

Efecto del manejo de plantaciones de tres especies exóticas en la recuperación del suelo forestal en Oxapampa - Perú

Effect of plantation management of three exotic species on forest soil recovery in Oxapampa - Peru

Álvaro M. Ormachea Ramos^{1,*}

Recibido: 06 abril 2023 | **Aceptado:** 08 junio 2023 | **Publicado en línea:** 07 julio 2023

Citación: Ormachea Ramos, Á.M. 2023. Efecto del manejo de plantaciones de tres especies exóticas en la recuperación del suelo forestal en Oxapampa - Perú. Revista Forestal del Perú 38(1): 81-96.

DOI: <https://doi.org/10.21704/rfp.v38i1.1947>

Resumen

En un terreno de uso agrícola hasta el año 2004 se instalaron tres pequeñas plantaciones de las especies *Eucalyptus grandis* (0.96 Ha), *Pinus tecunumanii* (0.3 Ha) y *Cupressus macrocarpa* (0.2 Ha). A los quince años de la instalación se midió la profundidad del mantillo (Horizonte Ao) generado por la descomposición de la materia orgánica procedente de la hojarasca y las prácticas de manejo forestal. Además, se tomaron muestras de los primeros 20 cm del suelo mineral (Horizonte A1) para el análisis de pH, porcentaje de materia orgánica, fósforo y potasio. Los resultados de profundidad de mantillo sugieren una menor descomposición del material vegetal en las plantaciones de *Pinus tecunumanii* (9.85 cm), intermedia en la de *Cupressus macrocarpa* (6.18 cm) y mayor en la de *Eucalyptus grandis* (5.91 cm). Sin embargo, los mayores valores de materia orgánica en el horizonte A1 se registran en el *Cupressus macrocarpa* (11.72 %) y valores menores pero semejantes para el *Pinus tecunumanii* (6.62 %) y *Eucalyptus grandis* (6.55 %). Se registra también una disminución del pH del suelo, de 6.0 hasta 5.13, lo cual ha permitido que el fósforo eleve su disponibilidad. Se discuten los procesos de biodegradación de la materia orgánica que podrían explicar las observaciones en el cambio de la acidez del suelo en las plantaciones de *Pinus* y *Cupressus*, y las posibles relaciones con las operaciones silviculturales como el raleo, poda y limpiezas. Se concluye que el manejo forestal evaluado en las plantaciones de las tres especies ha logrado niveles de pH y disponibilidad de fósforo y potasio en el suelo forestal formado que, de acuerdo a las referencias, favorecen el cultivo de los árboles.

Palabras clave: manejo forestal, acidificación del suelo, cubierta forestal, pH, materia orgánica

¹ Investigador independiente.

* Autor de Correspondencia: manuelormachea@yahoo.es

Abstract

Three small plantations of *Eucalyptus grandis* (0.9 Ha), *Pinus tecunumanii* (0.3 Ha) and *Cupressus macrocarpa* (0.2 Ha) were established on a plot of land that had been used for agricultural purposes until 2004. Fifteen years later, depth of the mulch (Horizon Ao) generated for decomposition of organic matter of litter produced by the forest management practices was measured. In addition, samples were taken from the A1 horizon for analysis of pH, percentage of organic matter, phosphorus and potassium. Mulch deep results suggests low decomposition of vegetal material for *Pinus tecunumanii* plantations (9.85 cm), middle for *Cupressus macrocarpa* (6.18 cm) and higher for *Eucalyptus grandis* (5.91 cm). However, high organic matter values in horizon A1 are recorded in *Cupressus macrocarpa* (11.72%) and lower but close among them in *Pinus tecunumanii* (6.62 %) and *Eucalyptus grandis* (6.55%). A reduction of soil pH from 6.0 to 5.13 is also reported, which has allowed an increment of phosphorus to become disponible. Organic matter decomposition processes are reviewed as a possible explanation for changes on soil acidity in plantations of *Pinus* and *Cupressus*, as well as possible relationships with thinning, pruning, and cleaning up of plantations. Conclusion indicates that forest management evaluated on three plantations has reached pH values as well as phosphorus and potassium availability in the generated forest soil, which in accord with references, favor trees cropping.

Key words: forest management, soil acidification, litter, pH, organic matter

Introducción

En un contexto nacional de pérdida de bosques y capacidad de producción de madera comercial, que ya lleva décadas, las plantaciones forestales con fines comerciales se convierten en la alternativa más eficiente para desarrollar una economía forestal. Al respecto, el Perú se encuentra atrasado aproximadamente medio siglo comparado con los países de la región, y casi no se cuenta con información académica sobre el desempeño de las pocas plantaciones realizadas (Guariguata *et al.* 2017). Dentro del contexto actual del cambio climático y la competencia por el acceso a mercados de madera, la mayoría de las investigaciones en plantaciones forestales están enfocadas en la absorción de carbono y el rendimiento maderable de modernas técnicas silviculturales; contexto en el que el sector forestal peruano aún no da importantes pasos. Es así como parte de la bibliografía revisada está referida a conceptos sobre suelos forestales, métodos de investigación y resultados que datan de los años en que las plantaciones de las especies objeto de este estudio se realizaban en diversas partes del mundo. En el mismo sentido, para recopilar información específica sobre las plantaciones

forestales en Oxapampa se ha recurrido a tres ingenieros forestales con amplia experiencia instalando plantaciones forestales en esta localidad desde hace dos décadas, quienes al no pertenecer a ninguna institución académica no han publicado sus conocimientos al respecto. Su gentil gesto de compartir sus conocimientos e información para realizar esta investigación es reconocida y agradecida por el autor.

Con la finalidad de recuperar la capacidad de producir madera comercial en la provincia de Oxapampa, a inicios de la década de los ochenta se instalaron diversos ensayos de plantaciones forestales realizados por el Ministerio de Agricultura y la Cooperación Técnica Alemana (Flachsenber 1985). En el contexto del proyecto encargado de estos ensayos, Bockor (1986) clasificó los suelos de Oxapampa en dos clases según su potencial de reforestación. La primera clase, denominada "ácida", se origina de rocas arenosas y cuarzo con diferentes grados de meteorización, de textura media a fina, buen drenaje, pH de 3.8 a 5.8. La segunda clase, denominada "neutra", se origina a partir de basalto asociado con calizas, granito y cuarcita, de textura fina, bien drenados, ricos en materia orgánica, pH de 6.5 a 7.0. La primera clase se

ubica hacia el oriente del valle de Oxapampa, y la segunda hacia los Andes (Ing. José Palomino, comunicación personal)¹.

A inicios de los años 2000, el Fondo de Promoción del Desarrollo Forestal (FONDEBOSQUE) promovió las plantaciones forestales en predios privados en Oxapampa en base los resultados observados de los ensayos de los años ochenta. A partir de esta iniciativa, se tienen registradas por el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) entre el año 2016 al 2019 poco más de tres mil hectáreas de plantaciones forestales en los distritos de Villa Rica, Oxapampa, Chontabamba y Huancabamba (Cuadro 1). La extensión de las plantaciones registradas va desde menores de una hectárea, hasta muy pocas mayores de 50 hectáreas. Las especies plantadas son en su mayoría de los géneros *Eucalyptus*, *Pinus* y *Cupressus*.

El manejo forestal de las plantaciones en Oxapampa lo realiza un pequeño grupo de ingenieros forestales locales por encargo de los propietarios de estas. Sin embargo, no todas las plantaciones son manejadas pues no todos los propietarios pueden financiar los costos de este servicio y prefieren hacerlo por su cuenta, especialmente los dueños de plantaciones menores de cinco hectáreas, las que representan el 79.1 % de la cantidad de las plantaciones y el 18.3% de la extensión plantada. El manejo forestal practicado en Oxapampa tiene como objetivo la producción de madera, por lo que el espaciamiento de instalación de plantones varía de esquemas de 2.5 m × 2.5 m a 3 m × 3 m. La mayoría de los plantones son adquiridos de pequeños viveros forestales que se abastecen de semillas obtenidas de árboles que han sido identificados como semilleros sin mucho análisis silvicultural. El material orgánico generado por las tareas de limpiezas de terreno, podas, raleos y cosecha comercial es abandonado en la misma plantación, dando lugar a que este

material se descomponga por acción de los factores climáticos y la acción de los microorganismos que existen en la cubierta forestal que se ha ido formando a través de los años (Ing. Ricardo Villar, comunicación personal)².

Pritchett (1986), un autor clásico en el estudio y divulgación de conocimientos sobre los suelos forestales sostiene que se considera como suelo forestal cualquiera de estos que se haya desarrollado bajo la influencia de una cubierta forestal, en los que se reconoce los efectos singulares del arraigamiento de los árboles, los organismos específicos relacionados con la vegetación, la capa de mantillo y la lixiviación favorecida por los productos de su descomposición. Este mismo autor afirma que la cubierta forestal o mantillo (hojarasca y capas de materiales orgánicos en descomposición que descansan sobre la superficie del suelo mineral) es sin duda la característica más distintiva de los suelos forestales y contribuye considerablemente a las propiedades únicas de ellos, y que constituye la fase verdaderamente dinámica del ambiente forestal. Entonces cabe preguntar sobre los impactos que sufre el suelo forestal cuando el bosque es cambiado por alguna cobertura o cultivo agrícola.

Pritchett (1986) afirma que algunas propiedades de los suelos forestales persisten durante mucho tiempo después de que se ha eliminado la cubierta forestal y el suelo se ha sometido al cambio de uso, y algunas otras se modifican de manera drástica por el uso agrícola. Además, que los árboles hacen un buen uso de los nutrientes disponibles a través de ciclos eficientes y de un aprovechamiento exhaustivo del suelo, de manera que son capaces de sobrevivir sobre suelos relativamente infértiles, y que a medida que aumenta la intensidad del manejo forestal, aumentarán considerablemente los requerimientos de los nutrientes provenientes del suelo. Dentro de este marco conceptual, y considerando que el objetivo de las plantaciones

1 Ing. José Palomino. 18 de octubre 2020. Historia de ensayos de plantaciones forestales (conversación). Oxapampa, Perú. Profesional independiente.

2 Ing. Ricardo Villar. 10 de julio 2020. Instalación y manejo de plantaciones forestales en Oxapampa (conversación). Oxapampa, Perú. Reforestadora Villar S.R.L.

Rangos	Cantidad	Superficie (Ha)	Cantidad %	Superficie %
0 a 1 ha	242	90	44.1	3
1 a 5 ha	192	462	35	15.3
5 a 10 ha	50	342	9.1	11.3
10 a 20 ha	38	509	6.9	16.8
20 a 30 ha	12	311	2.2	10.3
30 a 40 ha	7	249	1.3	8.2
40 a 50 ha	5	223	0.9	7.4
Mayor a 50 ha	3	840	0.5	27.8
Total	549	3026	100	100

Cuadro 1. Plantaciones forestales registradas en SERFOR en los distritos de Oxapampa, Villa Rica, Chontabamba y Huancabamba del 2016 al 2019. Basado en la base de datos del Sistema Nacional de Información Forestal y Fauna Silvestre del SERFOR (<https://sniffs.serfor.gob.pe/estadistica/es/tableros/registros-nacionales/plantaciones>).

forestales en Oxapampa es la producción de madera comercial, hay que dejar en claro que no solo se requiere que los árboles sobrevivan, sino que sean vigorosos. Por ello, es importante que el esfuerzo que se realiza al instalar y manejar plantaciones garantice la creación de una cubierta forestal que aporte a la sostenibilidad ambiental de la inversión mediante la recuperación de suelos que soporten la demanda de nutrientes de las plantaciones.

Bubb *et al.* (1998), citado por Baietto (2020), sostienen que la caída, acumulación y descomposición de material vegetal en una plantación forestal es la vía principal para el reciclaje de nutrientes. En este sentido, se ha revisado la información de diversos estudios sobre el efecto de plantaciones sobre la cubierta forestal del suelo. Estos estudios explican la dinámica de formación del mantillo y su descomposición para que los nutrientes contenidos en el humus puedan ser integrados al suelo mineral y luego ser tomados por el sistema radicular de los árboles, o ser lixiviados. Baietto (2020), revisando el trabajo de Baker y Attiwill (1985), Ericsson (1994), Goya *et al.* (2008) y Gosz *et al.* (1976) afirma que el mantillo es la capa que se forma mediante la deposición y acumulación de material vegetal sobre el suelo mineral y que se forma como resultado del balance entre la

tasa de caída de hojarasca y su velocidad de descomposición, y que al descomponerse no solo tiene incidencia sobre la dinámica del carbono, sino que también lo hace sobre el reciclaje de nutrientes, pudiendo tener un impacto positivo en la fertilidad del suelo en sistemas forestales. Bubb *et al.* (1998) afirman que entre las variables que regulan la caída de hojarasca se consideran la temperatura, evapotranspiración, así como las acciones silviculturales que se aplican en el manejo de una plantación, tales como las podas, raleos y limpiezas y la cosecha comercial de madera; las cuales generan el ingreso de material orgánico a la cubierta forestal, que, al ser abandonado a la intemperie, comienza a descomponerse.

Schlatter *et al.* (2006) y Raulund-Rasmussen y Vejre (1995) sostienen que los nutrientes alojados en el mantillo se vuelven disponibles luego de su liberación a la solución del suelo mediante la descomposición y mineralización de las sustancias orgánicas por parte de los microorganismos saprófitos, pero que la disponibilidad cuantitativa y temporal de los nutrientes dependerá de si son liberados directamente al suelo o si ocurren procesos de inmovilización. Además de estos factores, Gosz *et al.* (1976) afirman que en la complejidad de la dinámica de los nutrientes en sistemas forestales se de-

ben de considerar la incorporación continua de material a través de la hojarasca, exudación radicular, actividad microbiana, lixiviación, erosión y volatilización. De Paula (1986) sostiene que la lluvia es también una fuente de nutrientes, pues esta es capaz de transportar partículas de suelo que son interceptadas por las copas de los árboles y que al caer al suelo son tomadas por las raíces o ser lixiviadas, llegando a constituir una fuente importante de nutrientes para los ecosistemas forestales.

Pritchett (1986) afirma que la composición química de la cubierta forestal tiene un gran efecto sobre el ritmo de descomposición y de la liberación de nutrientes, así como en la población del suelo y en el crecimiento de los árboles, y que las hojas de las especies de maderas duras por lo general contienen mayores concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio que las hojas de coníferas. Baitto (2020) refiere que el mantillo de especies latifoliadas usualmente tiende a descomponerse más rápido que el de las coníferas debido a la presencia de ceras que recubren la superficie de las acículas, lo cual retrasa el ingreso de agua y por consiguiente el proceso de degradación. Manzanares y Navarro Cerrillo (2004), apoyándose en Sankairan (1993) y Gunadi, (1994), afirma que muchas especies de *Pinus* y *Eucalyptus* presentan una alta eficiencia de uso de nutrientes y producen un mantillo relativamente pobre, de modo que el cultivo de estas especies, particularmente bajo régimen de rotaciones cortas, afectaría negativamente a las reservas y flujos de nutrientes disponibles para las plantaciones. Por otro lado, existen otros organismos presentes en la cubierta forestal y en las raíces que cuentan con mecanismo para capturar nutrientes desde la materia orgánica o del medio ambiente, que también pueden ser favorecidos por el manejo de las plantaciones, como son las micorrizas. Voigt (1965) sostiene que las ectomicorrizas son capaces de absorber y acumular varios elementos en el manto de hongos, como por ejemplo el nitrógeno, fósforo, potasio y calcio para su posterior traslado a las plantas hospedadas, e inclusive, pueden descomponer algunas sustancias minerales y

orgánicas complejas en el suelo para constituir elementos esenciales para las plantas (Harley 1969).

Esta información conduce a pensar que el manejo de las plantaciones con fines maderables que se realiza en Oxapampa podría llegar a recuperar el suelo forestal que tuvo uso agrícola o pecuario de tal manera que estos puedan soportar plantaciones forestales con valor comercial y así contribuir a la sostenibilidad de las inversiones que realizan los propietarios de las mismas. En este marco, esta investigación pretende contribuir a generar conocimiento que conduzca a la recuperación del suelo forestal de Oxapampa y para ello busca evaluar el efecto del manejo realizado durante quince años de las plantaciones de *Eucalyptus grandis*, *Pinus tecumumanii* y *Cupressus macrocarpa* en la recuperación de la cubierta forestal y horizonte A1 del suelo en el sector Alto Perú del distrito de Oxapampa, región Pasco.

Materiales y Métodos

Área de Estudio – El sector Alto Perú está ubicado en la zona de suelos ácidos, según la clasificación de Bockor (1986). El terreno donde se ha realizado la investigación está ubicado en las coordenadas 10°33'23.29" y 75°24'19.25", a una altitud de 1900 m.s.n.m. A una distancia de dos kilómetros de la ciudad de Oxapampa, donde la temperatura media anual es de 15.5 °C y la precipitación media anual es de 1461 mm (Ruiz 2010). Las tres plantaciones de quince años evaluadas están ubicadas en el sector mencionado, en una propiedad particular de doce hectáreas, sobre en un suelo aluvial con relieve plano irregular y con pendiente promedio de 2%. Antes que se inicien las plantaciones el año 2005, el suelo de esta propiedad tenía uso agrícola de pan llevar. Como consecuencia del uso agrícola del terreno durante varias décadas y la acción de la erosión hídrica, el suelo había perdido casi en su totalidad la capa de material orgánico superficial y, según análisis de suelos realizados en año 2005 en los terrenos donde se instalaron las tres plantaciones forestales evaluadas, el horizonte A1

tenía un valor de pH de 6 y un contenido de materia orgánica de 1.4%.

Manejo Forestal Evaluado (Tratamientos) – El manejo forestal practicado en las tres plantaciones estudiadas de *Pinus tecunumanii*, *Cupressus macrocarpa* y *Eucalyptus grandis* es tomado como el tratamiento en evaluación en esta investigación. El manejo forestal practicado en las tres plantaciones consiste principalmente en el distanciamiento de instalación y el cumplimiento disciplinado de realizar las prácticas de limpieza de malezas, podas y raleos con la frecuencia que se indican en el Cuadro 2. Un componente del manejo forestal realizado que merece ser considerado como factor de riesgo o duda para lograr el objetivo de las plantaciones de contar con árboles de valor comercial fue el uso de semillas de calidad o garantizadas de los plántones utilizados. Los plántones instalados fueron obtenidos de viveros locales gestionados por personas con poco conocimiento sobre la selección de árboles semilleros, que al momento de instalar las plantaciones no podían garantizar la calidad de la semilla propagada. Otra práctica del manejo

forestal realizado que ha tenido algún nivel de efecto sobre la cubierta forestal es la extracción de árboles con valor comercial a lo largo de los quince años de manejo de las plantaciones.

Los árboles extraídos por efecto del raleo se vendieron, usualmente para la elaboración de postes para cercos. También se realizó la extracción de árboles que por su buen porte y volumen fueron vendidos para su aserrío, especialmente de eucalipto y pino. La liberación de espacio por el raleo o la venta de árboles con valor comercial creó condiciones de mayor luminosidad y temperatura en la cubierta forestal de las plantaciones evaluadas, lo cual tuvo efectos en las condiciones para que los microorganismos del suelo degraden las hojas, acículas, hierbas y ramas que permanecieron en la superficie luego de las limpiezas y podas. Al revisar el Cuadro 2 se parecía que el espaciamiento de instalación de plántones y la extracción de árboles por raleo o venta comercial de madera son las prácticas de manejo forestal que diferencian los tratamientos evaluados, además de la obvia diferencia de la especie plantada.

Acciones del Manejo de las Plantaciones	<i>E. grandis</i>	<i>P. tecunumanii</i>	<i>C. macrocarpa</i>
Procedencia de semilla	Oxapampa	Oxapampa	Oxapampa
Área plantada (ha)	0.96	0.30	0.20
Espaciamiento instalado (N x N) (m)	2 x 2	3 x 3	2.8 x 2.8
Hoyos (diámetro, profundidad) (cm)	60 x 60	60 x 60	60 x 60
Plántones instalados al inicio (N)	2400	333	255
Árboles al año 20	384	71	146
Espaciamiento promedio al año 20 (m)	4.8 x 4.8	6.5 x 6.5	3.7 x 3.7
Fertilización	Una sola vez a la instalación de los plántones		
Raleos	1er raleo al 5to año. Luego 10% cada año		
Podas	Natural	cada 2 o 3 años	
Limpieza de hierbas y arbustos	2 cada año. Al inicio y final de época de lluvias		
Extracción de árboles de valor comercial	Según demanda del mercado local		

Cuadro 2. Descripción de manejo de las plantaciones evaluadas al año 15 para las especies *E. grandis*, *P. tecunumanii* y *C. macrocarpa* en Oxapampa. Basado en información del Ing. Gino Cassinelli (comunicación personal)³.

³ Ing. Gino Cassinelli. 18 de enero 2020. Manejo de sus plantaciones forestales en su predio (conversación). Oxapampa, Perú. Propietario del predio.

Variabes en Estudio – Se evaluó el efecto de los tratamientos sobre la cubierta forestal y la fertilidad del horizonte A1; en el caso de la cubierta forestal fue a través de la profundidad en centímetros del mantillo (horizonte A₀) generado en cada plantación y, en el caso de la fertilidad del horizonte A1 del suelo mineral fue a través de los niveles de pH, porcentaje de materia orgánica, contenido de fósforo y de potasio.

Diseño Experimental – Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la profundidad del mantillo se empleó un diseño completamente al azar (DCA). Se aplicó un análisis de varianzas (ANOVA) para el estudio de las medias de los tratamientos. Para la comparación entre las medias de los tratamientos se realizó la prueba de diferencia de medias significativa (DMS) en base a la tabla T de student, para un error del 5%. Para evaluar el efecto de los tratamientos en la fertilidad del suelo mineral no se realizó un diseño estadístico por tratarse de áreas pequeñas, por lo que los resultados de los análisis de fertilidad del suelo del año 2020 fueron comparados con los del año 2005, cuando el terreno era de uso agrícola de pan llevar.

Toma de Muestras - La toma de muestras para evaluar el efecto de los tratamientos en la profundidad del mantillo y la fertilidad del suelo se realizó de acuerdo con el protocolo para monitoreo de áreas de restauración ecológica en los bosques montanos (Duarte *et al.* 2017). Este protocolo sugiere medir la profundidad del mantillo y el porcentaje del área cubierta por vegetación menor a 1.5 metros de altura en una parcela de 4 m² de superficie. Como en este caso la cobertura no estaba en evaluación, se adaptó esta metodología tomando una parcela de 1 m² en la que se midió la profundidad del mantillo en cuatro puntos dentro de ella, para

luego tomar un valor promedio por punto de muestreo. Estas parcelas fueron seleccionadas al azar con una intensidad de muestreo de 0.44% (Cuadro 3), según estudios análogos realizados para *Pinus radiata* en Chile elaborados por Schlatter y Garding (1999) y Schlatter y Otero (1995).

Para evaluar la fertilidad en el monitoreo de la restauración de bosques de montaña, Duarte *et al.* (2017) sugieren medir: pH, porcentaje de materia orgánica y la concentración de fósforo, nitrógeno y potasio en el suelo. De esta manera se ubicaron al azar tres puntos dentro de cada plantación donde se tomaron muestras de suelo mineral del horizonte A1 hasta los primeros 20 cm de profundidad. El material colectado dentro de cada plantación fue mezclado para realizar el análisis de caracterización en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). El análisis de caracterización que realiza la UNALM no incluye el análisis de nitrógeno. Para tener una referencia con los cuales comparar los resultados del análisis de caracterización, se tomaron en cuenta los resultados obtenidos en los mismos terrenos en que se han instalado las tres plantaciones evaluadas, los que antes de ser reforestados tenían uso agrícola de pan llevar. Estos análisis de suelos fueron ordenados por el propietario del terreno al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión (UNJFSC), con sede en Oxapampa en el año 2005.

Finalmente, para contar con una referencia relativa sobre la fertilidad del suelo obtenida como efecto de luego de 15 años de manejo de las plantaciones, se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles de cada plantación, lo cuales fueron seleccionados al

Especie	<i>E. grandis</i>	<i>P. tecunumanii</i>	<i>C. macrocarpa</i>
Área (m ²)	9600	3000	2000
Área a muestrear (m ²)	42	13	9
Puntos evaluados	168	52	36

Cuadro 3. Número de puntos de muestreo de profundidad de mantillo por tratamiento, intensidad de muestreo de 0.44% para las especies *E. grandis*, *P. tecunumanii* y *C. macrocarpa* en Oxapampa.

azar. El número de árboles medidos en cada plantación fue superior al 5 % de la población de árboles existentes el año 2020. En el caso del *E. grandis* de midieron 23 árboles de los 384 existentes, en el caso del *P. tecunumanii* 9 de los 71 existentes y para el *C. macrocarpa* otros 9 de los 146 existentes.

Resultados

Efectos en la Profundidad del Mantillo - El análisis de varianza muestra que, con un nivel de confianza del 95%, si existen diferencias significativas entre las medias para la formación de mantillo de los tres tratamientos (Cuadro 4). Luego, al realizar la prueba de comparación de medias se pudo apreciar que también existe diferencia estadística entre la profundidad del mantillo por efecto del manejo de la plantación de *Pinus tecunumanii* (9.85 cm) con la del *Cupressus macrocarpa* (6.18 cm) y que también ocurre lo mismo entre el *P. tecunumanii* y el *Eucalyptus grandis* (5.91 cm) y, que no existe diferencia estadística entre la profundidad del mantillo por el manejo del *C. macrocarpa* y el *E. grandis* (Cuadro 5). Es decir, el manejo de las plantaciones de las coníferas genera mayor profundidad de mantillo que la del *E. grandis*, y que la diferencia de profundidad entre el ciprés y el eucalipto no tiene significancia. Estos resultados conducen a pensar que la descomposición en los mantillos del *E. grandis* y *C. macrocarpa* es más dinámica que en el del *P. tecunumanii*. Una diferencia de profundidad de matillo formado por pinos y eucaliptos también fue registrada por Manzanares y Navarro Cerrillo (2004) en Chile, quienes reportan 8 cm para el pino y 6.9 cm para el eucalipto.

Otros autores explican que la mayor acumulación de materia orgánica bajo el pino puede deberse a que los procesos de descomposición y humificación suelen ser más intensos en medios ricos en nutrientes (Carey *et al.* 1982, De Salas 1987, Perry 1994), como los que se generan bajo bosques de caducifolias y menos intensos bajo bosques de coníferas, donde abundan tejidos leñosos ricos en compuestos fenólicos (lignina y celulosa, principalmente) resistentes a la biodegradación.

Efectos en la Fertilidad del Suelo - El principal resultado en la fertilidad del horizonte A1 que se observa como efecto del manejo de las plantaciones es que el valor del pH ha disminuido desde un valor original de 6.0, registrado cuando el terreno era usado para cultivos agrícolas de pan llevar, hasta 5.15 (*Pinus tecunumanii*). Este resultado muestra que el suelo se ha acidificado. Otro resultado importante es que ha aumentado significativamente el contenido de materia orgánica, desde un valor inicial de 1.4%, cuando había cultivos de pan llevar al año 2005, hasta superiores a 6% en el año 2020. Dentro del proceso de acidificación del suelo se aprecia que las plantaciones de coníferas han tenido mejor desempeño que la del *Eucalyptus grandis*, mientras que el porcentaje de materia orgánica logrado por esta especie es menor que el de las coníferas, especialmente que el de *Cupressus macrocarpa*, que alcanzó un valor de 11.6%. (Figura 1).

Estos resultados parecen indicar un efecto positivo del manejo de las plantaciones, pues haber logrado acidificar el suelo favorece el desarrollo de los árboles según Pritchett (1986), quien afirma que la mayor parte de las espe-

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fcal	Ft (0.05, 2, 61)
Tratamientos	2	2789.128	1394.564	489.63	3.15
Error	61	173.737	2.848		
Total	63	2962.865			

Cuadro 4. Análisis de variancia (ANOVA) de las medias de los tratamientos efectuados en las plantaciones evaluadas en Oxapampa.

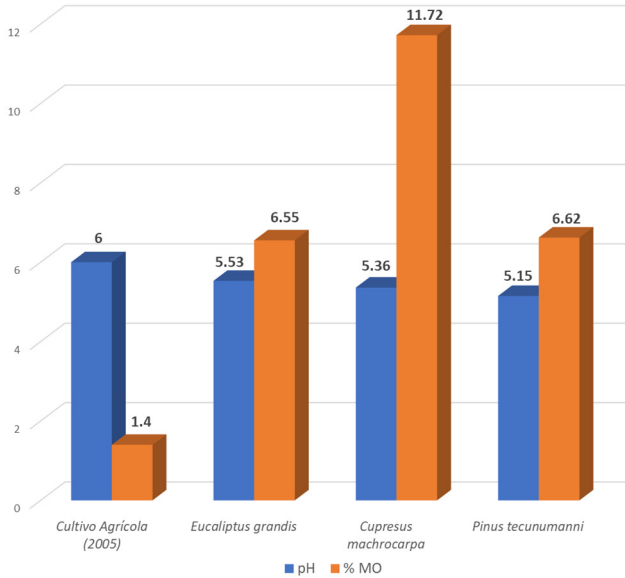


Figura 1. Resultados de pH y porcentaje de materia orgánica en el horizonte A1 de los suelos forestales evaluados en Oxapampa, Perú.

cies arbóreas pueden cultivarse en suelos con valores de pH entre 4.5 y 6.5 y que, si han de plantarse coníferas, así como especies de madera dura, los suelos con valores inferiores a 5.0 deberían reservarse para las especies más tolerantes a la acidez, como la mayor parte de las coníferas. Esta aseveración da sustento a los resultados reportados en esta investigación, los que también concuerdan con los expuestos por Chirino *et al.* (2016) al evaluar plantaciones de 10 años en Nueva Zelanda, quienes encontraron que el *P. radiata* bajó el pH de 4.9 a 4.5, *C. macrocarpa* de 5.3 a 5.1 y el *E. nitens* de 5.0 a 4.8; aunque podríamos decir que en Oxapampa el proceso de acidificación del suelo se ha dado con mayor intensidad para las tres especies, pues las diferencias de los valores alcanzados por las plantaciones respecto al año de inicio son mayores que los de Nueva Zelanda; aunque todavía no se ha alcanzado valores inferiores a 5.0, en los que las coníferas parecen desarrollarse mejor.

Los mayores porcentajes de materia orgánica medidos en los suelos de las plantaciones de coníferas respecto al del *E. grandis* no con-

cuerdan con lo mencionado por Manzanares y Navarro Cerrillo (2004), quienes sostienen que la descomposición y humificación suelen ser más intensos bajo bosques de caducifolias y menos intensos bajo bosques de coníferas, donde abundan tejidos leñosos ricos en compuestos fenólicos (lignina y celulosa, principalmente) resistentes a la biodegradación. Esta incongruencia de hechos podría explicarse por la eficiencia de los procesos de biodegradación de la materia orgánica que realizan los microorganismos presentes en las capas F y H del mantillo generado por cada especie, los cuales pueden generar sustancias orgánicas inmóviles o mineralizar los nutrientes contenidos en ella (Schlatter *et al.* 2006, Raulund-Rasmussen y Vejre 1995). Es decir, la descomposición del mantillo de las coníferas estaría generando una cantidad de sustancias poco móviles, o poco asimilables por las raíces de los árboles. De esta manera, las raíces de los árboles solo toman las sustancias nutritivas que realmente necesitan, y dejan en el suelo las sustancias orgánicas que no son capaces de asimilar, o les hacen daño. Entonces, cabe la posibilidad de que las sustan-

cias generadas por los microorganismos que degradan las acículas de las coníferas (especialmente las del *C. Macrocarpa*) contenidas en los humus que lixivian al suelo, contengan sustancias orgánicas poco atractivas para sus raíces, y al no tomarlas, el contenido de materia orgánica registrado es alto.

Pritchett (1986) afirma que el fósforo es un elemento esencial para la transferencia de energía que es esencial para la vida y crecimiento de todas las plantas verdes y que la materia orgánica es la principal fuente para los árboles en muchos suelos, y además que la disponibilidad de fósforo inorgánico para los árboles depende la acidez del suelo y sus efectos sobre la solubilidad del hierro, aluminio y magnesio, así como de la disponibilidad de

calcio, que disminuye su solubilidad en suelos menos ácidos, y en tercer lugar de la actividad de los microorganismos que degradan la materia orgánica. En base a esta información, los resultados obtenidos indican que la acidificación del suelo habría contribuido a que este elemento eleve su concentración original en el suelo (9.5 ppm) el año 2004 hasta los niveles registrados (Figura 2). Considerando que las coníferas contienen calcio en sus acículas, se podría pensar que un mayor contenido de este elemento en el ciprés podría explicar la menor concentración de fósforo en el caso de la plantación de *C. macrocarpa* (7.1 ppm). Otro resultado que plantea algún efecto del manejo de las plantaciones es el que los valores de fósforo registrados para las tres especies son cercanos a

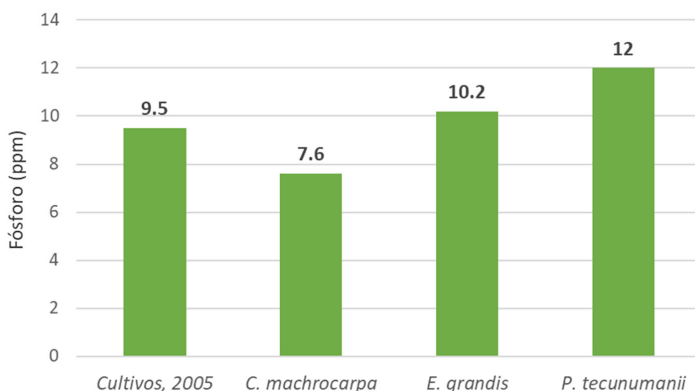


Figura 2. Contenido de fósforo en el horizonte A1 de los suelos forestales evaluados en Oxapampa, Perú.

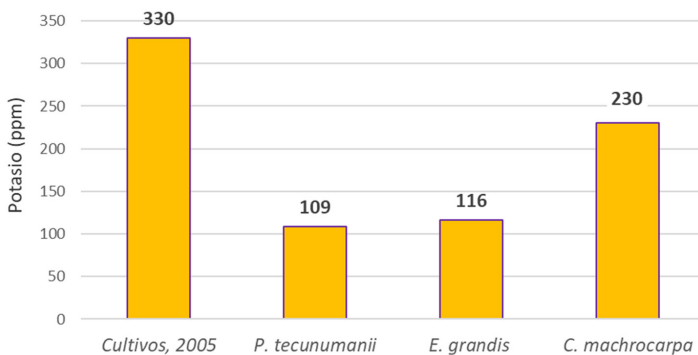


Figura 3. Contenido de potasio en el horizonte A1 de los suelos forestales evaluados en Oxapampa, Perú.

Comparación de Tratamientos	Diferencia de Medias	Contraste con Estadístico DMS	Conclusión
<i>P. tecunumanni</i> vs. <i>C. macrocarpa</i>	$9.85 - 6.18 = 3.67$	$3.67 > 1.83$	Existe diferencia significativa
<i>P. tecunumanni</i> vs. <i>E. urograndis</i>	$9.85 - 5.91 = 3.94$	$3.94 > 1.83$	Existe diferencia significativa
<i>C. macrocarpa</i> vs. <i>E. urograndis</i>	$6.18 - 5.91 = 0.27$	$0.27 < 1.83$	No existe diferencia significativa

Cuadro 5. Análisis DMS para la comparación de medias entre tratamientos efectuados en las plantaciones evaluadas en Oxapampa.

los que se registraron el año 2004. Es decir que el manejo de las tres especies tiene un efecto similar en cuanto al consumo de fósforo. Una experiencia que apoya esta idea es presentada por Chirino *et al.* (2016), quienes reportan por igual una significativa mineralización del fósforo en el suelo orgánico en plantaciones de 10 años de *P. Radiata*, *C. macrocarpa* y *E. nitens* a pesar de diferencias existente en las micorrizas de cada especie.

Los resultados de concentración de potasio en el suelo muestran que el efecto del manejo de las plantaciones ha dado lugar a una disminución importante de los niveles registrados en el año 2004 (330 ppm) a valores de 109 ppm y 230 ppm para el *P. tecunumanni* y *C. macrocarpa* respectivamente (Figura 3). Pritchett (1986) afirma que el rango adecuado para de concentración del potasio para el crecimiento de la mayor parte de los árboles es de 20 ppm a 200 ppm. Los resultados registrados entonces conducen a pensar que las acciones del manejo de las tres plantaciones han logrado establecer una dinámica de flujo es este elemento que permiten mantener la suficiente concentración para el adecuado desarrollo de los árboles.

Discusión

La aparente incongruencia sobre que la descomposición de la cubierta forestal en las plantaciones de las coníferas es menor y, que a la vez se registra mayor contenido de materia orgánica en el horizonte A1 merece ser discutida con prioridad. Podemos organizar la discusión revisando los mecanismos que actúan

en el ingreso de los nutrientes al suelo, en la medida que la materia orgánica que los contiene se descompone, los incorpora al suelo y los pone a disposición de las raíces de los árboles, y en segundo lugar los procesos radiculares que explican el consumo de los nutrientes por parte del crecimiento de los árboles.

Swift *et al.* (1979), citado por Arguello (1996), sostiene que la descomposición de la materia orgánica desempeña dos papeles primordiales a) mineraliza los elementos contenidos en ella, y b) ayuda a la incorporación de estos elementos en el suelo. Veamos entonces cómo es que ocurre la descomposición de la materia orgánica en las coníferas y el eucalipto, y tratar de resolver la incongruencia mencionada. Es conocido que las acículas de las coníferas se descomponen muy lentamente debido a su alto contenido de moléculas fenólicas (Manzanares y Navarro Cerrillo 2020) y ceras que impiden el ingreso de agua y su posterior descomposición (Baietto 2020). Entonces, podríamos pensar que el proceso de biodegradación de las acículas tiene una baja tasa de mineralización y una alta tasa de formación de sustancias que inmovilizan nutrientes en forma de sustancias que no son asimilables por las raíces. De esta manera se podría estar acumulando materia orgánica que acidifica el suelo y que a la vez no logra descomponerse en minerales asimilables por las raíces.

Pritchett (1986) refiere que Coleman y Thomas (1967) explican que los ácidos orgánicos producidos durante la descomposición del mantillo forestal son agentes importantes de intemperización y productores de acidez en el

Parámetros Dasométricos	<i>E. grandis</i>	<i>P. tecunumanii</i>	<i>C. macrocarpa</i>
Árboles al año 15 (N)	384	71	146
Espaciamiento (m) al año 1	2 x 2	3 x 3	2.8 x 2.8
Espaciamiento (m) promedio al año 15	4.8 x 4.8	6.5 x 6.5	3.7 x 3.7
DAP promedio por árbol al año 15 (m)	0.414	0.338	0.289
Área basal (AB) promedio por árbol al año 15 (m ² /árb.)	0.135	0.089	0.065
Porcentaje (%) de materia orgánica (MO)	6.55	6.62	11.72

Cuadro 6. Parámetros dasométricos al año 15 de las plantaciones de *E. grandis*, *P. tecunumanii* y *C. macrocarpa* evaluadas en Oxapampa.

suelo. Podemos pensar entonces en la posibilidad de que la descomposición del mantillo de las coníferas, especialmente el del *C. macrocarpa*, generan ácidos orgánicos que no necesariamente son tomados por las raíces de los árboles y se van acumulando en el suelo, y que los nutrientes que aportan al desarrollo vegetativo podrían ser proveídos por la acción de las micorrizas, o inclusive transportados por las lluvias desde lugares ajenos a donde están las plantaciones, tal como lo plantea De Lima (1986).

En cuanto al consumo de nutrientes por parte del desarrollo de los árboles durante 15 años, la discusión puede centrarse en los valores de los parámetros dasométricos obtenidos por el manejo las plantaciones. El parámetro que nos indica qué especie ha desarrollado mejor, y a la vez ha consumido más nutrientes, es el área basal promedio por especie (ABp). La especie con mayor ABp, y por ello con mayor consumo de nutrientes es el *E. grandis* (0.135 m²/árb), seguida por el *P. tecunumanii* y luego el *C. macrocarpa* con 0.089 m²/árb y 0.065 m²/árb, respectivamente (Cuadro 6). Sin embargo, vemos que los porcentajes de materia orgánica correspondiente para cada especie son en orden inverso al señalado respecto al ABp. El caso más resaltante es el del *C. macrocarpa*, en el que se presenta el menor ABp pero un alto porcentaje de materia orgánica en el horizonte A1 (11.6%). Esto quiere decir que esta especie no habría consumido eficientemente los nutri-

entes de la materia orgánica para poder desarrollarse, a pesar de que los tiene a disposición en abundancia, o que los microorganismos presentes en la cubierta forestal forman sustancias inmóviles y no asimilables por las raíces. En el caso de las otras dos especies, vemos que los porcentajes de materia orgánica correspondientes son bastante similares entre ellos y son poco más de la mitad que la del ciprés, pero que el ABp es mayor, especialmente en el caso del eucalipto. Es posible entonces que la biodegradación de la cubierta forestal en estas especies estaría formando una buena cantidad de sustancias que sí pueden ser asimiladas por las raíces y que el eucalipto consume más nutrientes de la materia orgánica y desarrolla más, lo cual corresponde con el alto valor de DAPp registrado.

Otra explicación que puede aclarar la incongruencia mencionada es el efecto de las limpiezas de malezas, podas y especialmente los raleos practicados durante los quince años de manejo de las plantaciones. Al ir eliminando los árboles de menor desarrollo o vigor para favorecer a los de mejor perspectiva, se obtuvieron niveles de luz, humedad y temperatura que crearon condiciones para que los microorganismos de la cubierta forestal degraden más eficientemente la materia orgánica de la cubierta forestal formando humus que se infiltran y ponen a disposición de las raíces los nutrientes que requieren los árboles (Schlatter *et al.* 2006, Raulund-Rasmussen y Vejre 1995). O en otro



Figura 4. Cubierta forestal y espaciamiento de las tres plantaciones al año 15 de las especies *E. grandis* (izquierda), *P. tecunumanii* (centro) y *C. macrocarpa* (derecha) evaluadas en Oxapampa, Perú.

caso, la apertura de espacio en las plantaciones habría favorecido la propagación de micorrizas que también aportan nutrientes a las raíces y que inclusive pueden descomponer algunas sustancias minerales y orgánicas complejas en el suelo para constituir elementos esenciales para las plantas (Harley 1969, Voigt 1965).

Vemos que en el caso del *E. grandis* y del *P. tecunumanii*, el espaciamiento obtenido luego de 15 años de manejo de las plantaciones es de $4.8\text{ m} \times 4.8\text{ m}$ y de $6.5\text{ m} \times 6.5\text{ m}$, respectivamente. Valores mucho más amplios que el de $2\text{ m} \times \text{m}$ y $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ al momento de la instalación inicial de los plantones, mientras que para el *C. macrocarpa* el incremento de espaciamiento no fue tan amplio, pues subió de $2.8\text{ m} \times 2.8$ a $3.7\text{ m} \times 3.7\text{ m}$ (Cuadro 6 y Figura 4). En este último caso, al haberse realizado un menor raleo, se habrían creado condiciones de mayor oscuridad y menor temperatura en la cubierta forestal que podrían estar limitando la vida de microorganismos que producen sustancias benéficas para las raíces, o favoreciendo a los que no son capaces de hacerlo o degradan parcialmente las complejas moléculas de las acículas, y por ello se estaría acumulando mayor porcentaje de materia orgánica en el suelo de la plantación de esta especie. Esta idea conduce a pensar que la baja eficiencia del uso de nutrientes a causa de una baja intensidad de raleo estaría reproduciéndose en muchas plantaciones de Oxapampa que no se manejan, o se hace en forma parcial. También surge la pregunta que, si la acidificación de los suelos lograda por el

manejo evaluado ocurre de la misma manera en el resto de las plantaciones no manejadas de Oxapampa, o que si hay algún otro patrón de manejo que ha logrado mejores resultados.

Finalmente, cabe la posibilidad de que el bajo rendimiento de los árboles de ciprés pueda deberse a la mala calidad de semilla utilizada y que como consecuencia de ello se tengan árboles de bajo vigor. Este es un tema por desarrollar, pues en Oxapampa existen pocos huertos semilleros que garanticen la calidad de las semillas (ver Gorbitz *et al.* 2020). Este hecho conduce a considerar que contar con semillas de calidad es esencial en el manejo de las plantaciones forestales en Oxapampa, pues de contar con material genético de calidad se podría mejorar los rendimientos de desarrollo vegetal en todas las especies y así lograr una inversión forestal más eficiente.

De los efectos del manejo de las plantaciones evaluados merece destacarse el que estas hayan acidificado el suelo a niveles de pH que, según la bibliografía revisada, favorecen el cultivo de los árboles. Este hecho es muy importante porque contribuye a darle sostenibilidad ambiental a la inversión realizada por los propietarios al instalar y manejar las plantaciones. A partir de esto, cabe preguntarse si el manejo realizado en las demás plantaciones de Oxapampa ha tenido efectos similares en la recuperación de la cubierta forestal y el suelo mineral. Por tal motivo, considerando que en Oxapampa se han reforestado más de tres mil

hectáreas, se recomienda realizar una investigación similar a la presente, pero a mayor escala cubriendo las dos clases de suelos según su potencial de reforestación definidas por Bockor (1986). Los resultados de esta investigación podrían conducir a que las autoridades encargadas de promover las plantaciones forestales en Oxapampa puedan orientar a quienes lo hacen a que su inversión sea más eficiente. En ese mismo sentido, es recomendable realizar mayores investigaciones sobre la dinámica de los procesos de descomposición de la materia orgánica en el estrato herbáceo de la cubierta forestal, así como de las micorrizas de las tres especies, como efecto de los diversos patrones de manejo que se realiza en las plantaciones forestales con fines maderables de Oxapampa. Finalmente, se recomienda que, como parte del manejo de las plantaciones, se cuente con semillas que de alguna manera aseguren un nivel mínimo de vigor, especialmente para el *Cupressus macrocarpa*.

Conclusiones

La evaluación del manejo forestal aplicado a las plantaciones estudiadas en el sector Alto Perú de Oxapampa muestra que en el suelo donde se plantaron las tres especies la descomposición de la materia orgánica de la cubierta forestal generada ha logrado alcanzar niveles de acidez y disponibilidad de fósforo y potasio en el horizonte A1 que, según la bibliografía revisada, permiten el cultivo de árboles. Sin embargo, cabe la posibilidad de mejorar la eficacia del manejo de las plantaciones sobre la acidificación del suelo a partir de la intervención de los microorganismos y micorrizas que intervienen en la descomposición de la materia orgánica, así como los mecanismos de asimilación de nutrientes desde el suelo forestal.

Agradecimientos

Quiero agradecer al ingeniero José Palomino por su paciencia y compartir sus conocimientos sobre la instalación de ensayos forestales en los años ochenta. También al ingeniero Gino Cassinelli por permitir realizar el estudio en su

terreno de Alto Perú y compartir su experiencia en el manejo de las plantaciones y facilitar la información del estudio de suelos del año 2005. Finalmente, al ingeniero Ricardo Villar por compartir sus conocimientos en el manejo y gestión de las plantaciones de Oxapampa. Ante la escasa información académica sobre las plantaciones forestales en Oxapampa, sin su valiosa ayuda hubiera sido muy difícil obtener información clara y certera sobre la instalación, manejo y desempeño de plantaciones forestales en Oxapampa desde inicios de siglo.

Referencias

- Arguello, H. 1996. Dinámica de la Producción y Descomposición del Mantillo en el Bosque muy Húmedo Tropical del Bajo Calima, Departamento del Valle del Cauca. *Agronomía Colombiana* 13(2):198–214.
- Baietto, S. 2020. Cuantificación y dinámica del mantillo forestal como aporte de carbón orgánico al suelo. Tesis Mag. en Ciencias Agrarias. Montevideo. Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Consultado 17 feb. 2023. Disponible en https://redi.anii.org.uy/jspui/bitstream/20.500.12381/244/1/POS_NAC_2016_1_130479.pdf.
- Baker, TG; Attiwill, PM. 1985. Above-ground nutrient distribution and cycling in *Pinus radiata* D. Don and *Eucalyptus obliqua* L'Herit. forests in southeastern Australia. *Forest Ecol Manag.* 13(1–2):41–52.
- Bubb, KA; Xu ZH; Simpson JA; Saffigna PG. 1998. Some nutrient dynamics associated with litterfall and litter decomposition in hoop pine plantations of southeast Queensland, Australia. *Forest Ecol Manag.* 110(1–3):343–352.
- Bockor, I. 1986. Resultados preliminares de los ensayos de especies y procedencias en campo abierto. Proyecto Peruano – Alemán INFOR/GTZ. San Ramón, Perú. 84 p.
- Carey, ML; Hunter IR; Andrew, IJ. 1982. *Pinus radiata* forest floor: factors affecting organic matter and nutrient dynamics. *Journal of Forestry Science* 12(1):36–48.

- Coleman, NT.; Thomas, GW. 1967. The basic chemistry of soil acidity. In Pearson, RW; Adams, F (eds.). Soil Acidity and Liming. American Soc of Agronomy. Madison, Wisconsin, EEUU. p. 1-41.
- De Paula, W. 1986. Principos de Hidrología Florestal para o Manejo de Bacias Hidrográficas. Universidad de Sao Paulo. Escola Superior de agricultura "Luiz de Queiroz". Departamento de Silvicultura. Curso de Engenharia Florestal. Piracicaba. Estado de Sao Paulo, Brasil. 250 p.
- De Salas, G. 1987. Suelos y ecosistemas forestales. IICA. San José. Costa Rica. 450 p.
- Chirino, I; Davis, M; Condrón, L. 2016. Impact of different species on soil phosphorus immediately following grassland afforestation. Journal of Soil and Plant Nutrition 16(2):477-489. Disponible en <https://www.scielo.cl/pdf/jsspn/v16n2/aop4016.pdf>.
- Duarte, N; Cuesta, F; Terán, A; Pinto, E; Arcos, I; Solano, A; Torres, O. 2017. Monitoreo de áreas de restauración ecológica en los bosques montanos de la Cordillera Occidental del Ecuador. CONDESAN (Consortio para el Desarrollo Sostenible en la Región Andina), Fundación Imaymana. Quito, Ecuador. 92 p. Consultado 5 mar. 2020. Disponible en https://condesan.org/wp-content/uploads/2018/10/PROTO-COLO-RESTAURACION-BOSQUES-MONTANOS-VERSION-FINAL-DIGITAL_ND-1.pdf.
- Ericsson, T. 1994. Nutrient dynamics and requirements of forest crops. New Zealand Journal of Forestry Science 24(2-3):133-168.
- Flachsenberg, H. 1985. Consideraciones Generales del Proyecto. Informaciones sobre organización, política, metas y avances del proyecto peruano-alemán. Proyecto Peruano-Alemán, Desarrollo Forestal y Agroforestal en la Selva Central. Ministerio de Agricultura, INFOR, CENFOR VIII. Misión Agroforestal Alemana. Documento de Trabajo No. 31. 223 p.
- Goya, JF; Frangi, JL; Pérez, C; Tea, FD. 2008. Decomposition and nutrient release from leaf litter in *Eucalyptus grandis* plantations on three different soils in Entre Ríos, Argentina. Bosque 29(3):217-226.
- Gorbits, GE; Ríos, L; Marujo, C; Cornejo, V; Medina, R; Sáenz, L. 2020. Estimación de la ganancia genética esperada de *Pinus tecunumanii* en plantaciones forestales en Oxapampa, Perú. Revista Forestal del Perú 35(3, Número Especial):56-64. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v35i3.1601>.
- Gosz, JR; Likens, GE; Bormann, FH. 1976. Organic matter and nutrient dynamics of the forest and forest floor in the Hubbard Brook forest. Oecologia 22(4):305-320.
- Harley, JL. 1969. The Biology of Mycorrhizae. 2a. Ed. Leonard Hill. Londres, Inglaterra. 334 p.
- Guariguata MR, Arce J, Ammour T y Capella JL. 2017. Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro. Documento Ocasional 169. Bogor, Indonesia: CIFOR. Visitado el 4 junio 2023. Disponible en <https://biblioteca.spda.org.pe/biblioteca/catalogo/data/20181211101959/Las%20plantaciones%20forestales%20en%20Peru.pdf>.
- Gunadi, B. 1994. Litterfall, litter turnover and soil respiration in two-pine forest in Central Java, Indonesia. Journal of Tropical Forest Science 6:310-322.
- Manzanares, P; Navarro Cerrillo, NR. 2004. Efecto de la sustitución del bosque nativo por plantaciones de pino y eucalipto sobre el horizonte orgánico en Concepción. Chile. ITEA 100(2):118-131. Disponible en https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2004/100V-2/100V-2_05.pdf.
- Perry, DA. 1994. Forest Ecosystems. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, United States of America. 613 p.
- Pritchett, W. 1986. Suelos Forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial Limusa. México, México. 634 p.
- Raulund-Rasmussen, K; Vejre, H. 1995. Effect of tree species and soil properties on nutrient

immobilization in the forest floor. *Plant and Soil* 168(1):345–352.

Ruiz, N. 2010. Análisis etiológico de la "muerte regresiva" del *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden y *Eucalyptus grandis x urophylla* en Oxapampa, Pasco. Tesis Ing. Forestal. Lima, Perú. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina. 142 p.

Sankaran, KV. 1993. Decomposition of leaf litter of albizia (*Paraserianthes falcataria*), eucalypt (*Eucalyptus tereticornis*) and teak (*Tectona grandis*) in Kerala, India. *Forest Ecology and Management* 56: 225-242.

Schlatter, J; Gerding, V. 1999 Productividad en el ejemplo de seis sitios característicos de la VIII región con *Pinus radiata* D. Don. *Bosque* 20(1):65-77.

Schlatter JE; Gerding, V; Calderón, S. 2006. Aporte de la hojarasca al ciclo biogeoquímico en plantaciones de *Eucalyptus nitens*, X Región, Chile. *Bosque* 27(2):115–125.

Schlatter, J; Otero, L. 1995. Efecto de *Pinus radiata* sobre las características químico-nutritivas del suelo mineral superficial. *Bosque* 16(1):29–46.

Swift, MJ; Heal, OW; Anderson, JM. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. *Studies in ecology* 5:1–384.

Voigt, GK. 1965. Nitrogen recovery from decomposing tree leaf tissue and forest humus. *Soil Science Society of America, Proceedings* 29(6):756–759.