibles fósiles para generar calor en la planta de vapor y de calcinación, en el proceso de obtención de alúmina, y de hornos de fundición y fabricación de ánodos, en el proceso de producción de aluminio. También pueden proceder del reciclado de materiales que se lleva a cabo en la fábrica.

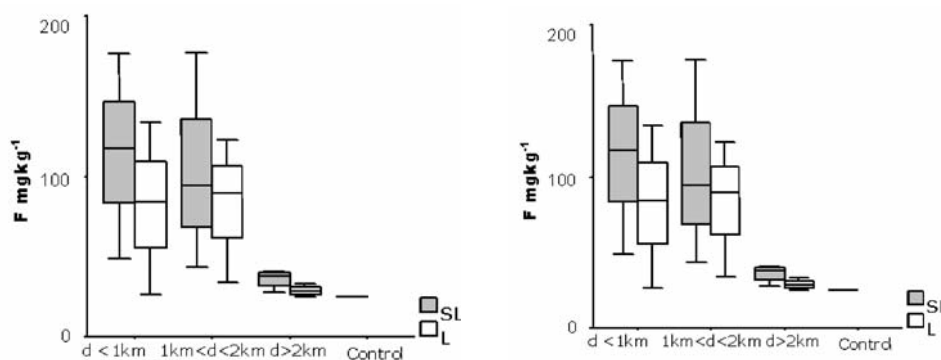


Figura 3.-Concentración de F en hojas de eucalipto (izquierda) y pino en función de la distancia a la fábrica (SL: muestra sin lavar; L: muestra lavada)

Aunque las plantas controlan la absorción de algunos elementos químicos mediante reacciones fisiológicas adecuadas, son receptoras pasivas de los oligoelementos absorbidos por las raíces y de los que llegan en las precipitaciones. La vegetación de las inmediaciones de

esta fábrica de Al está sujeta a deposición atmosférica de oligoelementos directamente en la superficie vegetal, como lo demuestra la mayor concentración de oligocontaminantes en muestras sin lavar en relación a las lavadas. Muchos de los oligoelementos son esenciales para el crecimiento, pero

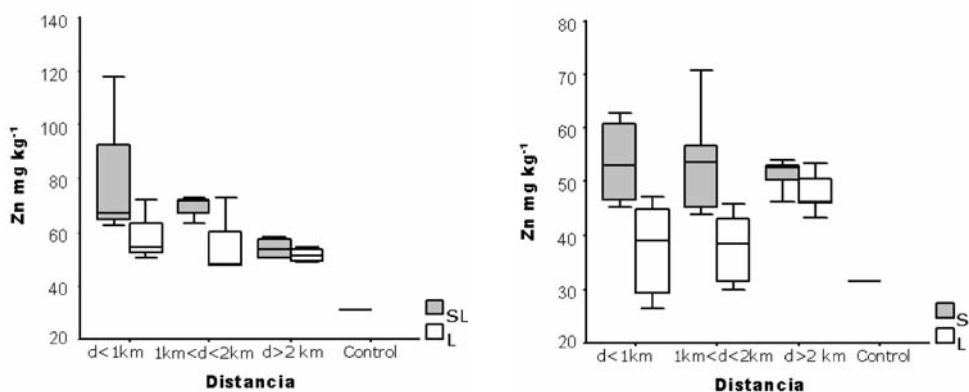


Figura 4.-Concentración de Zn en hojas de eucalipto (izquierda) y pino (derecha) en función de la distancia a la fábrica (SL: muestra sin lavar; L: muestra lavada)

pueden producir efectos tóxicos en el metabolismo vegetal si se encuentran en concentraciones elevadas. Las reacciones básicas relacionadas con los efectos tóxicos del exceso de oligoelementos, tanto en organismos animales como vegetales, se asocian con cambios en la permeabilidad de las membranas celulares, reacciones con los grupos tiol que provocan la desnaturalización de las

proteínas, sustitución de iones esenciales, y ocupación de lugares para conseguir los compuestos químicos esenciales.

Las plantas son capaces de desarrollar mecanismos de tolerancia a la agresión de los oligoelementos, sin embargo su estado y productividad pueden reducirse mucho. Las Figuras 5, 6 y 7 muestran los efectos generalizados de las concentraciones de oligoelementos en la disolución del suelo sobre el rendimiento y el contenido de metales de los tejidos vegetales.

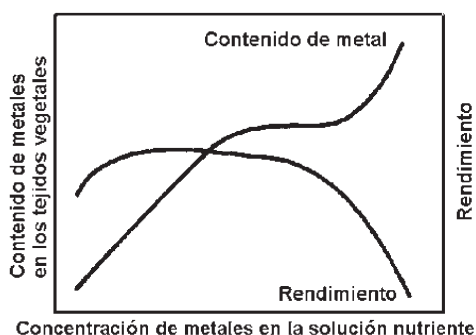


Figura 5.- Efecto de la concentración de oligoelementos metálicos en disolución, sobre el rendimiento y el contenido de metal de las plantas (Kabata-Pendias y Pendias, 1984)

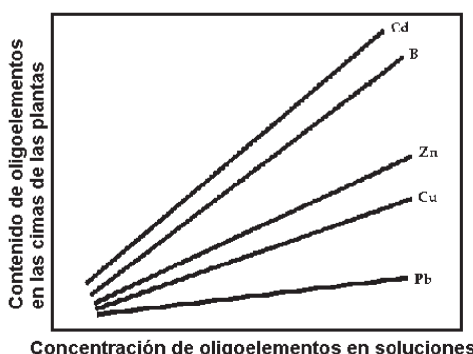


Figura 7.- Absorción de oligoelementos por las plantas, como función de su concentración en disolución (Kabata-Pendias y Pendias, 1984)

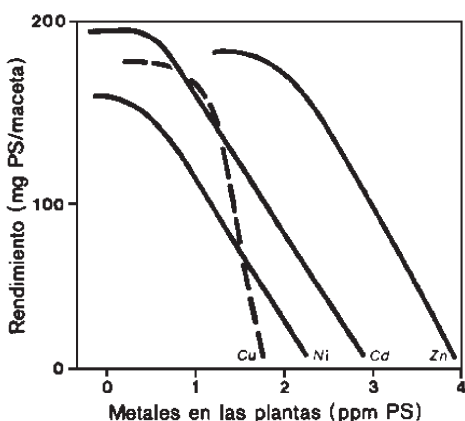


Figura 6.- Reacción de los tejidos de plantas jóvenes de cebada a concentraciones de cuatro metales pesados diferentes. Las concentraciones de metal figuran en potencias de 10. (Beckett et al., 1979.)

Agua de escurrido y pluviolavado

También se han analizado muestras de agua de escurrido y pluviolavado de árboles situados a varias distancias de la factoría. Los contenidos de flúor total y libre, en todos los muestreos realizados (mensualmente durante un año), son superiores en las aguas recogidas en la zona más próxima a la factoría (Fig. 8), coincidiendo con los valores más elevados obtenidos en las muestras foliares de esta zona y con la mayor diferencia de concentración entre hoja sin lavar y lavada. El F depositado en la vegetación llega al suelo a través de las aguas de pluviolavado y escurrido.

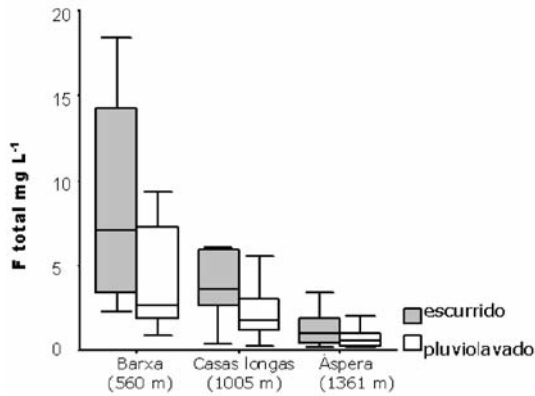


Figura 8.- Valores de F total en aguas de escurrido y pluviolavado en función de la distancia a la fábrica

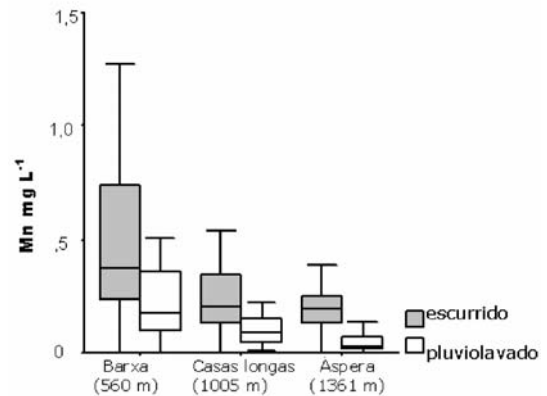


Figura 9.- Valores de Mn en aguas de escurrido y pluviolavado en función de la distancia a la fábrica

En cuanto a los metales pesados en aguas de escurrido y pluviolavado, se observa que en la zona más próxima a la fábrica se obtienen los contenidos más elevados de Mn (Fig. 9) y Zn. Los valores de Mn obtenidos en pluviolavado de eucalipto en la zona de A Barxa son del mismo orden que los señalados por García-Rodeja y Fernández Vega (2001) en la cuenca del Sor, mientras que los de Zn son superiores a los citados por Fernández-Sanjurjo et al. (1998) en esa misma cuenca .

Los valores más elevados de Zn en las aguas de pluviolavado y escurrido de la zona más próxima a la fábrica de Al en relación a la cuenca del Sor coinciden con los contenidos más elevados de SO_4^{2-} que se han encontrado en las proximidades de Alcoa. SO_4^{2-} y Zn van muy asociados a procesos de contaminación por lluvia ácida y ambos iones superan en la zona más próxima al complejo industrial Alúmina-Aluminio los valores encontrados en la cuenca del Sor, afectada por la lluvia ácida de As Pontes.

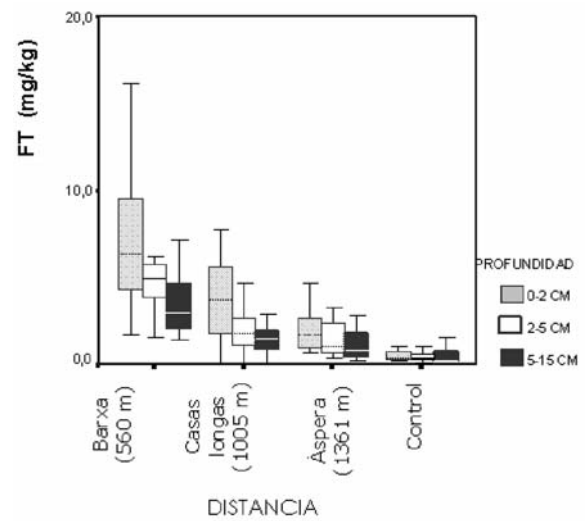


Figura 10a.- F total asimilable extraído con NH_4Cl 1 M para diferentes profundidades de suelo, en función de la distancia a la fábrica

Suelo

La concentración de F asimilable extraído con NH_4Cl 1 M y F total y libre en la fase acuosa del suelo también es más elevada en las muestras situadas más cerca de la fábrica de Al (Fig. 10). En los suelos forestales la mayor parte del F en disolución se encuentra ligado al Al, mientras que en los suelos de cultivo la mayoría se encuentra como F libre. El diferente comportamiento se puede explicar teniendo en cuenta que en los suelos forestales el pH es más ácido y por tanto se obtiene una mayor concentración de Al en disolución, éste se une al F en forma de complejos AlF_x^{3-x} , disminuyendo así la fracción de F libre.

En los suelos forestales del entorno de la factoría, los contenidos de F soluble en agua son más elevados en los dos primeros centímetros de profundidad, mientras que en los tomados como control son mayores entre 5 y 15 cm. Esto está relacionado con la deposición de F en superficie en los suelos próximos a la fábrica.

La concentración de metales pesados asimilables es de nuevo superior en los suelos cercanos al complejo

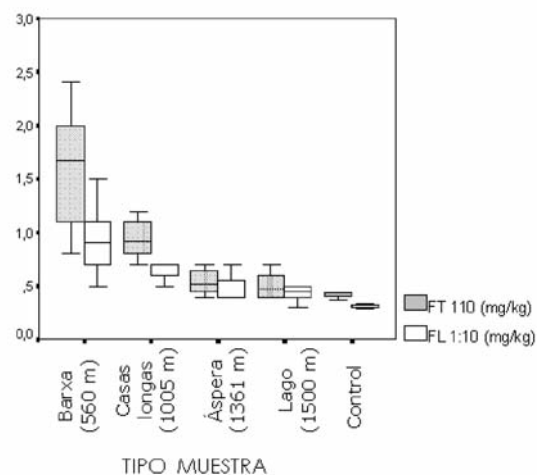


Figura 10b.- F total y libre en el extracto acuoso en la capa más superficial (0-2 cm) en función de la distancia a la fábrica

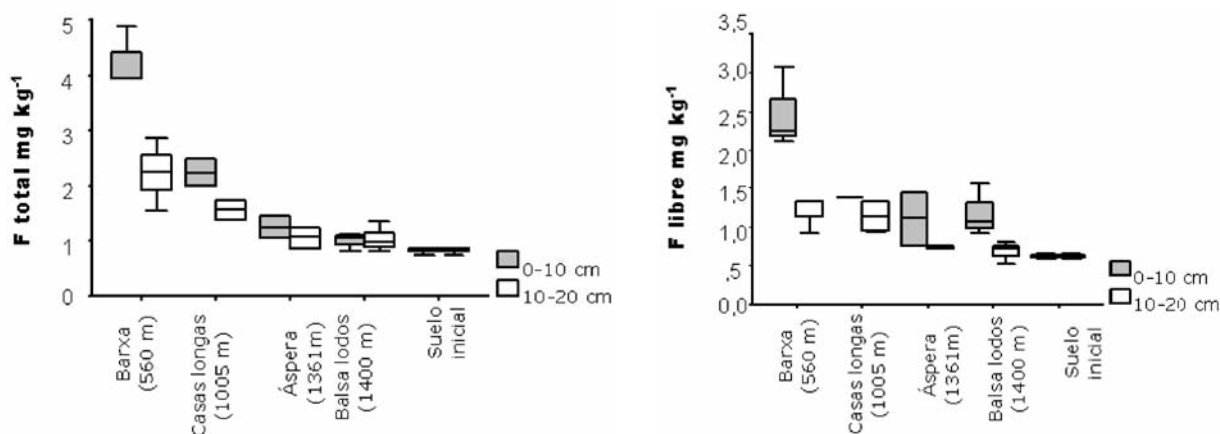


Figura 11.- F total y libre en el suelo inicial y en las muestras introducidas seis meses a distintas distancias de la fábrica de Al

industrial, coincidiendo con lo señalado para la vegetación y las aguas de pluvio lavado y escurrido.

Muestras de suelo introducidas en las proximidades de la fábrica

Una vez que se había visto que la contaminación se centraba en unos 3 km alrededor de la fábrica, se introdujeron en suelos de esta zona, columnas de PVC con suelo natural sobre granito procedente de un área alejada de la influencia de la factoría. Se trataba de estudiar la variación del contenido de F y metales pesados de este suelo sin contaminar, después de pasar seis meses en las proximidades de la factoría; para ello se compararon los contenidos con los iniciales. También se estudió la dinámica de estos elementos con la profundidad.

Las concentraciones de flúor (total y libre) en el extracto acuoso de los suelos introducidos más cerca de la fábrica es del orden de 5 veces superior al que presentaba el suelo inicialmente, en tan solo seis meses (Fig.11). En estas muestras también se observa que el contenido de F total y libre es significativamente más elevado en las capas superficiales, consecuencia de la deposición de F. La elevada capacidad de adsorción de F que presentan los suelos de Galicia derivados de granito (Romar et al., 2004) limita la movilidad del mismo, de ahí que los mayores contenidos de este elemento se detectan en los primeros 10 cm y a partir de ahí el contenido de F baja significativamente.

Los riesgos producidos por los oligocontaminantes son función, entre otros, de la toxicidad y carácter acumulativo de cada elemento, destacando el Hg, Cd, Br, Cs, Rb que presentan índices de bioacumulación superiores a 1, (Kabata-Pendias y Pendias 1985).

El estudio de las interacciones entre metales y organismos indica que mucho más importante que el contenido total de un elemento es su distribución, forma o especie en que se presenta en el suelo. Todos los metales pueden aparecer bien en formas de muy baja asimilabilidad, que, generalmente, se relaciona con el predominio de

compuestos escasamente solubles (sulfuros, hidróxidos, fosfatos,...) o bien en especies más solubles. En algunos elementos incluso hay diferencias muy importantes entre la toxicidad de las distintas formas de oxidación de un mismo elemento, como es el caso de los compuestos de Cr(VI) y Cr(III), Arseniatos y Arsenitos, etc.

Para conocer en qué forma se encuentran los elementos en la fase sólida y las especies presentes en la disolución se han un gran número de técnicas de análisis químico y modelizaciones termodinámicas. Así, la utilización de diferentes extractantes proporciona información acerca de la forma en que se presenta un determinado elemento: soluble en agua, cambiante, ligado a la materia orgánica, adsorbido, ocluido,... o nuevos términos como lábil, no lábil, complejo estable, bioasimilable, etc. Las modelizaciones termodinámicas utilizan la noción de equilibrio y el conocimiento de los mecanismos de reacción, y las constantes por las que se rigen, para calcular la actividad de las diferentes especies en las disoluciones.

En el estudio que se llevó a cabo en los suelos introducidos en las proximidades de la fábrica de aluminio. En el caso de los metales pesados, se diferenció entre contenidos totales, asimilables y solubles.

El contenido de Fe total y biodisponible incrementa significativamente cuando se introducen las muestras en el entorno de la factoría, aumentando, en términos medios, 15 y 7 veces, durante seis meses (Fig.12). En las muestras introducidas en la proximidad de la fábrica el Fe disponible es unas 60 veces menor que el total, mientras que en el suelo inicial la relación Fe total/Fe biodisponible es de 20. Por tanto, del Fe que llega a las muestras próximas a la fábrica, una buena parte no es disponible para las plantas. Los contenidos de Fe significativamente más elevados en relación con el suelo inicial, pueden deberse principalmente a la bauxita que puede llegar al suelo bien directamente, bien a través de las aguas de pluvio lavado y escurrido que aportan parte del Fe depositado en la vegetación, bien por los propios restos vegetales, que en la zona próxima a la factoría tienen mayor contenido en Fe debido a la deposición del mismo.

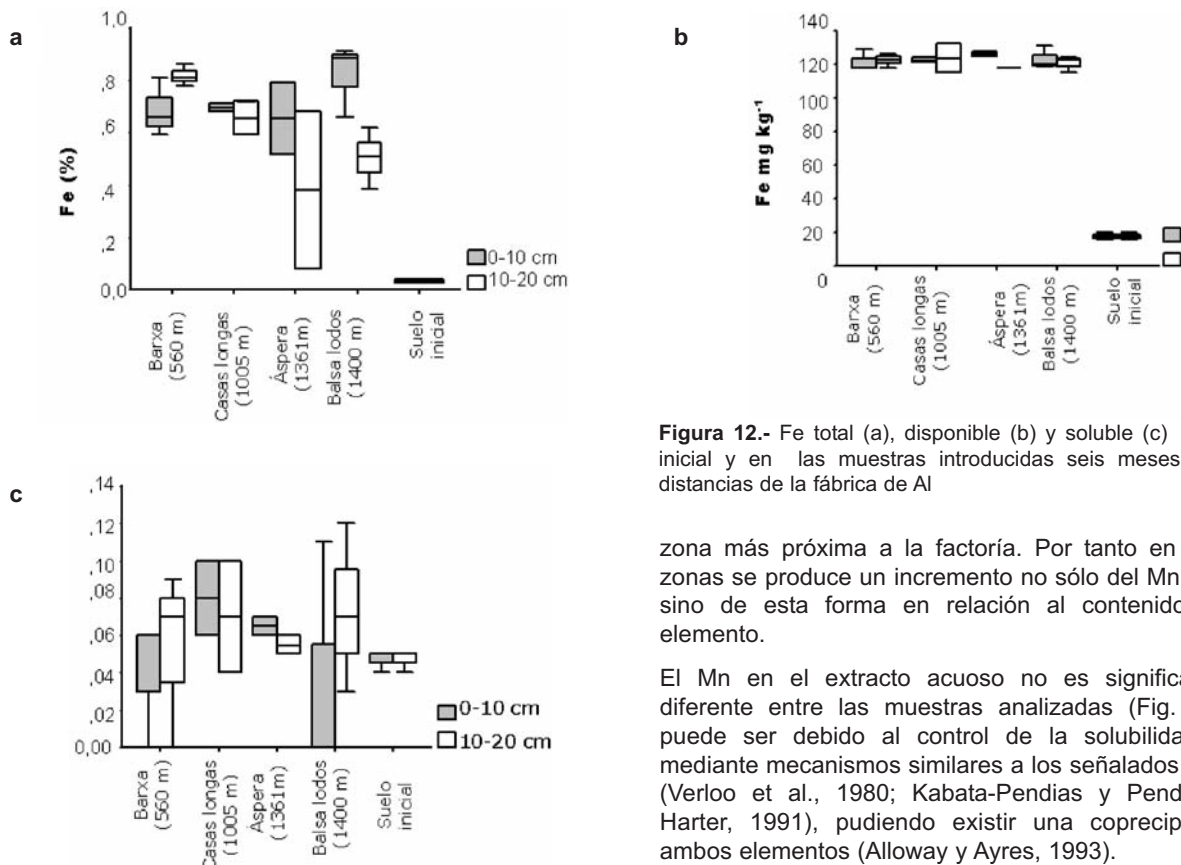


Figura 12.- Fe total (a), disponible (b) y soluble (c) en el suelo inicial y en las muestras introducidas seis meses a distintas distancias de la fábrica de Al

zona más próxima a la factoría. Por tanto en estas dos zonas se produce un incremento no sólo del Mn disponible sino de esta forma en relación al contenido total del elemento.

El Mn en el extracto acuoso no es significativamente diferente entre las muestras analizadas (Fig. 13). Esto puede ser debido al control de la solubilidad del Mn mediante mecanismos similares a los señalados para el Fe (Verloo et al., 1980; Kabata-Pendias y Pendias, 1984; Harter, 1991), pudiendo existir una coprecipitación de ambos elementos (Alloway y Ayres, 1993).

En el caso del Zn, también se observa una influencia de la factoría en el contenido total y biodisponible pero no en el presente en la fase acuosa (Fig. 14). El Zn puede llegar al suelo fundamentalmente a través del agua de lluvia, ya que se observan contenidos más elevados en las muestras de agua de lluvia próximas a la factoría, del agua de pluvio lavado y escurrido y de los restos vegetales, que en esta zona poseen contenidos de Zn más elevados, tal y como hemos comentado.

El hecho de que los contenidos de Zn en la fase líquida del suelo sean bajos se debe a los mecanismos de adsorción y retención. Según Kabata-Pendias y Pendias (1984) los minerales de la arcilla, oxihidróxidos y pH son los factores más importantes en el control de la solubilidad del Zn, mientras que la complejación orgánica y la precipitación como hidróxidos, carbonatos y sulfuros de Zn parecen tener menor importancia. Por otra parte, Lindsay (1972) en estudios sobre adsorción y retención de Zn en los suelos, concluye que los minerales de la arcilla y la materia orgánica presentan una gran capacidad para retener el Zn de la disolución.

En cuanto al contenido de Ni total y biodisponible es significativamente más elevado en las muestras que se introdujeron en las cercanías de la fábrica que en el suelo inicial, incrementando 6 y 2 veces, respectivamente, en un período de seis meses (Fig. 15). La relación Ni total/Ni disponible en el suelo inicial es próxima a 2, mientras que después de seis meses es del orden de 5. Por tanto la mayor parte del Ni que llega a estos suelos se encuentra en forma no disponible.

El contenido de Fe en disolución, no es significativamente diferente entre las muestras iniciales y las que estuvieron seis meses cerca de la fábrica (Fig. 12c). En las muestras introducidas cerca de la factoría la relación Fe disponible/Fe en disolución es, en términos medios, de 170, y en el suelo inicial esta relación es del orden de 30. Estas relaciones junto con las ya comentadas de Fe total/Fe disponible para el suelo inicial y las muestras introducidas en el entorno de la factoría, indican que la mayor parte del Fe aportado no está en forma disponible y del que se encuentran en esta última forma, se solubiliza una pequeña cantidad. La presencia de iones metálicos en disolución depende de la concentración de aniones y agentes quelantes en la misma, del pH y potencial redox y de la presencia de superficies de adsorción (Alloway y Ayres, 1993). En el caso del Fe su disponibilidad y su solubilidad está controlada principalmente por reacciones de oxidación y precipitación. Las condiciones muy ácidas y reductoras promueven su solubilización, mientras que las alcalinas y oxidantes favorecen su precipitación, fundamentalmente en forma de óxidos y oxihidróxidos (Verloo et al., 1980; Kabata-Pendias, 1984; Harter, 1991). En los suelos estudiados los procesos de adsorción podrían jugar un papel importante en el control de la solubilidad del Fe.

El contenido de Mn total y biodisponible es 2 y 6 veces superior, respectivamente, en las muestras introducidas durante seis meses cerca de la fábrica en relación con el suelo inicial. La relación Mn total/Mn biodisponible es de 5 en el suelo inicial, mientras que dicha relación es de 2 en la

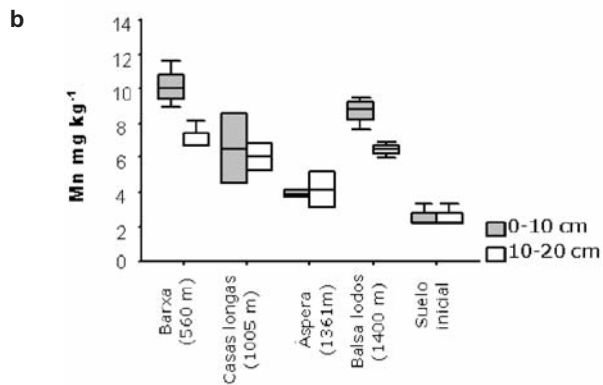
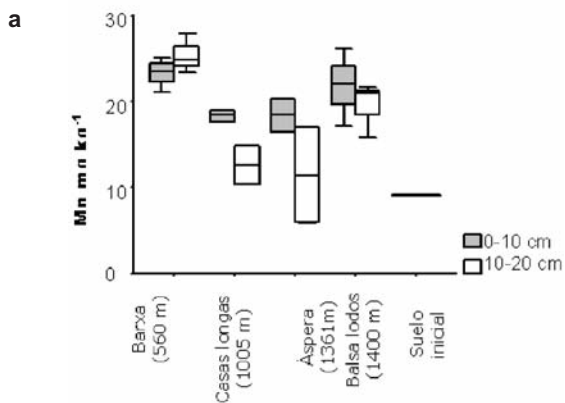


Figura 13.- Mn total (a), disponible (b) y soluble (c), en el suelo inicial y en las muestras introducidas seis meses a distintas distancias de la fábrica de Al

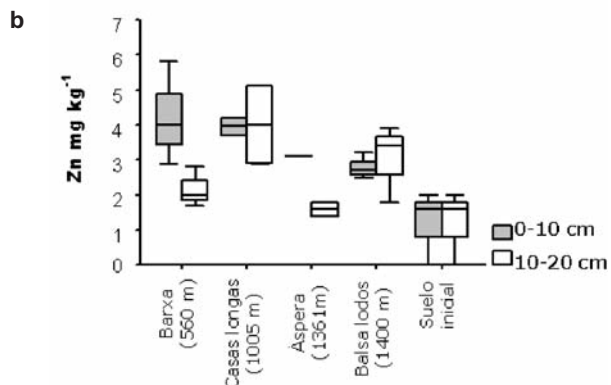
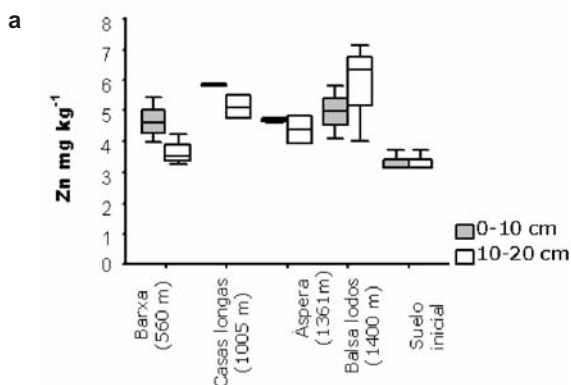
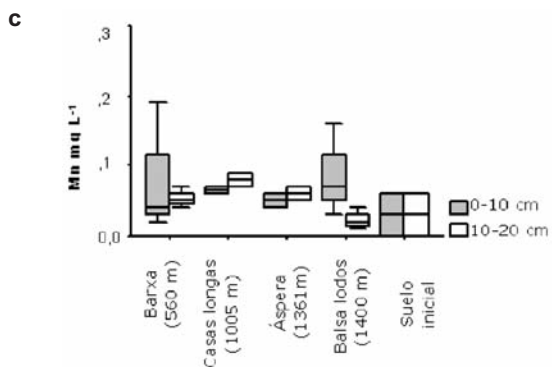
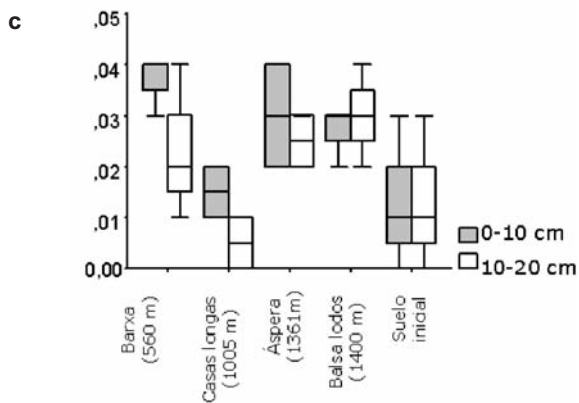


Figura 14.- Zn total (a), disponible (b) y soluble (c), en el suelo inicial y en las muestras introducidas seis meses a distintas distancias de la fábrica de Al



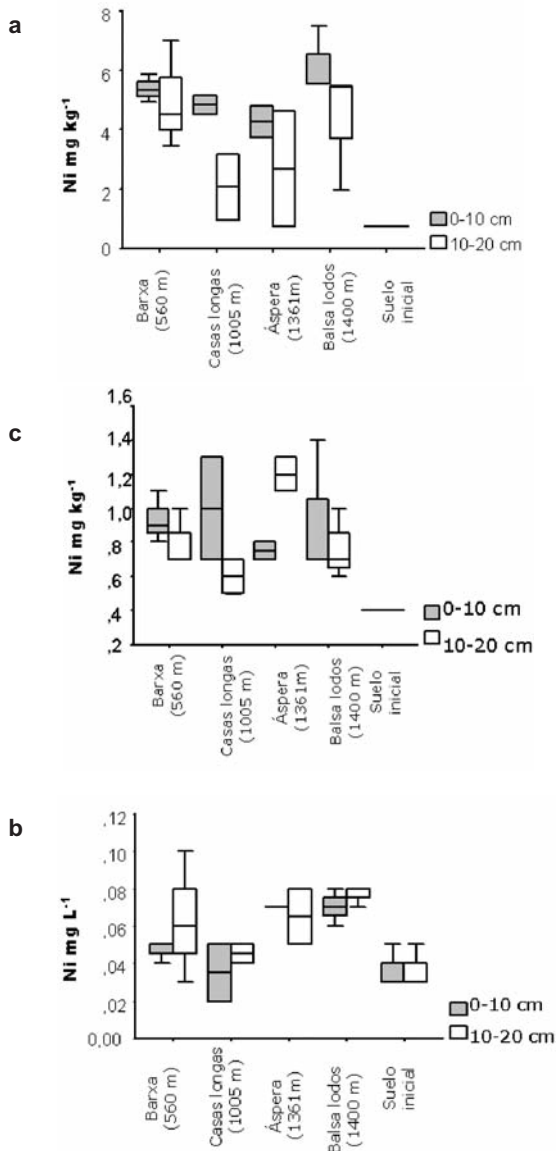


Figura 15.- Ni total (a), disponible (b) y soluble (c), en el suelo inicial y en las muestras introducidas seis meses a distintas distancias de la fábrica de Al

En cuanto al Ni en la fase líquida, los contenidos son siempre menores de 0,05 mg L⁻¹ y no se observaron diferencias significativas entre las muestras. El Ni presenta una gran movilidad y es relativamente estable en disoluciones acuosas. Algunos autores señalan que es un elemento que presenta muy poca afinidad por la materia orgánica (Adams y Sanders, 1984), mientras que otras indican lo contrario (Bloomfiel, 1981; Karapanagiotis et al., 1991). Las muestras del presente estudio tienen contenidos elevados de materia orgánica (10%), que podría intervenir en la complejación de este elemento.

El Cu total y el biodisponible aumentan 2 veces en las muestras introducidas seis meses cerca de la factoría con respecto al suelo inicial (Fig. 16). La relación entre Cu

total/Cu biodisponible es de 3 en el suelo inicial y del orden de 4 en los suelos introducidos en el entorno de la factoría. Por tanto, se observa también en el Cu que, pese a que se obtienen mayores contenidos de Cu total en estas últimas muestras, se trata de un Cu que está en su mayor parte, en forma no disponible. El contenido más elevado, que se obtiene en las muestras próximas a la fábrica, coincide con mayores contenidos de este elemento en la vegetación y en aguas de pluvio lavado y escurrido del área de influencia de la industria de aluminio.

En disolución no se detectó ni en el suelo inicial ni en las muestras introducidas en el entorno de la factoría. La fracción orgánica del suelo presenta muchos lugares de adsorción específica para el Cu (Mc Lauren y Crawford, 1973; Kadlee y Keolian, 1986), debido principalmente a la gran capacidad de este ión para formar complejos de "esfera interna" en un amplio rango de valores de pH (Mc Bridge, 1981). También los minerales del suelo son capaces de adsorber Cu de la disolución, proceso que depende de la carga superficial del adsorbente, que en muchos casos es dependiente del pH.

Los mayores contenidos de Cu se ha encontrado adsorbido a óxidos de Fe y Mn (hematita, goethita), hidróxidos de Fe y Al no cristalinos y minerales de arcilla (Kabata-Pendias y Pendias, 1984). En la retención del Cu también pueden estar involucrados procesos de oclusión y coprecipitación. Algunos minerales del suelo también pueden incorporar Cu en sus estructuras; esta sería la forma más estable de Cu en el suelo. Alguno de estos mecanismos puede ser responsable de que no se detecte Cu en la fase líquida de estos suelos.

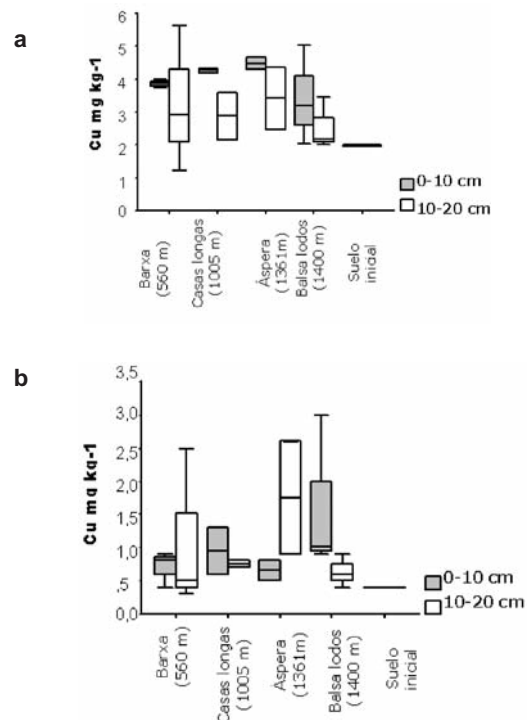


Figura 16.- Cu total (a) y disponible (b) en el suelo inicial y en las muestras introducidas seis meses a distintas distancias de la fábrica de Al

No se detectaron contenidos de Cd, Cr, Pb ni Co en las muestras estudiadas.

A partir de diferentes estudios se han realizado predicciones acerca de la movilidad de los elementos metálicos en diferentes condiciones, pudiendo afirmarse que son fuertemente retenidas en las capas superficiales de la mayoría de los suelos. La movilización, cuando se produce, es debida fundamentalmente a su presencia en forma particulada, adsorbidos sobre los coloides (procesos de erosión, dispersión) o por cambios drásticos de la solubilidad debidos a modificaciones del pH.

Aguas superficiales

En las aguas superficiales no se observan diferencias significativas en la concentración de F en relación con la distancia a la fábrica de Al. Esto implica que el suelo adsorbe el F que le llega e impide que este elemento pase a las aguas superficiales, de ahí que no encontremos en estas últimas, diferencias en los valores de F entre zonas que reciben más flúor y las que reciben menos.

En relación con la adsorción de F por los suelos, hemos estudiado este proceso en suelos forestales de Galicia desarrollados sobre diferentes materiales de partida (Romar et al., 2004). Los resultados indican que los suelos que presentan una mayor adsorción de F son los desarrollados sobre granito (material que predomina en las inmediaciones de la fábrica de aluminio) y anfíbolita y la menor adsorción se obtiene en suelos sobre esquistos de Villalba, pizarras y serpentinitas (Fig. 17). En todos los casos los horizontes A presentan una mayor adsorción de F que los B (Fig. 18).

La adsorción de F en los suelos forestales de Galicia está correlacionada negativamente con el valor de pH ($r = -0,56$) y positivamente con el pH en NaF ($r = 0,78$), con Al con oxalato amónico ($r = 0,75$) y con la materia orgánica ($r = 0,57$) (Fig. 19). La mayor adsorción de F a pH ácido se puede relacionar con la presencia de cargas positivas en los componentes de carga variable del suelo (no cristalinos y materia orgánica).

Las aguas superficiales de toda la zona presentan contenidos de metales pesados similares a los registrados en zonas no contaminadas. Por tanto, el suelo está

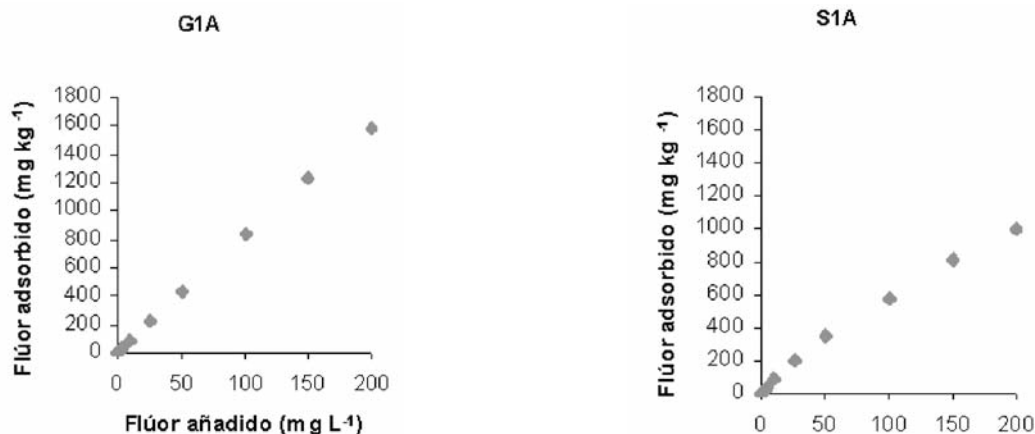


Figura 17.- Adsorción de F en un horizonte A de granito (G1A) y serpentinita (S1A)

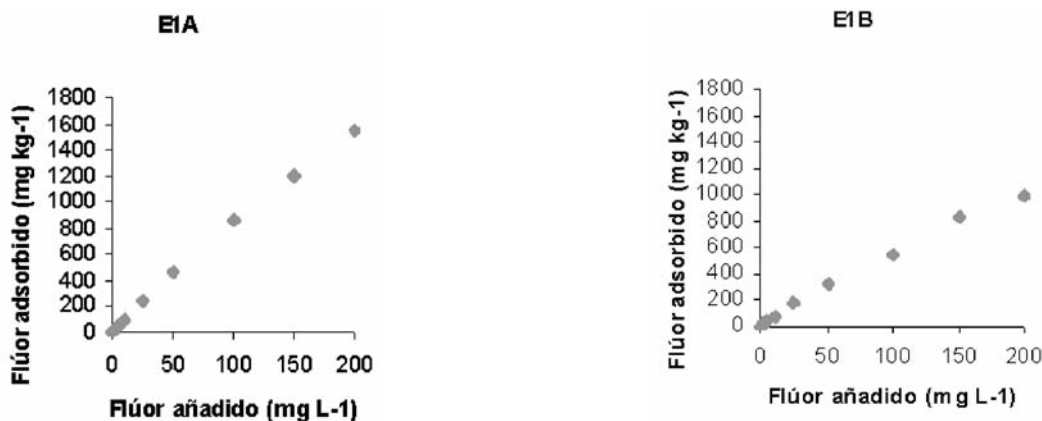


Figura 18.- Adsorción de F en horizonte A (E1A) y horizonte B (E1B) de suelos sobre esquistos de Villalba

ejerciendo un papel fundamental impidiendo que los metales pesados alcancen las aguas superficiales. El conjunto de las propiedades físicas (fundamentalmente la estructura porosa), químicas (debidas a la presencia de superficies de gran reactividad) y biológicas (alta actividad metabólica) hacen del suelo un sistema clave en el control de los ciclos biogeoquímicos superficiales, en los que actúa como un reactor complejo, capaz de realizar funciones de filtración, descomposición, neutralización o inactivación, almacenamiento y regulación de la concentración en disolución y de la movilidad de un gran número de sustancias, con lo que sirve como una barrera protectora de otros medios más sensibles, como los hidrológicos y los biológicos. El suelo puede actuar simultáneamente sobre compuestos orgánicos e inorgánicos, aniones y cationes, ácidos y bases, oxidantes y reductores, metales pesados y ligeros, sales, partículas coloidales, microorganismos, etc., presentando diferencias significativas según la composición

y espesor del suelo, la naturaleza de sus componentes activos y las condiciones del medio en que se encuentra. El efecto protector de los suelos frente a los contaminantes está relacionado con su capacidad amortiguadora que puede ser definida como la capacidad que tiene un suelo de eliminar o mitigar los efectos negativos de un determinado contaminante. La inactivación puede producirse a través de la formación de enlaces entre las sustancias contaminantes y los componentes del suelo, por procesos de insolubilización o bien transformándolas en otras sustancias menor grado de toxicidad. Con frecuencia, intervienen simultáneamente varios tipos de reacciones en el control de los contaminantes del suelo, entre las que pueden citarse: reacciones de precipitación-disolución, ácido-base, de oxidación-reducción, de adsorción-desorción, de complejación y procesos metabólicos. El resultado global es que la mayoría de los suelos presentan una elevada capacidad de depuración. Se pueden citar algunos ejemplos. Así, los suelos aluminicos de Galicia (Umbrisoles, Regosoles y Leptosoles úmbricos), caracterizados por presentar un bajo pH (4.5) y una elevada proporción y diversidad de compuestos aluminicos de gran actividad, disponen de mecanismos que les permiten controlar la calidad de las aguas superficiales al bloquear la salida de una gran parte de los fosfatos, fluoruros, sulfatos, aluminio, arcillas y materia orgánica en el suelo (Calvo de Anta y Macías, 1993), con lo que se mantiene la calidad de las aguas superficiales. En otros tipos de suelos los mecanismos de interacción con los contaminantes son diferentes, pero la capacidad depuradora o de sumidero, con mayor o menor intensidad, es una propiedad bien conocida y utilizada de los suelos.

De todas formas, es necesario tener en cuenta que esta capacidad tiene un límite diferente para cada tipo de suelo y condiciones. Cuando se alcanza ese límite el suelo deja de ser eficaz e incluso puede funcionar como una "fuente" de sustancias peligrosas para los organismos del suelo o de otros medios relacionados con él. Ejemplos de estas situaciones son bien conocidos, pudiendo citarse la absorción y acumulación de metales pesados en las plantas que crecen en suelos con elevadas concentraciones de formas bioasimilables (Barber, 1984,), la eutrofización de arroyos, fuentes y aguas freáticas en áreas con exceso de abonado nitrogenado y fosforado o el funcionamiento actual de los suelos del entorno de Chicago como fuente de PCBs a la atmósfera (Standley & Hites, 1991) entre otros muchos ejemplos.

Según las consideraciones anteriores, se puede definir como "suelo contaminado" aquél que ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias y, como consecuencia, pasa de actuar como un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmósfera y/o los organismos. Al mismo tiempo se modifican sus equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas de determinados componentes que causan cambios en sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas (Macías, 1993).

Debe señalarse que la propia característica de amortiguación de los suelos es uno de los principales problemas a la hora de percibir los daños, ya que éstos sólo

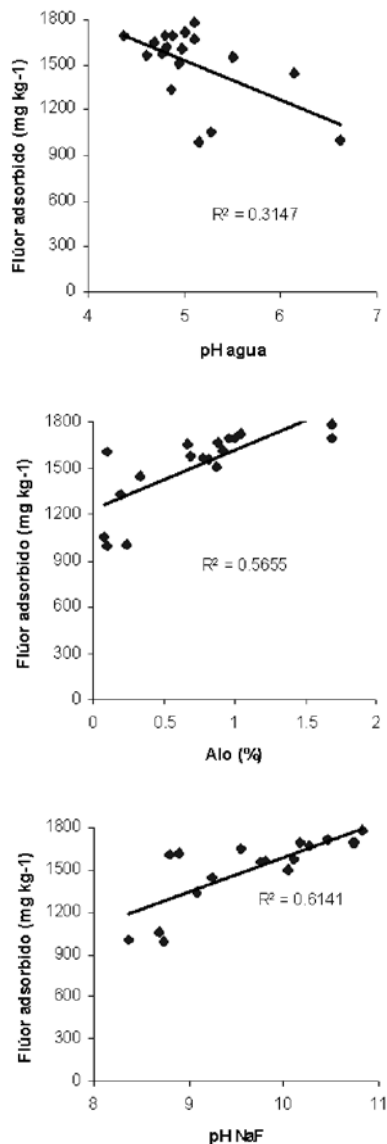


Figura 19.- Relación del F adsorbido con el pH en agua, Al no cristalino (Alo) y pH en NaF

se reconocen cuando el suelo ya ha perdido su capacidad protectora y se ha convertido en una fuente de contaminantes, de ahí que el proceso sea más impredecible que la contaminación de organismos, aguas o atmósfera y que, cuando se produce, lo hace después de períodos más o menos largos de latencia. La expresión de "bomba química de acción retardada" alude a este problema.

En la definición anterior, la presencia de contaminantes no es suficiente para calificar a un suelo como contaminado, sino que sus niveles deben ser superiores a los máximos admisibles sin que se produzcan modificaciones significativas. Este concepto conduce directamente a los de "sensibilidad", "vulnerabilidad", "cargas críticas", que ponen de manifiesto las importantes diferencias de comportamiento de los suelos frente a una misma cantidad de contaminante y supera la frecuente utilización de los denominados "umbrales generales de toxicidad" para la estimación de los impactos potenciales y la planificación de las actividades permitidas y prohibidas en cada tipo de espacio. La sensibilidad puede definirse por la velocidad con que se producen los cambios secuenciales en las propiedades del suelo en respuesta al impacto de un determinado contaminante. Se trata de un concepto relacionado con la capacidad amortiguadora del suelo. A mayor capacidad menor sensibilidad.

El concepto de cargas críticas, similar al de "dosis máxima tolerable", es próximo al anterior. Se define por "la cantidad máxima de un determinado compuesto que puede ser aportada a un suelo sin que se produzcan en él cambios químicos que originen efectos nocivos sobre la estructura y función del ecosistema" (Hettelingh et al., 1991). La determinación de las cargas críticas de diferentes sustancias (SO_4^{2-} , H^+ , NO_3^- , O_3 , metales pesados,...) es en la actualidad uno de los campos de trabajo de un gran número de investigadores en toda Europa. En Galicia están trabajando desde hace unos años en este tema el equipo de Calvo R. y Macías, M.

Bibliografía

Adams T. M.C.M., Sanders, J.R. (1984). The effect of pH on the release to solution of zinc, copper and nickel from metal-loaded sewage sludge. *Environmental Pollution (series B)* 8, 85-99.

Alloway, B. J., Ayres, D.C. (1993). *Chemical Principles of environmental pollution*, Glasgow, Chapman & Hall.

Barber, S.A. (1984) *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach*. John Wiley & Sons, New York

Beckett, P.H.T., Davis, R.D., Brindeley, P. (1979). The disposal of sewage sludge onto farmland: the scope of the problem of toxic elements. *Wat. Pollution Control*, 78, 419-425

Bloomfield, C. (1981). The translocation of metals in soils. En: *The Chemistry of Soil Processes*, Greenland, D.J. and Hayes, M.H.B. (Eds.), John Wiley & Sons, New York, 463 pp.

Calvo de Anta R., Macías, F. (1993). Rôle des processus pédogénétiques dans le maintien de la qualité des eaux superficielles en zones tempérées humides. Exemple des sols acides sur roches granitiques et schisteuses de la Galice (NW-Espagne). *C. R. Atad. Sci. Paris*, t 316, Serie II, 799-805.

Del Río, B., Gago, C., Alvarez, E., Fernández-Marcos, M.L., Fernández-Sanjurjo, M.J. (2003). Heavy metals in Eucalyptus stemflow and throughfall waters, rainwater and surface waters near an aluminium smelter in Galicia, NW Spain. 7th International Conference in the Biochemistry of Trace Elements. ICOBTE. Upsala, Suecia, 15-19 Junio, 2003

Fernández-Sanjurjo, M.J., Alvarez, E., Fernández Vega, V., García-Rodeja, E. (1998). Chemistry of soil solutions under different kinds of vegetation in the vicinity of a thermal power station. *Environmental Pollution*, 101, 131-142

Gago, C., Del Río, B., Fernández-Marcos, M.L., Fernández-Sanjurjo, M.J., Alvarez, E. (2003a). Heavy metals content of Eucalyptus and Pine leaves in the area surrounding and aluminium smelter (Galicia, NW Spain). 7th International Conference in the Biochemistry of Trace Elements. ICOBTE Upsala, Suecia, 15-19 Junio, 2003

Gago, C., Del Río, B., Fernández-Marcos, M.L., Fernández-Sanjurjo, M.J., Alvarez, E. (2003b). Variations in the content of various forms of heavy metals in soil columns introduced into soil surrounding an alumina-aluminium plant. 7th International Conference in the Biochemistry of Trace Elements. ICOBTE. Upsala, Suecia, 15-19 Junio, 2003.

Gago, C., Alvarez, E., Fernández Marcos, M.L. (2001). Comparison of methods for fluoride extraction from forest and cropped soils in the vicinity of an aluminium smelter in Galicia (NW Spain). *Comm. in Soil Sci. and Plant Analysis* 32, 2503-2510.

Gago, C., Fernández Marcos, M.L., Alvarez, E. (2002). Aqueous aluminium species in forest soils affected by fluoride emissions from an aluminium smelter in NW Spain. *Fluoride* 35, 1-12.

García-Rodeja, E., Fernández Vega, V. (2001). Efectos de la deposición ácida sobre suelos y aguas superficiales de la cuenca alta del río Sor. XXII Reunión Nacional de la Sociedad Española de la Ciencia del suelo, 141-150 pp.

Haidouti, C. (1993). Fluorine adsorption behaviour in alkali soils: Relative roles of pH and sodicity. *Soil Sci.* 133, 364.

Harter, R.D. (1991). Micronutrients adsorption-desorption reactions in soils. En: *Micronutrients in Agriculture*, SSSA Book Series, nº 4, USA, 59-87 pp.

Healy, J., Brandley, S.D., Northage, C., Scobbie, E. (2001). Inhalation exposure in secondary aluminium smelting. *Annals of Occupational Hygiene*. 45(3), 217-225.

Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (1984). *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton, FL, CRC. Press

Kadlec, R.H., Keoleian, G.A. (1986). Metal ion exchange on peat. En: *Peat and water*. C.H. Fuchman (ed.) Elsevier Applied Science Publ. Ltd. Oxford, England

- Karapanagiotis, N.K., Sterritt, R.M., Lester, J.N. (1991). Heavy metal complexation in sludge-amended soil. The role of organica matter in metal retention. *Environmental technology* 12, 1107-1116.
- Larsen, S., Widdowson, A.E. (1971). Soil fluorine. *J. Soil Sci.* 22, 210-211.
- Macías, F. (1993). Contaminación de Suelos. Algunos hechos y perspectivas. V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Roque Ortiz Silla (Ed).
- Martínez Cortizas, A., Pontevedra, X., Novoa, J.C., García-Rodeja, E. (1997). Four thousand years of atmospheric Pb, Cd and Zn deposition recorded by peat bog of Penido Vello (NW Spain). *Water Air and Soil Pollution* 100 (3-4), 387-403.
- Mcbride, M.B. (1981). Forms and distribution of copper in solid and solution phases of soil. En: *Copper in soils and plants*. Loneragan et al. (ed.). Academic Press, Sydney, Australia.
- Mc Laren, R.G., Crawford, D.V. (1973). Studies on soil copper (II) : The specific adsorption of copper by soils. *J. Soil Sci.* 24, 443-452.
- Romar, A., Gago, C., Fernández Marcos, M.L., Alvarez; E. Adsorção de fluoreto em alguns solos naturais da Galiza (Espanha) . *Revista de Ciências Agrarias da Sociedade Portuguesa da Ciencia do Solo* (en prensa).
- Standley, L.J., Hites, R.A. (1991). Chlorinated Organic Contaminants in the Atmosphere. En *Organic Contaminants in the Environment*. Ed. by C. Jones. Elsevier, 1-31 pp.
- Verloo, M.L., Kiekens, Cottenie, A. (1980). Distribution patterns of essential and no essential trace elements in the soil-soil solution systems. *Pedologie*, 30, 163-175
- Vike, E., Habjorg, A. (1995). Variation in fluoride content and leaf injury on plants associated with three aluminium smelters in Norway. *The Science of Total Environment* 163, 25-34.
- Wenzel, W.W. (1990). Effects of fluorine and heavy metal pollution in the vicinity of an aluminium smelter o their functions. Tesis. Universitaet fuer Bodenkultur Wien.

Antonio Rigueiro Rodríguez

Manexo do solo e biodiversidade vexetal

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

Introducción

As comunidades vexetais e os solos desenvólvense conxuntamente, establecéndose relacións estreitas entre vexetación e substrato edáfico, de feito que modificacións nos solos conlevan xeralmente cambios na cuberta vexetal e alteracións desta teñen incidencia no substrato.

Ó longo dos tempos prehistóricos e históricos o home foi transformando a cuberta vexetal, quedando moi pouco da vexetación primixenia, continuando esa transformación nos nosos días de xeito acrecentado.

Entre as accións humanas máis frecuentes no noso entorno de manexo ou uso do solo que teñen ou tiveron unha incidencia negativa na conservación da biodiversidade vexetal podemos citar:

- A implantación de pradeiras en terreos de braña
- Talas e tratamentos culturais desafortunados
- A repoboación forestal mediante técnicas agresivas de desbroce e preparación do terreo e con determinadas especies
- A roturación de terreos para uso agropecuario
- A concentración parcelaria
- O emprego abusivo de fitocidas
- Actividades extractivas de turba, rochas, etc.
- Incendios forestais
- Pastoreo abusivo

Dpto. de Producción Vexetal
Escola Politécnica Superior
Campus Lugo
Universidade de Santiago de Compostela
anriro@lugo.usc.es

Supresión de actividades como o pastoreo, rozas, queimas periódicas, etc.

Turismo verde

Áreas recreativas en bosques de ribeira

Prácticas rurais tradicionais (recolección abusiva de plantas medicinais e aromáticas, de plantas emblemáticas, de cogumelos, etc.)

Contaminación ambiental

Crecedemento urbano e industrial

Degradación de solos (contaminación edáfica, erosión, etc)

Difusión de valores naturais sen establecemento previo de mecanismos protectores

Establecemento de medidas protectoras non consensuadas.

Algúns criterios para unha xestión do solo forestal en harmonía coa conservación da biodiversidade

Podemos citar pautas como as seguintes encamiñadas a conquistar unha xestión forestal compatible coa conservación da diversidade biolóxica:

Inventariar a biodiversidade

Evitar as cortas a matarrasa en extensións grandes (incrementan a nitrificación e reducen a aireación e permeabilidade dos solos, ademais de favorecer procesos erosivos. Por outra parte, causan danos físicos á flora do sotobosque, destrúen hábitats da flora e da fauna e incrementan a incidencia directa da radiación solar sobre o solo)

Incorporar ó solo os restos das cortas

Evitar as masas forestais artificiais monoespecíficas e coetáneas en grandes extensións

Limitar o uso de especies de repoboación que poden erosionar a diversidade xenética

Alargar os turnos de corta para acadar maior madurez nos ecosistemas forestais

Ordenar o pastoreo nos montes e acotar ó mesmo, entre outras posibles, as zonas nas que crecen especies ameazadas

Evitar os desbroces totais, o laboreo total e o subsolado seguindo liñas de máxima pendente

Deixar algunhas árbores que vivan toda a súa vida (árbores vellas e mortas: 3-4% da AB total/ 4-15 árbores vellas por ha)

Manter usos tradicionais de manexo dos ecosistemas

Prevención de incendios forestais

Intercalar nos bosques e masas arboladas pastizais, cultivos agrícolas e teselas de matogueira nos distintos niveis evolutivos

Apostar en maior medida polos sistemas agroforestais, entre eles os silvopastorais, que diversifican a produción do monte e incrementan a súa rentabilidade, reducen o risco de incendio forestal, integran en maior medida os propietarios forestais cos seus predios, acortan o tempo de retorno económico dos investimentos e melloran a transitabilidade e aspectos relacionados co uso social dos nosos montes

Apostar pola prevención e a loita biolóxica ou integrada no tratamento de plagas e enfermidades

Evitar ou limitar o uso de agroquímicos (fitocidas, funxicidas, insecticidas) e evitar o seu emprego en grandes extensións

Evitar ou limitar o emprego de prácticas que favorecen a perda de solo por erosión: laboreo total, creación de terrazas, subsolado según liñas de máxima pendente, desbroce total, utilización do lume nos desbroces, etc.

Evitar a desecación de turbeiras e a súa transformación en pradeiras

Limitar as concesións de canteiras, xa que nalgúns rochedos, especialmente nos calcáreos do nacente galego, crecen endemismos e subendemismos vexetais de gran interese

Fomentar a apicultura, xa que as abellas son insectos polinizadores de extraordinaria importancia para a reprodución de numerosas especies vexetais silvestres

Introducir artificialmente nos nosos montes especies naturais dos mesmos que non se rexeneran ben.

Conservar e recuperar os bosques naturais, con especial atención ós bosques relicticos

Restaurar as ripisilvas, consideradas entre os ecosistemas máis biodiversos e cun importante papel como corredores ecolóxicos

“Listas vermellas” de flora, fauna, comunidades vexetais, cogumelos, liques, algas, árbores monumentais, bosques singulares, etc.

Normativa de conservación. Rede de espacios naturais protexidos

Índice de progresión da vexetación

Xeralmente, ó aumentar a madurez da comunidade vexetal incrementase a biodiversidade vexetal. Moitas actividades de uso do solo afectan en menor ou maior grao ó tapiz vexetal, sendo interesante coñecer canto tempo tarda a vexetación en recuperarse ata acadar un nivel de madurez (e polo tanto unha biodiversidade vexetal) similar ó da etapa preoperacional. Canto menor sexa ese período de tempo máis compatible será a actividade coa conservación do medio. Para poder estimar o grao de evolución da vexetación podemos utilizar índices sintéticos que integran distintas variables da comunidade vexetal, e un que pode explicar axeitadamente o grao de madurez en comunidades inmaduras de mato (sobre as que se actúa con frecuencia no sector forestal) é o seguinte Índice de Progresión:

$$IP = \{(X_1 - X_2) + ExF + (H - I) + (K - L) + AxN + X_3\}$$

Sendo

$$X_1 = (B + O) / 2 \quad X_2 = (C + D + P + Q) / 4 \quad X_3 = (R + S + T + \dots) / n$$

A-Cobertura superficial do estrato arbóreo (no caso de que o haxa)

B-Cobertura superficial de especies leñosas do sotobosque

C-Cobertura superficial de especies herbáceas do sotobosque

D-Solo desnudo

E-Altura media do mato

F-Nivel evolutivo do mato

H-Número de fanerófitos

I-Número de especies de outras formas biolóxicas

K- Índice de diversidade de Shannon Weaver (especies leñosas)

L- Índice de diversidade de Shannon Weaver (especies herbáceas)

N-Fitomasa aérea (materia seca)

O-Interceptación lineal (leñosas)

P-Interceptación lineal (herbáceas)

Q-Interceptación lineal (solo desnudo)

R,S,T...-Crecemento anual de “n” especies do mato

Bibliografía

Braun-Blanquet, J. (1979). Fitosociología. Editorial Blume. Madrid.

Rigueiro, A.; Romero, R.; Fernáandez Lorenzo, J. L. (1994). Recuperación de la vegetación en montes aterrados en el norte de Galicia repoblados con *Eucalyptus globulus*. Actas de I Congreso forestal Español. Pontevedra.

Raunkiaer, C. (1934). The life forms of plants and statistical plant geography. Oxford University Press.

Roxelio Pérez Moreira

Valor y valoraciones del suelo

Recibido: 4 Septiembre 2004/ Aceptado: 16 Octubre 2004
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2004

“¿Qué cousa habrá máis esencial, máis substancial, máis sustentadora? ¡Qué máis que a terra baixo os nosos pés, que nos sustén, nos sustenta, nos sustancia, que verdadeiramente nos consubstancia!”. Esta frase muy mía bien nos sirve ahora, al comenzar, ya enfatizando la trascendencia del suelo. Efectivamente, somos en muchos sentidos consubstanciales de la propia tierra: incluso se podría recordar que “hombres” viene de “humus”, y que “Adám” es “salido de la tierra”; y hasta bíblicamente se nos ha dicho que somos tierra y que en la tierra yaceremos. Mismo se podría decir que la vida es una savia de la tierra y que somos tierra carnal.

Mi intervención versará sobre los diversos “valores” del suelo y cómo los valoramos. Y con toda intención será esencialmente reflexiva. Pues creo que conviene la reflexión y el esclarecimiento conceptual sobre lo que decimos y lo que hacemos con respecto al suelo, y sobre la manera en que lo observamos.

Y también quisiera abrirme a una perspectiva más allá de lo técnico, y un poco cambiar nuestro sentido de vista cara al suelo. Mirarlo con amplitud de miras; contemplarlo en todos sus horizontes, incluyendo los de su futuro; y a la vez pretendería propiciar una aproximación sentimental, acercándonos más a él con benquerencia. Y para ello, he de referirme al suelo no solamente en sus valores tangibles

sino también en los intangibles, y no sólomente a sus valores objetivos sino a los subjetivos: estéticos y éticos, emocionales y sentimentales.

El suelo como ente natural

Y empecemos por cosiderar al suelo esencialmente como “ente natural”. Pues, acostumbrados como estábamos a verlo casi en exclusiva como un recurso y a no ver en él más horizontes que los de su productividad, nos habíamos olvidado que ante todo es un componente esencial de la naturaleza. Más aún: su delgada interfaz es frontera de la vida, y ella sin él no existiría, pues este breve manto superficial se asienta sobre la materia inerte. Y todavía más: su acción vitalista no se limita al ámbito de su somero recubrimiento, ya que es de una tal envergadura que resulta crucial para el equilibrio global de la biosfera.

Auténticamente el suelo es un conciliábulo. Una interfaz de litosfera, hidrosfera, atmósfera y biósfera. Además, en su seno se concitan todos los elementos básicos de la vida: aire y agua, lo mineral y lo orgánico, que se aúnan en conformar algo vivo. Acaso el único lugar donde se produce este conjugado encuentro, tan crucial y tan vital. Vive propiamente el suelo. Mismo come, bebe, metaboliza y respira; también los suelos nacen, crecen... e incluso mueren. (Y quien nos inspira estas observaciones es Joaquín Araújo).

En la más mínima porción de suelo superficial, en tan solo un gramo del mismo, habitan millones de organismos vivos, mayormente microorganismos. Lo pueblan seres de todos los reinos vitales. Hay bacterias, actinomicetes, hongos, algas, líquenes y otros vegetales y animales. Existe toda una cadena trófica edáfica, desde productores primarios a herbívoros y carnívoros y omnívoros. Aunque pudiera ser discutible la aplicación del término, se podría decir que es el sistema vital que mantiene la más alta biodiversidad.

El suelo es, pues, lo más básico, y literalmente es la base sobre la que asientan la mayoría de las secuencias tróficas y sobre la que nosotros también nos asentamos. Y cumple

con ello pese a estar en su ignota oscuridad. Lo mismo que las raíces de las plantas, que aunque no se ven son en volumen más que la visible parte aérea, también se genera ocultamente en el suelo todo lo que por su encima luce. Dicho más poéticamente, y otra vez bajo la inspiración de Joaquín Araújo: “las entregas del suelo son como las de un amor callado, complacido sólo con ver la satisfacción en quien se ama”.

Y dicho todo esto, uno no se explica como siendo el suelo algo tan fundamental no se ha tenido en la misma consideración que a otros componentes de la naturaleza, ni ha habido sobre él una preocupación equivalente como con el aire, el agua o el cambio climático. En el último Congreso Nacional del Medio Ambiente, donde se ha hablado de casi todo, al suelo ni se le menciona. Y se podrían citar algunos ejemplos más así de sorprendentes.

Tratando de respondernos al por qué de esto, quizás sea porque no se han visto tan directamente sus efectos sobre la salud; es más, sólo cuando los vemos es entonces que nos ocupamos del suelo. O sea, cuando ya se ha percibido su relación con la calidad del aire, del agua o sobre la biodiversidad. O quizás también sea por lo dicho antes, que es que durante largo tiempo casi no hemos sabido contemplarlo más que como un recurso.

Personalmente, este término de “recurso” nunca me ha gustado, pues subyace en él una visión utilitaria, que tampoco la considero como la fundamental. Siempre he preferido referir el suelo como “ente natural”. Un importante matiz diferenciador y que en cierto modo nos lleva de lo productivo a lo ambiental, y un punto de vista también muy diferente para su estudio e incluso para la docencia sobre el suelo.

Contemplado entonces el suelo como un ente natural, lo situamos en lo que hoy en día es un paradigma emergente: que los bienes de la naturaleza son un valor en sí mismos, al margen de su utilización o no utilización como recurso. Y por ello el primordial objetivo a procurar es el de su sostenibilidad plena, no solo la utilitaria sino en cuanto a su funcionalidad y a su propia existencia.

Sostenibilidad y Calidad de Suelo

Al referirnos a la sostenibilidad conviene hacer un necesario esclarecimiento conceptual. Pues aunque en apariencia todos digamos lo mismo no todos queremos decir lo mismo, y los términos cambian de significado según quien los diga y en el transcurso del tiempo. Pasa esto con ciertos términos ambientales, novedosos o de siempre, que hoy son muy comunes: sustentabilidad, multifuncionalidad, susceptibilidad, fragilidad, elasticidad, salud del suelo, calidad del suelo, ordenamiento integrado... Sobre todo se observa en su utilización por muchos recién advenedizos reconvertidos a la causa ambiental, que a menudo no es más que por oportunismo, y que usan estos términos en un sentido diferente al que tenían originariamente, con lo que desvirtúan su verdadero significado ambientalista.

Son varios los ejemplos que de ello se podrían citar. Pero ciñámonos ahora en exclusiva al concepto de

“sostenibilidad” en lo que se refiere al caso del suelo: no es lo mismo su sostenibilidad como “recurso” (que se entiende como su aprovechamiento y rendimiento sostenibles), que su sostenibilidad como “ente natural” (que más bien se refiere al mantenimiento de sus funciones en el ecosistema).

A mi modo de ver, ni siquiera es del todo completo el más actual concepto de sostenibilidad: el que dice apoyarse en los tres ámbitos, el productivo, el ecológico y el social (generalmente esquematizado por tres círculos enlazados, con un sector en común). La sostenibilidad podría también ser definida para cada ámbito por separado, aunque cada uno tiene ramificaciones en los otros y su sentido más amplio es con la consideración conjunta. Sin embargo, a mi entender, esta no deja de ser una visión antrópica. Y aún le falta algo, que es la consideración de todos los valores, objetivos y subjetivos, algo a lo que nos referiremos después.

Y cuando se habla de Calidad del Suelo, con esta misma pretensión de globalidad, se propone un esquema parecido: también un concepto respaldado en tres pilares (mismamente ha sido representado como un triángulo inscrito en un círculo) (Dorant & Parkin, 1994). Según puede descubrirse en la bibliografía, la idea del mismo no es reflejable en una concisa definición. La más común define a la Calidad de Suelo como: “capacidad de un suelo dentro de los límites funcionales de un ecosistema para mantener la productividad biológica, la calidad ambiental y promover la salud vegetal, animal (y humana)”. Pues bien: me sigue pareciendo “antrópica”. Por ejemplo, me gustaría más: “calidad de suelo vista como óptimo funcionamiento del suelo en el ecosistema”. Y, dicho eso, que luego se diga todo lo demás hasta la salud humana.

La Calidad de Suelo también se define más concretamente en términos de sus funciones, que como se sabe son múltiples (Blum & Aguilar, 1994). Los suelos, a través de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y de la continua interacción entre sus fases sólida, líquida y gaseosa, así como con el medio, cumplen, entre otras, esenciales funciones ambientales. Y no las reiteramos porque varias de ellas ya han sido mencionadas en otras ponencias.

Calidad de Suelo y Evaluación

El modo de saber si el suelo mantiene sus funciones, primordialmente las ambientales, y si existe una gestión o manejo sostenibles del mismo, sería mediante diversos indicadores de la Calidad de Suelo. Sin embargo, así como fueron prontamente estandarizados índices para calidad de aire y calidad de agua, no se ha llegado a esto con el suelo. Y es que con él no es tan fácil hacerlo, pues tiene una naturaleza muy compleja y dinámica. Ya se había dicho que es un medio diverso: materia mineral, materia orgánica, agua y aire; sus propiedades, procesos y funciones varían en el espacio, en el tiempo y en intensidad; además influyen el uso y manejo, los factores externos o “ambientales”.

Se precisan indicadores que: a) más que propiedades, procesos o equilibrios, refieran funciones; b) más que lo

físico o lo químico, debieran referir lo biológico; c) más que algo estático, visualicen su relación con el ecosistema. Pero, aún con todo, ¿qué índices nos representarían todas las amplias funciones implícitas a nuestro concepto de sostenibilidad?

La propia Edafología todavía se está poniendo al día en este sentido. Había evolucionado en un principio, como era lógico, hacia el objetivo de identificar y conocer los suelos, luego respondiendo principalmente a demandas de la agricultura, y reorienta ahora sus propósitos más hacia las cuestiones ambientales (Rubio, 1997). Del mismo modo que lo que se demandará también a una agricultura del futuro tiene mucho que ver con la calidad ambiental (Mc Calla, 1999; Cunha, 1999).

Ya unos primeros pasos se están dando. Ejemplos de indicadores de Calidad de Suelo han sido propuestos en la bibliografía (Doran & Parkin, 1994), y tampoco ahondamos en ello pues ya han sido concretados en otra ponencia. En los últimos años, documentos en diversos foros van estableciendo las bases doctrinales y estratégicas para el adecuado uso y preservación de los suelos (Rubio, 1997). Por otra parte, se trabaja actualmente en una directiva europea sobre Protección del Suelo (ocupándose de encontrar soluciones a: erosión, contaminación, salinización, desertificación, sellado de suelos, disminución de materia orgánica, biodiversidad...). Previendo su degradación, que es su opuesto, es también un modo de ocuparse de la Calidad de Suelo.

De todos modos, no existen parámetros de Calidad de Suelo de validez universal, sino que deberían ser sobre datos georreferenciados en cada lugar. Pero es que, además, distintos suelos tienen un distinto nivel de calidad, así como esta también varía en función de su uso y prácticas de manejo (Larson & Pierce, 1994). Se precisan entonces indicadores o niveles de referencia locales, que determinen las condiciones edáficas actuales y sobre los que establecer el sistema de vigilancia futura (Gómez-Rey & Calvo de Anta, 2002); así como sería necesaria la consideración del uso y manejo en la evaluación de la Calidad de Suelo.

La cuestión es si podría la Calidad de Suelo evaluarse de un modo semejante a como se evalúa la Aptitud de la Tierra en la Evaluación de Tierras. Ya que igual que sabemos que no existe una "vocación del suelo" sino distintos grados de aptitud para diferentes usos, del mismo modo la Calidad de Suelo también dependería de para qué fines. Por consiguiente, ni la Calidad de Suelo ni la Aptitud del Suelo o de la Tierra son algo intrínseco sino dependiente de consideraciones económicas, sociales y ambientales. Entonces, ¿en qué se diferencian conceptualmente, para la evaluación, una cosa de la otra?. Puede ser que enfatizan distinto: que lo de Calidad del Suelo quizás esté más ligado a valores del suelo y de su sostenibilidad en general, y lo de Aptitud del Suelo quizás vaya más ligado a propósitos de uso, para un rendimiento sostenible en ese uso.

Pues, pudiera tener el suelo una buena aptitud para un uso y producirse cambios debidos a ese uso que no afecten a su sostenibilidad en él mismo, pero sí a la calidad para otro uso; ya que el riesgo degradativo sólo se evaluaba para esa

concreta utilización. Aunque, también, podría determinarse el más adecuado uso sostenible, y existir como objetivo del uso mejorar la calidad ambiental y optimizar la Calidad de Suelo.

Los sistemas de Evaluación de Tierras hoy más considerados se basan en el esquema propuesto hace años por la FAO (FAO, 1976 y 1985). Sin embargo, algunas de sus premisas básicas son a menudo sorteadas y falla entonces su aplicación (Olarieta, 2002); y en la mayoría de los casos se despacha genéricamente el análisis de la sostenibilidad del suelo, o simplemente se reduce al riesgo de erosión. Pero, queriendo valernos de este sistema de evaluación para evaluar en su funcionalidad ambiental la Calidad de Suelo, aún estarían por resolver determinadas cuestiones. Por ejemplo: ¿en qué fase de la evaluación se consideran los valores ambientales, si previamente o al final?. ¿Determinando su aptitud para un uso o, en última instancia, determinando el valor ambiental del uso.

Este tipo de disquisiciones no son en absoluto triviales, pues podría ser que no bastase con establecer los indicadores adecuados de Calidad de Suelo, sino que también deberíamos cuestionarnos el modo en que se valoran los beneficios o perjuicios ambientales. En los referidos métodos de evaluación se pide que tanto la pertinencia de los usos como los resultados de la misma se contrasten en términos económicos. Pero ¿cómo hacerlo con los valores ambientales?.

El valor de las externalidades ambientales

Hemos llegado al punto en que se observa necesario el valorar de algún modo cuantitativo lo ambiental. Pero ¿cómo valorar las externalidades sin valor monetario, tales como son todas las funciones ambientales del suelo?. El suelo, así como el aire, el agua, los ciclos biogeoquímicos, el paisaje... son bienes gratuitos. Son valores de uso, no de cambio: no tienen mercado, no tienen precio; por ello no entran en las cuentas, no se valoran, no quiere decir que no tengan valor. (Paradójicamente, a veces sin tener valor sí tienen mercado y precio, como acontece con el suelo como espacio físico, en cuanto que está sujeto a propiedad).

Los indicadores económicos clásicos, cuando contabilizan la rentabilidad en el valor añadido y el saldo positivo, no consideran los saldos negativos a la naturaleza, los costes ecológicos de degradación del medio natural. Por ejemplo, en la explotación forestal cuando se tala un bosque las cifras de beneficios no consideran el valor de la pérdida del bosque. Los bienes de la naturaleza no son "resultados" pero son "activos" (sean "recursos", "reservas" o "bienes fondo"). Siendo estos también susceptibles de valorarse, con otra contabilidad, la propuesta desde las filas de la Economía Ambiental y la Economía Ecológica (Naredo & Parra, 1993; Prada & Vázquez, 2001; Olarieta, 2002).

Hoy en día se están ensayando métodos de valoración económica ambiental. No obstante, ello no debe entenderse como un modo de poner precio a los ecosistemas, ya que lo que se pretende no es tanto averiguar su valor venal sino social, la estima que a la sociedad le merecen los bienes

ambientales. Los métodos más usados son los de "evaluación contingente", "precios hedónicos" y "costes de viaje" (Foster, 2001).

Formulaciones de este tipo ya aplicadas en algunos sitios demuestran que los beneficios ambientales superan en valor a los bienes cotizados en los mercados. Por ejemplo, en una evaluación de los recursos forestales de la Comunidad de Madrid se valoraba todo lo productivo en un 10%, lo recreativo en un 15% y lo ecológico en un 75% (CCAA de Madrid, 1996). También en el último Inventario Forestal de las provincias gallegas se hizo un estudio semejante, determinando lo mismo para ciertos sitios de nuestra Comunidad (Xunta de Galicia, 2002). Y actualmente, otras valoraciones de este tipo se están llevando a cabo en el Departamento de Economía Aplicada de la Universidad de Vigo (Prada et al., 2000; Prada & Vázquez, 2001), pero ya no solamente estimando las externalidades positivas sino también las negativas, por ejemplo valorando social y económicamente las disminuciones del recurso "agua" en cuencas forestadas con eucalipto. Sin embargo, debemos constatar que en los diferentes estudios de economía de los recursos naturales que se llevan hecho, todavía en ningún caso se refirieron concretamente al suelo (Olarieta, 2002).

Los Suelos de Calidad

Una vez resueltas nuestras disquisiciones sobre la Calidad de Suelo y su valoración, el siguiente interrogante es qué decisiones adoptar con respecto a los suelos de calidad. Y cuáles son entonces, y cómo preservarlos. Sin esperar a evaluación ninguna, veamos algunos casos evidentes:

a) Los suelos más productivos:

El suelo es un recurso escaso y escasamente renovable (del orden del 0,1 t/ha/año, en nuestro ámbito). Puede considerarse que se ha alcanzado el límite de tierras cultivables en el mundo, aunque ello sea relativo, y son sólo el 11% de la total superficie de la Tierra. De modo que la productividad agrícola sostenible dependerá de la preservación de estos suelos agrícolas. Actualmente ya nada más son 0,25 ha per capita, pero mientras que la población mundial va en aumento las tierras de cultivo disminuyen.

En Galicia el suelo es igualmente un bien escaso, pues solo un 20% de las tierras son adecuadas para el cultivo, de las cuales tan solo un 7% son de elevada productividad (Díaz-Fierros y Gil Sotres, 1982); recientes estudios cartográficos muestran un panorama semejante (Macías & Calvo de Anta, 1998). En las tierras a monte la escasez del suelo es más crítica; por ejemplo, un estudio referido a los montes del Baixo Miño, bien representativo de muchos espacios forestales del occidente gallego, revelaba que un 90% de los suelos tenían menos del medio metro de espesor (Pérez Moreira et al., 1995).

Por otra parte, estos mejores suelos se pierden gradualmente, generalmente en competencia con otros usos. Muchos terrenos en los que se priorizó la concentración parcelaria luego se ocuparon con usos no

agrarios. Asistimos a una auténtica "desertización" debida al cemento, y mucho de lo edificado ni siquiera es realmente usado. Las aglomeraciones metropolitanas acrecentan en tamaño, e incluso en las nuevas urbanizaciones periféricas es mucho lo cementado en relación a lo plantado. Y sobre nuestros montes, los actuales parques eólicos ya ocupan 7 millones de m², tanto como el resto del sector industrial junto, y según lo previsto duplicarán su extensión para el 2007. O sea, que se precisaría una auténtica "deconstrucción", pues todo ello es verdaderamente insostenible.

b) Suelos de calidad ambiental:

Consideramos como tales, aunque no en exclusiva, principalmente a los suelos forestales, en general, en cuanto a su significativa influencia en los ciclos hidrológicos, ralentizando las escorrentías, y por su especial importancia como sumideros de carbono. También muy relevantes son otros, generalmente de vega, que cumplen funciones depurativas de las aguas que vierten a los caudales.

c) Suelos patrimonio cultural:

Son también los suelos un patrimonio cultural, científico y educativo. Algunos son incluso un valioso testimonio paleoambiental, una especie de libro de la historia que permite reconstruir nuestro pasado geológico, climático y biológico. Ciertos suelos son también lo que yo llamaría "monumentos edáficos" (por ejemplo: las turberas, los podsoles, o con fragipán, permafrost... y algunos paleosuelos). Además, el suelo tiene en sí mismo un valor intrínseco, que es su valor de existencia. Y si una de las mayores riquezas ambientales es la de la multiplicidad, por lo mismo se debería preservar una cierta biodiversidad de suelos.

d) Suelos con valores "emocionales":

Aunque nunca lo consideremos, los suelos pueden tener valores estéticos y sentimentales. Son un patrimonio más de la naturaleza y del paisaje, susceptible también de evocar sentimientos sublimes, poéticos, pictóricos y hasta patrióticos. Una cuestión que plantearemos aquí en el último apartado.

Valoración e incertidumbre

¿Cuáles deberían ser los objetivos: maximizar o minimizar lo ambiental?. En el proceso de valoración de los efectos nocivos y la sensibilidad de cada sistema, para determinar los "niveles críticos" aceptables, se han ido acuñando una serie de términos que refieren diferentes niveles de permisividad. Primeramente se han establecido las "cargas críticas", como niveles de contaminantes que supondrían riesgos de daños poco significativos. Luego se han fijado las que podríamos llamar "cargas críticas relativas", que se relativizaron según el poder amortiguador de cada sistema. Y ahora ya se habla de "cargas críticas objetivo", aceptándose valores que superan los de las cargas críticas, durante un cierto tiempo (Macías, 1998; Macías et al., 2003).

Pero es que en el presente momento llegamos incluso a una interesada manipulación de los datos, con la pretensión

muchas veces de esquivar las mínimas obligaciones ambientalistas. Lo vemos claramente, por ejemplo, en relación al cumplimiento del Protocolo de Kioto, para la prevención del “cambio climático”; pues se ha establecido un sorprendente comercio de compra de cuotas de emisión, o de adquisición de derechos a ello en base a descontar lo contabilizable como sumideros de carbono, fundamentalmente en bosques y suelos. (¡Pues ahora resultará que eucalptizar el país sería una medida ambientalista!). Y así, existe ahora un repentino interés, un tanto “perverso”, por contabilizar la materia orgánica existente en nuestros suelos. Que duda cabe de los altos niveles de la misma en muchos de ellos (entre 100-1000 tC/ha), sobre todo en los forestales y en los de las turberas (Macías et al., 2001); además, con una tasa de acumulación de 0.5 tC/año, que supone un 10% de nuestras propias emisiones anuales de carbono a la atmósfera.

No deberíamos jugarla de este modo con las cuestiones ambientales. Todo lo contrario, mejor sería adoptar las mayores prevenciones posibles. Y todas seguramente serían pocas, pues todavía hay muchas cosas que se escapan a nuestros conocimientos. Pues, habría que contar con que lo que referimos como “riesgo aceptable” no siempre es determinable de un modo cierto y riguroso, ni con parámetros exactamente precisos; incluso podríamos cuestionar su supuesto cientificismo, pues existe todavía mucha incertidumbre científica en la comprensión de los fenómenos complejos (Díaz-Fierros, 2000). Además, también habría que considerar los “riesgos silenciosos”, o sea, problemas que no se perciben a pequeñas dosis pero que acumulativamente podrían manifestarse en cierto plazo de tiempo. El más claro ejemplo en el que ya posiblemente lo percibimos es en los efectos sobre el cambio climático, debidos al efecto invernadero o la disminución de la capa de ozono, por una probable causa antrópica (Baldasano, 2004). Incluso puede que estemos confiando en exceso en el poder amortiguador edáfico, y que de aquí a un tiempo el suelo sea en vez de sumidero una fuente de contaminantes.

Hoy en día en los más renombrados foros se postulan medidas anticipatorias para impedir la degradación ambiental. En ese sentido, por ejemplo, en los documentos que emanan de la Unión Europea, se proclama: “la política del medio ambiente deberá basarse en los principios de precaución y de acción preventiva”. Ya no es la “previsión”, ni la “prevención”, sino la “precaución” (Díaz-Fierros, 2000 y 2001, citando a François Ewald).

Y así como hasta el presente las medidas cautelares se adoptaban basándose exclusivamente en lo corroborado por la certeza experimental y científica, asumir el hecho de la “incertidumbre” significa adoptar las medidas preventivas a tiempo, aunque no tengamos todos los datos ni todas las respuestas (Díaz-Fierros, 2000). Pero es que, además, será necesario que la evaluación de riesgos sea a la vez que cuantitativa también cualitativa, y en la que se tome también en consideración la subjetividad de los valores sociales y de los sentimientos.

Pero es que algo parecido a esto ya fuera dicho por Humboldt hace unos 150 años: “En orden a comprender la naturaleza en toda su vasta sublimitud debería ser

necesario tener(la) presente (bajo) dos aspectos, primero objetivamente como un actual fenómeno, y al mismo tiempo subjetivamente, como un reflejo de la sensibilidad humana”. De modo que es como si volviésemos a los orígenes, pues a Humboldt un poco lo considerábamos como el padre de muchos de los conceptos ambientales que hoy cobran actualidad. Pues no olvidemos que proceden de su magisterio las ideas de sostenibilidad, uso integrado, uso múltiple, y sobre las funciones conservativas del suelo, bosques y montes. Y estos postulados de Humboldt tuvieron fieles discípulos en nuestros ingenieros forestales y de montes de los tiempos decimonónicos finiseculares.

La Edafología hoy también vuelve en cierto sentido a sus orígenes (Warkentin, 1992), volviendo a la globalidad, a lo ambiental y de nuevo a insistir en la importancia de la cartografía relacionada con los suelos.

Los valores subjetivos del suelo

Y todo lo anterior nos lleva, finalmente, a lo de los valores subjetivos del suelo: estéticos y éticos, emocionales y sentimentales.

Si los suelos son bonitos o si se prestan a una visión estética, hablan por sí solas unas cuantas obras pictóricas que mostramos, en las que mismo se representaron los horizontes del perfil edáfico. Ejemplo de ello también son los perfiles de suelos que dibujara hace más de medio siglo Kubiena, uno de nuestros precursores en la Edafología.

El suelo, como preocupación y como espacio simbólico, incluso ha sido evocador de sentimientos patrióticos: “A la regeneración de la Patria por la regeneración de Suelo”, era un poco el espíritu auspiciado por los miembros de la Institución Libre de Enseñanza, hace ya más de un siglo. Entonces el “determinismo” estaba en su pleno apogeo. Y así, en el año 1882, Ratzel sentenciaba: “el suelo sirve como soporte rígido y regula el destino de los pueblos con una brutalidad ciega”. “Nuestro suelo es pobre”, dijera Lucas Mallada al inicio de su conferencia en la Sociedad Geográfica de Madrid, en el año 1882; y fue tan categórico en su intervención que provocó un gran revulsivo y se inició tras ella un fuerte debate sobre si creer más en el determinismo o en el posibilismo como causantes de los problemas o como soluciones para el suelo y el país. Ciertamente que cuando en aquél entonces se referían a las malas condiciones de nuestros suelos, sobre todo pensaban en el problema de su aridez y en su regeneración a través de las soluciones hidráulicas y forestales, así como a través de la educación y la cultura.

Este espíritu de la época desembocaría en el Regeneracionismo Positivista, que apadrinaron, fundamentalmente, la Institución Libre de Enseñanza y más tarde la Generación del 98 (Pena, 1998; Martínez de Pisón, 1998). No cabe duda que los Regeneracionistas eran exageradamente deterministas y catastrofistas, y un tanto pesimistas en su fatalismo ecológico. Pero el caso es que, dolidos por los males del suelo y de la Patria, se entregaron con profesado amor a su mejora.

Valores emocionales y sentimentales del suelo, que le trascienden, intenta aludirlos esta otra frase muy mía, de esas muy sentidas que me gusta decir: "Hai un fondo moi fondo no fondo do solo; nese seu fondo, un transfondo, sumamente evocador: o solo, o terrón, o terruño, a terra, ¡a Nai Terra!" (Pérez Moreira, 2004). El suelo trascendiendo de su entidad material, ya en otros sentidos patrimoniales y sentimentales.

A Nai Terra: "a terra que nos enxendrou, a terra que nos criou". "A matriarcalidade primixenia", "a terra xeneratriz, nutricia... regazo", como decía el ilustre paisano lugués Rof Carballo (1989); quien añadía que ella era determinante de nuestra "urdime afectiva", lo que hoy en día se diría", aunque no tan hermosamente, o noso imaxinario colectivo, o universo popular galego.

A veces nos identificamos de tal modo con la tierra que hasta nos sentimos parte de ella: y decimos "terra de min", "terra de nós", "miña terra", "fillos da terra", "irmáns da terra"; y aseguramos que uno de nuestros signos identificativos es el del "apego á terra" ("Eiquí o home vive lonxe do home, pero sempre preto da terra", decía Vicente Risco).

Nada representaría mejor ese sentimiento de comunión con la tierra que el propio deseo de formar parte de ella, como fuera expresado por Manuel María en estos versos: "Cando eu xa esteña canso de verdade / e as cousas e o mundo non alcendan / en min ningún fervor, quero / deitarme, Outeiro, no teu chao, / (...) / facéndome, pra sempre, terra túa / e ensumíndome, calado, no teu seo". En las mismas fechas que se redacta esta ponencia se cumple este deseo del poeta, y su cuerpo reposa ya para siempre en el seno de su tierra amada natal.

"A terra é o molde que nos vai facendo á súa imaxe e semellanza", decía nuestro Castelao. "Podemos apreixar a ata compor unha paisaxe con só unha presa de terra na man", nos decía también Otero Pedrayo. Y, luego, otros intelectuales galleguistas, sus continuadores ideológicos, se empeñaron seriamente en hacer reflexiones metafísicas sobre la atracción sentimental de la tierra y "a saudade". Y también andaban a "enxergar a paisaxe", a desentrañar su esencia oculta, su alma, esencia de nuestra alma.

Se identificaban en la propia tierra y en su paisaje nuestras íntimas señas de identidad. Pero, además, regresar a la tierra es también un viaje de regreso al futuro; pues encontramos con las raíces puede ser a la vez un proyecto futurista. Los Precursores, nuestros propios Regeneracionistas ("os ancestros", "os nosos antergos": los del Rexurdimento, Nós, Seminario de Estudos Galegos, Galaxia...), los Ilustrados de nuestro particular "Século das Luces", como gustaba de decir Manuel Rivas, se ocuparon también en ese sentido prometeico de la tierra. Ya que, así mismo nos decía este autor, que "falar da Terra é como falar de nós.

Y como queriendo decir Patria o Paisaje, en vez de eso "os antergos" decían "Terra". Y en ellos el concepto de tierra va unido al de historia y mito, al sueño de un tierra liberada (Mato Fondo, 1998). Ahí vemos la "tierra" como evocadora de sentimientos sublimes. La tierra como convocante y comprometedor, como "Terra Prometida".

En nuestra Escola Politécnica Superior, conviene recordar que también existe un proyecto muy vivo llamado "Terra Alén", nacido con base en la Edafología pero mirando más "alén da terra", que dignamente sigue esta herencia de los ancestros.

Ellos habían generalizado una entusiasta y hermosa forma de saludarse o despedirse, de la que me valgo para poner el punto y final: "Irmáns: saúde... e Terra".

Bibliografía

Araújo, J. (2002). Las raíces de la tierra. Ed. Lunwerg-Caja Madrid.

Baldasano, J. M. (2004). La evidencia científica del cambio climático: la situación española. Conferencia inaugural, Curso de Verano: La integración de los parámetros ambientales en el planeamiento, la ciudad Gaia. Ayunt. de Finistat - Univ. de Alicante.

Blum, W.E.H., Aguilar, A. (1994). A concept of sustainability and resilience based on soil functions: the role of ISSS in promoting sustainable land use. In: Soil Resilience and Sustainable Land Use. De. D. Y. Greenland & Y. Szabolcs. 535-542.

CCAA de Madrid (1996). Valoración económica de los recursos forestales.

Cunha, A. (1999). La PAC y el futuro de la agricultura europea. En: La agricultura en el umbral del siglo XXI. Foro Agrario - Mundi Prensa. Madrid. 65-76 pp.

Díaz-Fierros, F. (2000). O medio ambiente: do control de emisións á incerteza do risco. Discurso de ingreso en la Real Academia de Farmacia, Sección Galicia.

Díaz-Fierros, F. (2001). Coñecemento e evolución do medio físico en Galicia. En: 25 anos do medio ambiente e ecoloxismo en Galiza. Adegga. Santiago. 39-52 pp.

Díaz-Fierros, F., Gil Sotres, F. (1984). Capacidad productiva de los suelos de Galicia. Mapa 1:200.000. Univ. Santiago.

Dorant, J.W., Parkin, T.B. (1994). Defining and Assessing Soil Quality. In: Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA, 35, 3-21.

FAO (1976). Esquema para la evaluación de tierras. Boletín de Suelos FAO 32. Roma.

FAO (1985). Evaluación de tierras con fines forestales. Estudio FAO Montes 48. Roma.

Foster, V. (2001). Avaliación económica de impactos ambientais: técnicas, resultados e incidencia institucional. En: Economía ambiental e sociedade. Consello da Cultura Galega. 139-170 pp.

Gómez-Rey, M.X., Calvo de Anta, R. (2002). Datos para el desarrollo de una red integrada de seguimiento de la calidad de suelos en Galicia (N.O. de España): balances geoquímicos en suelos forestales (*Pinus radiata*) 1. Aportes de elementos por deposición atmosférica y hojarasca. Edafología, 9 (2), 181-196.

- Larson, W.E., Pierce, F.J. (1994). The dynamics of Soil Quality as a measure of sustainable management. In: Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA, 35, 37-51.
- Macías Vázquez, F. (1998). Información de suelos y evaluación de impacto ambiental: situación actual y perspectivas de futuro. Bol. de la SECS, 4, 7-20.
- Macías Vázquez, F., Camps Arbestain, M., Rodríguez Lado, L.; Barreal Modroño, E. (2003). Cargas críticas de contaminantes: un criterio de avaliación da sensibilidade da natureza para a ordenación das actividades humanas. En: reflexións sobre o medio ambiente en Galicia. Consellería de Medio Ambiente. 147-185 pp.
- Macías, F., Calvo de Anta, R. (1998). Los suelos de Galicia. En: Atlas de Galicia. Gabinete da Presidencia. Xunta de Galicia.
- Macías, F.; Calvo, R.; Arce, F.; Bulnes, C.; López, R. (2001). Los suelos como sumideros de carbono: materia orgánica de los suelos de Galicia. En XXII Reun. Nac. de la SECS. Dpto. Edafología. Univ. Santiago. 118-121 pp.
- Martínez de Pison, E. (1998). Imagen del paisaje - La Generación del 98 y Ortega y Gasset. Caja Madrid.
- Mato Fondo, M.A. (1998). A escrita da terra: configuración do espacio natural na literatura galega. Ed. Espiral Maior. A Coruña.
- Mc Calla, A. (1999). Tendencias agrarias mundiales en el siglo XXI. En: La agricultura en el umbral del siglo XXI. Foro Agrario - Mundi Prensa. Madrid. 13-34 pp.
- Naredo, J.M.; Parra, et al. (1993). Hacia una ciencia de los recursos naturales. Ed. Siglo XXI. Madrid.
- Olarieta, J.R. (2002). Evaluación del territorio y ordenación de usos agrarios en la comarca de Lea-Artibai (Bizkaia). Memoria de Tesis Doctoral.
- Pena, M.C. (1998). Pintura de Paisaje e ideología: la Generación del 98. Ed. Taurus. Madrid.
- Pérez Moreira, R. (2004). Diversidade Natural de Galicia. Sogama-Consellería de Medio Ambiente.
- Pérez Moreira, R.; Arias Estévez, M., Díaz-Fierros, F. (1995). Medio físico e Avaliación de Terras nos montes comunais do Baixo Miño. IDEGA. Univ. de Santiago.
- Prada Blanco, A., Vázquez Rodríguez, M.J. (2001). Economía ambiental e sociedade. Consello da Cultura Galega.
- Prada Blanco, A. et al. (2000). Valoración económica del Patrimonio Natural. Economía 14. Instituto de Estudios Económicos. Fundac. Pedro Barrié de la Maza. A Coruña.
- Rof Carballo, X. (1989). Mito e realidade da Terra Nai. Ed. Galaxia. Vigo.
- Rubio, J.L. (1997). Los suelos y el problema ambiental. Revista de Occidente, 194 y 195, 66-80.
- Warkentin, B.P. (1992). Soil Science for Environmental Quality - How do we know. What we know? In: J. Environ. Qual., 21, 163-166.
- Xunta de Galicia (2002). O monte galego en cifras. Consellería de Medio Ambiente.

Recursos Rurais

Revista oficial do Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural (IBADER)

Normas para a presentación de orixinais

Procedemento editorial

A Revista Recursos Rurais aceptará para a súa revisión artigos, revisións e notas vinculados á investigación e desenvolvemento tecnolóxico no ámbito da conservación e xestión da biodiversidade e do medio ambiente, dos sistemas de produción agrícola, gandeira, forestal e referidos á planificación do territorio, tendentes a propiciar o desenvolvemento sostible dos recursos naturais do espazo rural. Os artigos que non se axusten ás normas da revista, serán devolto aos seus autores.

Preparación do manuscrito

Comentarios xerais

Os manuscritos non deben exceder de 20 páxinas impresas en tamaño A4, incluíndo figuras, táboas, ilustracións e a lista de referencias. Todas as páxinas deberán ir numeradas, aínda que no texto non se incluírán referencias ao número de páxina. Os artigos poden presentarse nos seguintes idiomas: galego, castelán, portugués, francés ou inglés. Os orixinais deben prepararse nun procesador compatible con Microsoft Word®, a dobre espazo nunha cara e con 2,5 cm de marxe. Empregarase a fonte tipográfica "arial" a tamaño 11 e non se incluírán tabulacións nin sangría, tanto no texto como na lista de referencias bibliográficas. Os parágrafos non deben ir separados por espazos.

Os nomes de xéneros e especies deben escribirse en cursiva e non abreviados a primeira vez que se mencionen. Posteriormente o epíteto xenérico poderá abreviarse a unha soa letra. Debe utilizarse o Sistema Internacional (SI) de unidades. Para o uso correcto dos símbolos e observacións máis comúns pode consultarse a última edición do CBE (Council of Biology Editors) Style manual.

Páxina de Título

A páxina de título incluír un título conciso e informativo, o nome(s) do autor(es), a afiliación(s) e a dirección(s) do autor(es), así como a dirección de correo electrónico, número de teléfono e de fax do autor co que se manterá a comunicación.

Resumo

Cada artigo debe estar precedido por un resumo que presente os principais resultados e as conclusións máis importantes, cunha extensión máxima de 200 palabras. Ademais do idioma orixinal no que se escriba o artigo, presentarase tamén un resumo en inglés.

Palabras clave

Deben incluírse ata 5 palabras clave situadas despois de cada resumo distintas das incluídas no título.

Organización do texto

A estrutura do artigo debe axustarse na medida do posible á seguinte distribución de apartados: Introducción, Material e métodos, Resultados e discusión, Agradecementos e Bibliografía. Os apartados irán resaltados en negra e tamaño de letra 12. Se se necesita a inclusión de subapartados estes non estarán numerados e tipografiaranse en tamaño de letra 11.

Introdución

A introdución debe indicar o propósito da investigación e prover unha referencia curta da literatura pertinente.

Material e métodos

Este apartado debe ser breve, pero proporcionar suficiente información como para poder reproducir o traballo experimental ou entender a metodoloxía empregada no traballo.

Resultados e Discusión

Neste apartado expóranse os resultados obtidos. Os datos deben presentarse tan claros e concisos como sexa posible,

se é apropiado na forma de táboas ou de figuras, aínda que as táboas moi grandes deben evitarse. Os datos non deben repetirse en táboas e figuras. A discusión debe consistir na interpretación dos resultados e da súa significación en relación ao traballo doutros autores. Pode incluírse unha conclusión curta, no caso de que os resultados e a discusión o propicien.

Agradecementos

Deben ser tan breves como sexa posible. Calquera concesión que requira o agradecemento debe ser mencionada. Os nomes de organizacións financiadoras deben escribirse de forma completa.

Bibliografía

A lista de referencias debe incluír unicamente os traballos que se citan no texto e que se publicaron ou que foron aceptados para a súa publicación. As comunicacións persoais deben mencionarse soamente no texto. No texto, as referencias deben citarse polo autor e o ano e enumerar en orde alfabética na lista de referencias bibliográficas.

Exemplos de citación no texto:

Descricións similares danse noutros traballos (Fernández 2005a, b; Rodrigo et al. 1992).

Andrade (1949) indica como....

Segundo Mario & Tinetti (1989) os factores principais están....

Moore et al. (1991) suxiren iso....

Exemplos de lista de referencias bibliográficas:

Artigo de revista:

Mahoney, W.M.M., Wardrop, D.H. & Brooks, P. (2005).

Impacts of sedimentation and nitrogen enrichment on wetland plant community development. *Plant Ecology*, 175, 2: 227-243.

Capítulo nun libro:

Campbell, J.G. (1981). The use of Landsat MSS data for ecological mapping. En: Campbell J.G. (Ed.) *Matching Remote Sensing Technologies and Their Applications*. Remote Sensing Society, London.

Lowel, E.M. & Nelson, J. (2003). Structure and morphology of Grasses. En: R.F. Barnes et al. (Eds.). *Forrages. An introduction to grassland agriculture*. Iowa State University Press. Vol. 1. 25-50

Libro completo:

Jensen, W (1996). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Prentice-Hall, Inc. Saddle River, New Jersey.

Unha serie estándar:

Tutin, T.G. et al. (1964-80). *Flora Europaea*, Vol. 1 (1964);

Vol. 2 (1968); Vol. 3 (1972); Vol. 4 (1976); Vol. 5 (1980).

Cambridge University Press, Cambridge.

Obra institucional:

MAPYA (2000). *Anuario de estadística agraria*. Servicio de Publicacións del MAPYA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), Madrid, España.

Documentos legais:

BOE (2004). Real Decreto 1310/2004, de 15 de enero, que modifica la Ley de aprovechamiento de residuos ganaderos. BOE (Boletín Oficial del Estado), nº 8, 15/1/04. Madrid, España.

Publicacións electrónicas:

Collins, D.C. (2005). Scientific style and format. Disponível en: <http://www.councilscience.org/publications.cfm> [5 xaneiro, 2005]

Os artigos que fosen aceptados para a súa publicación incluíranse na lista de referencias bibliográficas co nome da revista e o epíteto "en prensa" en lugar do ano de publicación.

Ilustracións e táboas

Todas as figuras (fotografías, gráficos ou diagramas) e as táboas deben citarse no texto, e cada unha deberá ir numerada consecutivamente. As figuras e táboas deben incluírse ao final do artigo, cada unha nunha folla separada na que se indicará o número de táboa ou figura, para a súa identificación. Para o envío de figuras en forma electrónica vexa máis adiante.

Debuxos lineais. Por favor envíe impresións de boa calidade. As inscricións deben ser claramente lexibeis. O mínimo grosor de liña será de 0,2 mm en relación co tamaño final. Ilustracións en tons medios (escala de grises): Envíe por

favor as impresións ben contrastadas. A ampliación débese indicar por barras de escala. Non se publicarán figuras en color.

Tamaño das figuras

As figuras deben axustarse á anchura da columna (8,5 centímetros) ou ter 17,5 centímetros de ancho. A lonxitude máxima é 23 centímetros. Deseñe as súas ilustracións pensando no tamaño final, procurando non deixar grandes espazos en branco. Todas as táboas e figuras deberán ir acompañadas dunha lenda. As lendas deben consistir en explicacións breves, suficientes para a comprensión das ilustracións por si mesmas. Nas mesmas incluírase unha explicación de cada unha das abreviaturas incluídas na figura ou táboa. As lendas débense incluír ao final do texto, tras as referencias bibliográficas e deben estar identificadas (ex: Táboa 1 Características...). Os mapas incluírán sempre o Norte, a latitude e a lonxitude.

Preparación do manuscrito para o seu envío

Texto

Grave o seu arquivo de texto nun formato compatible con Microsoft Word.

Táboas e Figuras

Cada táboa e figura gardarase nun arquivo distinto co número da táboa e/ou figura. Os formatos preferidos para os gráficos son: Para os vectores, formato EPS, exportados desde o programa de debuxo empregado (en todo caso, incluírán unha cabeceira da figura en formato TIFF) e para as ilustracións en tons de grises ou fotografías, formato TIFF, sen comprimir cunha resolución mínima de 300 ppp. En caso de enviar os gráficos nos seus arquivos orixinais (Excel, Corel Draw, Adobe Illustrator, etc.) estes acompañarase das fontes utilizadas. O nome do arquivo da figura (un arquivo diferente por cada figura) incluír á o número da ilustración. En ningún caso se incluír á no arquivo da táboa ou figura a lenda, que debe figurar correctamente identificada ao final do texto. O material gráfico escaneado deberá aterse aos seguintes parámetros: Debuxos de liñas: o escaneado realizarase en liña ou mapa de bits (nunca escala de grises) cunha resolución mínima de 800 ppp e recomendada de entre 1200 e 1600 ppp. Figuras de medios tons e fotografías: escanearanse en escala de grises cunha resolución mínima de 300 ppp e recomendada entre 600 e 1200 ppp.

Recepción do manuscrito

Os autores enviarán un orixinal e dúas copias do artigo completo ao comité editorial, xunto cunha copia dixital, acompañados dunha carta de presentación na que ademais dos datos do autor, figuren a súa dirección de correo electrónico e o seu número de fax, á seguinte dirección:

IBADER

Comité Editorial da revista Recursos Rurais
Universidade de Santiago.
Campus Universitario s/n
E-27002 LUGO - Spain

Enviar o texto e cada unha das ilustracións en arquivos diferentes, ningún dos seguintes soportes: CD-ROM ou DVD para Windows, que irán convenientemente rotulados indicando o seu contido. Os nomes dos arquivos non superarán os 8 caracteres e non incluírán acentos ou caracteres especiais. O arquivo de texto denominarase polo nome do autor.

Cos arquivos inclúa sempre información sobre o sistema operativo, o procesador de texto, así como sobre os programas de debuxo empregados nas figuras.

Copyright: Unha vez aceptado o artigo para a publicación na revista, o autor(es) debe asinar o copyright correspondente.

Febreiro 2005

Relatorios do Curso de verán
Xestión de solos forestais: Produción sostible e calidade ambiental

I. Propiedades e limitacións dos solos para a xestión forestal

Calvo de Anta R.:
Solos forestais das rexións temperadas 1

Carballas M^a. T.:
Microbioloxía e bioquímica do solo forestal 5

Fernández de Ana-Magán F. J.:
O papel dos fungos nos solos forestais 9

Rodríguez Soalleiro R.:
Condicións das masas forestais e a súa relación coas propiedades dos solos I 13

Sánchez Rodríguez F.:
**Condicións das masas forestais e a súa relación coas propiedades dos solos II:
Fertilidade e nutrición 17**

II. Xestión de solos forestais

Serrada Hierro R.:
A preparación do solo na repoboación forestal 21

Martins A.:
**Efeitos da preparación do terreno nas propiedades do solo e na resposta das
plantas em sistemas forestais e agro-forestais 35**

Gallardo Lancho J. F.:
Propiedades dos solos forestais de montaña 39

Dans del Valle F., Molina Martínez B.:
**A xestión do solo no sistema PEFC de certificación e a súa incidencia na
selvicultura 45**

Madeira, M. A.V.:
**A promoción da produción forestal através da gestão dos residuos de abate e da
fertilización 47**

III. Conservación e recuperación dos solos forestais

Macías F.:
**Recuperación dos solos degradados, reutilización de residuos e secuestro de
carbono. Unha alternativa integral de mellora da calidade ambiental 49**

Vega J. A.:
Recuperación de solos en montes incendiados 57

Merino A., Balboa M.:
**Aproveitamento da biomasa forestal e a súa implicación sobre a conservación
dos solos 61**

IV. Solos forestais e calidade ambiental

Díaz-Fierros Viqueira F.:
Erosión do solo e calidade da auga en sistemas forestais 65

Meiwes K.J., Meesenburg H. H.:
Solos forestais nun ambiente de choiva ácida e estratexias para recuperalos 69

Farrell E. P.:
The Carbon Cycle in Forest Ecosystems 73

Álvarez Rodríguez E.:
Contaminación por oligoelementos en sistemas forestais 77

Rigueiro Rodríguez A.:
Manexo do solo e biodiversidade vexetal 91

Pérez Moreira, R.:
Valor e valoracións do solo 93