



XXIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Suelos... Huellas del pasado, desafíos del futuro

San Fernando del Valle de Catamarca,
Prov. de Catamarca, Argentina
21 al 24 de mayo de 2024



NUTRIENTES EN RESIDUOS DE COSECHA EN PLANTACIONES DE *SALIX SPP.* EN EL DELTA DEL PARANÁ (ZÁRATE)

Lupi, A. M.¹; Caffaro, M.²; Rimski-Korsakov, H.²; Mattos, A.³; Nuñez, S.⁴; Artero, D.⁴

¹Instituto de Suelos, CIRN, INTA. Los Reseros y Las cabañas. Hurlingham, Buenos Aires, Argentina E-Mail: lupi.ana@inta.gob.ar;

² Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. Facultad de Agronomía, UBA, Buenos Aires;

³ Profesional independiente.

⁴ Arauco Argentina S.A. Región Centro. Zarate. Buenos Aires.

RESUMEN: El estudio se centra en la importancia de los residuos de la cosecha en la conservación de nutrientes y la salud del suelo en plantaciones de sauce. La retención de los residuos leñosos se considera vital para mantener la disponibilidad de nutrientes a largo plazo en el suelo. El trabajo se llevó a cabo en tres lotes de la empresa Arauco Argentina S.A. Región Delta en Zarate, Buenos Aires, Argentina. Los lotes estaban implantados con sauces y el método de cosecha se denomina Cut to Length (CTL), donde se exporta solo el fuste y se deja la copa de los árboles en el lote al momento de la cosecha. Se recolectaron muestras de mantillo y residuos, clasificándolos en material leñoso y no leñoso y se analizó el contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). En uno de los lotes se observó una mayor distribución de los nutrientes en el material no leñoso, de mayor labilidad que el no leñoso, permitiendo que esos nutrientes estén disponibles en el corto plazo, mientras que en los otros dos la relación es inversa, indicando que estos nutrientes estarían disponibles en el mediano-largo plazo por su menor velocidad de descomposición. Del relevamiento surge que el contenido de N acumulado en los residuos varió entre 128 y 300 kg/ha, para el P entre 3,2 y 6.9 kg/ha y para el K entre 120 y 422 kg/ha. Estos resultados subrayan la importancia de comprender cómo los residuos afectan el ciclo de nutrientes y la disponibilidad para las plantas. Mantener los residuos en el sitio reduce la exportación de nutrientes de los lotes y mejora la sustentabilidad a largo plazo de estos modelos productivos donde se emplean especies de rápido crecimiento.

PALABRAS CLAVE: Producción forestal, nutrientes, Delta.

INTRODUCCIÓN

El manejo de la materia orgánica (MO) en el período inter-rotación es un aspecto crítico para asegurar la productividad de las plantaciones de rápido crecimiento en los ciclos sucesivos (Mendham *et al.*, 2003). La aplicación de técnicas intensivas de cosecha y de preparación del sitio pueden provocar un impacto negativo sobre el nivel y la calidad de la MO (Nambiar, 1995). La cosecha forestal altera el ciclo del carbono (C) provocando pérdida de las sustancias húmicas del mantillo y del horizonte superficial del suelo mineral (Ussiri & Jhonson, 2007). A medida que los restos leñosos se descomponen, los nutrientes se liberan y se almacenan en el suelo o son utilizados por las plantas para su crecimiento. Por lo tanto, la retención de los restos leñosos en los rodales cosechados se considera importante para mantener la disponibilidad de nutrientes a corto y largo plazo (Thiffault *et al.*, 2011, Tamminen *et al.*, 2012). En el sistema de cosecha donde solo se exporta el fuste, y la copa se permanece en el sitio, la preocupación suele enfocarse en el exceso de residuos leñosos o se da poca atención a la exportación de nutrientes en el fuste. El aumento en la demanda de energía a partir de biomasa de residuos abre la posibilidad de empelar esta fuente generando



incertidumbre sobre su potencial impacto sobre el capital de nutrientes, especialmente cuando los suelos tienen una capacidad inherentemente baja para suministrar nutrientes. Tal es el caso de nutrientes como N, P, K y Ca, los cuales han demostrado estar fuertemente correlacionados con la producción de madera (Turvey y Smethurst, 1994). El objetivo de este trabajo fue cuantificar la cantidad de nutrientes (NPK) en residuos de la cosecha forestal en plantaciones de salix spp en ambientes del Delta del Parana.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en dos predios de la empresa Arauco Argentina Región Delta S.A., localizada en el departamento Zarate, provincia de Buenos Aires, Argentina. Según la clasificación climática de Köppen-Geiger el clima de la región es del tipo climático Cfa, templado con lluvias todo el año (Malvárez 1997). Las temperaturas medias anuales rondan los 16,7° C y los 18° C, y las precipitaciones medias anuales alrededor de 1000 mm. El balance hídrico según el método de Thornthwaite y Mather (1955) indica que, no se registra un neto período de déficit hídrico en el año. Según se indica en Falasca y Ulberich (1999); Gómez y Ferrao (1986) y Pereyra et al. (2004) los suelos son aluviales y jóvenes, con escaso grado de desarrollo pedogenético y rasgos hidromórficos intensos. Los suelos predominantes del área pertenecen al orden de los Entisoles (Udifluventes, Endoacuentes y Fluvacuentes) y en menor medida al de los Molisoles, reconociendo a nivel de suborden un régimen de humedad ácuico. Las porciones deprimidas presentan suelos de los tipos Haplacuentaérico y Haplacuolhístico, los que se caracterizan por altos contenidos de materia orgánica (hasta 40%) y bajos valores de pH (entre 4 y 5). Los materiales originales corresponden a texturas medias, principalmente franco-arenosas y franco-areno-limosas que provienen del retrabajo de las arenas y limos y, en algunos casos, de sedimentos marinos (determinando la ocurrencia de suelos con altas concentraciones de sodio). Estos sedimentos, predominantemente finos, presentan una adecuada capacidad para el almacenamiento de iones y nutrientes (Neiff y Malvárez 2004).

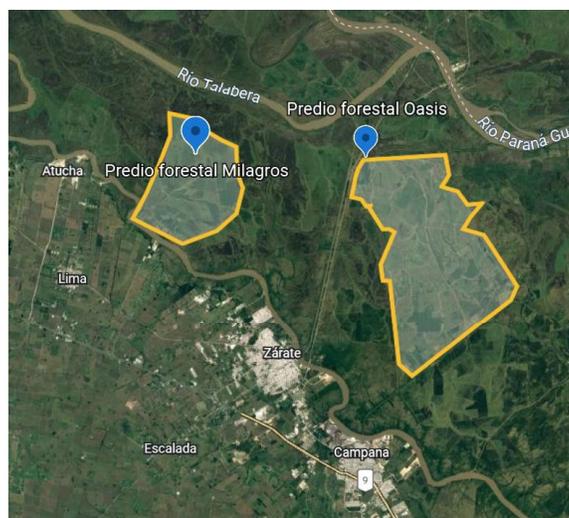


Figura 1. Vista satelital y ubicación del predio forestal Oasis y del predio forestal Milagros. Fuente: Google Earth.

La empresa aplica el sistema de cosecha Full Mecanizada - Cut to Length (CTL, madera corta) el cual consiste en cortar los árboles dentro del bosque, trozarlos a la medida y dimensiones requeridas y, posteriormente, extraer las trozas de manera que quedan clasificadas por producto final al costado de un camino. Los residuos de la cosecha (restos de fuste y copa) permanecen distribuidos sobre el terreno.

En este estudio se determina la cantidad de N, P y K en la biomasa de residuos de post cosecha, en 3 lotes, cuantificados en el trabajo de Carffaro et al., (2024): 1) El Lote 5 (MILAGROS) clasificado como un lote de buena calidad estaba implantado con *Salix babylonica* var. *sacramenta* de 24 años a una densidad de 637 árboles/ha; 2) El Lote 7 (OASIS) se encuentra implantado con *Salix matsudana* x *alba*, de 14 años y con una densidad actual de 1.259 plantas por ha. Este lote, al igual que el 84, tuvo 3 rotaciones previas a la estudiada. 3) El Lote 84 (OASIS), con el mismo genotipo que en el Lote 7 pero de 13 años contó con una densidad de 1.668 plantas por ha.

Se tomaron 20 muestras por lote en situación de postcosecha. Para esto se dispuso, de manera aleatoria, un marco de 50 x 50 cm y se recolectó todo el material orgánico comprendido en esta superficie. El mantillo incluye tanto biomasa viva (plantas, hongos) como necromasa y residuos leñosos de hasta 8 centímetros de diámetro. Luego se clasificaron en componente leñoso y/o no leñoso. Las muestras fueron secadas en estufa a 65°C hasta alcanzar peso constante. Se conformaron tres muestras compuestas (tres muestras para material leñoso y tres para el material no leñoso). En esas muestras se determinó la concentración de Nitrógeno total (Kjeldahl), de P (digestión seca-colorimetría) y el K (espectrometría de absorción atómica). Se calculó la cantidad de nutrientes por hectárea que permanecen en el suelo post cosecha. Finalmente se realizó un análisis de varianza (ANVA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran las concentraciones de N, P y K por lote, según clase de residuos. El N se presenta en mayores concentraciones en el material no leñoso y de mayor velocidad de descomposición. A excepción del Lote 7, en el Lote 5 y 84 los niveles de P y K son algo mayores en el material no leñoso. Conocer la cantidad de nutrientes en los residuos de la cosecha nos permite 1) dimensionar cuanto de estos nutrientes estamos exportando frente a un sistema de cosecha de cosecha con exportación de biomasa, 2) que cantidad de nutrientes retornarán al suelo mediante el proceso de descomposición y podrán estar disponibles para las plantas o volverán al suelo en estructuras orgánicas.

	N(%)	P (mg/kg)	K(%)
Lote 5			
No leñoso	1,22 ±0,28	244,4± 27,01	1,83±0,76
Leñoso	0,74 ±0,18	197,9± 11,14	1,01±0,40
Lote 7			
No leñoso	1,65 ±0,64	241,1± 19,2	0,87±0,09
Leñoso	0,80 ±0,21	247,9± 24,4	0,94±0,04
Lote 84			
No leñoso	1,25 ±0,46	196,5± 11,9	1,21±0,10
Leñoso	0,64 ±0,17	163,6± 12,9	1,11±0,11

Tabla 1: Concentraciones de N, P y P por lote y clase de residuos

En la Figura 2 puede verse la cantidad y distribución de NPK respectivamente. Como se ve, el contenido de nitrógeno fue, en promedio, 301 kg N ha⁻¹ para el lote 5, 128 kg N ha⁻¹ en el lote 7 y 152 kg N ha⁻¹ para el lote 84 (Fig. 2a), siendo los lotes 5 y el 84 los que presentan

presentan una mayor dispersión en el contenido de N en los residuos.

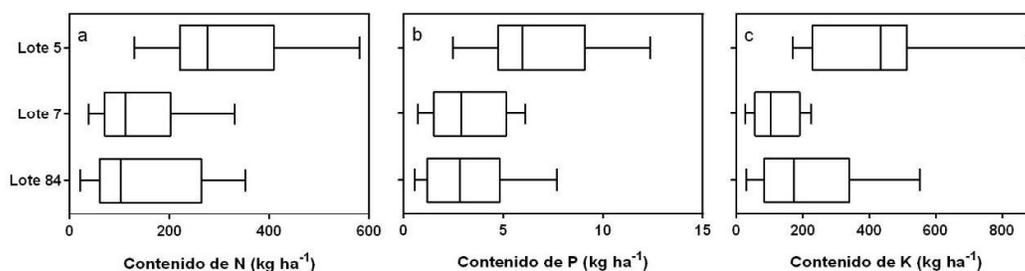


Figura 2: Boxplot del contenido de: a, N (kg ha⁻¹); b, P (kg ha⁻¹) y c, K (kg ha⁻¹) en los tres lotes (5, 7 y 84). Las líneas extremas de la caja indican los cuartiles 0,25 y 0,75, la línea interna indica la mediana (0,50) y los extremos de la línea horizontal representan los valores mínimos y máximos.

En relación con el contenido de P (Fig. 2b), podemos ver el mismo comportamiento que con el N, siendo los lotes 5 y 84 los que presentan una mayor dispersión. En promedio el lote 5 presenta 6,94 kg P ha⁻¹, mientras que los lotes 7 y 84 tienen un promedio de 3,2 kg P ha⁻¹. Finalmente, el contenido de K (Fig. 2c), en promedio, fue de 422 kg K ha⁻¹ en el lote 5, 120 kg K ha⁻¹ en el lote 7 y 217 kg K ha⁻¹ en el lote 84. Al igual que con el resto de los nutrientes, la dispersión es más evidente en los lotes 5 y 84.

Bajo una hipótesis de exportación de residuos de la cosecha la cantidad de fertilizante necesario para reponer los nutrientes (según el lote) sería: 5 a 14 bolsas de urea para reponer el N exportado; 1 bolsa de superfosfato triple para reponer el P exportado y 5-16 bolsas de CIK para reponer el K exportado.

En la figura 3 se observa la distribución de NPK entre el material leñoso y no leñoso en los tres lotes. Para el lote 5 observamos que tanto el N (Fig. 3a) y el K (Fig. 3c) tienen una distribución del 40% en el material leñoso y 60 % entre el material no leñoso, mientras que el P (Fig. 3b) se distribuye en una proporción casi 50-50%. En los lotes 7 y 84 tienen una distribución similar entre el material leñoso y no leñoso: el N tiene una distribución 60-40 (Figs. 3b y c); mientras que la distribución de P y K en el lote 7 es la misma 80-20 (Figs. 3e y h) y en el lote 84, la distribución es 5-25 (Figs. 3 f e i).

El tipo de cosecha CTL (*cut to length*) y la conservación de los residuos sobre el suelo brindan ventajas en cuanto a su impacto sobre la reserva de nutrientes, de carbono y sobre el funcionamiento físico del suelo. Esto es particularmente importante si se los compara con prácticas aplicadas previamente como la quema de residuos de la cosecha o el sistema de cosecha *full tree*, que dejaba el lote descubierto. Se ha demostrado que el uso del fuego puede reducir los niveles de materia orgánica, generar volatilización de los nutrientes almacenados en los residuos y en el suelo, afectar la estabilidad de los agregados y reducir la infiltración, entre otros impactos. Así mismo el reemplazo del método FT (*full tree*) por el CTL, permite que restos del fuste y las copas de los árboles permanezcan en el terreno, devolviendo los nutrientes presentes en dichos residuos, que se perderían del lote al retirar todo el árbol completo. La utilización de los residuos como combustible para generar energía, una práctica aun no generalizada en el país. Sin embargo, de aplicarse debe realizarse un monitoreo de la calidad del suelo y un plan que permita la reposición de los nutrientes extraídos.

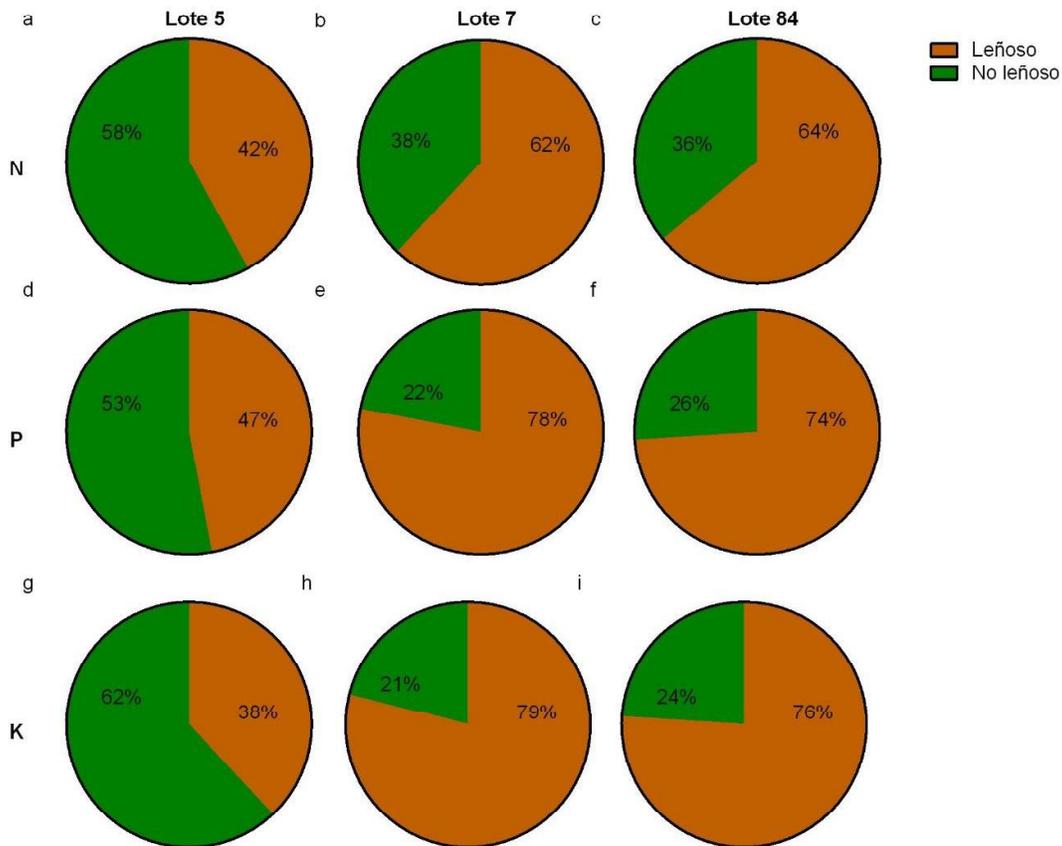


Figura 3: Proporción de la acumulación de nutrientes en el residuo leñoso y no leñoso de: a, N en el lote 5; b, N en el lote 7; c, N en el lote 84; d, P en el lote 5; e, P en el lote 7; f, P en el lote 84; g, K en el lote 5; h, K en el lote 7; i, K en el lote 84.

CONCLUSIONES

El contenido de N en los residuos de la cosecha varió entre 128 y 300 kg N/ha, para el P entre 3,2 y 6.9 kg/ha y para el K entre 120 y 422 kg/ha. Si bien los valores anteriores no corresponden en su totalidad a los nutrientes retenidos en los residuos de cosecha, ya que también se recolectó material de crecimiento natural, puede inferirse que la cantidad de nutrientes no exportados es de una magnitud importante, haciendo que el sistema sea más sustentable en el tiempo, en comparación con aquellos métodos en donde los residuos se quitan del lote para uso en la generación de energía, por ejemplo.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Arauco Argentina SA por el apoyo económico para la realización del ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

- Carlyle, J.C., M.W. Bligh, E.K.S. Nambiar. (1998). Woody residue management to reduce nitrogen and phosphorus leaching from sandy soil after clear-felling *Pinus radiata* plantations. *Can. J. For. Res.* 28:1222-1232.
- Caffaro, M.; A.M. Lupi; H. Rimski Korsakov; A. Nocerez; A. Mattos; D. Artero. (2024). Mantillo y residuos en situación de pre y post cosecha en plantaciones de *Salix spp.* En el Delta del Paraná (Zárate). XXIX Congreso argentino de la ciencia del suelo.

- Falasca S. & A. Ulberich (1999). Análisis de principales limitaciones de los suelos del Delta Argentino con fines productivos. *Espacio y Desarrollo* 11. 111-124.
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/8076/8370>
- Gómez LA, Ferrao F. (1986). Carta semidetallada de suelos del área Arroyo Ñancay-Brazo Largo. Escala 1:50000. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Castelar.
- Malvárez A.I. (1997). Las comunidades vegetales del Delta del Río Paraná. Su relación con factores ambientales y patrones del paisaje. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires
- Mendham, D.S; A.M O'Connell, T.S Grove, S.J Rance, 2003. Residue management effects on soil carbon and nutrient contents and growth of second rotation eucalypts, *Forest Ecology and Management*, 181, 3, 357-372, [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00007-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00007-0).
- Nambiar, S. E. K. (1995). Sustained productivity of plantations: Science and practice. In: Simposio IUFRO: Manejo nutritivo de plantaciones forestales. Valdivia, 1995, p.388-393.
- Neiff J.J. & Malvárez A.I. (2004). Grandes humedales fluviales. Documentos del Curso Taller Bases Ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina (Al Malvárez y RF Bó, comp.). Buenos Aires, 77-85.
- Pereyra FP, Baumann V et al (2004). Génesis de suelos y evolución del paisaje en el Delta del río Paraná. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 59:229-242
- Tamminen, P., A. Saarsalmi, A. Smolander, M. Kukkola, and H.- S. Helmisaari. 2012. Effects of logging residue harvest in thinning on amounts of soil carbon and nutrients in Scots pine and Norway spruce stands. *For. Ecol. Manage.* 263:31–38.
- Thiffault, E., K.D. Hannam, D. Paré, B.D. Titus, P.W. Hazlett, D.G. Maynard, S. Brais. (2011). Effects of forest biomass harvesting on soil productivity in boreal and temperate forests: A review. *Environ. Rev.* 19:278–309.
- Turvey, N.D., & P.J. Smethurst. (1994). Soil types as classes for managing the nutrient status of planted *Pinus radiata* in Victoria, Australia. *Aust. Forestry* 57:148-156.
- Ussiri, D. A. N.; Johnson, C. H. (2007) Organic matter composition and dynamics in a northern hardwood forest ecosystem 15 years after clear-cutting. *Forest Ecol. and Management* 240, 1-3, 31-142.