

2. A BIOMASA: O SEU PAPEL NA PRESERVACIÓN DE SOLOS E NA CAPTURA DE CO₂

César Pérez-Cruzado; Miguel Ángel Balboa-Murias; Andrea Ferreiro-Fernández; Agustín Merino e Roque Rodríguez-Soalleiro

Neste traballo faise unha reflexión sobre os efectos do aproveitamento e cultivo da biomasa sobre o solo e sobre a captura de CO₂. Trátanse temas relacionados coas opcións de mitigación do efecto invernadoiro polos cultivos enerxéticos, así como o efecto da xestión dos cultivos enerxéticos sobre a materia orgánica do solo e sobre a degradación deste. Por último, achégase unha serie de recomendacións de xestión das plantacións enerxéticas.

2.1 O PROBLEMA AMBIENTAL DO CONSUMO ENERXÉTICO

O continuo incremento nas concentracións de CO₂ atmosférico que se vén producindo desde hai máis de dous séculos, debido sen lugar a dúbidas ao efecto antrópico, fai que a preocupación polo denominado efecto invernadoiro transcenda do ámbito científico. Neste sentido, as distintas administracións estanse a implicar activamente no desenvolvemento de medidas que sirvan para reducir as emisións de CO₂ á atmosfera, aínda que a falta de acordo nos compromisos tras o último Cumio de Copenhague é bastante desesperanzadora no sentido de definir medidas concretas que diminúan o actual ritmo de emisións. Malia que na actualidade se están a probar distintas metodoloxías para capturar CO₂ atmosférico e almacenalo en formas estables, a mitigación do efecto invernadoiro pasa ineludiblemente pola redución das emisións, algo que só se pode acadar a curto prazo pola substitución dos combustibles fósiles por outras fontes de enerxía renovables.

Considéranse enerxías renovables aquelas que son capaces de se rexeneraren nun ciclo curto e permitiren, polo tanto, un aproveitamento continuado no tempo sen que o recurso se esgote. Dentro destas enerxías é a biomasa a de máis antigo aproveitamento, pois o comezo do seu uso como combustible marcou o inicio da historia da humanidade. A enerxía procedente da biomasa aínda supón na actualidade unha porcentaxe importante do total do consumo enerxético mundial, posto que hai moitas rexións, principalmente no terceiro mundo, onde é a única fonte de enerxía dispoñible de xeito xeral para toda a poboación. É no outro extremo do mundo, nos países nórdicos, onde o uso enerxético da biomasa volve acadar unha



importancia significativa ao se empregar, fundamentalmente, para a xeración de calor en pequenas plantas de combustión.

2.2 CONCEPTO DE BIOMASA DESDE O PUNTO DE VISTA DO APROVEITAMENTO ENERXÉTICO

Dentro do concepto coñecido como biomasa atópase un conxunto de materiais que teñen como característica común que todos eles son o resultado dun proceso biolóxico. Este concepto amplo de biomasa engloba todos os organismos vivos, así como os produtos derivados destes (necromasa ou biomasa morta), mais non todos eles teñen interese desde o punto de vista do aproveitamento enerxético. Dentro do ámbito enerxético, o termo biomasa refírese ao recurso en que, canto resultado dun proceso biolóxico, a enerxía contida nos enlaces químicos da propia composición da materia pode ser transformada noutra forma aproveitable nos sistemas de produción mediante unha determinada tecnoloxía.

Aínda que existen moitos tipos de biomasa que poden ser aproveitados para a produción enerxética, son os derivados dos vexetais os máis empregados, debido fundamentalmente a que poden ser obtidos en grandes cantidades e de xeito sostible, algo que non ocorre, por exemplo, con algunhas fontes de biomasa de orixe animal. Dentro do grupo de biomasa vexetal teríamos dous xeitos distintos de produción: un en que a biomasa sería o seu produto obxectivo (cultivos enerxéticos), e outro en que a biomasa sería un subproduto ou mesmo un residuo. No caso de que o subproduto non teña ningún tipo de destino alternativo o aproveitamento enerxético suporía a súa valorización e evitaría o seu desaproveitamento.

Cando falamos de cultivos enerxéticos debemos distinguir entre as distintas tipoloxías; así, a continuación detállanse a grandes trazos as distintas categorías que se poden presentar. Unha primeira clasificación distingue entre cultivos herbáceos e cultivos leñosos. Esta clasificación unicamente obedece á humidade da biomasa no momento da colleita, posto que esta é unha característica que condiciona o posterior tratamento e o proceso de transformación da biomasa. Unha segunda clasificación podería facerse en función da frecuencia entre colleitas, de forma que teríamos cultivos de colleita anual e cultivos perennes. En xeral, os cultivos herbáceos adoitan coincidir cos de colleita anual e os perennes cos leñosos. Dentro destes últimos aínda se poderían diferenciar dous grupos máis en función do sistema de reprodución tras a primeira corta, diferenciando neste caso entre os que brotan do pé dos que non o fan. Desta forma poderían seguirse dous tipos de manexos tras a plantación inicial: reinstalar de novo o cultivo ou aproveitalo mediante sucesivas colleitas até que diminúa a produción por debaixo dun determinado nivel.

Outra clasificación sinxela da biomasa como produto sería aquela derivada do seu posterior proceso de transformación; así a biomasa pode ser empregada directamente mediante distintos procesos (combustión, pirólise, gasificación etc.), ou transformada en combustibles de segunda xeración, os cales se poden empregar para o transporte ou almacenarse ocupando un menor volume. Como é lóxico pensar, o rendemento enerxético é distinto para cada un dos destinos, tipo de materiais de orixe e forma final en que se consome a enerxía.



2.3 EFECTO DE MITIGACIÓN DO EFECTO INVERNADOIRO

Son dúas as formas en que o cultivo e o aproveitamento da biomasa poden axudar a mitigar o efecto invernadoiro: aumentando o stock de carbono, e a través do denominado efecto substitutivo. A primeira opción refírese a que os sistemas fores-

tais almacenan carbono en distintos compartimentos, de entre os cales os máis importantes son a propia biomasa viva, a terra vexetal e o solo. O contido en carbono nestes tres compartimentos garda un equilibrio que vén condicionado pola dinámica de incorporación de biomasa morta procedente da parte aérea e radicular ao solo e formación de terra vexetal, descomposición, complexado e incorporación da materia orgánica da terra vexetal ao solo mineral, e mineralización da materia orgánica do solo en nutrientes dispoñibles para a planta (Liski et al., 2005). O resultado da dinámica descrita é a cantidade de carbono que atopamos nun determinado momento nos sistemas forestais, mentres que a importancia de considerar estes tres compartimentos separadamente vén dada porque o tempo de permanencia do carbono, así como os efectos da xestión a que a masa se atopa sometida, é distinta en cada un deles.

O tempo de permanencia do carbono no solo é moito máis elevado que na biomasa, por mor de que a materia orgánica do solo está formada por compostos de elevada estabilidade (Romanyá, 2000), mentres que se pode considerar que a transformación da biomasa tras o aproveitamento é inmediata, así como a liberación de parte do carbono contido nela. A materia orgánica do solo constitúe unha reserva de carbono a longo prazo en que a dinámica de incorporación vén marcada pola cantidade de biomasa presente nos horizontes orgánicos do solo (Hendrickson et al., 1985), os cales son a terra vexetal durante o crecemento da plantación e os restos de corta nos momentos posteriores ao aproveitamento. Por tanto, a xestión das plantacións enerxéticas debe ir encamiñada ao mantemento ou mellora da cantidade de carbono presente na terra vexetal e no solo previamente á plantación, de forma que non só se maximice o stock de carbono en cada momento, senón que se asegure unha achega continua de materia orgánica fresca ao solo e o mantemento da súa fertilidade potencial.

Outro compartimento que pode supoñer un elevado stock de carbono é a biomasa xa colleitada ou os produtos derivados desta. Como queira que a industria de transformación da biomasa require dun abastecemento continuo para o seu normal funcionamento, son necesarios períodos de almacenamento da biomasa sen transformar máis ou menos longos, pois por limitacións climáticas e fisiolóxicas non é posible recoller en todas as épocas do ano (McKendry et al., 2002; Bullard et al., 2002). Aínda que este almacenamento non adoita durar máis dun ano, as cantidades de biomasa almacenadas para a súa transformación poden ser bastante elevadas e dependentes do consumo da industria en cuestión. O carbono almacenado desta forma, xunto co consumido directamente para a produción enerxética, é a única vía en que a xestión dos sistemas forestais pode contribuír directamente á redución das emisións netas, ao tempo que outras prácticas fican reducidas ao aumento do secuestro.

Outro caso en que a almacenaxe de produtos derivados da biomasa pode ser máis longa é nos combustibles de segunda xeración, caso do biodiésel e o bioetanol. Estes tipos de combustibles foron concibidos para que, alén de seren consumidos polo sector do transporte, permitir almacenar grandes cantidades de enerxía nun pequeno volume e mellorar, así, a eficiencia enerxética no seu transporte. Aínda que o tempo de permanencia dos combustibles de segunda xeración é moi limitado con respecto a outros bens de consumo, como por exemplo os mobles, estes combustibles abren a posibilidade de utilización no sector do transporte, un dos que máis contribúe ao efecto invernadoiro debido ás súas elevadas emisións orixinarias de fontes fósiles.

O efecto de substitución refírese ao feito de que, cando se consome enerxía pro-



cedente da biomasa, se deixa de utilizar enerxía procedente doutras fontes non renovables. Desta forma, as emisións que se acadarían por unidade de enerxía consumida serían moi similares ás que se producirían con fontes de enerxía fósiles, mais o balance neto de carbono no caso da biomasa sería neutro. Este efecto substitutivo pode referirse tamén a outros produtos de consumo procedentes dos procesos de transformación da madeira, cuxo uso supoña a substitución doutro procedente de fontes non renovables e acadar deste xeito dous beneficios: deixar de emitir o CO₂ que sería necesario para a fabricación do produto substituído e almacenar carbono no propio produto de orixe renovable. O tempo de permanencia do carbono nestes produtos pode ser moi prolongado até o punto de os bens de consumo se poderen considerar como un compartimento máis dentro dos que axudan a mitigar o efecto invernadoiro (Karjalainen et al., 1994). Neste sentio, hai que considerar que de non aproveitar a biomasa enerxeticamente, esta sería en parte devolta de novo á atmosfera, e en parte incorporada ao solo en compostos relativamente estables, polo que calquera estudo de optimización do efecto de mitigación dos sistemas forestais debe ter en conta esta situación como referencia.

O efecto de substitución pódese estimar mediante a transformación da enerxía (producida por fontes que non consuman combustibles fósiles) a termos das toneladas equivalentes de petróleo que serían necesarias para xerar esa mesma cantidade de enerxía, e a cantidade de CO₂ liberado no proceso. Aceptado isto, a biomasa é unha das fontes de enerxía que máis emisións de CO₂ evita ao acadar valores próximos aos esperados para o ano 2010 para a enerxía eólica (PER, 2005), tal e como se amosa na figura 1.

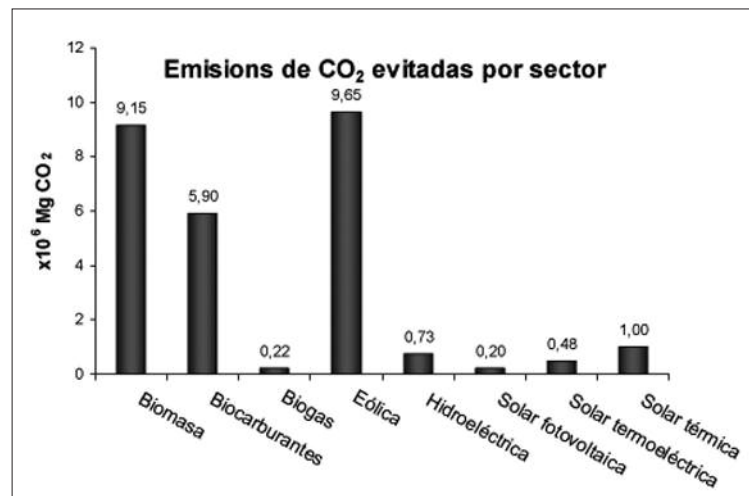


Figura 1. Emisións evitadas no ano 2010 segundo sector enerxético en España. Fonte: PER (2005).

O incremento do uso da biomasa como fonte de enerxía irremediabilmente vai derivar nun incremento da demanda do recurso debido á súa valorización, o que pode supoñer o establecemento dun límite inferior para o prezo da biomasa leñosa. Un posible efecto negativo deste fenómeno sería o feito de que, ao incrementarse o prezo da biomasa leñosa, se produza un efecto substitutivo de produtos derivados desta (os cales tamén poderían ver incrementado o seu prezo), respecto a produtos de orixe non renovable. É así que cabe destacar que este efecto non ten por que producirse, posto que naquelas rexións onde o uso enerxético da biomasa está máis desenvolvido, como por exemplo nos países nórdicos, o ritmo de consumo de produtos procedentes da biomasa leñosa segue a ser elevado.

Desta forma, o efecto de mitigación dunha determinada alternativa silvícola calcúlase como a combinación dos dous efectos: o efecto de substitución xunto coa acumulación de carbono na propia composición da materia. Chegados a este punto debe-

se ter en conta que unha correcta xestión debe maximizar o efecto de mitigación dos sistemas forestais por calquera das vías explicadas anteriormente. Cabe destacar a este respecto que, para o caso dos restos de corta, é posible que un certo aproveitamento teña un elevado beneficio desde o punto de vista do efecto substitutivo e mesmo pode ser maior que o que se acadaría polo efecto de acumulación no caso de se abandonaren no monte, debido ás perdas por respiración e descomposición.

2.4 EFECTO DA XESTIÓN SOBRE A MATERIA ORGÁNICA DO SOLO

Dado que o motor que move todo este sistema é a cantidade de biomasa morta que se atopa sobre o solo en cada intre, a continuación tratarase a posibilidade de xestión dos restos de corta sobre o solo. Como xa se comentou anteriormente, a xestión da plantación debe asegurar o mantemento ou mellora do contido de materia orgánica do solo e, por tanto, de carbono. É esta materia orgánica a que, alén de garantir a fertilidade a longo prazo do solo, axuda a capturar carbono en formas moi estables. Son varias as formas nas que a xestión dos sistemas forestais pode afectar á cantidade de materia orgánica do solo, mais todas elas ocorren en dous momentos ben diferenciados: a instalación e o crecemento da plantación.

No momento da instalación da plantación prodúcese en todos os casos unha alteración do solo, que no caso das plantacións enerxéticas acostuma ser máis intensa que a habitual nas plantacións forestais a baixa densidade. Esta maior remoción do solo no momento da instalación é similar aos labores de preparación do terreo para a instalación dun cultivo agrícola e persegue varios obxectivos: facilitar o desenvolvemento das raíces, reducir a competencia coa vexetación preexistente e favorecer os labores de plantación, os cales adoitan estar mecanizados. Estas actuacións aceleran a taxa de descomposición da materia orgánica do solo, até provocar unha perda desta en favor do aumento da dispoñibilidade de nutrientes para a planta por efecto da mineralización. A evolución da materia orgánica do solo neste momento está moi condicionada polo tratamento dos restos de corta ou vexetación preexistente (Ouro et al., 2001), de forma que é desexable o abandono de parte da biomasa fresca no solo tras o aproveitamento ou tras a conversión dun uso anterior a cultivo enerxético, provocando deste xeito unha mellora no contido de carbono no solo (Olsson et al., 1996, Bengtsson & Wikström, 1993), que doutra forma non se produciría (Knoepf & Swank, 1997). Tamén é sabido que o posterior tratamento dos restos despois da corta afecta á dinámica posterior do carbono, sendo especialmente favorable para o incremento do carbono edáfico e a incorporación ao solo (Hendrickson et al., 1985, Pérez-Batallón et al., 2001).

No momento da corta e preparación do terreo tamén se produce un incremento da temperatura do solo debido a una maior insolación deste, o que pode supoñer un aumento da perda de materia orgánica (Bengtsson & Wikström, 1993), polo que os restos de corta axudan a amortecer este efecto térmico. Canto aos efectos sobre a respiración do solo tras a corta, hai opinións enfrontadas. Mentres algúns autores observaron incrementos neste parámetro tras a desaparición da cuberta arbórea (Lytle & Cronan, 1998, Startsev et al., 1998, Londo, 1999), o que podería ser debido ao aumento de achegas de materia orgánica fresca polo aporte dos restos de corta e á consecuente descomposición destes (Hendrickson et al., 1989; Olsson et al., 1996), outros autores observaron o efecto contrario, o que xustificaron pola perda de humidade edáfica (Hendrickson et al., 1989) e polo cesamento de respiración das raíces vivas (Brumme, 1995).

No caso concreto da rexión temperado-húmida considérase que as emisións de CO₂ poden aumentar de forma considerable tras a corta (Hendrickson et al., 1985)



ou os rareamentos (Brumme, 1995), mentres que nas zonas de clima máis mediterráneo tense observado o efecto contrario (Hendrickson et al., 1985). Esta diferenza está relacionada coa modificación das condicións ambientais do solo no momento do aproveitamento e máis no resto de actuacións que teñen lugar ao longo do ciclo de explotación, determinada polo diferente tratamento dos restos de corta (Pérez-Batallón et al., 2001). Na última parte deste traballo detállase unha serie de recomendacións para a xestión das plantacións enerxéticas.

2.5 EFECTO SOBRE A DEGRADACIÓN DO SOLO: A EROSIÓN E A PERDA DE FERTILIDADE

Aínda que unha das características limitantes para a instalación dos cultivos enerxéticos é a pendente, debido a que en todos os casos se proxecta un aproveitamento mecanizado que reduza os custos de explotación e que maximice o rendemento enerxético (unidades de enerxía producidas pola plantación por cada unidade investida para a súa produción), cómpre considerar a erosión do solo, posto que é un dos principais problemas que comprometen a longo prazo a súa produtividade. Xeralmente, acéptase a erosión do solo como un proceso máis dentro da edafoxénese, mais existen casos en que a actividade humana provoca un aceleramento do proceso de erosión que pode chegar a ser preocupante no caso de superar a velocidade de formación do solo (Vila et al., 2002). Existen moitos axentes causantes de erosión, mais todos eles se poden dividir entre aqueles que alteran as propiedades físicas e os que alteran as propiedades químicas do solo.

A compactación do solo é un fenómeno que está directamente relacionado co tránsito da maquinaria sobre o terreo. Desta forma, as características da plantación (especie, produto desexado, tipo de xestión a que se vai someter...) condiciona a frecuencia de tránsito da maquinaria sobre a parcela e, en última instancia, a intensidade da compactación. Así, os cultivos perennes con colleitas periódicas presentan un maior risco de compactación do solo. O deseño da plantación tamén afecta a este parámetro, de forma que un deseño con liñas de plantación longas que minimize as zonas de manobra da maquinaria de colleita nos seus extremos minimizará a compactación do solo.

Outro efecto sobre as propiedades físicas do solo é a alteración da estrutura debido á labra do solo. Este efecto prodúcese en todos os casos no momento da instalación da plantación e pode ocorrer tamén ao longo da fase de crecemento, como en actuacións de control do mato que supoñan a remoción do solo. Aínda que o réxime de alteracións da estrutura nas plantacións enerxéticas é máis frecuente que, por exemplo, nas plantacións forestais tradicionais, é moito menos frecuente que nos cultivos agrícolas, nos cales se poden producir varios labores no mesmo ano.

Outro tipo de degradación, neste caso química, que pode ocorrer nas plantacións enerxéticas é a perda de fertilidade do solo por causa da extracción de nutrientes. A extracción de nutrientes nun cultivo é directamente proporcional á produción deste, de forma que a maior produtividade, maior extracción de nutrientes. Son varios os estudos que observaron unha diminución na produción co transcurso de sucesivas rotacións, tanto en sistemas aproveitados mediante monte baixo (Strong, 1989; Mitchell et al., 1999), como naqueles reforestados tras a corta (Keeves, 1966). Esta menor produción nas plantacións aproveitadas en monte baixo ten que ver en parte coa perda da habilidade de rebrotar e coa mortalidade das cepas, mais tamén coa repetida extracción de nutrientes en sucesivas rotacións. Estes nutrientes atópanse sobre todo nas fraccións máis finas do arboredo, que, dito sexa de paso, son as que



menos interese teñen desde o punto de vista do aproveitamento enerxético. Xa que logo, aínda que se realicen fertilizacións ao longo do ciclo de crecemento, unha adecuada xestión das plantacións debe asegurar o abandono das fraccións máis finas no monte tras o aproveitamento para asegurar un mantemento do estado nutricional.

Hai outros casos en que as plantacións enerxéticas xogan un importante papel. Este é o caso da descontaminación de solos ou da reciclaxe de augas residuais. Este tipo de manexo foi amplamente estudado para a descontaminación de solos, o que neste caso se denomina dendrorremediación (Rockwood et al., 2004, 2006). Son varias as experiencias no emprego de plantacións enerxéticas en labores de dendrorremediación, en que as elevadas densidades de plantación, xunto cos curtos ciclos de colleita, derivan en elevadas extraccións de nutrientes, algo desexable nestes casos. Esta técnica adoita ser bastante recorrida tamén para a revexetación e a descontaminación de solos de entulleiras de minas, así como de filtro verde de augas residuais (en Galiza xa hai experiencias deste tipo).

Son múltiples os estudos en que se conclúe que os restos de corta achegan unha protección extra ao solo fronte á erosión, mentres evitan as perdas de nutrientes (Miller et al., 1988), o cal provoca un efecto semellante ao que ocorre coa terra vexetal na fase de crecemento da plantación. No caso concreto de masas forestais de eucalipto reforestadas tras un incendio, observouse que un 10% de cobertura do solo mediante restos de corta conseguía reducir un 50% das perdas de solo por erosión, de modo que esta se revelou como unha ferramenta moi eficaz para minimizar as perdas de solo (Lopes et al., 1987). As recomendacións para evitar perdas de solo por erosión van en contra do que sería aconsellable desde o punto de vista nutricional, posto que as elevadas densidades son máis efectivas para reter o solo, o cal evita desta forma perdas por escoamento. Polo tanto, a densidade de plantación óptima desde o punto de vista da conservación do solo debe gardar un equilibrio co axente máis limitante, segundo for este a erosión do solo ou o mantemento do estado nutricional.

Outra consecuencia do aproveitamento da biomasa é que diminúe as perdas de humidade por evaporación e intercepción, polo que o contido en humidade dos horizontes superficiais do solo se ve incrementado (Van Lear et al., 1985, Castillo et al., 1997) e pode chegar a ocasionar problemas de escoamento superficial e de erosión en solos pouco permeables (Terry & Shakesby, 1993, Shakesby et al., 2000).

2.6 EFECTO SOBRE A PAISAXE E A BIODIVERSIDADE

O impacto paisaxístico das plantacións enerxéticas depende de varios factores, pero principalmente da paisaxe característica da zona en cuestión e dos usos que se nela se deren, alén do tamaño e da intensidade da xestión que nela se levar a cabo. Con todo,, hai unha serie de recomendacións sobre o deseño das plantacións que pode axudar a diminuír o impacto paisaxístico dos cultivos enerxéticos, como, por exemplo, respectar as zonas de bordo e seguir o contorno dos usos lindeiros, evitar liñas demasiado rectas e continuas tanto de plantación como no bordo, usar, sempre que for posible, especies distintas para evitar a continuidade do cultivo ou usar especies e réximes selváticos tales que o tamaño e a disposición das plantas non se diferencien demasiado da vexetación e dos usos dos terreos estremeiros ou próximos.

Verbo do hábitat da fauna salvaxe, existen estudos que evidenciaron un aumento da biodiversidade nos cultivos enerxéticos con respecto a zonas continuas de ter-



reos agrícolas (Sage et al., 1994), fundamentalmente en aves. Un dos aspectos a que hai que lle prestar especial atención ten que ver con evitar cubertas continuas de plantacións coa mesma clase de idade, especie ou clon, para proporcionar unha continua variación do hábitat e, por tanto, unha maximización do efecto bordo.

2.7 RECOMENDACIÓNS PARA O APROVEITAMENTO DE BIOMASA

A modo de resumo, a continuación amósanse unha serie de recomendacións de xestión de plantacións co obxectivo de maximizar o efecto de mitigación do efecto invernadoiro e evitar a erosión do solo.

- Centrar o aproveitamento dos restos de corta nos terreos máis produtivos, mecanizables e con menor risco de erosión, para así o aproveitamento da biomasa residual en pendentes superiores ao 45%, e en zonas con solos especialmente sensibles pola súa escasa profundidade ou con baixas reservas nutricionais.
- Na medida do posible fomentarse a aplicación de esquemas silvícolas que favorezan a reincorporación de nutrientes ao solo, nomeadamente os que fan referencia a densidades máis baixas e rotacións máis longas.
- Garantir a permanencia sobre o terreo de, cando menos, un 30% dos restos forestais, especialmente de se trataren das fraccións máis finas.
- Empregar tecnoloxías e maquinaria de aproveitamento da biomasa residual que non comprometan a estabilidade dos horizontes orgánicos do solo e aproveitar, dese xeito, unicamente as fraccións máis grosas dos restos de corta.
- Evitar o emprego de maquinaria pesada en lugares onde existiren problemas de compactación do terreo e deseñar as plantacións con aliñamentos o máis longos posibles; minimizando desta forma a zona de manobra da maquinaria de colleita e plantación.
- Programar as actuacións en monte no momento en que o impacto ao solo sexa mínimo. No caso das especies de folla caduca, os labores de colleita deben coincidir co momento en que as árbores estiveren sen folla.
- Planificar a localización da central de biomasa para reducir os desprazamentos de biomasa forestal primaria desde o monte até a instalación consumidora.
- Minimizar os impactos negativos producidos polos cargadeiros e polos parques de almacenamento intermedios de biomasa, na procura da súa integración na paisaxe, da minimización dos problemas de compactación do terreo ou da presenza de lixiviados nas augas de escoamento e, todo isto, co fin de garantir o cumprimento da lexislación en materia de seguranza ante o risco de incendios.
- Aconséllase a reincorporación de nutrientes contidos nas cinzas xeradas nas caldeiras de biomasa ao monte, mediante a aplicación destas nas masas forestais. Nas doses que se aplicaren teranse en conta as concentracións de nutrientes e doutros elementos nas cinzas, posto que estes dependen da biomasa empregada e do seu procesamento.

REFERENCIAS

- Beasley, R.S.; Granillo, A.B. (1988). Sediment and water yields from managed forests on flat coastal plain sites. *Journal of the American Water Resources Association*. 2,361-366.
- Bengtsson, J.; Wikström, F. (1993). Effects of whole-tree harvesting on the amount of soil carbon: model results. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 380-389.



- Brumme, R. (1995). Mechanisms of carbon and nutrient release and retention in beech forest gaps. *Plant and Soil* 1,593-600.
- Bullard, M.J.; Mustill, S.J.; Carver, P.; Nixon, P.M.I. (2002). Yield improvements through modification of planting density and harvest frequency in short rotation coppice *Salix* spp.-2. Resource capture and use in two morphologically diverse varieties. *Biomass & Bioenergy* 22, 27-39.
- Castillo, V.M.; Martínez-Mena, M.; Albaladejo, J. (1997). Runoff and Soil Loss Response to Vegetation Removal in a Semiarid Environment. *Soil Science Society of America Journal* 4,1116-1121.
- Hendrickson, O.Q.; Chatarpaul, L.; Robinson, J.B. (1985). Effects of Two Methods of Timber Harvesting on Microbial Processes in Forest Soil. *Soil Science Society of America Journal*. 3,739-746.
- Hendrickson, O.Q.; Chatarpaul, L.; Burgess, D. (1989). Nutrient cycling following whole-tree and conventional harvest in northern mixed forest. *Canadian Journal of Forest Research*. 6,725-735.
- Karjalainen, T.; Kellomäki, S.; Pussinen, A. (1994). Role of wood-based products in absorbing atmospheric carbon. *Silva Fennica* 28 (2): 67-80.
- Keeves, A. (1966). Some evidence of loss of productivity with successive rotations of *Pinus radiata* in the south-east of South Australia. *Aust. For*30, 51-63.
- Knoepp, J.D.; Swank, W.T. (1997). Forest Management Effects on Surface Soil Carbon and Nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*. 928-935.
- Liski, J., Palosuo, T., Peltoniemi, M., Sievänen, R. 2005. Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modeling*. 189, 168-182.
- Londo, A.J. (1999). Forest harvesting effects on soil temperature, moisture, and respiration in a bottomland hardwood forest. *Soil Science Society of America Journal* 3,637-644.
- Lopes, P.R.C.; Cogo, N.P.; Levien, R. (1987). Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. *Brasileira de Ciência do Solo*, 71-75.
- Lytle, D.E.; Cronan, C.S. (1998). Comparative soil CO₂ evolution, litter decay, and root dynamics in clearcut and uncut spruce-fir forest. *Forest Ecology and Management*, 2-3,121-128.
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83, 37-46.
- Mitchell, C.P.; Stevens, E.A.; Watters, M.P. (1999). Short-rotation forestry- operations, productivity and costs based on experience gained in the UK. *For. Ecol. Manage.*121, 123-136.
- Olsson, B.A.; Staaf, H.; Lundkvist, H.; Bengtsson, J.; Kaj, R. (1996). Carbon and nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling and harvests of different intensity. *Forest Ecology and Management*. 1-3,19-32.
- Ouro, G.; Pérez-Batallón, P.; Merino, A. (2001). Effects of silvicultural practices on nutrient status in a *Pinus radiata* plantation: Nutrient export by tree removal and nutrient dynamics in decomposing logging residues. *Annals of Forest Science*. 411-422.
- PER (2005). Plan de Energías Renovables de España (PER) 2005-2010. Ministerio de Indústria, Turismo y Comercio. Madrid
- Pérez-Batallón, P.; Ouro, G.; Macías, F.; Merino, A. (2001). Initial mineralization of organic matter in a forest plantation soil following different logging residue management techniques. *Annals of Forest Science*. 807-818.
- Rockwood, D.L.; Naidu, C.V.; Carter, D.R.; Rahmani, M.; Spriggs, T.A.; Lin, C.; Alker, G.R.; Isebrands, J.G.; Segrest, S.A. (2004). Short-rotation woody crops and phytoremediation: Opportunities for agroforestry? *Agroforestry Systems*. 61, 51-63.
- Rockwood, D.L.; Carter, D.R.; Langholtz, M.H.; Stricker, J.A. (2006). Eucalyptus and *Populus* short rotation woody crops for phosphate mined lands in Florida USA. *Biomass & Bioenergy*. 30, 728-734.
- Romanyá, J.; Cortina, J.; Falloon, P.; Coleman K.; Smith, P. (2000). Modelling changes in soil organic matter after planting fast-growing *Pinus radiata* L. on Mediterranean agricultural soils. *European Journal of Soil Science*. 51, 627-641.
- Sage, R.B.; Robertson, P.A.; Poulson, J.G. (1994). Enhancing the conservation value of short rotation biomass coppice, phase 1: The identification of wildlife conservation potential. ETSU contractors report, The Game Conservancy Trust, ETSU/BW5/ 00277/REP.
- Shakesby, R.A.; Doerr, S.H.; Walsh, R.P.D. (2000). The erosional impact of soil hydrophobicity: current problems and future research directions. *Journal of Hydrology*178-191.



- Startsev, N.A.; McNabb, D.H.; Startsev, A.D. (1998). Soil biological activity in recent clearcuts in west-central Alberta. *Canadian Journal of Soil Science* 1,69-76.
- Strong, T. (1989). Rotation Length and Repeated Harvesting Influence Populus Coppice Production. United States Department of Agriculture, .
- Terry, J.P.; Shakesby, R.A. (1993). Soil hydrophobicity effects on rainsplash: Simulated rainfall and photographic evidence. *Earth Surface Processes and Landforms* 6,519-525.
- Van Lear, D.H.; Douglass, J.E.; Cox, S.K.; Augspurger, M.K. (1985). Sediment and Nutrient Export in Runoff from Burned and Harvested Pine Watersheds in the South Carolina Piedmont. *Journal of environmental quality* 2,169.
- Vila, R.; Rodríguez, R.; Puga, J. (2002). Las pérdidas de suelo producidas por erosión hídrica: la evaluación del "factor de tolerancia" y la cuantificación de su grado de erosión en relación con la pendiente máxima admisible para el cultivo. Una aproximación al conocimiento de su incidencia en Galicia (España). *Universitas. Homenaje a Antonio Eiras Roel. Universidad de Santiago de Compostela*, p. 291-305.