

BALANCE DE NUTRIENTES EN CUENCAS HIDROLÓGICAS EXPERIMENTALES PARA DETERMINAR LA SOSTENIBILIDAD DE LAS PLANTACIONES DE ESPECIES FORESTALES DE CRECIMIENTO RÁPIDO EN GALICIA

José A. Vega y Cristina Fernández

*Departamento de Protección Ambiental.
Centro de Investigaciones Forestales de Lourizán. Apdo. 127. 36080. Pontevedra.
jvega.cifal@siam-cma.org*

Resumen

El CIFA de Lourizán inició en 1987 un estudio sobre el balance hídrico y de nutrientes en un conjunto de tres cuencas hidrológicas experimentales instaladas en masas de *P. pinaster* y *E. globulus*, representativas de las condiciones costeras del sur de Galicia. Estos dispositivos experimentales están dotados de estaciones de aforo donde se monitoriza el caudal de agua de salida de las cuencas, al tiempo que se contabilizan las entradas mediante estaciones meteorológicas efectuándose también análisis del flujo de nutrientes. El estudio del balance de nutrientes a escala de cuenca hidrológica experimental aporta información esencial para evaluar la sostenibilidad de esas masas sometidas a una selvicultura intensiva y proponer alternativas de manejo que permitan mantener las pérdidas de nutrientes en un rango tolerable. Los resultados obtenidos indican que los balances de entradas y salidas de nutrientes resultan negativos con el actual sistema de aprovechamiento de *E. globulus*. Aunque la corta a hecho supone un aumento de la salida de nutrientes por escorrentía, no parece que esa cantidad sea crítica. La principal fuente de desequilibrio es la extracción de biomasa. Varios de los nutrientes esenciales resultan claramente afectados por el actual sistema de explotación sin que los sistemas naturales de reemplazamiento parezcan con capacidad suficiente para reponer esas pérdidas en el turno.

Palabras clave: *E. globulus*, corta a hecho, escorrentía, Galicia.

INTRODUCCIÓN

E. globulus es una de las especies forestales económicamente más importante en la Comunidad gallega. La mayor parte de las plantaciones de esta especie son efectuadas sobre suelos poco desarrollados y de baja fertilidad, a menudo con fuertes pendientes y sometidas a turnos cortos.

El Centro de Investigaciones Forestales y Ambientales de Lourizán comenzó estudios sobre el balance hídrico y de nutrientes en masas de *E. globulus* y *P. pinaster* en 1987, instalando para ello una pequeña red de cuencas hidrológicas forestales en masas de esas especies representativas de las condiciones de la zona costera del Sur de Galicia. Estos dispositivos experimentales instalados sobre sustratos graníticos y en suelos de poca profundidad, están dotados de estaciones de aforo donde se monitoriza el caudal de agua de salida de las cuencas, al tiempo que se contabilizan las entradas mediante estaciones meteorológicas. De esta forma puede establecerse el uso de agua de la especie forestal en cuestión, calculando al final de cada año hidrológico la diferencia entre las entradas por precipitación y las salidas por escorrentía total.

El empleo del balance hídrico proporciona además la posibilidad de estudiar simultáneamente el balance de nutrientes. Una gran variedad de factores pueden afectar a los ciclos biogeoquímicos de las cuencas forestales y el balance citado es un instrumento útil para analizar la respuesta del sistema a distintas perturbaciones o actividades selvícolas y poder así determinar los tiempos de recuperación, los elementos que son más críticamente afectados por esos factores, permitiendo así evaluar la sostenibilidad de la selvicultura intensiva a una escala representativa.

En este trabajo se presentan datos sobre cómo el sistema de explotación actual de *E. globulus* afecta al balance de nutrientes y la repercusión que ello tiene sobre la sostenibilidad de este manejo intensivo.

MATERIALES Y METODOS

Sitios de estudio

Cuenca Castrove

Situada en el cordal de montes del Castrove (42°26'40'' - 42°27'00''N y 8°43'30'' - 8°43'55'' W), cerca de la ría Pontevedra. Su superficie es de 9.9 ha, su altitud varía entre 348 y 445 m sobre el nivel del mar, con una pendiente media del 22%. Orientación es S-SE. Los suelos son de textura franco-arenosa, desarrollados sobre granito. El clima es oceánico. La precipitación media anual es de unos 2000 mm. La temperatura media anual es de 14°C.

La cuenca está completamente cubierta por una plantación de *E. globulus* Labill. También se encuentran presentes *Acacia melanoxylon* R. Br. grows (principalmente en las zonas más húmedas de la cuenca) *Ulex europaeus* L. y *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.

Instrumentación de la cuenca

La cuenca está dotada de una estación de aforo con vertedero en V de 90°. La altura sobre la lámina de agua es registrada por medio de un limnógrafo OTT tipo X. La estación de aforo dispone de un muestreador automático de toma continua de muestras de agua para análisis químico. Existen además una estación meteorológicas equipada con pluviómetros, pluviógrafo, anemómetro, higrotermohigrógrafo, termómetros de máxima y mínima y evaporímetros.

Análisis

El balance hídrico en cuencas forestales se estima comúnmente como la diferencia entre precipitación y escorrentía, al asumir que son un sistema cerrado (p. ej. CHOW, 1964; TOEBES & OURIVAEV, 1970). Esa diferencia se obtiene al final de la estación seca por lo que la influencia de la recarga de agua del suelo puede considerarse despreciable. En nuestro caso el período considerado para el cálculo del balance (año hidrológico) fue del 30 Septiembre al 1 Octubre.

Las muestras de precipitación y escorrentía fueron tomadas con frecuencia semanal y determinada su concentración de Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica en presencia de lantano, y de K y Na por emisión. Además de NO_3^- y PO_4^{-3} por cromatografía iónica.

La entrada de nutrientes por precipitación fue determinada en cada cuenca multiplicando la concentración de la muestra semanal por el volumen de agua recogido en el mismo período. Análogamente, se obtuvo la cantidad de nutrientes exportadas en las aguas de escorrentía.

En el verano de 1992 se practicó una corta a hecho en la cuenca Castrove. La magnitud del cambio en el balance de nutrientes después de esta operación selvícola se estimó mediante ecuaciones de regresión obtenidas en los períodos pre-perturbación mediante la técnica de cuencas pareadas, actuando la cuenca de *P. pinaster* como control.

Para estimar la cantidad de biomasa exportada al final del turno se realizaron inventarios de alturas totales, diámetro normal en varios puntos de la cuenca.

RESULTADOS

Los balances de nutrientes (Tabla 1) mostraron que, en períodos libres de perturbación, siempre existe una capitalización de los nutrientes aportados en la precipitación, es decir, que los balances (entrada-salida) son positivos para los nutrientes analizados (K, Ca, Mg, P y NO_3^-).

En la Tabla 2 se resume la inmovilización media para cada nutriente en el turno (15 años) en las fracciones de corteza y madera. Las cantidades de Ca y P inmovilizadas en la corteza resultaron casi cuatro veces superiores a las medidas en la madera.

La corta a hecho efectuada en el año hidrológico 1992-1993 provocó un aumento significativo de la salida de nutrientes por escorrentía que se mantuvo durante los dos años posteriores a la ejecución de esta actividad selvícola (Tabla 3). Los incrementos más importantes en relación a las salidas esperadas durante el primer año post-corta, se detectaron en el caso del NO_3^- (9 veces), seguido por K (4,5 veces) y Ca (4 veces). Aún así, los balances continuaron siendo positivos para el K, Ca y Mg. Durante el segundo año post-corta, se exportó por escorrentía 4 veces más P y 3 veces más Ca de lo esperado en ausencia de perturbación. De nuevo las cantidades de nutrientes en las aguas de escorrentía fueron inferiores a las entradas por precipitación.

Los balances de nutrientes calculados teniendo en cuenta todas las pérdidas asociadas a las

operaciones de corta (Tabla 4) muestran resultados claramente negativos, especialmente para el Mg y P.

DISCUSIÓN

Los balances de nutrientes positivos obtenidos en ambas cuencas en ausencia de perturbación son característicos de sistemas oligotróficos, con suelos pobres, especialmente en Ca y Mg, fuertes cantidades de carbono inmóvil, baja polución y una fuerte inmovilización por el arbolado y, por lo tanto, extremadamente sensibles a las perturbaciones. En una revisión de balances en varias cuencas sobre sustratos de las mismas características que las estudiadas, DAMBRINE et al. (2000) detectaron balances positivos de Nitrógeno cualesquiera que fueran las condiciones climáticas. Sin embargo, los balances positivos de Ca y K detectados en nuestro caso, eran menos frecuentes.

El aumento de las salidas de nutrientes detectado tras la corta en la cuenca Castrove se debió sobre todo a un incremento de la producción de agua por escorrentía, más que a una modificación acusada de las concentraciones, por lo que la modificación del balance hídrico parece crítica en el control de las pérdidas de nutrientes después de estas operaciones selvícolas. La aceleración de la nitrificación, que aumenta la cantidad de NO_3^- en un momento en el que la vegetación no puede absorberlo y que además favorece la lixiviación de cationes puede ser también responsable del aumento de las pérdidas de nutrientes por escorrentía (p.ej. BORMANN & LIKENS, 1970; TIEDEMANN et al., 1988; HORNBECK & LEAK, 1992; MALMER & GRIP, 1994; DAHLGREN, 1998). En nuestro caso, la corta a hecho aumentó las salidas de nitratos por escorrentía por nueve durante el primer año post-tratamiento. En un estudio de la mineralización del N a nivel local en parcelas de *E. globulus* (FERNÁNDEZ, 2002) se encontró que la quema de restos esparcidos podría aumentar la nitrificación once veces en relación al control, evidenciándose una respuesta distinta en función del tratamiento de residuos efectuado.

Debido a que la salida de nutrientes en forma de sedimentos u orgánica (N y P) no fue cuantificada, las pérdidas de nutrientes por escorrentía podrían estar subestimadas, pero, incluso si esas cantidades fueran el doble de las obtenidas, algo poco probable, supondrían un impacto mucho menor sobre el capital de nutrientes de estos lugares que la exportación de la biomasa. Esto es consistente con los resultados de otros autores, incluso para aquellos experimentos en los que se encontraron aumentos de las pérdidas de nutrientes por escorrentía como consecuencia de la corta prolongados durante varios años (p. ej. HORNBECK et al., 1990; BRIGGS et al., 2000). BRUIJNZEEL (1990) en una revisión de experimentos en el SE de los Estados Unidos y E de Australia también concluyó que las pérdidas de nutrientes a través de los procesos hidrológicos eran despreciables en comparación con las producidas por la extracción de biomasa y quema de los residuos (volatilización).

A la vista de la información de la Tabla 4 cabe preguntarse si las pérdidas de nutrientes durante la corta y la manipulación de residuos podrían exceder la tasa de recuperación por meteorización o por precipitación, especialmente cuando los turnos son cortos ya que las cantidades de nutrientes cambiables del suelo en nuestros suelos son especialmente bajas. DAMBRINE et al. (1997) investigaron la contribución de los horizontes más profundos del suelo a la asimilación de Ca por *E. globulus*, utilizando el ratio isotópico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. La comparación de los ratios isotópicos de las hojas y raíces a distintas profundidades mostraron que la mayor parte del Sr acumulado en las plantas procedía de los horizontes superficiales. Asumiendo que el Sr se comporta de forma similar al Ca en el sistema suelo-planta, esa misma conclusión podría aplicarse al Ca. Según esto y bajo estas condiciones climáticas, la nutrición en Ca del eucalipto parece ser muy dependiente del reciclado en los horizontes superficiales y de las entradas por precipitación. DAMBRINE et al. (2000) midieron en la cuenca de eucalipto los aportes por meteorización para el Ca Mg y K, constatando que difícilmente se podría mantener la absorción de *E. globulus* por esta vía. Nuestros resultados estarían de acuerdo con lo encontrado por MERINO et al. (2005) en plantaciones de pino y eucalipto de Galicia.

La precipitación proporciona, por tanto, el aporte de nutrientes más importante, especialmente en los eucaliptales. Otras vías de entrada como la deposición seca o meteorización son muy difíciles de medir aunque probablemente supongan una cantidad menor que la proporcionada por la

precipitación y pueden considerarse como una parte integrada en las salidas por escorrentía en el balance de nutrientes (RANGER & TURPAULT, 1999).

El N no parece ser un problema, dada su abundancia en estos suelos. Además, los altos niveles de mineralización neta observados en esos suelos (FERNÁNDEZ, 2002) sugieren que la disponibilidad de N no debería ser limitante para el desarrollo de las nuevas plantas.

Para la mayor parte de las especies del Género *Eucalyptus* una manera de reducir ostensiblemente las exportaciones de nutrientes sería descortezar en el sitio. En distintos experimentos en parcelas de eucalipto (BAKER & ATTIWILL, 1985; ADAMS & ATTIWILL, 1988; LAMBERT & TURNER, 1991; MERINO et al., 2005) se ha constatado que las pérdidas de N y P podrían reducirse a la mitad y las de K, Mg y especialmente Ca hasta más del 80%, sólo con no extraer la corteza.

En nuestro caso (Tabla 2), la extracción de la corteza de *E. globulus* podría suponer un aumento de las pérdidas de nutrientes oscilando entre un 30% para el N y el 75% del P y el 76% del Ca, en relación a las pérdidas totales obtenidas sumando la extracción de biomasa con las pérdidas de nutrientes por escorrentía. La descomposición de los restos (fundamentalmente hojas) de la explotación pueden suponer además un aporte fundamental para recuperar las pérdidas asociadas a la corta (VEGA et al., 1996).

CONCLUSIONES

Los balances de nutrientes anteriores indican que existe un desequilibrio entre los actuales sistemas de explotación y las aportaciones de nutrientes al sistema de forma natural.

Al mismo tiempo se evidencia que esos balances constituyen una herramienta esencial en la evaluación de la sostenibilidad de la gestión forestal de estos eucaliptales de Galicia.

También los balances de nutrientes sirven de ayuda para una mejora de la gestión de este tipo de masas, la reducción de la intensidad de la explotación, el manejo conservativo de los residuos y la fertilización aparecen como posibles vías para mantener a largo plazo la productividad de estas masas.

BIBLIOGRAFÍA

ADAMS, M.A. & ATTIWILL, P.M.; 1988. Nutrient Cycling in Forest Northeast Tasmania. For. Res. Council. Tasmania.

BAKER, T.G. & ATTIWILL, P.M.; 1985. Above-ground nutrient distribution and cycling in *Pinus radiata* (D.Don) and *Eucalyptus obliqua* (L'Herit) forests in south-eastern Australia. *For. Ecol. Manage.* 13: 41-52.

BORMANN, F.H. & LIKENS, G.E.; 1970. The nutrient cycles of an ecosystem. *Scientific American.* 223(4):92-101.

BRIGGS, R.D.; HORNBECK, J.W.; SMITH, C.T.; LEMIN, R.C. Jr. & MC CORMACK Jr., M.L.; 2000. Long-term effects of forest management on nutrient cycling in spruce fir forests. *For. Ecol. Manage.* 138: 285-299.

BRUIJNZEEL, L.A.; 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: A estate of knowledge review. UNESCO-IHP. Humid Tropics Program.

CHOW, V.T.; 1964. Handbook of Applied Hydrology. McGraw Hill. New York.

DAHLGREN, R.A.; 1998. Effects of forest harvest on biogeochemical processes in the Caspar Creek Watershed. Land, Air and Water Resources Paper. Final Rep. California Dep. Forestry and Fire Protec. A.Nº 8CA17039.

DAMBRINE, E.; LOUBET, M.; VEGA, J.A. & LISSARAGUE, A.; 1997. Localisation of mineral uptake by roots using Sr isotopes. *Plant Soil.* 192: 129-132.

DAMBRINE, E.; VEGA, J.A.; TABOADA, T.; RODRÍGUEZ, L. ; FERNÁNDEZ, C.; MACÍAS, F. & GRAS, J.M.; 2000. Bilans d'éléments minéraux dans de petits bassins versants forestiers de Galice (NW Espagne). *Ann. For. Sci.* 57: 23-38.

FERNÁNDEZ, C.; 2002. Influencia de actuaciones selvícolas y perturbaciones en el balance hídrico y dinámica de nutrientes en cuencas experimentales. Su conexión con la sostenibilidad de la silvicultura intensiva en especies forestales de crecimiento rápido en Galicia. Tesis Doctoral. Universidad de Vigo.

HORNBECK, J.W.; SMITH, C.T.; MARTIN, C.W.; TRITTON, L.M. & PIERCE, R.S.; 1990. Effects of intensive harvesting on nutrient capitals of three forest types in New England. *For. Ecol. Manage.* 30:55-64.

HORNBECK, J.W. & LEAK, W.B.; 1992. Ecology and management of northern hardwood forests in New England. USDA. For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-159.

LAMBERT, M.J. & TURNER, J.; 1991. Nutrient cycling processes in Eucalyptus grandis forests on the New South Wales north coast. In: P.J. Ryan (ed.). *Productivity in Perspective: Third Australian Forest Soils and Nutrition Conference*. For. Commission of NSW: 198-199.

MALMER, A. & GRIP, H.; 1994. Converting tropical rainforest to forest plantation in Sabah, Malaysia. Part II. Effects on nutrient dynamics and net losses in streamwater. *Hydrol. Process.* 8: 195-209.

MERINO, A.; BALBOA, M.A.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R. y ALVAREZ GONZÁLEZ, J.G.; 2005. Nutrient exports under different harvesting regimes in fast-growing forest plantations in southern Europe. *For. Ecol. Manage.* 207: 325-339.

RANGER, J. & TURPAULT, M.P.; 1999. Input-output nutrient budgets as a diagnostic tool for sustainable forest management. *For. Ecol. Manage.* 122:139-154.

TIEDEMANN, A.R.; QUIGLEY, T.M. & ANDERSON, T.D.; 1988. Effects of timber harvest on stream chemistry and dissolved nutrient losses in Northeast Oregon. *For. Sci.* 34(2):344-358.

TOEBES, C. & OURIVAEV, V.; 1970. Las cuencas representativas y experimentales. Guía Internacional de prácticas en materia de investigación. UNESCO.

VEGA, J.A.; BARÁ, S.; GRAS, J.M.; FONTURBEL, T.; CUIÑAS, P.; BELOSO, M.C. y FERNÁNDEZ, C.; 1996. Efectos de la corta a hecho y tratamiento de restos sobre el régimen hidrológico y dinámica de nutrientes en eucaliptales y pinares de Galicia. Informe Final Proyecto INIA SC96-93096.

Tabla 1. Balance de nutrientes en un año promedio en una cuenca de *E. globulus*. (Cantidades en kg.ha⁻¹).

	K	Ca	Mg	Na	PO ₄ ⁻³	NO ₃ ⁻
Precipitación	7,06	8,40	6,29	51,91	0,49	1,53
Escorrentía	1,80	1,24	5,22	62,98	0,09	0,76
Neto	5,26	7,16	1,07	-11,07	0,40	0,77

Tabla 2. Inmovilización media en el turno (15 años) en una masa de *E. globulus*.

(Cantidades en kg.ha⁻¹).

	K	Ca	Mg	P	N
Corteza	46,5	94,5	40,5	75,0	34,5
Madera	42,0	25,5	15,0	21,0	68,3
Total	88,5	120,0	75,0	96,0	102,8

Tabla 3. Balance de nutrientes tras la corta a hecho en una cuenca de *E. globulus*.

(Cantidades en kg.ha⁻¹).

	K	Ca	Mg	Na	PO ₄ ⁻³	NO ₃ ⁻
<i>Primer año después de la corta a hecho</i>						
Precipitación	8,75	9,94	7,39	54,36	0,19	1,12
Escorrentía real	8,07	3,07	7,16	85,12	0,26	4,65
Neto	0,68	6,87	0,23	-30,8	-0,07	-3,53
Escorrentía esperada sin perturbación	1,78	0,76	3,67	39,35	0,08	0,49
<i>Segundo año después de la corta a hecho</i>						
Precipitación	5,89	4,91	9,93	98,16	0,42	3,61
Escorrentía	4,09	3,48	9,67	93,02	0,36	1,46
Neto	1,80	1,43	0,26	5,14	0,06	2,15
Escorrentía esperada sin perturbación	1,84	1,11	3,85	42,03	0,09	0,52
Aumento de salida de nutrientes por escorrentía debida a la corta	8,54	4,68	9,31	96,76	0,45	5,10

Tabla 4. Balance de nutrientes el turno (15 años) en una cuenca de *E. globulus*

(Cantidades en kg.ha⁻¹).

	K	Ca	Mg	PO ₄ ⁻³	N-NO ₃ ⁻
Precipitación (P)	105,9	126,0	94,4	7,4	23,0
Escorrentía (E)	27,0	18,6	78,3	1,4	11,4
P-E	78,9	107,4	16,1	6,0	11,6
Pérdidas por escorrentía asociadas a la corta (Ec)	8,54	4,68	9,31	0,45	5,10
Extracción de biomasa (B)	88,5	120,0	75,0	96,0	102,8
P-E-Ec-B	-18,1	-17,3	-68,2	-90,4	-96,3