

Lignina kraft amoxidada como fertilizante de liberación lenta para *Pinus cembroides* en suelo de vivero

C.A. Ramírez Barragán¹, F.S. Bernardino Avalos², A. Rodríguez Rivas¹, S.G. Díaz Ramos¹, J. A. Andrade Ortega^{1*}

¹Departamento de Madera, Celulosa y Papel, CUCEI, Universidad de Guadalajara, Autopista Guadalajara-Nogales Km 15.5, Predio "Las Agujas" Nextipac, C.P. 445110, Zapopan, Jalisco, México.

²Licenciatura en Ingeniería Química, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Blvd. Marcelino García Barragán 1421, C.P. 44430, Guadalajara, Jalisco, México.

*aandrade@dmcyp.cucei.udg.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El nitrógeno es uno de los macronutrientes principales necesarios para el desarrollo vegetal, y en plantas forestales se requiere de un aporte sostenido por tiempos prolongados, por lo que se buscan fertilizantes de liberación lenta. En el presente trabajo se empleó lignina amoxidada (11.5% de nitrógeno) como fertilizante en suelo de vivero para plántula de *Pinus cembroides*. El objetivo es el estudio del efecto sobre la altura de la plántula y cantidad de nitratos lixiviados. Los resultados mostraron que las plántulas se desarrollaron más vigorosas respecto a los tratamientos de gallinaza, tierra de encino y el testigo. La dosificación de 100 y 200 Kg N/Ha no mostró diferencia significativa entre ellos. En cuanto a la liberación de nitratos en las aguas de lixiviación se presentó un máximo a los 84 días y cuantitativamente fue menor que el tratamiento con gallinaza y mayor que el de tierra de encino.

Palabras clave: lignina amoxidada, fertilizante orgánico, *Pinus cembroides*.

Abstract

Nitrogen is one of the main macronutrients necessary for plant development, in forest plants a sustained supply is required for extended periods, so slow release fertilizers are sought. In this work amoxidized lignin was used (11.5% nitrogen), as a fertilizer in nursery soil for seedling of *Pinus cembroides*. The objective was the study of the effect on the height of the seedling and amount of leached nitrates. The dosage of 100 and 200 Kg N/Ha did not show significant difference between them. Regarding the release of nitrates in the leaching waters, a maximum was presented at 84 days and quantitatively it was less than the samples with chicken manure and greater than that of oak land.

Key words: amoxidized lignin, organic fertilizer, *Pinus cembroides*.

Introducción

El rápido incremento de la población, demanda una productividad agroalimentaria en forma exponencial, no sólo en cantidad, sino también en calidad; por ello la adecuada y sostenida fertilización de los suelos se ha convertido en una meta prioritaria (Alshamaileh, Al-rawajfeh, & Alrbaihat, 2018). Un fertilizante ideal deberá proveer el nutriente necesario para un óptimo crecimiento de las plantas durante el tiempo requerido hasta la cosecha, con un razonable costo beneficio y sin detrimento al medio ambiente (Gandaza, Shoji, & Yamada, 1991).

Actualmente se reconocen tres estrategias para incrementar la eficiencia de los fertilizantes: a) las prácticas que tradicionalmente se siguen de mezclar intensivamente el fertilizante con el suelo; b) inhibir la actividad microbiana para evitar la conversión de amoníaco a nitrato y/o urea a amoníaco y c) emplear fertilizantes de liberación lenta (FLL) (Shaviv, 2001); esta última es la más novedosa, y especialmente conveniente para aquellos fertilizantes basados en nitrógeno, ya que reducen las pérdidas de este por lixiviación (Pereira et al., 2015).

En el suelo el nitrógeno en forma de nitratos es lavado fácilmente y puede moverse lentamente a través de los

sustratos terrestres hacia el agua subterránea o ser filtrados hacia el agua superficial. Excesivas concentraciones de iones nitrato en agua (más de 10 ppm) pueden ser tóxicas a humanos y animales (Baker, Gilron, Chalmers, & Elphick, 2017).

Para hacer que un fertilizante presente la propiedad de liberación lenta (LL) se reconocen dos estrategias: 1) encapsular al fertilizante con un material insoluble o poco soluble en agua y 2) sintetizar un fertilizante que sea poco soluble en agua (Lubkowski, Smorowska, Grzmil, & Kozłowska, 2015). En vista de lo anterior, todo parecería indicar que el método de encapsular sea el más recurrido; sin embargo, debido a las tendencias de sustentabilidad y eco-ambientales actuales, resulta más atractivo diseñar y sintetizar un fertilizante que cumpla varios propósitos a la vez, sobre todo si se piensa en emplear materiales de origen orgánico que son subproductos o material de descarte de otros procesos (Chen et al., 2018).

De los materiales empleados para la generación de los FLL se distinguen aquellos biodegradables de origen natural por ser ambientalmente amigables como: la quitosana, la celulosa y sus derivados y la lignina; entre otros (Campos, de Oliveira, Fraceto, & Singh, 2014; Chen et al., 2018; Shaviv, 2001). La lignina se destaca por ser el tercer biopolímero más abundante, se puede obtener como un subproducto de otros procesos, como la obtención de celulosa a partir de madera y etanol lignocelulósico, por lo que resulta en un material de bajo costo (Chen et al., 2018; Chowdhury, 2014; Fu, Qin, Wang, & Li, 2018). Uno de los procesos para usar la lignina como materia prima para sintetizar un FLL es la amonización oxidativa (amoxidación) de este material; es un procedimiento que normalmente se realiza sometiendo a la lignina a alta presión y alta temperatura en presencia de oxígeno con la finalidad de fijar nitrógeno a la matriz de lignina (Fu et al., 2018). Las ventajas adicionales de la lignina amoxidada es que forma la base para la producción de humus; puede actuar como un aditivo para equilibrar el suelo agrícola que es deficiente en materia orgánica por lo que se reduce el uso masivo de fertilizante inorgánico; aumenta la altura del suelo; mejora la fertilidad del suelo al mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas (Fischer & Schiene, 2002; Jiao, Xu, Cao, Peng, & She, 2018; Kamble & Bhattacharyulu, 2014).

En el presente trabajo de investigación se emplea lignina amoxidada (11.5% de nitrógeno) como fertilizante en suelo de vivero para plántula de *Pinus cembroides* con la finalidad de estudiar el efecto sobre la altura de la plántula y cantidad de nitratos lixiviados en las aguas de riego.

Metodología

Materiales

Para este trabajo se utilizaron plántulas de *Pinus cembroides*, con una edad de 21 días. La semilla fue donada por el Centro de Educación y Capacitación Forestal No.3, de Saltillo, Coahuila, México. El sustrato utilizado se elaboró mediante una mezcla de vermiculita, agrolita y turba, en una proporción 2:2:1, respectivamente. La semilla, las charolas de germinación y el sustrato fueron esterilizados en una autoclave a 120 psi durante 20 minutos. La germinación se realizó en un invernadero a una temperatura promedio de 21°C y humedad relativa de 60-70%, en el mes de julio. Bajo estas condiciones se obtuvo un 65% de plántulas desarrolladas en 21 días, las cuales fueron trasplantadas a las unidades experimentales, macetas de 16 cm de diámetro superior, 12 cm de altura y 11 cm de diámetro inferior.

Dosis de nitrógeno

La dosis de nitrógeno para cada unidad experimental fue de 0.4 g, la cual es una fertilización equivalente a 200 Kg N/ha. El nitrógeno fue obtenido a partir de materiales de desecho o subproductos de tres orígenes distintos:

- Material orgánico de procedencia animal: gallinaza.
- Material orgánico de procedencia vegetal: tierra de encino.
- Material orgánico de procedencia industrial: lignina kraft amoxidada.

La cantidad de nitrógeno de cada uno de los abonos fue determinada mediante el procedimiento Kjeldahl. La cantidad de nitrógeno de los abonos de gallinaza, tierra de encino y lignina kraft amoxidada fue de 0.92, 1.2 y 11.5%, respectivamente.

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, el cual comprendió 50 unidades experimentales y 5 tratamientos con 10 repeticiones cada uno. Los tratamientos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos y contenido de nitrógeno.

Tratamiento	Descripción	N por unidad experimental (g)	Dosis (Kg N/Ha)	Material (g)
A	Testigo (0.0 g N)	0.0	0	0
B	Testigo + Gallinaza	0.4	200	43.47
C	Testigo + Tierra de encino	0.4	200	33.33
D	Testigo + Lignina kraft amoxidada * 1	0.4	200	3.48
E	Testigo + Lignina kraft amoxidada * 2	0.2	100	1.74

El testigo fue el suelo base utilizado con una composición de tierra de encino, arena de río y suelo agrícola, en proporciones 1:3:4 respectivamente. Una vez obtenidos los materiales se tamizaron en una malla de tamaño 0.5x0.5 cm², excepto el suelo agrícola que se tamizó con una malla 0.1x0.1 cm². Una vez esterilizados los tratamientos se trasplantaron 3 plántulas de pino por unidad experimental. Debido a las cantidades de los abonos para los tratamientos A y B se mezcló con el suelo base para llenar las macetas y para los C y D la lignina se colocó en la superficie de las unidades experimentales.

Proceso de amoxidación

El proceso de amoxidación se llevó a cabo de acuerdo al procedimiento reportado por Zúñiga, Ramírez, Meier, & Faix, (1992), el cual se describe en forma resumida a continuación. Se utilizó lignina kraft de la Compañía Industrial de Atenquique, conocida con el nombre comercial de "Lignaten", la cual se lavó con agua acidulada para eliminar restos de sustancias inorgánicas provenientes del proceso de pulpeo. La reacción se llevó a cabo en un reactor completamente agitado de 2 litros, marca Büchi, con control de temperatura, velocidad de agitación y medición de presión. Se colocaron 45 g de lignina y se disolvieron en 50 ml de NH₄OH más 550 ml de agua destilada; el aire del reactor se sustituyó por oxígeno a una presión de 15 bar; la temperatura fue de 150°C durante un tiempo de reacción de 70 minutos. El contenido final de nitrógeno en las muestras secas de la lignina amoxidada fue de 11.5%, determinado mediante la técnica de micro Kjeldahl.

Análisis de aguas de lixiviación

La determinación de nitratos en las aguas de lixiviación de los diferentes tratamientos para los sustratos orgánicos utilizados es de gran importancia debido a que una parte central del estudio es el comportamiento de la pérdida de nitrógeno por el agua de lixiviación; con el objeto de determinar si el tratamiento propuesto con lignina amoxidada presenta una liberación más lenta en comparación con los demás sustratos. Además, la cantidad de nitratos presentes en las aguas lixiviadas es una medida de la mineralización de los compuestos nitrogenados presentes. La cuantificación de los iones nitrato fue realizada mediante la recolección de lixiviados de aguas de riego cada 21 días durante un periodo total de 126 días. La determinación se llevó a cabo mediante el método de reducción de cadmio utilizando un espectrofotómetro marca Hatch modelo DR-3000. En resumen, la técnica consiste en tomar 25 ml de agua a analizar, añadir el contenido de la cápsula "Nitra ver 5" (Hatch Company), agitar por 1 minuto y dejar reposar por 5 minutos para el desarrollo del color. Finalmente se lee su absorbancia a 500 nm; el equipo indica el resultado de la cantidad de nitratos en mg/L.

Determinación de vigor vegetativo de la plántula

El vigor vegetativo se manifiesta por el aumento en la velocidad de crecimiento, el cual se refleja en un incremento en el volumen y peso de la planta. La tasa de crecimiento en altura y diámetro de una planta es el producto de la multiplicación y elongación celular, que ocurre en los tejidos situados en diferentes partes de la planta. Cada una de estas partes tiene un ritmo de crecimiento diferente, producto de una serie de procesos fisiológicos coordinados, que involucran la síntesis de alimentos, su translocación y asimilación en nuevos tejidos. El crecimiento en la altura es más notable en las etapas juveniles y tiene particular importancia en la fase de crecimiento (Klepac, 1983). Para evaluar el vigor vegetativo se cuantificó la altura de las plántulas, con toma de datos cada 21 días, para ello se utilizó una regla de 30 cm y un vernier. Se realizaron 6 mediciones a lo largo de los 126 días totales del experimento.

Resultados y discusión

Se midieron los valores de pH, tanto de los sustratos (inicial y final) como de las aguas de lixiviación, con el fin de determinar si hay variaciones que pudieran ser dañinas para los cultivos, en especial en los tratamientos donde se utilizó lignina. El pH influye en el proceso de nitrificación, el cual primero convierte el nitrógeno en forma básica (amonio) o neutro (amina) a una forma ácida (nitrato). Un pH bajo induce la desnitrificación y la pérdida de nitratos el cual libera nitrógeno en forma de gas a la atmósfera. En cuanto al pH de los sustratos tanto al inicio como al final del periodo experimental se presentaron valores entre 6.4 y 7.0, los cuales se pueden considerar como neutros y benéficos para los cultivos porque favorecen la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes.

Los valores de pH de las aguas de lixiviación entre los diferentes tratamientos tuvieron algunas variaciones. El tratamiento de gallinaza tiende ligeramente hacia la acidez, ya que presentó una caída desde un valor de 6.45 a los 21 días, hasta 5.8 a los 126 días. Un valor de pH bajo puede favorecer el crecimiento de algunos hongos perjudiciales para las plantas. Por otra parte, el tratamiento que usó tierra de encino se mantuvo prácticamente sin cambios. Los tratamientos C y D (lignina amoxidada) presentaron valores que oscilaron entre 5.8 y 6.1; mientras que los del testigo (E) mostraron valores en un rango de 6.1 a 6.5. En general los valores de pH de todos los tratamientos no representan un peligro de daño ni para las plantas, ni para los mantos freáticos.

Cuantificación de nitratos en aguas de lixiviación

La importancia de la evaluación de la cantidad de nitratos liberada en las aguas de lixiviación es que nos permitió conocer (de forma indirecta) el proceso de nitrificación, lo cual implica saber la tasa de liberación del nitrógeno y por lo tanto clasificar si el fertilizante orgánico se puede considerar como de liberación lenta.

En la Figura 1 se presentan los resultados del contenido de nitratos en las aguas de lixiviación (mg/L) durante las 6 tomas de muestras a lo largo de los 126 días que duró el experimento. Es bastante notorio que el tratamiento A (gallinaza) es el que liberó de forma más rápida los iones nitrato, alcanzando un máximo en la cuarta toma (84 días). Los tratamientos a base de lignina (C y D) muestran un comportamiento distinto, para las primeras 3 tomas los valores son significativamente menores que para la gallinaza (A) y muy similar a la tierra de encino (B), entre 75 y 100 mg/L. Sin embargo, la cuarta toma (84 días) presentó la máxima liberación de nitratos con 150 mg/L aproximadamente, para luego decrecer en la parte final del experimento. Este comportamiento puede deberse a que en el tiempo de 84 días se ha alcanzado la máxima tasa de mineralización de la lignina amoxidada, lo cual derivó en una alta concentración de nitratos en las aguas de lixiviación.

Por otro lado, el tratamiento donde se usó tierra de encino (B) es el que presentó menores cantidades de nitratos liberados en el periodo estudiado, esto puede ser debido a que los abonos orgánicos presentan una mineralización más lenta y van liberado el nitrógeno de forma lenta y progresiva, sin embargo, es necesaria una aplicación espaciada y copiosa para asegurar un buen aporte de nitrógeno a las plantas.

Al final de los 126 días los dos tratamientos que liberaron las más altas cantidades de nitratos fueron el de gallinaza (A) y lignina amoxidada 1 (0.4 g N), esto indica que una dosis de 0.2 g N resulta más adecuada para este caso. Una dosis mayor provocará una pérdida importante del nitrógeno en forma de nitratos que será arrastrada por las aguas de riego y no será aprovechado por las plantas.

En la Figura 2 se muestran los resultados para el comportamiento de la altura de las plántulas durante el periodo estudiado de 126 días, con mediciones cada 21 días. El tratamiento con mayor altura de las plántulas fue el de lignina amoxidada 1 (0.4 g N), seguido de lignina amoxidada 2 (0.2 g N). El tratamiento de tierra de encino presentó altura de las plántulas mayores que los mostrados por el testigo, sin embargo, en todos los casos la altura fue menor que para los dos tratamientos donde se utilizó lignina amoxidada. Para el tratamiento donde se usó gallinaza se presentaron los valores menores de altura de las plántulas, aún comparados con los del testigo; esto puede deberse a la alta cantidad de nitratos y materia orgánica no degradada presentes, lo cual implicó la presencia de "damping off", el cual es un término empleado en el área forestal para referirse a la pérdida de plántulas debido a ahogamiento del tallo propiciado por hongos. Este fenómeno presentado con el tratamiento de gallinaza pudo haber sido favorecido por la caída del pH en las aguas de lixiviación, de 6.45 a 5.8, el cual fue el mayor observado para los tratamientos.

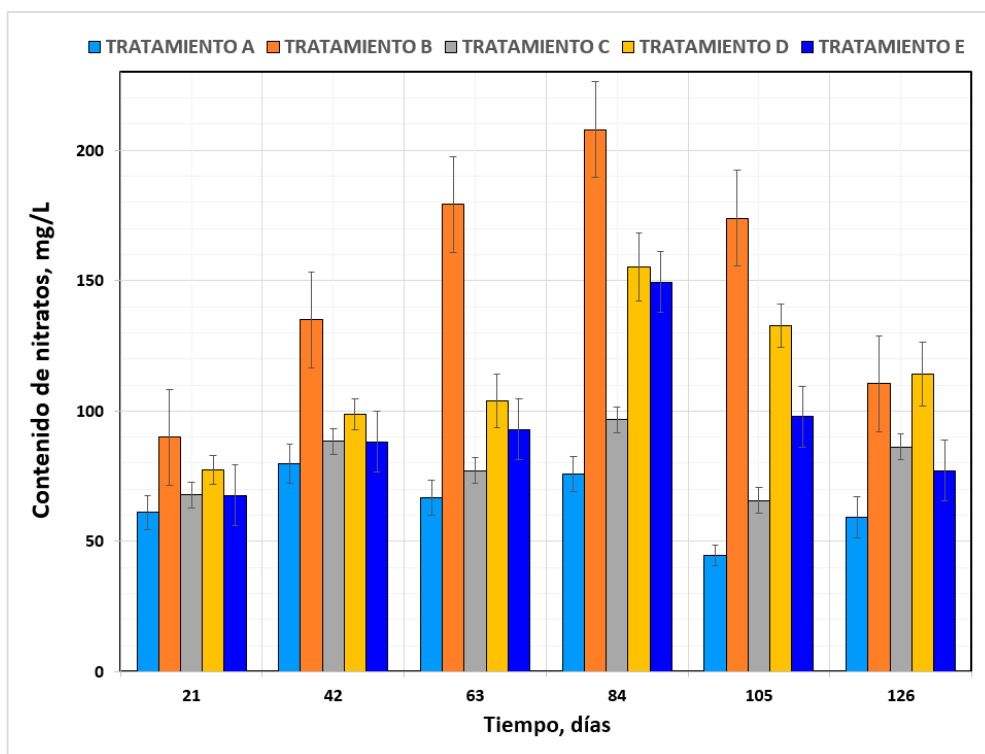


Figura 1. Contenido de nitratos en aguas de lixiviación para los diferentes tratamientos utilizados

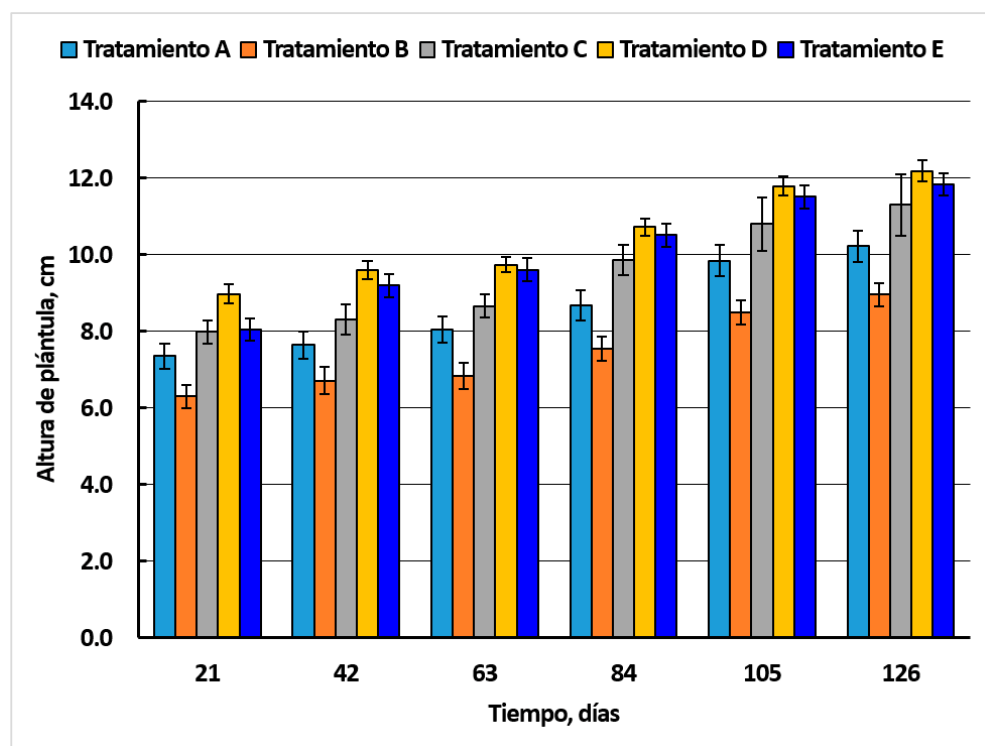


Figura 2. Comportamiento de la altura de plántulas para los tratamientos estudiados

Trabajo a futuro

Se recomienda emplear lignina amoxidada en una plantación forestal experimental donde se utilice como sustrato, agrolita, vermiculita y turba, con el fin de observar el comportamiento, su degradación y mineralización en un material con cantidades mínimas de microorganismos, comparado con un sustrato elaborado con suelo agrícola, materia orgánica y arena, es decir comparar una plantación tradicional con una experimental. También sería interesante utilizar tratamientos combinados de lignina amoxidada con un fertilizante inorgánico tradicional, con el fin de que el segundo aporte el nitrógeno de forma rápida en las etapas iniciales y la lignina amoxidada en un periodo a largo plazo.

Conclusiones

El empleo de lignina kraft amoxidada como fertilizante de liberación lenta en vivero para plántulas de *Pinus cembroides* resultó satisfactorio. La adición de nitrógeno, mediante el uso de lignina amoxidada tuvo un efecto benéfico en las plántulas, las cuales se desarrollaron más vigorosas respecto a los tratamientos de gallinaza, tierra de encino y el testigo. Para la dosificación de 100 como para la de 200 Kg N/Ha (0.2 y 0.4 g de nitrógeno por unidad experimental) no se mostró diferencia significativa entre ellos, por lo que se recomienda usar la menor. En cuanto a la liberación de nitratos en las aguas de lixiviación se presentó un máximo a los 84 días y cuantitativamente fue menor que el tratamiento con gallinaza y mayor que el de tierra de encino.

Referencias

- Alshamaileh, E., Al-rawajfeh, A. E., & Alrbaihat, M. (2018). Mechanochemical Synthesis of Slow-release Fertilizers : A Review. *The Open Agriculture Journal*, 12, 11–19.
<https://doi.org/10.2174/1874331501812010011>
- Baker, J. A., Gilron, G., Chalmers, B. A., & Elphick, J. R. (2017). Evaluation of the effect of water type on the toxicity of nitrate to aquatic organisms. *Chemosphere*, 168, 435–440.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.059>
- Campos, E. V. R., de Oliveira, J. L., Fraceto, L. F., & Singh, B. (2014). Polysaccharides as safer release systems for agrochemicals. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1), 47–66.
<https://doi.org/10.1007/s13593-014-0263-0>
- Chen, J., Lü, S., Zhang, Z., Zhao, X., Li, X., Ning, P., & Liu, M. (2018). Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.186>
- Chowdhury, M. A. (2014). International Journal of Biological Macromolecules The controlled release of bioactive compounds from lignin and lignin-based biopolymer matrices. *International Journal of Biological Macromolecules*, 65, 136–147. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.01.012>
- Fischer, K., & Schiene, R. (2002). Nitrogenous Fertilizers from Lignins — A Review. In *Chemical Modification, Properties, and Usage of Lignin* (pp. 167–198). <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0643-0>
- Fu, Y., Qin, M., Wang, Z., & Li, Z. (2018). Application of Lignin and Its Derivatives as Slow / Controlled Release Materials in Agricultural Fields, 3(1).
- Gandeza, A. T., Shoji, S., & Yamada, I. (1991). Simulation of Crop Response to Polyolefin-coated Urea: 1. Field Dissolution. *Soil Science Society of America Journal*, 55, 462–467.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1991.03615995005500050044x>
- Jiao, G., Xu, Q., Cao, S., Peng, P., & She, D. (2018). com Controlled-Release Fertilizer with Lignin Used to Trap Urea/Hydroxymethylurea/ Urea-Formaldehyde Polymers. *Bioresources*, 13(1), 1711–1728.
- Kamble, S. V., & Bhattacharyulu, Y. C. (2014). Soil Conditioner by Artificial Amoxidation of Lignin and Optimization Using Response Surface Methodology. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 03(10), 16534–16539.
<https://doi.org/10.15680/IJRSET.2014.0310018>
- Klepac, D. (1983). *Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales* (Segunda Ed). Texcoco, Estado de México.: Universidad Autónoma Chapingo.
- Lubkowski, K., Smorowska, A., Grzmil, B., & Kozłowska, A. (2015). Controlled-release fertilizer prepared using a biodegradable aliphatic copolyester of poly(butylene succinate) and dimerized fatty acid. *Journal of*

- Agricultural and Food Chemistry*, 63(10), 2597–2605. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00518>
- Pereira, E. I., Cruz, C. C. T., Solomon, A., Le, A., Cavigelli, M. A., & Ribeiro, C. (2015). Novel Slow-Release Nanocomposite Nitrogen Fertilizers: The Impact of Polymers on Nanocomposite Properties and Function. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 54, 3717–3725. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b00176>
- Shaviv, A. (2001). Advances in controlled-release fertilizers. *Advances in Agronomy*, 71, 1–49. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)71011-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)71011-5)
- Zúñiga, P. V., Ramírez, C. F. de J., Meier, D., & Faix, O. (1992). No Title. In *ATCP-México* (p. Vol. XXXII, (5):6-11). México, D.F.: Asociación Técnica de la Celulosa y el Papel.