

INFORME DE DIFUSIÓN PROGRAMA FORMACION PARA LA PARTICIPACION

1 Nombre de la propuesta :

Presentación de trabajos en el III Congreso Forestal Español

1.1 Modalidad

Congreso – Postulante Individual

1.2 Lugar donde se llevo a cabo la formación

España: Granada

1.3 Rubro / Area temática de la actividad de formación

Forestal / Silvicultura

1.4 Fecha en la que se efectuó la actividad de formación:

19 al 30 de septiembre del 2001

1.5 Postulante

Sergio Roberto Donoso Calderón

1.6 Entidad Responsable

Sociedad Española de Ciencias Forestales

1.7 Coordinador

FIJACIÓN DE CARBONO EN BIOMASA Y SUELOS DE MINA REVEGETADOS CON CULTIVOS ENERGÉTICOS

F. Maciás², A. Gil Bueno¹, C. Monterroso²

¹ Departamento de Restauración de suelos, ENDESA, As Pontes, A Coruña

² Departamento de Edafología e Química Agrícola, Facultad de Biología, Universidad de Santiago, 15706-Santiago

RESUMEN

En este trabajo se valora la capacidad de los suelos de mina para fijar carbono a través de la implantación de cultivos de elevada productividad utilizables como combustibles. Para ello se ha realizado un ensayo de productividad en la escombrera de la Mina de As Pontes (NW Spain) y se ha evaluado la cantidad de C fijado en el suelo y la biomasa durante 3 años. El ensayo se realizó con distintas especies vegetales (*Ulex europaeus*, *Cytisus scoparius*, *Acacia dealbata*, *Acacia melanoxylon*, *Alnus glutinosa* y *Eucalyptus globulus*) y con distintos marcos de plantación (2, 1 y 0.66 pies por m²). Los primeros resultados indican un efecto manifiesto de la densidad de plantación sobre la producción y, por tanto, sobre la fijación de C en suelo y biomasa. Así, el eucalipto en plantaciones de alta densidad triplica, en algunos casos, el valor medio de producción de biomasa de la zona Norte de España y hace recuperar en menor tiempo los niveles de C en el suelo.

Palabras clave: Restauración de suelos de mina. Producción de Biomasa. Fijación de CO₂

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the capacity of mine soils to act as sinks for carbon when revegetated with energetic crops. For this, an experiment was carried out at the As Pontes mine dump (NW Spain) whereby productivity and the amount of fixed C in the biomass and the soils was monitored over a period of 3 years. The experiment was carried out using different plant species (*Ulex europaeus*, *Cytisus scoparius*, *Acacia dealbata*, *Acacia melanoxylon*, *Alnus glutinosa* and *Eucalyptus globulus*) and several densities (2, 1 y 0.66 plants per m²). Preliminary results indicated that the density of plants had a significant effect on production and therefore C fixation in the soil and biomass. We found that biomass production in eucalyptus at high density was, in some cases, four times that of the average for forest areas at northern Spain and that C recovery in the soil was quicker than at other densities.

Key words: reclamation of mine soils, biomass production, CO₂ fixation

INTRODUCCION

Numerosos procesos degradativos han transformado grandes superficies de suelos productivos en zonas improductivas. Estos suelos se caracterizan por su baja calidad, su baja productividad de biomasa y su baja capacidad de fijación de carbono. Aunque no hay estimas precisas del alcance global de esta degradación, OLDEMAN (1994) estimó la existencia de 1965 m ha de suelos degradados en algún grado a lo largo del mundo. En Europa, las áreas extremadamente degradadas suponen un 1.4% de la superficie total de la tierra (LEHMANN *et al.*, 1996). Por razones ambientales y económicas la restauración de estos suelos es extremada-

#01-17-077

FOLIA - 022

mente urgente. Ambientalmente, la restauración de la productividad biológica de estos suelos mejorará la calidad del agua al reducir el transporte de sedimentos y contaminantes y disminuir el efecto invernadero por inmovilización de C en la biomasa y secuestro en el suelo. Algunas estimas indican que la restauración de suelos degradados tiene un potencial de secuestrar C a una tasa de 3 Pg C año⁻¹ (LAL, 1997, 1999). Adicionalmente, con la recuperación de estas áreas se puede producir un producto económicamente viable, como es la biomasa de cultivos forestales utilizables como combustibles.

El objetivo de este trabajo es valorar la capacidad de los suelos de mina como sumidero de carbono a través de la implantación de cultivos de elevada productividad para la producción de energía. Para ello se ha realizado un ensayo de productividad en la escombrera de la Mina de As Pontes (NW Spain) y se ha evaluado la cantidad de C fijado en el suelo y la biomasa durante 3 años.

MATERIAL Y MÉTODOS

La escombrera de la mina de As Pontes (NW de España) ha sido diseñada para almacenar 800 Mm³ de estériles y tendrá una altura final de 220 m y una superficie de 1300 ha, de las que casi 500 están en proceso de restauración ambiental. El clima de la zona se caracteriza por una elevada precipitación y temperaturas moderadas (precipitación y temperatura medias anuales de 1684 mm y 11.6 °C, respectivamente).

El ensayo de producción de biomasa se ha desarrollado en suelos restaurados, construidos con filitas procedentes de la mina y recubiertos con una capa de tierra vegetal (20 cm) procedente de los suelos naturales de la zona.

Los cultivos energéticos incluidos en este experimento son especies arbóreas de corta rotación (*Acacia dealbata*, *Acacia melanoxylon*, *Alnus glutinosa* y *Eucalyptus globulus*) y arbustivas (*Ulex europaeus*, *Cytisus scoparius*) que fueron plantadas con distintas densidades (0.66, 1 y 2 plantas por m²). Como control, el ensayo fue repetido en una zona forestal cercana a la escombrera.

Las plantaciones fueron realizadas en junio de 1996 y en noviembre de 1998 se determinó por corte la producción de biomasa, tomándose muestras vegetales de los distintos órganos y muestras de suelo. En las muestras vegetales se determinó la humedad, el poder calorífico y el contenido en cenizas. La tasa de fijación de carbono fue calculada después del análisis del contenido en carbono en suelos y biomasa con un autoanalizador LECO Mod. CHN 1000.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La plantación de especies energéticas en suelos minerales puede contribuir a la reducción de la emisión de gases con efecto invernadero, principalmente CO₂, a través de: i) la acumulación de carbono en el suelo, y ii) la fijación de CO₂ en la biomasa como resultado de la fotosíntesis. La tasa de reducción es dependiente de las especies vegetales y de la productividad de biomasa.

Productividad de biomasa

De las especies utilizadas en este ensayo las más productivas han sido *Acacia dealbata*, *Acacia melanoxylon*, *Eucalyptus globulus*, *Ulex europaeus* and *Cytisus scoparius*. Después de 30 meses se han obtenido entre 12.6 y 47.9 toneladas de materia seca por hectárea (Fig. 1).

Los resultados muestran que las plantaciones de eucalipto en alta densidad (2 plantas por m²) producen más biomasa que las mismas especies plantadas en baja densidad y que las otras espe-

cies. Si los marcos de plantación son menos densos los rendimientos de las acacias (*A. melanoxylon* y *dealbata*) son similares a los del eucalipto.

El arbusto más productivo ha sido el *Ulex europaeus*, llegando a ser más productivo incluso que algunos árboles plantados en bajas densidades.

El poder calorífico de la biomasa osciló entre 2500 y 3600 cal g⁻¹ de materia seca, valores similares a las obtenidos para el lignito procedente de la mina de As Pontes. Se han encontrado diferencias significativas entre las distintas especies, siendo *Eucalyptus globulus* y *Acacia melanoxylon* las especies con los valores más bajos.

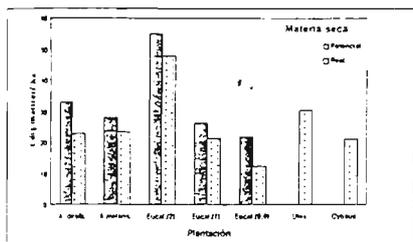


Fig. 1. Producción total de materia seca

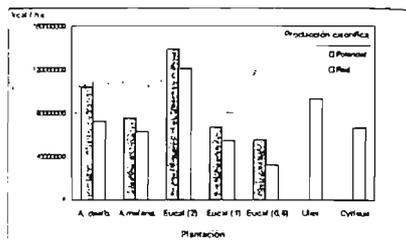


Fig. 2. Producción energética total en kcal/ha

En la figura 2 se muestra el cálculo de la producción calorífica para las distintas plantaciones estudiadas. El cultivo de eucalipto en alta densidad es el que mayor productividad calorífica, pero las diferencias con el resto de los cultivos son menores que para la productividad de biomasa, especialmente con la plantación de *Ulex*.

Acumulación de carbono en el suelo

Se ha comprobado que las labores de preparación del terreno (que incluyeron un subsolado) inducen una importante pérdida de C por incremento de la mineralización que no suele recuperarse en los tres años siguientes del ensayo cuando se realizan marcos de plantación de 1x1 o superiores. Sin embargo, en densidades mayores se produce un incremento del contenido de carbono variable según las especies (Fig. 3).

A pesar de que estos resultados tienen un margen de error importante debido al corto período de seguimiento se observan ciertas tendencias significativas. Así, puede afirmarse que el eucalipto es la planta que más C incorpora al suelo cuando el marco de plantación es de elevada densidad, mientras que en densidades menores es el aliso el que da mejores resultados. Estos resultados tienen que ser seguidos a más largo plazo para poder dar cifras de la capacidad de fijación en períodos de tiempos mayores.

La biomasa como sumidero de carbono

Como se ha dicho, la densidad de plantación tuvo un efecto significativo sobre la producción y, por tanto sobre la fijación de C en suelo y biomasa (Fig. 4). Se ha encontrado que el eucalipto en plantaciones de alta densidad (2 pies por m²) triplica, en algunos casos, el valor medio de producción de biomasa de la zona Norte de España y hace recuperar en menor tiempo los niveles de C en el suelo.

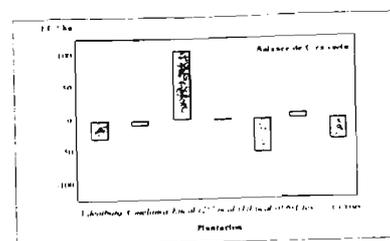


Fig. 3. Balance de carbono en el suelo después de 30 meses de plantación

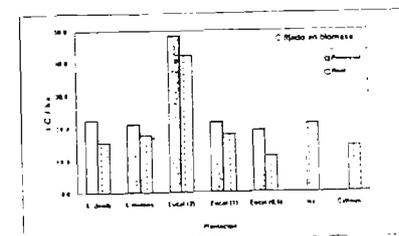


Fig. 4. Carbono fijado en biomasa aérea después de 30 meses

CONCLUSIONES

La productividad, y por tanto la fijación de C, con especies pioneras y frugales como las ensayadas es prácticamente del mismo orden en los suelos en vías de recuperación de las escombreras que en los suelos ácidos de los sistemas forestales naturales. Luego es posible utilizar terrenos degradados o en vías de recuperación para estos fines de producción de la biomasa y fijación de carbono.

La información derivada de este ensayo contribuye al desarrollo de estrategias globales de restauración con el objetivo de minimizar el efecto invernadero por fijación de carbono. Específicamente ayuda en la gestión de especies de elevada productividad en los planes de restauración de suelos degradados.

REFERENCIAS

- OLDEMAN, L. R. 1994. The global extent of soil degradation. En Greenland, D.J. y Szabolcs, I., editors, *Soil resilience and sustainable land use*. Wallingford: CAB International, 99-118.
- LEHMANN, H.; PARYKE, R.; PFLUGER, A. & REETZ, T. 1996. Sustainable land use in the European Union. En: *Biomass for Energy and the Environment*. Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference. 24-27 junio. 1996. Copenhagen, Denmark. Eds. Chartier, P, Ferrero, G.L., Henius, U.M., Hultberg, S., Sachau, J & Wiinblad, M.). Elsevier Science Ltd., Oxford. UK 3: pp 1727-1732.
- 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. 1999. Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. *Progress in Environmental Science* 1, 307-326

EFFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO EN EL BALANCE DE CARBONO DE LA ENCINA (*QUERCUS ILEX* L.)

G. MORENO MARCOS

Ingeniería Técnica Forestal, Centro Universitario, Universidad de Extremadura, Avd. Virgen del Puerto, Plasencia 10600 (Cáceres). email: gmoreno@unex.es

RESUMEN

Las posibles respuestas de las plantas ante el déficit hídrico afectan fundamentalmente a 4 procesos: fotosíntesis, respiración, ajuste osmótico (respuesta bioquímica) y ajuste estructural (distribución del carbono entre órganos). En este estudio se han medido en 8 encinas (*Quercus ilex* L.) de 40 de edad los siguientes parámetros: a) fotosíntesis; b) respiración de ramas, hojas y rebrotes; c) potencial hídrico; d) fenomorfología y crecimiento modular (ramas); e) contenido en fibras (lignina, celulosa y hemicelulosa), azúcares (solubles y almidón), nitrógeno y lípidos de hojas y ramas. Las medidas se realizaron mensualmente durante 17 meses. A partir de los resultados de asimilación y consumo de C (respiración y crecimiento) se ha calculado el balance de carbono. Los resultados más destacados son: i) La acusada diferencia en la intensidad del déficit hídrico estival se tradujo en diferencias significativas en las tasas de fotosíntesis y de crecimiento. ii) La respiración aparece como un componente muy importante del balance de carbono, muy especialmente en el verano y la fase de emergencia foliar. iii) En esos 2 periodos la autonomía de los módulos con respecto al C no parece asegurada, dependiendo en esos casos de las reservas acumuladas en ramas y troncos.

P.C.: Balance de carbono; fotosíntesis; respiración; déficit hídrico; encina; *Quercus*.

SUMMARY

Changing plant productivity in response to stress is largely dictated by photosynthesis, carbohydrate production, respiration, and the subsequent incorporation of that carbohydrate into biomass. The ecological effects of the summer water deficit has been studied on mature evergreen oaks (*Quercus ilex* L.). The study has been conducted in an experimental field with 8 mature holm oak, measuring monthly, along 17 months, the next parameters: a) net assimilation; b) respiration rates of leaves, branches and sprouts; c) leaf water potential; d) pheno-morphology and growth of modules e) estimation of the biochemical composition of the different plant organs, by NIRS: structural carbohydrates (lignine, cellulose and hemicellulose), non-structural carbohydrates (starch and soluble sugars), nitrogen (proteins) and lipids. The obtained information is used to estimate the carbon balance at module (branch) level, arising the following conclusions: i) assimilation and growth rates were highly dependent of the intensity of the summer water deficit; ii) respiration account for an important percentages of the assimilated carbon, mainly during the shoot elongation and, in a less extension, in the drier summer; iii) in those both periods, the autonomy of the modules was not ensured, consuming part of the previously accumulated reserves in branches and stem.

K.W.: Carbon balance; photosynthesis; respiration; holm oak; *Quercus*.

F01-1-F-077

F01-A-077

INTRODUCCIÓN

En las regiones con clima mediterráneo, los aspectos relacionados con la utilización de los recursos hídricos por los vegetales son de gran interés debido a la escasez de los mismos, al menos durante un periodo prolongado del ciclo anual, coincidiendo con la época favorable para el desarrollo vegetal (altas temperaturas). La concentración de CO₂ en la atmósfera sigue aumentando progresivamente, y este aumento está trayendo consigo alteraciones en el régimen de precipitaciones, con un previsible incremento en la erraticidad de las lluvias y una elongación de los periodos secos (RAMBAL 1995).

Para poder responder a muchos de los interrogantes abiertos sobre los efectos del cambio climático en la productividad y dinámica vegetal, debemos conocer los cambios inducidos en el balance de carbono y crecimiento de las plantas sometidas a diferentes situaciones de déficit hídrico. Los cambios en la productividad vegetal, como consecuencia de las condiciones de stress, vienen principalmente determinados por la suma de los siguientes procesos (WULLSCHLEGER & NORBY 1992): a) Tasa de asimilación de carbono, i.e. fotosíntesis; b) Tasa de consumo de carbono, i.e. la respiración; c) Modificaciones químicas, i.e. procesos que determinan la forma química del C; d) Repartición del carbono, i.e. distribución entre los distintos órganos de la planta. En su conjunto, podría afirmarse que bajo condiciones de déficit hídrico, la planta responde más reduciendo su crecimiento que su tasa de fotosíntesis (CANNEL & DEWAR 1994).

En este contexto, en la última década se han desarrollado muchos modelos de crecimiento vegetal, que basándose en relaciones empíricas y datos fácilmente medibles en los ecosistemas, predicen la distribución del carbono asimilado entre los diferentes órganos de la planta (McMURTRIE & LANDSBERG 1992; GROSSMAN & DEJONG 1994). Estos modelos se han mostrado consistentes para algunos procesos; e.g. balance de agua y asimilación de carbono. Sin embargo, otros procesos siguen sin ser bien comprendidos y descritos; e.g. la repartición y distribución de los fotoasimilados (McMURTRIE & LANDSBERG 1992).

Otro proceso aún insuficientemente estudiado y conocido es el de la respiración. Para establecer el balance de carbono que nos permita modelizar el crecimiento y ciclo de vida de los árboles, era preciso establecer ecuaciones que estimaran las pérdidas de carbono por respiración a lo largo del año bajo diferentes condiciones ambientales. De hecho, los costes en términos de carbono, asociados con el crecimiento y mantenimiento (respiración) de las estructuras perennes de los árboles podría comprender una nada despreciable cantidad del carbono asimilado por las hojas (GROSSMAN & DEJONG 1994).

Con objeto de profundizar en este tema, se ha llevado a cabo el proyecto de investigación "Alteraciones en el balance de agua y carbono en bosques mediterráneos de encinas (*Quercus ilex* L.) en respuesta al cambio climático, y en particular a la modificación del régimen de precipitación". El objetivo concreto de este proyecto es la modelización del balance hídrico de la encina y la inmovilización de carbono a corto y medio plazo, en función de la disponibilidad de agua. Se pretende dar respuestas a las siguientes cuestiones: ¿cómo una disminución en la disponibilidad de agua afecta al estado hídrico de la planta? Y esto, ¿cómo afecta esto a la asimilación de CO₂? ¿Cómo afecta a la repartición de carbono entre respiración de mantenimiento y crecimiento? ¿Cómo afecta a la distribución entre distintos órganos de la planta? Y por último, ¿cómo todo ello se traduce en términos de crecimiento, tanto en calidad como en cantidad?

En el presente trabajo se centra en el análisis del balance de carbono a nivel de ramas (módulos: unidades repetitivas) en función del estado vegetativo de la planta y de la intensidad del déficit hídrico estival.

MATERIAL Y MÉTODOS:

El estudio se ha desarrollado en el campo de experimentación del CEFE de Montpellier, Camp Redon, en un encinar (*Quercus ilex* L.) de 32 años de edad y 7 metros de altura, con suelo profundo (> 3 m), arcilloso y con abundantes elementos gruesos. El clima es típicamente mediterráneo subhúmedo.

Se instalaron 2 torretas para acceder a la parte superior de las copas de los árboles. Todas las medidas se realizaron en un total de 8 árboles, durante 17 meses (abril de 1995 a agosto de 1996), con una periodicidad mensual. En los meses de Mayo y Julio, coincidiendo con los periodos de máximo crecimiento modular, y de máxima variación en el déficit hídrico para la planta, las medidas se realizaron quincenalmente (total de 19 ocasiones).

Potencial hídrico de la planta: Se midió con la cámara de presión (PMS, Corvallis, OR, USA), en 2 momentos del día, justo antes de amanecer (potencial hídrico máximo) y al inicio de la tarde (alrededor de 15 horas), cuando se asumía el estado de mínimo potencial hídrico en la planta. En cada ocasión se realizaban 24 medidas, 3 por árbol. Este parámetro es utilizado como un indicador de la intensidad del déficit hídrico que experimenta la planta,

Asimilación neta de CO₂: Fue medida con un analizador portátil de CO₂ mediante infrarrojo (modelo LCA-3, ADC, UK) y una cámara abierta (tipo PLC-3A, de 6,25 cm² de área, ADC, UK). Las medidas se realizaron desde la salida hasta la puesta del sol, en intervalos de 2 horas aproximadamente (cada hora al inicio y final de día). Cada día se utilizaron 32 hojas diferentes (4 x 8 árboles).

Respiración de hojas y ramas: Fue medida con el mismo equipo de análisis de CO₂ (IRGA) utilizado para la fotosíntesis. Las medidas se realizaron en ramas vivas, encerradas en cámaras opacas de aproximadamente 750 cm³. En cada ocasión se seleccionaron 2 ramitas completa y otra desfoliada por árbol (24 ramitas).

Fenología y crecimiento modular: fue estudiada en 3 módulos seleccionados de cada árbol, en las que se midió para cada uno de los flujos, el número de ramas, longitud y diámetro de la rama principal, así como el número de hojas.

Composición bioquímica y coste de construcción de hojas y ramas: Se cortaban 3 módulos en cada árbol, también mensualmente. En estos se realizaban las mismas medidas, además del peso de ramas y hojas de cada flujo. A su vez, se determinaba el área media y el peso específico (LMA, g/dm²) de las hojas de cada árbol. Las muestras fueron separadas por órgano y flujo y analizadas con objeto de determinar su composición bioquímica, mediante Espectrofotometría de Infra-Rojo Cercano (NIRS; BATTEN *et al* 1993). Los compuestos determinados fueron: carbohidratos estructurales (lignina, celulosa y hemicelulosa), carbohidratos no estructurales (no soluble (almidón) y soluble (azúcares)), lípidos y proteínas. A partir de los resultados de composición se calculó el coste de construcción, basándonos en los resultados de PENNING de VRIES (1975).

Cálculo del balance de carbono

En el cálculo del balance de carbono interviene la cantidad de carbono asimilado por las hojas de cada módulo, la cantidad de carbono respirado por las hojas y ramas de cada módulo, y la cantidad de carbono empleado en la construcción de nuevos tejidos (crecimiento) ⇒

Importación (-) o Exportación (+) = Asimilación Neta - Respiración - Coste de Construcción

De este modo podemos estimar la cantidad de carbono sobrante en el módulo, que puede destinarse al crecimiento y mantenimiento de raíces, troncos y ramas gruesas, o en que momento o bajo que circunstancias, los módulos dependen de las reservas almacenadas fuera de los mismos (e.g. troncos).

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Estado hídrico de la planta

Los valores de potencial hídrico (Ψ) de la planta presentan una pauta netamente estacional (Figura 1), con valores crecientemente negativos durante el periodo estival, pero con diferencias altamente significativa ($p < 0,01$) entre los 2 veranos, con un déficit hídrico mucho más acusado en el primer verano (-3,01 vs -0,88 MPa de Ψ_{\max}), evidenciando las diferencias habidas en el volumen de precipitación caídas en los meses precedentes (Figura 1). Se puede afirmar que prácticamente no existió una limitación al consumo de agua en el segundo verano, no alcanzándose el límite de -1 MPa de Ψ_{\max} a partir del cual el potencial hídrico juega un papel relevante en la tasa fotosintética (SALA 1999).

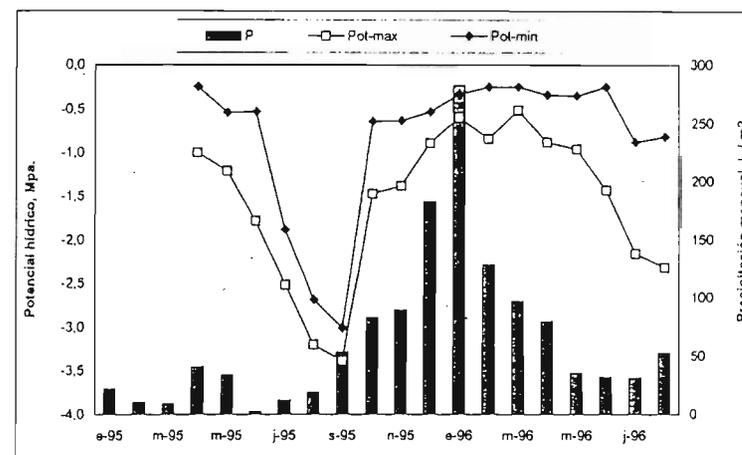


Figura 2. Evolución anual de los potenciales hídricos máximo (al alba) y mínimo (15 h) diario de las hojas, junto con la precipitación mensual durante el periodo de estudio.

Balance de Carbono

Los resultados nos muestran que a lo largo de los 17 meses, existen tanto días en los que se genera un gran exceso de C en los módulos, como días que experimentan un gran déficit, siendo mínimos los casos en los que se encontró un balance equilibrado (Figura 10).

En primer lugar, destaca el fuerte déficit de carbono que se produce el mes de mayo, tanto en 1995 como en 1996, debido a la fuerte inversión en la formación y crecimiento de los nuevos tejidos (aparición de un nuevo flujo de ramas y hojas, más la producción de flores). El gasto es acusado tanto por la construcción de los nuevos tejidos (Coste de Construcción), como por la

fuerte respiración que presentan los tejidos en crecimiento (respiración de crecimiento). En ambos casos, el carbono asimilado por fotosíntesis, apenas alcanza el 40% de C consumido, por lo que debe existir importación de C, i.e. existe una fuerte dependencia de las reservas que la planta tenga el tallo (tronco y ramas gruesas y/o raíces). Esta situación de déficit podría extenderse a parte de Abril o de Junio, en la medida en que el periodo de fuerte crecimiento dura aproximadamente 45 días. La dependencia de las reservas para la generación de nuevos tejidos ha sido puesto de manifiesto para las especies caducifolias, pero no era tan evidente para las perennifolias (CHAPIN *et al* 1990).

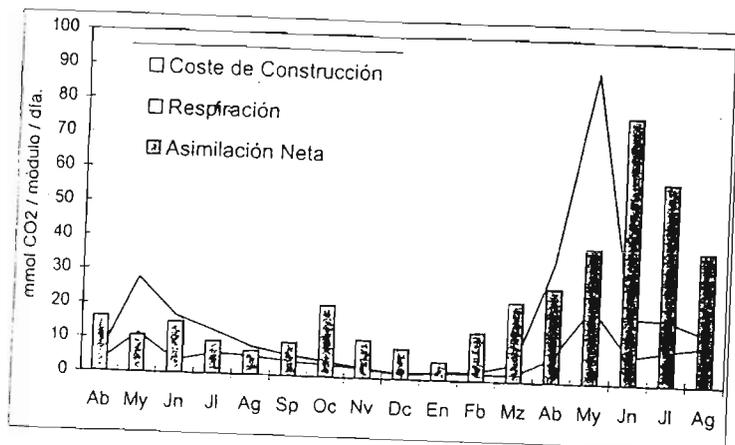


Figura 10. Balance de carbono en los módulos (unidades repetitivas del árbol o ramitas) de *Quercus ilex*, a lo largo de 17 meses, incluyendo 2 estaciones cálidas de contrastada intensidad en el déficit hídrico, acusado en 1995 e inapreciable en 1996.

NOTA: La acusada diferencia observada entre los 2 años, se debe por una parte a una tasa de fotosíntesis y crecimiento más alto en el 2º año, pero también se debe a que los valores se refieren a los mismos módulos a lo largo de todo el estudio, siendo los módulos evidentemente mayores en el 2º año, de forma que la información se refiere a una cantidad mayor de biomasa en el 2º año.

Estas reservas necesarias para el periodo de fuerte crecimiento deben ser generadas a lo largo del resto del año, además de generar los recursos necesarios para el crecimiento y mantenimiento de raíces y troncos. Este balance positivo (asimilación mayor que la suma de respiración y crecimiento) se produce en los meses de otoño-invierno (desde septiembre a marzo), así como el verano de 1996, pero no en el verano de 1995.

Durante el verano de 1995, con una acusado déficit hídrico, el balance neto es negativo, es decir, se produce dependencia de las reservas (importación), a pesar del moderado crecimiento que se produce ese año. En cambio, el verano de 1996, con un déficit hídrico casi inexistente, la asimilación neta se mantuvo muy elevada todo el verano, permitiendo generar importantes reservas, así como prolongar de manera notoria el periodo de crecimiento. En la estación húmeda, el balance siempre fue positivo, especialmente en los meses de Octubre y Marzo, y en menor medida en Noviembre y Febrero.

En el conjunto de los 17 meses estudiados, el 43% del carbono asimilado fue invertido en la construcción de nuevos tejidos, mientras que un 27% fue invertido en la respiración, de la cual el 43% fue respiración de crecimiento y el 57% respiración de mantenimiento. Esto implica que el 55% del carbono asimilado fue dedicado al crecimiento de los propios módulos, y sólo el 15% fue dedicado a su mantenimiento, rangos de magnitud similares a los obtenidos por RYAN & WARING (1992) en pinares. Sólo el 30% del carbono asimilado no es utilizado en el propio módulo sino que es exportado a ramas gruesas, troncos y/o raíces, donde es utilizado (respirado) o acumulado (crecimiento y reservas).

Estos resultados están en consonancia con la idea de que los módulos representan unidades que gozan de una gran autonomía con respecto al resto de la planta, internalizando gran parte de los procesos fisiológicos y flujos bioquímicos, especialmente en las especies perennifolias, lo que por otra parte, facilita la extrapolación de los resultados del balance de carbono desde la hoja y rama, al conjunto de árbol o la población (SPRUGEL *et al* 1991).

CONCLUSIONES

La aproximación realizada al balance de carbono a nivel modular nos ha permitido obtener información valiosa para la comprensión de los efectos del déficit hídrico estival en la asimilación y asignación del carbono en las ramas de encina.

La encina presenta un balance neto de carbono negativo en los periodos de fuerte déficit hídrico, de forma que las ramas consumen parte del carbono acumulado previamente (otoño, invierno e inicio de primavera) en los tejidos de reservas. Esto viene a sumarse a la fuerte dependencia que también presenta de las reservas durante el periodo de emergencia de las nuevas hojas. Un posible incremento en la intensidad o la frecuencia de los veranos con acusado déficit hídrico podría poner en compromiso este equilibrio, y en cualquier caso redundaría en una disminución del carbono disponible para el crecimiento de la planta.

Dado que los resultados presentados se refieren solamente a días concretos que han sido estudiados, la realización de un verdadero balance anual precisa de la modelización que nos permita incluir todos los días del año, a partir de información de registro continuo, como son la transpiración (medida mediante sensores de flujo de savia) y la radiación solar (e.g. PAR). Por otro lado, para extender el balance al conjunto del árbol, al menos su parte aérea, debe incorporarse el crecimiento y respiración del tronco y ramas gruesas.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Educación y Ciencia de España por la concesión de una Beca de Investigación Post-Doctoral y a los Dr. Serge Rambal y Richard Joffre por su generosa ayuda.

BIBLIOGRAFÍA

BATTEN, G.D., BLAKENEY, B., McGRATH, V.B. & CIAVARELLA, S., (1993). *Non-structural carbohydrate: Analysis by near infrared reflectance spectroscopy and its importance as an indicator of plant growth*. Plant and Soil 155/156: 243-246.

CANNEL & DEWAR; (1994). *Carbon allocation in trees: A review of concepts for modelling*. Adv. Ecol. Res., 25: 59-104.

- CHAPIN III, F.S., SCHULZE, E-D & MOONEY, H.A.; (1990). *The ecology and economics of storage in plants*. Annu. Rev. Ecol. Syst., 21: 423-447.
- GROSSMANN, Y.L. & DEJONG, T.M.; (1994). PEACH: *A simulation model of reproductive and vegetative growth in peach trees*. Tree Physiol. 14:329-345.
- McMURTRIE, R.E. & LANDSBERG, J.J.; (1992). *Using a simulation model to evaluate the effects of water and nutrients on the growth and carbon partitioning of Pinus radiata*. 52:243-260.
- PENNING de VRIES, F.W.T.; (1975). *The cost of maintenance processes in plant cells*. Ann Bot. 39: 77-92.
- RAMBAL, S. & DEBUSSCHE, G.; (1995). *Water balance of Mediterranean ecosystems under a changing climate*. En: Moreno, J.C. & W.C. Oechel, eds. *Global Change and Mediterranean-type ecosystems*. Ecological Studies 117. Berlin: Springer-Verlag, pp 386-407.
- RYAN, M.G. & WARING, R.H.; (1992). *Maintenance respiration and stand development in a subalpine lodgepole pine forest*. Ecology 73:2100-2108.
- SPRUGEL, D.G., HINCKLEY, T.M., SCHAAP, W.; (1991). *The theory and practice of branch autonomy*. Annu. Rev. Ecol. Syst., 22: 309-334.
- SALA A.; (1999). *Modelling canopy gas exchange during summer drought*. In: F. Rodà et al. (eds), *Ecology of mediterranean evergreen oak forests*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. Pp 149-160.
- WULLSCHLEGER, S.D. & NORBY, R.J.; (1992). *Respiratory cost of leaf growth and maintenance in white oak saplings exposed to atmospheric CO₂ enrichment*. Can. J. For. Res. 22:1717-1721.

1.8 Identificación de los participantes de la propuesta

NOMBRE	RUT	TELEFONO FAX E-MAIL	DIRECCION POSTAL	ACTIVIDAD PRINCIPAL	FIRMA

2. ACTIVIDADES DE TRASFERENCIA

2.1. Resumen actividades de transferencia PROPUESTAS

FECHA	ACTIVIDAD	OBJETIVO	LUGAR	Nº y TIPO BENEFICIARIOS
31/10	Charla	Informar, sobre nuevos conocimientos, técnicas y tendencias en silvicultura	Centro de Extensión Facultad Ciencias Forestales- Universidad de Chile	25, estudiantes y profesionales
12/11	Charla	Informar, sobre nuevos conocimientos, técnicas y tendencias en silvicultura	Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile	15, profesionales e investigadores

2.1. Resumen actividades de transferencia REALIZADAS

FECHA	ACTIVIDAD	OBJETIVO	LUGAR	Nº y TIPO BENEFICIARIOS
2/11	Charla	Informar, sobre nuevos conocimientos, técnicas y tendencias en silvicultura	Centro de Extensión Facultad Ciencias Forestales- Universidad de Chile	20 estudiantes
12/11	Charla	Informar, sobre nuevos conocimientos, técnicas y tendencias en silvicultura	Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile	4 profesionales e investigadores

2.2. Detalle por actividad de transferencia REALIZADAS

Fecha: 2 de Noviembre

Lugar (Ciudad e Institución): Centro de Extensión Facultad Ciencias Forestales- Universidad de Chile (Pantaniillos- VII Región)

Actividad (en este punto explicar con detalle la actividad realizada y mencionar la información entregada) Charla sobre nuevas tendencias, técnicas e investigaciones en plantaciones y bosques naturales. Especial énfasis en mecanismos de evaluación de la captura de CO₂ y uso de plantaciones como sumideros de carbono. Esta charla se complemento en Santiago el día 12 de Noviembre, donde se profundizó los antecedentes y se discutió las perspectivas y debilidades de las nuevas tendencias en el uso de los bosques.

Fecha: 19 de Noviembre

Lugar (Ciudad e Institución) Santiago, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura.

Actividad (en este punto explicar con detalle la actividad realizada y mencionar la información entregada) Charla sobre nuevas tendencias, técnicas e investigaciones en plantaciones y bosques naturales.

Fecha _____

Lugar (Ciudad e Institución) _____

Actividad (en este punto explicar con detalle la actividad realizada y mencionar la información entregada) _____

2.2. Especificar el grado de éxito de las actividades propuestas, dando razones de los problemas presentados y sugerencias para mejorar.

La primera charla, tuvo una muy buena recepción por parte de los participante, de tal forma que la temática se debió ampliar en Santiago. La receptividad e interés fue alta. Sin lugar a duda los estudiantes, que en este caso corresponden a alumnos de cuarto de la carrera de Ingeniería Forestal, pudieron interiorizarse de las nuevas tendencias en Ciencias Forestales.

Las actividades de difusión tuvieron éxitos diversos, la que estaba orientado a los estudiantes fue recepcionada de buena forma, en el caso de los profesionales e investigadores, por problemas de fecha el público fue escaso. Tengo al impresión que en una actividad como esta, la mejor forma de difusión a nivel nacional debería ser mediante una nota técnica o un artículo de difusión en revistas, que en este caso podría ser en una revista científica o de difusión, de esa manera se garantizaría, la difusión y la calidad del trabajo que se esta presentando.

2.3. Listado de documentos o materiales mostrados en las actividades y entregados a los asistentes (escrito y/o visual). (Se debe adjuntar una copia del material)

Tipo de material	Nombre o identificación	Idioma	Cantidad
Fotocopias	Artículos relevantes del congreso	Español	10 páginas

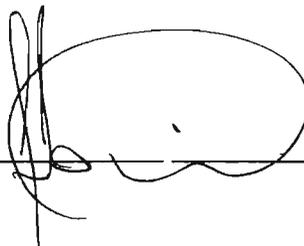
3. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

Indicar los problemas administrativos que surgieron en la preparación y realización de las actividades de difusión.

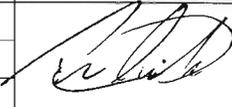
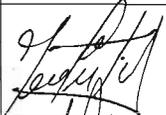
No hubo problemas

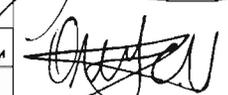
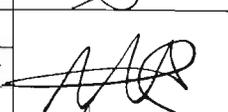
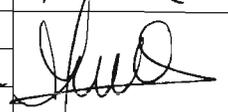
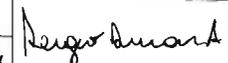
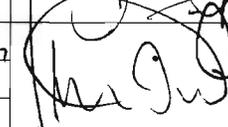
Fecha: 29 de Noviembre

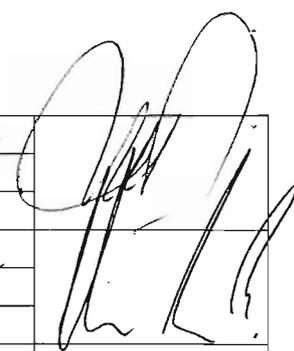
Firma responsable de la ejecución:



ASISTENTES A ACTIVIDAD DE DIFUSIÓN

Nombre	Actividad Principal	Institución o Empresa	Teléfono Fax e-mail	Firma
Ronald Aliste M.	Estudiante	Universidad de Chile	NEVUCO@enelchile.net	
MARIO BASTIAS F	ESTUDIANTE	UNIVERSIDAD DE Chile	m_bastias@yahoo.com	
FELIX HIDALGO REYES	ESTUDIANTE	UNIVERSIDAD DE CHILE	FELIXHIDALGO@YAHOO.COM	
Ideald Salazar I	Estudiante	Universidad de Chile	soletas@yahoo.es F: 6825586	
CARLOS APARICIO J	ESTUDIANTE	UNIVERSIDAD de CHILE	CARAPAR@latinmail.com F: 8571627.	
DANIEL TAPIA C.	ESTUDIANTE	UNIVERSIDAD DE CHILE	RATAPIA@TUTOPIA.COM	
Sebastián Coloma A.	"	"	6833769 Sebastian_Coloma@yahoo.com	
M ^o Julia Saavedra H	ESTUDIANTE	UNIVERSIDAD de Chile	7651056 ndrvsaa-cl@yahoo.es	
CARLOS GARFAS	ESTUDIANTE	UNIVERSIDAD DE CHILE	5260415	

RICARDO GONZALEZ A.	Estudiante	Universidad de Chile	F: 6967309	
OSCAR SOTOMAYOR G.	Estudiante	Universidad de Chile	F: 2290787 SOTAUC@Latinmail.com	
Luis Toledo A.	Estudiante	Universidad de Chile	F: 528875 toledo@entelchil.net	
Yolanda Huñez	Estudiante	Universidad de Chile	F: 2051773 innios@latinmail.com	
Sandra Rube	Estudiante	Universidad de Chile	F: 2981589 sandrur@123mail.cl	
Sergio Duran	ESTUDIANTE	UNIVERSIDAD DE CHILE	F: 095989804 Sergioduranpds@topnet.com	
Cealoz Oyarzun L.	Estudiante	Universidad de Chile	F: 3162829 cealozoyarzun@x2koo.com	
Roberto Gonzalez A.	Estudiante	Universidad de Chile	F: 2810725 TKKAAIL@yahoo.com	
Sorac Martinez	Estudiante	Universidad de Chile	F: 644 5963 smartinez@mundoclouds.com	
Claudia Rojas	Jug. Forestal	Univ. de Chile	C- rojas16@yahoo.com	

Raúl Caprile N.	Jug. Forestal	Universidad de Chile	rcaprile@uchile.cl	
Alvaro Promis B	Ing. Forestal	Universidad de Chile	apromis@uchile.cl	