



## MODELO INTEGRAL DE UNA PLANTACIÓN DE *Eucalyptus grandis* DE PRIMER CICLO EN CONCORDIA, ENTRE RÍOS

Jorge FRANGI<sup>1</sup>, Carolina PÉREZ<sup>1</sup>, Juan GOYA<sup>1</sup>, Natalia TESÓN<sup>2</sup>, Marcelo BARRERA<sup>1</sup>,  
Marcelo ARTURI<sup>1</sup>

### RESUMEN

La Mesopotamia argentina es la zona núcleo de especies forestales de rápido crecimiento del país. Numerosos trabajos realizados en plantaciones experimentales de *Eucalyptus grandis* en la EEA-INTA Concordia estudiaron sus aspectos estructurales y funcionales. A partir de éstos se plantea realizar un modelo integral que exprese características emergentes de los almacenajes de materia y procesos ecosistémicos. Se utilizaron datos de plantaciones de primer ciclo, al turno, de: biomasa, productividad primaria neta, flujos hídricos y de nutrientes, nutrientes en la biomasa, necromasa y suelo. Mayoritariamente la biomasa, productividad y requerimiento de nutrientes se asignaron a la parte aérea. La absorción fue la principal vía de provisión de nutrientes, excepto para el fósforo, donde lo fue la redistribución. Se verificó la captura de nitrógeno y fósforo de las precipitaciones por vía foliar en las copas. La vía principal de retorno de potasio fueron los flujos hídricos; la materia orgánica lo fue en el caso del nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio. Se analizan las implicancias ecológicas y de manejo de la importancia relativa de los almacenajes de nutrientes en compartimientos de la biomasa, la contribución de diferentes vías de provisión de nutrientes, las eficiencias de la plantación en la redistribución y uso de los nutrientes.

**Palabras clave:** *biomasa, necromasa, flujos hídricos, ciclo de nutrientes*

### 1. INTRODUCCIÓN

En el NE de Entre Ríos, *Eucalyptus grandis* constituye el 90% de la superficie forestada con eucaliptos (MAGyP, 2012). Estas plantaciones reemplazan pastizales y bosques abiertos naturales y su establecimiento provoca cambios en los suelos, la biodiversidad y los ciclos del agua (Carrasco-Letelier *et al.*, 2004; Sandoval *et al.*, 2012; Tesón, 2012), cuyos impactos negativos podrían reducirse con mejores prácticas. Existen estudios sobre las plantaciones de *E. grandis* en el NE de Entre Ríos que abordan aspectos estructurales y funcionales. El objeto de éste trabajo es elaborar un modelo integral de una plantación al turno, que exprese las características emergentes vinculadas con los almacenajes de materia y los procesos ecosistémicos que interesan desde el punto de vista de la ecología y el manejo del cultivo.

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se usaron datos de trabajos realizados en plantaciones de 11-14 años, localizadas en la EEA-INTA Concordia, ubicada a 12 km de la ciudad de Concordia. El clima es templado - cálido sin estación seca, con medias anuales de 18,7 ° C y 1345.3 ± 287.7 mm. La biomasa aérea se obtuvo por análisis dimensional (Goya *et al.*, 1997), la biomasa de raíces por muestras de cilindros de suelo (Luy *et al.*, 1997), el mantillo por métodos de cosecha (Goya *et al.*, 1997), la productividad primaria aérea neta por sumatoria del incremento medio anual más la caída de hojarasca (Goya *et al.*, 1997), la PPSN según Pérez & Frangi (2000) (Pérez *et al.*, 2012), los flujos hídricos y balance hidrológico por parcelas hidrológicas (Tesón, 2012), los flujos de nutrientes en la biomasa según Cole & Rapp (1981) (Barrera *et al.*, 2005; Pérez *et al.*, 2012), los nutrientes en la biomasa y mantillo por análisis químico por compartimiento y cálculo del contenido mineral (Goya *et al.*, 1997; Pérez *et al.*, 2013), e ídem en el

<sup>1</sup> Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales (LISEA), Universidad Nacional de La Plata. Contacto: [perezcarolina9017@gmail.com](mailto:perezcarolina9017@gmail.com) Tel/Fax: 0221 4271442

<sup>2</sup> Estación Experimental Agropecuaria Concordia, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Contacto: [nteson@correo.inta.gov.ar](mailto:nteson@correo.inta.gov.ar) Tel/Fax 0345 4290216



suelo hasta 60 cm de profundidad (Tesón, 2012), el contenido de nutrientes en las vías de agua por análisis químico por flujo de agua (Tesón, 2012; Tesón *et al.*, 2014). Los flujos de nutrientes totales incluyen a aquellos vinculados al ciclo de la materia, como así también los vinculados con los flujos hídricos. El retorno de nutrientes es la cantidad anual de nutrientes que llega al suelo por la caída de hojarasca y mortalidad de las raíces más los nutrientes en la trascolación y el flujo caulinar. La retención es el contenido de nutrientes en la producción anual de madera y raíces gruesas. Los requerimientos son la suma de la retención más el contenido de nutrientes en la producción de estructuras anuales (hojas, ramas finas, frutos, raíces finas). La absorción es la suma del retorno más la retención más los nutrientes que contenía el agua de lluvia y fueron absorbidos en las copas. Éstos se estimaron como la diferencia entre la precipitación bruta menos la precipitación neta. La redistribución es la diferencia entre requerimientos y absorción. Se calculó el lixiviado como la diferencia entre los nutrientes en la trascolación menos los nutrientes que ingresan a la plantación por depositación atmosférica seca y húmeda (precipitación bruta). Al valor de redistribución obtenido se le restó la cantidad de nutrientes lixiviados.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La biomasa y productividad aéreas fueron muy superiores a las subterráneas (Cuadro 1). Del total de nutrientes almacenados en la vegetación, la mayor parte se encontró en la biomasa aérea (Cuadro 2). Estas diferencias en la distribución de los nutrientes tiene importancia cuando se considera el efecto de las distintas prácticas de manejo sobre el stock de nutrientes en el ecosistema. La cosecha de la biomasa aérea arbórea implica una exportación de nutrientes equivalente al 92 a 98% del total almacenado en la biomasa dependiendo del nutriente considerado (Cuadro 2). Esto destaca la importancia para el sostenimiento de la fertilidad del suelo, de prácticas que aseguren la incorporación de los residuos de la cosecha. Los requerimientos de nutrientes fueron asignados en su mayor parte a la producción de tejidos aéreos. Los requerimientos de N fueron provistos mayormente por absorción que por redistribución, de manera inversa a lo que ocurre con el P (Cuadro 3). Se ha observado un descenso del N en el suelo de plantaciones de *E. grandis* respecto de los sistemas naturales que reemplaza (Goya *et al.*, 2013). La provisión de N principalmente mediante la absorción contribuiría a explicar el descenso del stock de N en el suelo mineral. La contribución de la redistribución a los requerimientos de P estaría reflejando adaptaciones de los *Eucalyptus* a los suelos pobres en P de su área de origen (Kriedemann & Cromer, 1996).

Aunque la redistribución de N y P contribuye a los requerimientos en una alta fracción, la captura de N y de P por vía foliar en las copas indica la avidez de las plantas por obtener el poco N y P que se mueve con el agua de lluvia. La diferencias en la concentración de K entre las hojas vivas y las senescente no puede atribuirse en un 100% a la redistribución, ya que el lixiviado contribuye con un tercio de dicho descenso. Para el Ca, de redistribución nula, los requerimientos fueron provistos por absorción (Cuadro 3). En el caso del N, P, Ca y Mg, las contribuciones relativas al retorno de los tejidos aéreos, subterráneos y los flujos hídricos mostraron que el mayor aporte fue a través de la caída al mantillo y la mortalidad de raíces. En cambio, la principal vía de incorporación de K al suelo fueron los flujos hídricos (Cuadro .3). Las hojas del mantillo de *E. grandis* presentan una baja tasa anual de descomposición ( $k=0,30$ ), que determina la acumulación de mantillo, la incorporación lenta de materia orgánica y la inmovilización y baja tasa de ingreso de nutrientes al suelo mineral (Goya *et al.*, 2008). Si se consideran las bajas tasas de descomposición del mantillo y que el retorno representa una fracción de la absorción de los nutrientes, resulta evidente que los nutrientes necesarios para sostener las altas tasas de crecimiento son provistos por los horizontes minerales a partir del legado de la vegetación natural preexistente. Los resultados de este trabajo y las consideraciones que se pueden hacer respecto de los posibles impactos de las prácticas silviculturales se refieren a plantaciones de primera rotación y para aquellos regímenes silvícolas que planteen la reforestación después del primer ciclo. La silvicultura en la que se considera el manejo del rebrote, que en algunos casos superan las tres o cuatro rotaciones, los efectos negativos se podrían ver atenuados (Goya *et al.* 2013).



**Cuadro 1.** Biomasa, necromasa y productividad primaria neta de la plantación de *Eucalyptus grandis* de primer ciclo en Concordia, Entre Ríos.

Parámetros	
Biomasa (Mg ha <sup>-1</sup> )	
Aérea	375,89
Subterránea	7,75
Total	383,64
Necromasa (Mg ha <sup>-1</sup> )	
Mantillo	27,9
Raíces muertas	0,6
Total	28,5
Productividad primaria neta (Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	
Aérea	43,18
Subterránea	1,78
Total	44,96

**Cuadro 2.** Contenido mineral de los distintos compartimientos de la biomasa, el mantillo y el suelo en una plantación de *Eucalyptus grandis* de primer ciclo en Concordia, Entre Ríos.

Compartimiento	Nutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )					
	C	N	P	K	Ca	Mg
Hojas	2372	83,3	5,4	40,8	65,8	14,9
Frutos	931	9,0	0,9	14,3	14,9	4,4
Ramas del año	980	10,1	1,4	8,1	24,5	3,3
Ramas < 1 cm	1779	11,6	1,2	10	30,3	5,2
Ramas 1-10 cm	5997	12,5	1,4	15,1	11,9	6,6
Corteza de ramas	293	2,0	0,5	2,5	14,7	2,2
Fuste sin corteza	155826	196,4	8,5	106,1	247,8	23,9
Corteza fuste	11520	70,9	18	111,5	699,7	47,7
Total aéreo	179698	395,8	37,3	308,4	1109,6	108,2
Raíces finas vivas	967	16,3	0,9	6,6	23,10	3,0
Raíces gruesas	2979	11,4	1,4	19,6	28,2	2,4
Total subterráneo	3946	27,7	2,2	25,6	51,3	5,4
Total biomasa						
Aérea+subterránea	183644	423,5	39,5	334,0	1160,9	113,6
Mantillo	14000	119,2	6,0	48,2	247,7	32,1
Suelo	66721	4368,0	731,0	3828,0	13892,0	5637,0

**Cuadro 3.** Flujos de nutrientes en la plantación de *Eucalyptus grandis* de primer ciclo en Concordia, Entre Ríos.



Flujos	Nutrientes (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )					
	C	N	P	K	Ca	Mg
<i>Hídricos</i>						
Precipitación Bruta	27,1	1,8	0,3	7,6	8,7	3,4
Precipitación Neta	114,1	0,9	0,1	21,9	10,9	5,0
<i>Aéreos</i>						
Retorno	9159,8	45,2	1,7	36,7	74,8	15,0
Retención	12918,9	19,3	2,0	9,0	39,6	3,0
Requerimientos	24728,2	116,8	9,3	80,8	116,9	30,4
Absorción	22078,8	64,5	3,7	45,7	116,9	18,0
Redistribución	2902,4	52,3	5,6	24,1	0,0	11,4
Lixiviado	65,0			11,0		1,0
<i>Subterráneos</i>						
Retorno	374,0	6,0	0,3	2,8	8,6	1,2
Retención	522,5	4,4	0,4	3,1	5,4	0,3
Requerimientos	896,5	10,5	0,7	5,5	14,4	1,5
Absorción	896,5	10,4	0,7	5,9	14,4	1,5
Redistribución		0,1	0,01			
<i>Totales</i>						
Retorno	9533,8	51,2	2,0	39,5	83,4	16,1
Retención	13441,5	23,7	2,3	12,1	45,0	3,3
Requerimientos	25624,7	127,3	9,9	86,3	131,3	31,9
Absorción	22975,3	74,9	4,3	51,6	131,3	19,5
Redistribución	2902,4	52,4	5,6	24,1		11,4
<i>Índices (%)</i>						
Retorno/Absorción	41	68	46	77	64	83
Redistribución/Requerim.	11	41	56	28		36
Absorción/Requerimientos	90	59	44	60	100	61

#### 4. CONCLUSIONES

La distribución relativa de los nutrientes en la biomasa aérea y subterránea reafirma la importancia de un adecuado manejo de los residuos de la cosecha en plantaciones de *E. grandis* ya que la exportación de nutrientes almacenados en la biomasa aérea implican una extracción elevada comparados con los almacenajes subterráneos

La importancia del legado edáfico y de nutrientes en el suelo en el primer ciclo, obliga a un manejo cuidadoso del suelo arenoso en las fases de preparación del terreno para plantar y las de cosecha-postcosecha.

El retorno de N, P, Ca y Mg destaca la necesidad de preservar la necromasa del horizonte orgánico, lo que contribuiría a un menor escurrimiento superficial y mayor infiltración que favorece la retención de K<sup>+</sup> en solución y su disponibilidad en el suelo.

La bajísima concentración de nutrientes en la precipitación bruta indica baja contaminación atmosférica e implica que los retornos de algunos nutrientes en los flujos hídricos es debida a su enriquecimiento durante la trascolación y flujo caulinar.

La avidez en la captura foliar del escaso N y P que fluye disuelto en agua de lluvia por las copas indica el carácter crítico que tienen estos nutrientes para las plantas.

La redistribución del K es sobreestimada sin no se considera el lixiviado.

Excepto el P, de mayor circulación bioquímica, los nutrientes circularon más por la vía biogeoquímica.

El P fue el nutriente con la mayor eficiencia de redistribución, por lo cual la plantación de *E. grandis*



mostró, para este nutriente, una mayor independencia de los procesos de mineralización/inmovilización edáfica que el N.

## 5. LITERATURA CITADA

BARRERA MD, GOYA JF & FRANGI JL. 2005. Ciclo y eficiencia en el uso de N y P en plantaciones de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) sobre diferentes tipos de suelos en Entre Ríos, Argentina. *Actas Tercer Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*. Corrientes, Argentina

CARRASCO-LETELIER L, EGUREN G, CASTIÑEIRA C, PARRA O & PANARIO D. 2004. Preliminary study of prairies forested with *Eucalyptus* sp. at the northwestern Uruguayan soils. *Environmental pollution*, 127(1): 49-55

GOYA JF, FRANGI JL & DALLA TEA F. 1997. Relación entre biomasa aérea, área foliar y tipos de suelos en plantaciones de *Eucalyptus grandis* del NE de Entre Ríos, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata*, 102: 1 - 20

GOYA JF, FRANGI JL., PÉREZ C & DALLA TEA F. 2008. Decomposition and nutrient release from leaf litter in *Eucalyptus grandis* plantations on three different soils in Entre Ríos, Argentina. *BOSQUE* (Chile), 29 (3): 217-226

GOYA J, ARTURI M, SANDOVAL DM, PÉREZ C & FRANGI, JL. 2013. Efecto de las Plantaciones de *Eucalyptus grandis* sobre el Contenido de N del Suelo en el NE de Entre Ríos. *IV Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*. Iguazú, Misiones, Argentina.

KRIEDEMANN PE & CROMER RN. 1996. The nutritional physiology of the eucalypts-nutrition and growth. En: Attiwill P & Adams M (eds) *Nutrition of Eucalypts*. CSIRO, Melbourne, Australia P 109-121

MAGyP ( Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación). 2012. *Elaboración de un mapa de plantaciones forestales de la República Argentina de actualización permanente*. Área SIG e Inventario Forestal. Dirección de Producción Forestal. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación.  
<http://www.minagri.gob.ar/new/0-0/forestacion/inventario/mapa%20de%20planta.html>

PÉREZ C & FRANGI JL. 2000. Grassland biomass dynamics along an altitudinal gradient in the Pampa. *Journal of Range Management*, 53: 518-528

PÉREZ C, FRANGI JL, LUY A, GOYA JF & ARTURI MF. 2012. Requerimiento y retorno de nutrientes de raíces finas en plantaciones de *Eucalyptus grandis*. *VII Congreso de Medio Ambiente de la AUGM*. La Plata, Argentina

PÉREZ C, FRANGI JL, GOYA JF, LUY A & ARTURI M. 2013. Contenido de nutrientes en las raíces finas y el mantillo de rodales de *Eucalyptus grandis* de diferente edad en la Mesopotamia Argentina. *BOSQUE* (Chile), 34(3): 303-310

SANDOVAL DM, GOYA J, ARTURI M, BURNS S & PÉREZ C. 2012. Efecto de plantaciones de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) sobre el contenido de carbono en suelos en el NE de la provincia de Entre Ríos. *XV Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales*. Eldorado, Misiones, Argentina

TESÓN N. 2012. *Balance hidrológico y flujo de nutrientes en plantaciones de Eucalyptus grandis, en Concordia, Entre Ríos*. Tesis Doctoral en Ciencias Naturales. La Plata, Argentina. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata: 171 p

TESÓN N, CONZONNO VH, ARTURI MF & FRANGI J L. 2014. Dissolved organic carbon in water fluxes of *Eucalyptus grandis* plantations in northeastern Entre Ríos Province, Argentina. *BOSQUE* (Chile), 35(3): 279-288