

Dinámica de la producción y descomposición de hojarasca en rodales de *Pinus elliottii* Engelm. y *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden en el nordeste de Corrientes

Dynamics of litterfall production and decomposition in stands of *Pinus elliottii* Engelm. and *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden in the northeast of Corrientes

Raúl Vicente Pezzutti¹ • Raúl Alberto Schenone¹ • Silvana Lucia Caldato¹ • Christian José Chrapek¹
• Andrea Catalina Rojas² • Víctor Raimundo Fernández²

Recibido: 7/27/2021

Aceptado: 10/4/2022

Abstract

This study evaluates litterfall production, forest floor mass and leaf-litter decomposition and growth in an 8-year-old *Eucalyptus grandis* stand and 467 trees*ha⁻¹ and in another 16-year-old *Pinus elliottii* stand with 533 trees*ha⁻¹, in the northeast of Corrientes, Argentina. In each stand, three permanent plots of 1000 m² were established. Four collectors of 1.0 m² and 12 litterbags of 20 cm² were randomly distributed in each plot. The measurements were made over 3 years. The relationship between environmental factors and leaf-litterfall was analyzed using the Pearson correlation coefficient (*r*). The *E. grandis* stand showed an annual increment (IMA) of 25.2 m³*ha⁻¹*year⁻¹, a mean annual litter production (PAL) of 10.1 Mg*ha⁻¹, an annual decomposition constant (K) of 0.7 and a half-life time (THL) of 1.0 years. The *P. elliottii* stand presented an IMA of 26.1 m³*ha⁻¹*year⁻¹, a PAL of 14.3 Mg*ha⁻¹, a K of 0.6 and a THL of 1.15 years. The highest material fall occurred during the summer for both species with maximum monthly mean values of 1.5 Mg*ha⁻¹ for *E. grandis* and 2.3 Mg*ha⁻¹ for *P. elliottii*. The leaves were the most representative component of the fallen material. The climatic variable that presented the highest correlation with material fall was the average monthly temperature. The dynamics observed in the stands, production, formation of mulch and its decomposition are characteristic of subtropical forests.

Keywords: Forest litter, decomposition rate, forest plantations.

1. Profesor, Agronomía, Universidad del Salvador, Gob. Virasoro, Corrientes, Argentina. raul.pezzutti@usal.edu.ar; raul.schenone@usal.edu.ar; silvana.caldato@usal.edu.ar; christian.chrapek@usal.edu.ar;

2. Estudiante de agronomía, Universidad del Salvador, Gob. Virasoro, Corrientes, Argentina. andrearojas@live.com.ar; vfernandez@gmail.com

Resumen

Este estudio evalúa la producción de hojarasca, la acumulación y descomposición del mantillo y el crecimiento en un rodal de *Eucalyptus grandis* de 8 años de edad y 467 árboles*ha⁻¹ y en otro de *Pinus elliotii* de 16 años de edad y 533 árboles*ha⁻¹, en el nordeste de Corrientes, Argentina. En cada rodal fueron instaladas 3 parcelas permanentes de 1000 m². Se distribuyeron 4 canastos de 1,0 m² y 12 litterbags de 20 cm², por parcela. Las mediciones fueron realizadas durante 3 años. La relación entre factores ambientales y caída de hojarasca se analizó mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r). El rodal de *E. grandis* presentó un incremento medio anual (IMA) de 25,2 m³*ha⁻¹*año⁻¹, una producción de hojarasca anual media (PHA) de 10,1 Mg*ha⁻¹, una constante de descomposición anual (K) de 0.7 y un tiempo de media vida (TMV) de 1,0 año. El rodal de *P. elliotii* presentó un (IMA) de 26,1 m³*ha⁻¹*año⁻¹, PHA de 14,3 Mg*ha⁻¹, K de 0,6 y un TMV de 1,15 años. La mayor caída de material se presentó durante el verano para ambas especies con valores medios mensuales máximos de 1,5 Mg*ha⁻¹ para *E. grandis* y de 2,3 Mg*ha⁻¹ para *P. elliotii*. Las hojas fueron el componente más representativo del material caído. La variable climática que presentó mayor correlación con la caída de material fue la temperatura media mensual. La dinámica observada en los rodales, producción, formación de mantillo y su descomposición es característica de los bosques subtropicales.

Palabras clave: Mantillo, tasa de descomposición, plantaciones forestales.

Introducción

De acuerdo con [1], la última actualización del Inventario Forestal de Bosques Cultivados realizado en el año 2019 muestra que la provincia de Corrientes cuenta con 516771 ha implantadas, lo que representa un 5.8% del uso del suelo provincial. Las hectáreas plantadas están conformadas por dos géneros principales: 352172 ha de *Pinus*, 161972 ha de *Eucalyptus*, y 2567 ha de otras especies.

Un sistema forestal depende del continuo reciclaje de los minerales para continuar su desarrollo. Las entradas provienen de la precipitación y polvo atmosférico y de la intemperización física y química del suelo y subsuelo mineral mientras que las pérdidas provienen de la lixiviación, la quema, la cosecha forestal y la erosión [2].

El manto orgánico de hojas, ramas, frutos, corteza, etc., que se forma sobre el suelo de un bosque es llamado mantillo. El funcionamiento de los ecosistemas forestales depende en gran parte de la descomposición del mantillo, el cual tiene un papel clave en el reciclaje de

nutrientes [3]. La descomposición del material orgánico que cae de los árboles hasta el suelo es una de las principales fuentes de carbono orgánico y de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) y da origen al “ciclo de nutrientes” dentro del sistema suelo-planta [4], [5], [6].

Los nutrientes son devueltos desde los árboles del bosque a la superficie del suelo y mantillo en combinación con una gran cantidad de carbono fijado a través de la fotosíntesis. Estos nutrientes se tornan disponibles para su absorción a través de los procesos de descomposición y mineralización, procesos claves en la regulación de la disponibilidad de nutrientes y determinación de la tasa de crecimiento del bosque [7].

De acuerdo con [8] cantidades significativas de nutrientes pueden retornar al suelo a través de la caída de material vegetal (hojarasca) y de su descomposición. Para [7] los dos factores más importantes que afectan la tasa de descomposición son el clima y la calidad de la hojarasca en términos de su susceptibilidad al ataque de descomponedores.

Según [9], las reservas de nutrientes y contenido de carbono en el suelo constituyen uno de los principales factores de la productividad de los sitios, por lo tanto, conocer el efecto de los cultivos sobre estos, constituye una de las bases del manejo forestal en un marco de sustentabilidad.

De acuerdo con [10] el mantillo retiene agua de lluvia, reduce la evaporación y las variaciones bruscas de la temperatura del suelo, mejorando la estructura del suelo y promoviendo el reciclado de nutrientes.

Para las forestaciones y su sustentabilidad es de sumo interés cuantificar de manera integral la producción maderable, los aportes de biomasa y nutrientes de la hojarasca al piso forestal y la formación y descomposición del mantillo.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la dinámica de la producción de hojarasca, la acumulación y la tasa de descomposición del mantillo y el crecimiento de plantaciones de *Pinus elliotii* Engelm. y de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden en el nordeste de Corrientes.

Materiales y métodos

Localización y caracterización del sitio

El área de estudio se localiza en el Campus de la Universidad del Salvador, en las cercanías de la ciudad de Gobernador Virasoro, provincia de Corrientes, Argentina. Los trabajos fueron realizados en un rodal de *E. grandis*

de 2,2 ha y 8 años de edad al inicio de la investigación y en un rodal de *P. elliotii* de 4,2 ha a partir de los 16 años de edad. La plantación del rodal de *E. grandis* (28° 11,4' 24" S y 56° 7,2' 19,1" W) a 110 msnm, se estableció en un suelo rojo arcilloso, bien drenado, en posición de paisaje denominado localmente "Loma" o lomadas cupuliformes correspondientes a la serie de suelos "Díaz de Vivar". La plantación del rodal de *P. elliotii* (28° 14' 22,2" S y 56° 11' 19,1" W) a 98 msnm, se estableció en un suelo gris de drenaje imperfecto en posición de paisaje denominado localmente tendido alto. Estos suelos corresponden a la serie "Sosa Cué" [11].

Para la caracterización química de los suelos, al iniciarse el estudio se obtuvieron muestras compuestas en cada rodal a dos profundidades (0-10; 10-20 cm). Estas, se procesaron en el laboratorio de la EEA-INTA, Cerro Azul, Misiones.

El clima de la zona es Cfa [12], siendo un clima mesotermal, cálido templado, sin estación seca, con precipitación máxima en el otoño y veranos muy cálidos. La temperatura media anual es de 20.5 °C y la precipitación media anual de 1800 mm.

Para el rodal de *E. grandis* el suelo fue preparado mecánicamente en el línea de plantación. Fueron realizados controles de malezas en el línea y de hormigas en el área durante los dos primeros años de la plantación. La densidad inicial fue de 1111 árboles por hectárea. Durante su desarrollo, la plantación fue afectada por tormentas y ataques de *Teratosphaeria zuluensis* (M.J. Wingfield, Crous & T.A. Coutinho) M.J. Wingfield & Crous, causante de canchros en el tallo [13], dejando una densidad de 460 plantas por hectárea a los 8 años de edad. Este rodal fue intervenido a edades tempranas con una poda baja a 2,4 metros de altura.

La silvicultura de establecimiento para *P. elliotii* fue la tradicional de la región con control inicial de malezas y hormigas, sin preparación de suelo en camellones. Durante la rotación el rodal fue raleado en dos oportunidades llegando a una densidad de 533 plantas por hectárea a los 13 años de edad. También el rodal fue intervenido con una poda baja hasta 2,4 metros de altura.

Mediciones y análisis de datos

Datos dasométricos

En ambos rodales fueron establecidas de manera aleatoria tres parcelas permanentes de 1000 m² de superficie y forma cuadrada. Durante 3 años, se realizaron mediciones de diámetro a la altura del pecho (1,3 m), altura total y altura al inicio de la copa viva.

Los datos fueron analizados a nivel de parcela y promedio del rodal para las variables número de árboles por hectárea (N), diámetro medio a la altura del pecho (DAP), diámetro cuadrático medio (Dg), altura total media (h), altura dominante (Hd), altura de inicio copa viva (AC), área basal por hectárea (G) y volumen total con corteza (VT) por hectárea e incremento medio anual en volumen (IMA) para cada edad. El volumen fue estimado utilizando la función de volumen presentada por [14] para *P. elliotii* y para *E. grandis*.

Para evaluar la competencia en la población, fueron calculados el índice de densidad de rodal (IDR) de [15] y el índice de densidad o espaciamiento relativo de Hart-Becking (S%), [16]. Las expresiones utilizadas fueron las siguientes:

$$IDR = N * \left(\frac{Dg}{25}\right)^{1.605} \quad (1)$$

Dónde: N es número de árboles*ha⁻¹ y Dg es diámetro cuadrático medio (cm)

$$S\% = \left(\frac{Em}{Hd}\right) * 100 \quad (2)$$

$$Em = \left(\frac{10000}{N}\right)^{0.5} \quad (3)$$

Dónde: Em es espaciamiento promedio entre árboles (m), N es el número de árboles por hectárea y Hd es la altura dominante (m).

Cuantificación de la hojarasca

El material caído desde la copa y fuste de los árboles fue recolectado en canastos de 1,0 m², construidos con madera y malla fina. Estos, se distribuyeron aleatoriamente en las parcelas permanentes y se instalaron a 15 cm del suelo. Se colocaron 4 canastos por parcela totalizando 24 unidades. Las recolecciones se llevaron a cabo mensualmente, el material fue separado en hojas, ramas, corteza, frutos y misceláneas. Se determinó el peso húmedo y el peso seco del material. El secado se realizó en estufa a 70° C hasta alcanzar peso constante.

Análisis de suelo y análisis químico de las hojas caídas

Fue realizado un muestreo de suelo para determinar las siguientes propiedades químicas: MO: Materia Orgánica Total (micro Walkley-Black, IRAM-SAGPyA 29571-3); C: Carbono Fac. Oxi. (Norma IRAM-SAGPyA 29571-2); N: Nitrógeno Total (semimicro Kjeldahl, IRAM-SAGPyA

29572); R: Relación C/N; P: Fósforo Extractable P2O5 (Bray-Kurtz I, IRAM-SAGPyA 29570⁻¹); extracción empleada según las Normas IRAM-SAGYP [17]; K: Potasio Intercambiable, Ca: Calcio Intercambiable, Mg: Magnesio Intercambiable, Na: Sodio Intercambiable, Al: Aluminio Intercambiable (Cationes de intercambio: extraídos con Acetato de Amonio 1.0 a pH 7.0) Acidez: Acidez Intercambiable (con Acetato de Calcio 1.0 N a pH 7.0); CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico, V: Saturación Bases, pH (H₂O) (1:2.5). Con barreno se extrajeron muestras de suelo de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm de profundidad conformando una muestra compuesta por rodal.

Durante el mes de mayo del primer año de recolección de hojarasca, fueron preparadas muestras compuestas de hojas provenientes de las 3 parcelas de cada rodal. En el laboratorio del INTA-Cerro Azul, se determinaron las cantidades de N, P y K, obtenidas por digestión nítrico-perclórica (fósforo, potasio) y el nitrógeno fue cuantificado por el método Kjeldahl [18]. Con los resultados del laboratorio y la cantidad de hojas caídas, se estimó la deposición mensual de N, P, K en kg*ha⁻¹.

Descomposición de hojas de la hojarasca

El proceso de descomposición de las hojas de la hojarasca se evaluó utilizando el método propuesto por [19] el cual consiste en estimar la pérdida de peso seco inicial. Dentro de cada parcela permanente, se colocaron al azar 12 bolsitas de 20 cm x 20 cm, con poros de malla de 1 mm. Cada bolsita contenía 30 g de material foliar. Se retiró mensualmente una muestra (bolsita) por cada parcela, para determinación de peso seco.

La tasa de descomposición fue calculada mediante la fórmula propuesta por (4):

$$Masa\ remanente\ (\%) = \left(\frac{masa\ final}{masa\ inicial} \right) * 100 \quad (4)$$

La constante de descomposición, K, fue calculada a través de la siguiente ecuación:

$$Pf = Pi * e^{(-k*t)} \quad (5)$$

Dónde: Pf es el peso final (remanente) del material seco, Pi es el peso inicial (en el momento 0) del material colocado en las bolsitas y T es el tiempo en días.

Los períodos de tiempo, en años, necesarios para la descomposición de 50 % y 95 % de una determinada porción de mantillo fueron calculados por las siguientes ecuaciones publicadas por [4] y aplicadas por [20].

$$t_{0,5} = -ln0.5k^{-1} \quad (6)$$

$$t_{0,05} = -3 * k^{-1} \quad (7)$$

Dónde: t_{0,5}= Tiempo de vida media y t_{0,05}= Tiempo de descomposición del 95%

Acumulación del mantillo

Para determinar la cantidad de mantillo acumulado al finalizar el período de estudio, en cada parcela de medición se estableció de manera aleatoria una parcela cuadrada de 0.25 m². El material contenido en la parcela fue retirado cuidadosamente, pesado y colocado en estufa a 70° C hasta alcanzar peso constante para la determinación posterior de peso seco.

Relaciones entre las variables climáticas y la caída de material

Las variables climáticas fueron recolectadas mensualmente en una estación meteorológica perteneciente al IAVNC (Instituto Agrotécnico Víctor Navajas Centeno). Por medio del coeficiente de correlación de Pearson, se estudiaron las correlaciones entre la caída de material y la temperatura, las lluvias y la velocidad del viento ocurridas mensualmente durante los 3 años de estudio.

Análisis estadístico

Los datos de caída de hojarasca fueron analizados por separado para cada especie (*Pinus* y *Eucalyptus*) en un delineamiento totalmente aleatorizado.

Primeramente, se comprobaron los supuestos de normalidad (Test de W Shapiro). Para el total de caída y componentes de la hojarasca se rechazó la hipótesis de normalidad al 1 % de probabilidad, por lo que se aplicó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y cuando las diferencias fueron significativas se utilizó la prueba de Comparaciones Múltiples para la separación de medias a 95 % de confiabilidad. Para evaluar la influencia de los factores climáticos (temperatura media, precipitación media y velocidad del viento) en la caída de hojarasca, durante el periodo del estudio, fue calculado el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables climáticas y la caída de material. Los análisis estadísticos se realizaron con el software “R Library Agricolae” versión 4.2.0 (2022-04-22 ucrt).

Resultados y discusión

Características de los suelos

En el Cuadro 1 se presentan los resultados del análisis de suelo, donde se observa que, para la profundidad 0-10

Cuadro 1. Contenidos de los elementos químicos del suelo en los rodales de *Eucalyptus grandis* y *Pinus elliottii* a dos profundidades (0-10 cm; 10-20 cm).

Table 1. Contents of soil chemical elements in the *Eucalyptus grandis* and *Pinus elliottii* stands at two depths (0-10 cm; 10-20 cm)

Variable	<i>E. grandis</i>		<i>P. elliottii</i>	
	0-10	0-20	0-10	0-20
Profundidad suelo (cm)				
MO (%)	4,3	3,8	3,0	2,6
C (%)	1,9	1,7	1,3	1,2
N (%)	0,2	0,2	0,1	0,2
C/N	15,4	14,6	14,2	9,0
P (ppm)	3,3	5,8	7,0	1,7
K (meq/100 g)	0,1	0,1	0,1	0,1
Ca (meq/100 g)	1,2	4,8	1,8	1,2
Mg (meq/100 g)	0,4	1,2	0,8	0,5
Na (meq/100 g)	0,2	0,2	0,1	0,1
Al (meq/100 g)	1,0	0,6	0,9	1,3
Acidez (meq/100 g)	11,0	11,2	11,7	9,8
CIC (meq/100 g)	12,9	17,5	14,5	11,8
V (%)	14,5	35,9	19,9	17,0
pH H ₂ O	4,6	4,7	4,4	4,6

MO: Materia Orgánica Total; C: Carbono Fac. Oxi., N: Nitrógeno Total, R: Relación C/N, P: Fósforo Extractable P₂O₅, K: Potasio Intercambiable, Ca: Calcio Intercambiable, Mg: Magnesio Intercambiable, Na: Sodio Intercambiable, Al: Aluminio Intercambiable, Acidez: Acidez Intercambiable, CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico, V: Saturación de Bases, pH (H₂O) (1:2.5).

cm, los suelos evaluados presentan contenidos medios de materia orgánica que varían entre 4,3 y 3 % y valores bajos de pH entre 4,6 y 4,4 para la loma y el tendido alto respectivamente. Presentan moderada capacidad de intercambio catiónico y baja saturación de bases [21]. De acuerdo con [11] la fertilidad de estos suelos es moderada, bien provistos de materia orgánica, son extremadamente ácidos, con altos niveles de aluminio desde los 24 cm.

Cuadro 2. Tabla de rodal de *Eucalyptus grandis* establecido en suelo rojo arcilloso del nordeste de Corrientes para las edades de 8 a 10 años y 460 árboles por hectárea.

Table 2. *Eucalyptus grandis* stand table established in red clay soil from northeast Corrientes for ages 8 to 10 years and 460 trees per hectare.

Edad	N	Hd	DAP	Dg	h	AC	G	VT	IMA	IDR	S
(años)	(pl*ha ⁻¹)	(m)	(cm)	(cm)	(m)	(m)	(m ² *ha ⁻¹)	(m ³ *ha ⁻¹)	(m ³ *ha ⁻¹ *año ⁻¹)	(pl*ha ⁻¹)	(%)
8	460	23,2	22,9	23,6	20,8	9,5	20,1	161,2	20,1	419	20,1
9	447	26,2	25,0	25,7	22,4	10,5	23,2	201,6	22,4	467	18,1
10	443	29,2	25,9	26,7	25,9	11,0	24,8	251,6	25,2	492	16,3

N: árboles por hectárea; Hd: altura dominante; Dg: diámetro cuadrático medio; h: altura total media; AC: altura de inicio copa viva; G: área basal; VT: volumen total; IMA: incremento medio anual; IDR: Índice de densidad de rodal; S: Índice de densidad de Hart-Becking.

Crecimiento de las plantaciones de *E. grandis* y *P. elliottii*.

Los resultados de crecimiento y producción de *E. grandis* para los tres años de estudio se presentan en el Cuadro 2; se observa que el número de árboles por hectárea decreció continuamente por mortalidad de individuos. El rodal en estudio presentó árboles enfermos con canchales. De acuerdo con lo presentado por [13], un agente causante de cancro en tallos de esta especie es *Teratosphaeria zuluensis*. Este agente es común en las regiones subtropicales de Sudáfrica y ha sido citado en México, Hawái, Tailandia, Argentina y Vietnam [13]. Los daños afectan la calidad de la madera y puede causar mortalidad de árboles. Si bien los índices de densidad y el área basal por hectárea no indican excesiva competencia, la población sufrió mortalidad de individuos atribuida al ataque fúngico. El IMA de 25,2 m³*ha⁻¹*año⁻¹ a los 10 años muestra un incremento medio a bajo para el área de estudio.

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de resultados de crecimiento y producción de *P. elliottii*. El número de árboles por hectárea se mantuvo constante entre los 16 y 17 años. El diámetro cuadrático medio y la altura total alcanzaron valores de 31 cm y 22,6 m a los 18 años de edad, respectivamente. El rodal presentó una creciente competitividad aumentando el área basal hasta 38.5 m²*ha⁻¹ y mostrando un IDR de 751 y un S de 18, % a los 18 años. Estos valores indican que el rodal está llegando a valores de competencia próximos a la zona de inminente mortalidad [16], [22]. El volumen en pie alcanzó un valor de 469,9 m³*ha⁻¹ y un IMA estabilizado en 26 m³*ha⁻¹*año⁻¹, con dimensiones comerciales de productos aserrables y pulpables.

Los incrementos en volumen fustal de ambas especies varían entre 20 y 26 m³*ha⁻¹*año⁻¹, esta producción de biomasa se origina a partir de la fijación de carbono a través de la fotosíntesis con absorción de agua y nutrientes provenientes del suelo orgánico y mineral principalmente.

Cuadro 3. Tabla de rodal de *Pinus elliottii* establecido en suelo de drenaje imperfecto del noreste de Corrientes para las edades de 16 a 18 años y 533 árboles por hectárea.

Table 3. Table of *Pinus elliottii* stand established in imperfect drainage soil of northeast Corrientes for ages 16 to 18 years and 533 trees per hectare.

Edad	N	Hd	DAP	Dg	h	AC	G	VT	IMA	IDR	S
(años)	(pl*ha ⁻¹)	(m)	(cm)	(cm)	(m)	(m)	(m ² *ha ⁻¹)	(m ³ *ha ⁻¹)	(m ³ *ha ⁻¹ *año ⁻¹)	(pl*ha ⁻¹)	(%)
16	533	21,7	30,1	30,3	21,2	12,5	38,5	419,8	26,2	727	19,9
17	533	22,8	30,5	30,6	22,0	12,6	39,3	449,4	26,4	738	19,0
18	527	23,1	31,0	31,2	22,6	13,8	40,2	469,9	26,1	751	18,8

N: árboles por hectárea; Hd: altura dominante; Dg: diámetro cuadrático medio; h: altura total media; AC: altura de inicio copa viva; G: área basal; VT: volumen total; IMA: incremento medio anual; IDR: Índice de densidad de rodal; S: Índice de densidad de Hart-Becking.

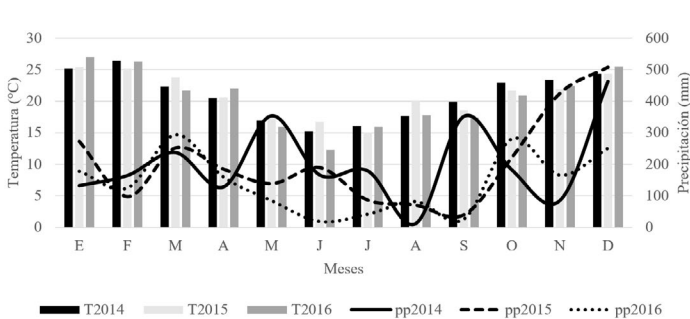


Figura 1. Temperatura media y precipitación mensual por año para el sitio donde se encuentran los rodales *Eucalyptus grandis* y *Pinus elliottii*.

Figure 1. Average temperature and monthly precipitation per year for the site where the *Eucalyptus grandis* and *Pinus elliottii* stands are found.

La Figura 1 presenta la temperatura media mensual y la precipitación mensual para los 3 años de estudio. Se puede observar un patrón similar de distribución de temperaturas mensuales para los 3 años, las cuales son más elevadas en los meses de diciembre, enero y febrero con valores cercanos a 25 °C. Las temperaturas medias más bajas se presentaron en los meses de mayo, junio y julio, rondando los 15°C. Las precipitaciones ocurrieron durante todo el año con valores totales anuales de 2463 mm, 2490 mm y 1709 mm para los años 2014, 2015 y 2016, respectivamente. Los valores inferiores se observaron en el mes de agosto y los mayores en diciembre, llegando a 508 mm en el año 2015.

Producción de hojarasca en rodales de *E. grandis* y *P. elliottii* en el NE de Corrientes, composición y aporte nutricional. En la Figura 2 se presenta la caída de hojarasca para los tres años y de manera mensual, para ambos rodales estudiados.

En la Figura 2A se observa que la cantidad de material caído de *E. grandis* es mayor en los meses de verano. Los valores de noviembre y diciembre superan los 1300 kg*ha⁻¹ en los tres años mientras que en los meses

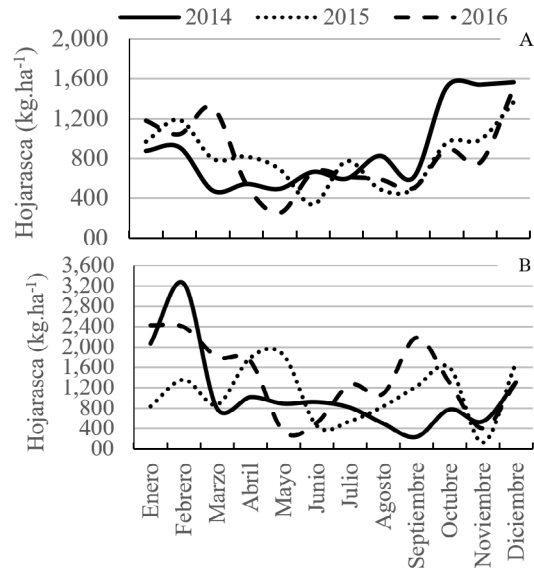


Figura 2. Promedio mensual (n=36) de caída de hojarasca en un rodal de *Eucalyptus grandis* a los 8, 9 y 10 años (A) y en un rodal de *Pinus elliottii* de 16, 17 y 18 años (B).

Figure 2. Monthly average (n=36) litterfall in *Eucalyptus grandis* stand at 8, 9 and 10 years (A) and *Pinus elliottii* stand at 16, 17 and 18 years (B).

de invierno los valores son próximos a 600 kg*ha⁻¹, presentando medias significativamente mayores en los meses de primavera y verano. Para *P. elliottii* se presentan valores más elevados con máximos de 3200 kg*ha⁻¹ en febrero de 2014 (Figura 2B), en general, los meses de verano y otoño fueron los que presentaron significativamente una mayor caída.

El promedio de hojarasca producida (Cuadro 4) anualmente fue de 10,1 Mg*ha⁻¹ para *E. grandis* y de 14,3 Mg*ha⁻¹ para *P. elliottii*. [7] presentan que en bosques de *Eucalyptus regnans* F. Muell. de alta productividad la caída de material anual fue de 8 Mg*ha⁻¹ y la acumulación de mantillo de 30 Mg*ha⁻¹. [8] observaron que, en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus globulus* Labill. en el sur de Brasil, la cantidad de hojarasca producida fue de 8,5 Mg*ha⁻¹ a

Cuadro 4. Producción anual de hojarasca diferenciada en cada uno de sus componentes para un rodal *Eucalyptus grandis* y de *Pinus elliottii*.

Table 4. Annual litter production differentiated in each of its components for a *Eucalyptus grandis* and *Pinus elliottii* stand.

Especie		<i>Eucalyptus grandis</i>			<i>Pinus elliottii</i>		
Año		2014	2015	2016	2014	2015	2016
Unidad		kg*ha ⁻¹			kg*ha ⁻¹		
Componentes	Hojas:	5895,7 a*	5614,7 a	5259,6 a	10337,8 a	9569,4 a	11775,2 a
	Ramas:	2733,5 ab	2302,3 ab	2577,6 ab	1106,5 bc	966,6 c	1014,6 bc
	Corteza/ Conos:	1221,1 bc	964,3 c	1021,0 bc	1347,9 ab	2132,3 b	3002,2 ab
	Misceláneas:	753,3 c	997,7 bc	970,6 c	368,2 c	441,1 d	972,8 c
	Total:	10603,5	9879,0	9828,8	13160,4	13109,4	16764,8
Unidad		%			%		
Componentes	Hojas:	55,6	56,8	53,5	78,6	73,0	70,2
	Ramas:	25,8	23,3	26,2	8,4	7,4	6,1
	Corteza/ Conos:	11,5	9,8	10,4	10,2	16,3	17,9
	Misceláneas:	7,1	10,1	9,9	2,8	3,4	5,8
	Total:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

* Letras diferentes entre columnas del mismo año y especie indican diferencias significativas entre los componentes de la hojarasca, de acuerdo con la prueba de Comparaciones Múltiples (p<0.05).

Cuadro 5. Contenido porcentual (%) de N, P y K en hojas de *Eucalyptus grandis* y *Pinus elliottii* en plantaciones del noreste de Corrientes.

Table 5. Content (%) of N, P and K in leaves of *Eucalyptus grandis* and *Pinus elliottii* in plantations of northeast Corrientes.

Rodal	N	P	K	N	P	K
	Kg*ha ⁻¹			(%)		
<i>Eucalyptus grandis</i>	3,8	0,6	1,3	0,90	0,15	0,30
<i>Pinus elliottii</i>	8,4	1,0	1,3	0,97	0,12	0,15

Cuadro 6. Coeficientes de Correlación de Pearson (n=36) entre la caída de hojarasca y variables climáticas para rodales de *Pinus elliottii* y *Eucalyptus grandis*.

Table 6. Pearson's Correlation Coefficients (n=36) between litterfall and environmental variables for *Pinus elliottii* and *Eucalyptus grandis* stands.

Variables	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>
Temperatura media	0,47* (p<0,01)	0,65* (p<0,01)
Precipitación media	-0,04 (p>0,05)	0,40** (p<0,05)
Velocidad del viento	0,05 (p>0,05)	-0,01 (p>0,05)

*Correlación significativa al 1%; **Correlación significativa al 5%

los 9 años de edad. Valores similares a los obtenidos en este estudio fueron presentados por [23] en plantaciones de *E. grandis* de siete años de edad, en Rio de Janeiro, Brasil, donde la producción de hojarasca anual fue de 11,84 Mg*ha⁻¹.

Los componentes de la hojarasca variaron en su composición, para *E. grandis* la mayor proporción de material (valores promedio de los 3 años estudiados) corresponde a la fracción hojas (55,3 %), seguido de ramas (25,1 %), corteza (10,6 %) y misceláneas con la inclusión de frutos (9,0 %). Para *P. elliottii*, la mayor proporción de material corresponde a la fracción hojas (73,9 %), seguido de frutos (conos y semillas) (14,8 %), ramas (7,3 %) y misceláneas (4 %).

En el Cuadro 5 se observa que una cantidad importante de N, P y K retorna al suelo por medio de la hojarasca en ambos rodales. Al ser plantaciones con especies, edades y densidades diferentes es esperable observar diferentes aportes de elementos por hectárea entre las mismas. La magnitud de las transferencias (absorción y retorno) de nutrientes entre el suelo y los árboles depende del sitio, de la especie, la edad y las prácticas de manejo adoptadas [7], [24].

La temperatura media mensual presentó una correlación positiva significativa para ambos rodales. En el caso de *E. grandis* la precipitación también presentó una correlación positiva con la caída de hojarasca (Cuadro 6).

Tasa de descomposición de las hojas depositadas en la superficie del mantillo

Las hojas de la hojarasca de ambos rodales presentaron una rápida descomposición durante los primeros 180 días para luego continuar con un proceso más lento (Figura 3). A los 360 días el rodal de *E. grandis* presentó

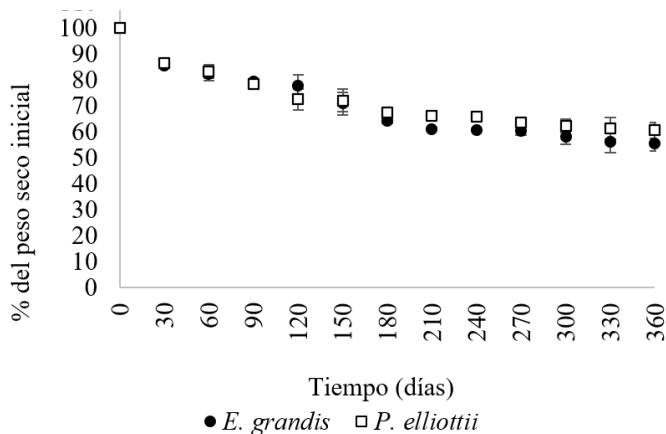


Figura 3. Peso remanente de materia seca durante la descomposición de la hojarasca foliar en plantaciones de *Eucalyptus grandis* y *Pinus elliottii* establecidas en el nordeste de Corrientes. Las barras verticales indican el error estándar (n=3).

Figure 3. Remnant weight of dry matter during the decomposition of leaf litter in *Eucalyptus grandis* and *Pinus elliottii* plantations established in the northeast of Corrientes. The vertical bars indicate the standard error (n = 3).

valores levemente inferiores de porcentaje del peso seco inicial con relación a lo obtenido para *P. elliottii*, los valores observados promedios fueron de 55 % y 60 % respectivamente.

En el Cuadro 7 se presenta la tasa de descomposición (K), tiempo de renovación (1/k), media vida y el período de tiempo necesario para la descomposición del 95% del material caído. También, se observa el error estándar y el ajuste del modelo exponencial de descomposición de la hojarasca foliar.

[19] encontraron una descomposición más acelerada para una plantación de 3,5 años de híbrido *E. urograndis* (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*) en Minas Gerais, Brasil, con una MV de 247 días. Ya [25] en plantación con 7 años de *Tectona grandis* Linn. F. en Mato Grosso, Brasil, encontraron una constante (K) de 0,58, el tiempo medio de renovación de 1,19 años y para la descomposición

de 95 % de la hojarasca el tiempo medio estimado de 5,14 años. Cuanto menor es el valor de K mayor será el tiempo de descomposición. Los valores de K por encima de 1,0 indican que el material producido es superior al acumulado en la hojarasca y las especies presentes poseen alta velocidad de descomposición [26]. [3] destaca que en los bosques tropicales los valores de K varían entre 1,0 y 4,0. También [27] presenta valores de referencia de diversas investigaciones y especies forestales con un rango de K que varía de 0,3 a 0,94 y resalta que la mayor importancia radica en la mineralización y liberación de nutrientes de la materia orgánica.

La cantidad de mantillo acumulado fue de 24,2 y de 26,7 Mg*ha⁻¹ para *E. grandis* y *P. elliottii*, respectivamente al finalizar el periodo de estudio en cada rodal. Estos resultados coinciden con valores reportados para plantaciones con los géneros *Pinus* y *Eucalyptus*. [28] encontraron valores de mantillo acumulado de 21,9 Mg ha⁻¹ en una plantación de 21 años con *Pinus elliottii* en Santa María, Brasil. En Oaxaca, México, [29] obtuvieron valores de mantillo acumulado en dos localidades y trece procedencias de *Pinus greggii* Engelm que variaron desde 1,8 Mg ha⁻¹ a 27,9 Mg ha⁻¹. También [30] mencionan que valores publicados por [31, 32, 33] de mantillo acumulado para plantaciones de *E. grandis* en Argentina, Australia y Brasil variaron de 2 a 25 Mg ha⁻¹ y que estas diferencias pueden ser atribuidas a las distintas edades de los rodales, al manejo de las plantaciones y a diferentes condiciones climáticas que actúan sobre su descomposición.

Conclusiones

El promedio de hojarasca producida anualmente fue de 10,1 Mg*ha⁻¹ para *Eucalyptus grandis* y de 14,3 Mg*ha⁻¹ para *Pinus elliottii*. Se observó que la caída de hojarasca fue continua, con mayor cuantía en los meses de primavera y verano. De las variables climáticas evaluadas, la temperatura presentó la mayor relación con la caída de material. La proporción de hojas fue predominante dentro del material que llegó al suelo, aportando cantidades importantes de N, P y K.

Cuadro 7. Tasa de descomposición, tiempo de renovación, media vida, tiempo de descomposición del 95 % y variables de ajuste del modelo, en plantaciones de *Eucalyptus grandis* y *Pinus elliottii* en el nordeste de Corrientes.

Table 7. Decomposition rate, renewal time, half-life, 95 % decay rate time and model adjustment variables in *Eucalyptus grandis* and *Pinus elliottii* plantations established in the northeast of Corrientes

Especie	K (año ⁻¹)	1/k año	Media vida (año)	D 95 % (año)	Error estándar del modelo	R ²
<i>Eucalyptus grandis</i>	0.70	1.4	1.00	4.31	5.3	0.84
<i>Pinus elliottii</i>	0.60	1.7	1.15	4.98	6.2	0.74

Una cantidad importante de necromasa conformó el mantillo que se acumuló durante la vida de los rodales con valores de 24.2 y de 26.7 Mg*ha⁻¹ para *E. grandis* y *P. elliotii*, respectivamente.

En cuanto a la tasa de descomposición se detectó que, al comienzo los valores fueron marcadamente mayores disminuyendo luego, hasta estabilizarse. El tiempo de media vida fue de 1.0 año para *E. grandis* y de 1.15 años días para *P. elliotii*.

La dinámica observada es propia de los bosques subtropicales denotándose la importancia del reciclado de nutrientes a través de la caída de material y la descomposición para su posterior absorción por las raíces de los árboles.

Agradecimientos

A los alumnos de la Facultad de Agronomía, USAL, Gobernador Virasoro, Borba, R., Rojas A. y Fernández, V. y Sorochin, P., por su participación en las actividades de medición y recolección vinculadas a este estudio

Referencias

- [1] Ministerio de Producción de la Provincia de Corrientes, "Actualización del Inventario Forestal de Bosques Cultivados", 2019. [Online]. Available: <https://www.mptt.gov.ar/site13/index.php/29-sector-forestal/2535-actualizacion-del-inventario-forestal>. [Accessed: Jul. 15, 2022].
- [2] T. Daniel, "Principios de Silvicultura". Mc GrawHill, México, 1982.
- [3] O. Polyakova y N. Billor, "Impact of deciduous tree species on litterfall quality, decomposition rates and nutrient circulation in pine stands". *Forest Ecol. Manag.*, vol. 253, pp. 11-18, 2007.
- [4] J. S. Olson, "Energy storage and the balance of decomposers in ecological systems". *Ecology*, vol. 44, pp. 322-331, 1963.
- [5] P. M. Attiwill, "The loss of nutrients from decomposing litter". *Ecology*, vol. 49, pp. 142-145, 1968.
- [6] A. M. O'Connell, "Nutrient dynamics in decomposing litter in karri (*Eucalyptus diversicolor* F Muell) forests of south-western Australia". *J. Ecol.*, vol. 76, pp. 1186-1203, 1988.
- [7] P. M. Attiwill y M. A. Adams, "Tansley Review No. 50 Nutrient cycling in forests". *New Phytol.*, vol. 124, pp. 561-582, 1993.
- [8] M. Viera, M. V. Schumacher, E. F. Araújo, R. S. Corrêa y M. V. W. Caldeira, "Deposição de serapilheira e nutrientes em plantio de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus*". *Floresta e Ambiente*, vol. 21, no. 3, pp. 327-338, 2014.
- [9] J. F. Goya, J. L. Frangi, C. Pérez y M. Pinazo, "Ciclo de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* en el norte de la provincia de Misiones". SAGPyA-BIRF. Informe inédito, p. 63, 2000.
- [10] M. V. Schumacher, E. J. Brun, J. I. Hernandez y F. G. König, "Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria Angustifolia* (Betol.) Kuntze no município de Pinhal Grande - RS". *Revista árvore*, vol.28, no.1, pp. 29-37, 2004.
- [11] E. H. Escobar, H. D. Ligier, R. Melgar, H. Matteio y O. Vallejos, "Mapa de Suelos de la provincia de Corrientes. Corrientes, Argentina". Gobierno de la provincia de Corrientes e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), p. 429, 1996.
- [12] W. Köppen, "Climatología: con un estudio de los climas de la tierra". Fondo de Cultura Económica. México, p. 478, 1948.
- [13] F. Marraro Acuña y S. M. Garran, "Detección de *Kirramyces epicoccoides*, *Puccinia psidii* y *Coniothyrium zuluense* agentes causales de enfermedades en *Eucalyptus* spp. en la zona de Concordia, Entre Ríos, Argentina". *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, vol. 33, no. 3, pp. 135-148, 2004.
- [14] H. E. Fassola, E. H. Crechi, A. E. Keller, S. R. Barth y T. E. Fernández, "Funciones y algoritmos dasométricos para manejo silvícola intensivo, de aplicación en plantaciones forestales orientadas a producción de madera de alto valor agregado". Informe técnico N°61. INTA. Montecarlo, Misiones, Argentina, p. 102, 2007.
- [15] L. H. Reineke, "Perfecting a stand-density index for even-aged forests". *J. Agric. Res.*, vol. 46, pp. 627-638, 1933.
- [16] P. R. Schneider y P. S. Schneider, "Introdução ao manejo florestal". 2da ed. Santa Maria: UFSM. FACOS, p. 566, 2008.
- [17] Normas IRAM-SAGYPA, Ministerio de Economía, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina, "Listado de normas IRAM-SAGYP publicadas y en Estudio: Comisión Suelo para uso Agropecuario", 2021. [Online]. Available: <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/samla/normas/>. [Accessed: Jul. 22, 2022].
- [18] M. E. Álvarez-Sánchez, A. Marín-Campos, "Manual de procedimientos analíticos de suelo y planta". Laboratorio de Química. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, p.65, 2011.
- [19] F. V. C. Neto, P. S. S. Leles, M. G. Pereira, V. G. H. Bellumath y J. M. Alonso, "Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais". *Ciência Florestal*, vol. 23, no. 3, pp. 379-387, 2013.
- [20] S. Caldato, P. Floss y E. Serafini, "Producción y descomposición de hojarasca en la selva ombrófila mixta en el sur de Brasil". *Bosque*, vol. 31, no.1, pp. 3-8, 2010.
- [21] B. van Raij, "Fertilidade do solo e adubação. Ceres, Potafos. Piracicaba, p.343, 1991.
- [22] S. Rebottaro y D. Cabrelli, "Crecimiento y rendimiento comercial de *Pinus elliotii* en plantación y en regeneración natural manejada con raleos en Entre Ríos, Argentina". *Bosque*. vol. 28, no. 2, pp. 152-161, 2007.
- [23] F. C. Balieiro, A. A. Franco, M. G. Pereira, F. C. Campello,

- L. E. Dias, S. M. Faria y B. J. R. Alves, "Dinâmica da serapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*". Pesquisa Agropecuária Brasileira, vol. 39, no. 6, pp. 597-601, 2004.
- [24] M. Viera y M. V. Schumacher, "Concentração e retranslocação de nutrientes em acículas de *Pinus taeda* L.". Ciência Florestal, vol. 19, no. 4, pp. 375-382, 2009.
- [25] T. F. D. Rosa, W. L. M. P. Scaramuzza, I. P. Feitosa y F. F. M. Abreu, "Produção e decomposição de serapilheira em povoamentos de teca no estado de Mato Grosso, Brasil". Ciência Florestal, vol. 27, no. 4, pp. 1117-1127, 2017.
- [26] C. R. Pimentel, D. Pauletto, A. G. M. Rebêlo, A. F. da Silva, V. L. Peleja y E. C. Palomino, "Produção, acúmulo e decomposição de serapilheira em três sistemas agroflorestais no Oeste do Pará". Adv. For. Sci., vol. 8, no.1, pp. 1291-1300, 2021.
- [27] W. P. Lima, "Impacto ambiental do eucalipto". 2da ed. São Paulo: EDUSP. P. 301, 1996.
- [28] I. S. Kleinpaul, M. V. Schumacher, E. J. Brun, F. G. König Brun y J. J. Kleinpaul, "Suficiência amostral para coletas de serapilheira acumulada sobre o solo em *Pinus elliottii* Engelm, *Eucalyptus* sp. e floresta estacional decidual Revista Árvore, vol. 29, no. 6, pp. 965-972, 2005.
- [29] M. López Ortiz, R. B. Sánchez García, J. R. Contreras Hinojosa, A. D. Armenta Bojórquez y J. A. Félix Herrán, "Captación de carbono en suelos asociados a *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus oaxacana* Mirov. en la mixteca alta, Oaxaca". Ecología Aplicada, vol. 16, no. 2, pp. 127-133, 2017.
- [30] R. I. Romaniuk, M. Veneceb, V. R. N. Cosentino, C. R. Alvarez, E. A. Ciarlo, H. R. Korsakovb, H. S Steinbachb y A. M. Lupi, "Dinámica del carbono lábil del suelo en sistemas forestales de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en la Mesopotamia Argentina". Bosque, vol. 42, no. 3, pp. 343-351, 2021.
- [31] J. F. Goya, J. L. Frangi, F. Dalla Tea, M.A. Marcó y F. Larocca, "Biomasa, productividad y contenido de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus grandis* en el NE de la Provincia de Entre Ríos". XII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Argentina, pp. 1-9. 1997.
- [32] J. Turner y M. J. Lambert, "Nutrient cycling in age sequences of two *Eucalyptus* plantation species". Forest Ecol. Manag., vol. 255, no. 5-6, pp. 1701-1712, 2008.
- [33] C. T. Cortez, L. Nunes, L. B. Rodrigues, N. Eisenhauer y A. S. F. Araujo, "Soil microbial properties in *Eucalyptus grandis* plantations of different ages". J. Soil Sci. Plant Nutr., vol. 14, no. 3, pp. 734-742, 2014.