

Revisión Sistemática de la Literatura en la Planificación de la Producción de Aserraderos

López Karina (Instituto de Ingeniería Mecánica y Producción, Facultad de Ingeniería,
Universidad de la República)

Piñeyro Pedro (Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República)

Viana Victor (Centro Universitario Regional Litoral Norte, Universidad de la República)



Este trabajo tiene por objetivo realizar una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) en que lo refiere a la temática de optimización de la planificación de aserraderos, entre los años 2010 a 2021. Para realizar este trabajo se diseñó la RSL de la siguiente manera: primeramente, se plantearon las preguntas a responder a través de la aplicación de la metodología, se seleccionaron las bases de datos bibliográficas a consultar, seguidamente se seleccionaron las palabras claves a considerar en la búsqueda, para luego realizar una clasificación y análisis de los artículos encontrados y seleccionados. Para finalizar se presentan las principales ideas que detallan los artículos seleccionados y que permiten dar respuestas a las preguntas planteadas.

Palabras clave: optimización, operaciones, aserradero, producción.

1. Introducción

Para mejorar el desempeño de la industria forestal es necesario estudiar las operaciones e interacciones entre los distintos miembros involucrados en la cadena de suministro, desde la planificación de la cosecha hasta la entrega del producto final al cliente y su logística de reversa (VAHIDA et al., 2016).

En la literatura se dispone de herramientas, metodologías y diversos casos de estudios que persiguen el objetivo de optimizar las operaciones de la industria forestal y en particular de uno de sus actores claves: los aserraderos.

El presente trabajo tiene por objetivo realizar una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) en torno a la optimización de la planificación de la producción de aserraderos en el período comprendido entre 2010 y 2021.

El trabajo se organiza exponiendo primeramente un marco teórico en donde se detallan los lineamientos para la elaboración de una RSL, seguidamente se presenta el método utilizado para la elaboración de la RSL acerca de la optimización de la planificación de la producción en aserraderos, para luego presentar los resultados obtenidos. A continuación, se realiza un análisis acerca de los resultados obtenidos y se finaliza con un conjunto de conclusiones y lineamientos para futuras investigaciones.

2. Marco teórico

De acuerdo con Kitchenham (2004), una RSL persigue el objetivo de identificar, evaluar e interpretar la información disponible en torno a un tema que se desee investigar. El método de está basado en una metodología la cual se centra en el análisis de revisiones bibliográficas en el área de Ciencias Humanas y Medicina.

El proceso de búsqueda se organiza de la siguiente forma: primero se realiza el diseño de la RSL, presentando la formulación de las preguntas que se busca responder, seguido se seleccionan las bases de datos bibliográficas donde se realizará la búsqueda con el conjunto de palabras claves a buscar. Luego se lleva a cabo la búsqueda y se muestran los resultados obtenidos realizando un análisis de los mismos. Finalmente se presentan las conclusiones obtenidas a partir de la RSL (CALVACHE; MORALES, 2016).

En los últimos años ha existido una evolución de esta metodología y se ha comenzado a utilizar para temáticas en el sector de ingeniería (RUDAS; GÓMEZ; TORO, 2013).

3. Método

Se detalla a continuación las preguntas de investigación que se buscan responder a través de la

RSL, el marco temporal, las bases de datos bibliográficas y las palabras claves consideradas para la búsqueda, así como los criterios de clasificación de los estudios encontrados.

3.1 Preguntas de Investigación

Las preguntas de investigación componen el paradigma bajo el cual se realiza el estudio y permiten clasificar el material bibliográfico encontrado en la búsqueda. Teniendo en consideración estas preguntas se analizan los estudios seleccionados, los cuales se clasifican posteriormente siguiendo determinados criterios impuestos por el autor (RUDAS; GÓMEZ; TORO, 2013). A continuación, se presentan las preguntas de investigación tenidas en consideración para este trabajo:

- ¿Qué propuestas existen para la optimización de la planificación de la producción de aserraderos?;
- ¿Qué propuestas existen para maximizar beneficios en un aserradero?;
- ¿Qué modelos matemáticos de maximización de beneficios en industrias forestales existen y son más utilizados?.

3.2 Marco temporal y bases de datos bibliográficas

El proceso de RSL consiste en realizar una búsqueda de literatura que permita encontrar estudios que guarden una relación con el tema de interés. Para realizar este proceso se debe establecer un intervalo temporal el cual se considerará para realizar la búsqueda, enfocándose en estudios publicados en un cierto rango temporal (RUDAS; GÓMEZ; TORO, 2013). Para este trabajo se consideró pertinente delimitar el proceso de búsqueda entre los años 2010 y 2021 con el fin de identificar una perspectiva actual en relación al tema en cuestión. En la RSL se emplearon las siguientes bases de datos bibliográficas para la búsqueda de la literatura:

- Scopus;
- Springer;
- Institute of Electrical and Electronics Engineers;
- ScienceDirect.

3.3 Palabras clave

Tomando en consideración el tema de este trabajo, se definió un conjunto de palabras claves, las cuales, a través de la utilización de conectores lógicos, se emplearon en el proceso de búsqueda de estudios. Las palabras claves utilizadas en este trabajo fueron: *Operational/operations research, profit maximization, mathematical model, mathematical modeling, sawmill, maximize profit y optimization*. Estas palabras claves derivaron en las siguientes búsquedas:

- ((*“operational research”*) OR (*“operations research”*) OR (*“profit maximization”*)) AND (*sawmill*);
- ((*“mathematical model”*) OR (*“mathematical modeling”*)) AND (*sawmill*), ((*“maximize profit”*) OR (*“profit maximization”*)) AND (*sawmill*);
- ((*optimization*) AND (*profit*) AND (*sawmill*)).

Las palabras claves mostradas anteriormente fueron seleccionadas ya que poseen una estrecha relación con el tema de estudio y permiten realizar una búsqueda específica dentro de las bases de datos bibliográficas.

3.4 Criterios de clasificación de los estudios

La literatura encontrada en la búsqueda bibliográfica fue registrada en una planilla electrónica detallando la siguiente información: número de referencia DOI, base de datos bibliográfica de búsqueda, título, país de aplicación del estudio, año de publicación, autores, campo de aplicación del estudio e ideas principales, reportando si se realizaba una optimización de la planificación de la producción mediante la utilización de modelado matemático.

Luego de clasificar los estudios recopilado en la RSL, se procedió a evaluar los mismos con el fin de seleccionar aquellos trabajos que pudieran dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas. De esta forma se plantearon criterios de inclusión y exclusión de la literatura para ser analizados en profundidad. Los criterios establecidos se detallan a continuación:

Criterios de inclusión: si el estudio presenta un análisis de maximización de beneficios o minimización de costos para la planificación de la producción (por ejemplo, a través de la utilización de un modelo de programación matemática) y es aplicable a la industria forestal;

Criterio de exclusión: si el estudio no incluye un análisis de maximización de beneficios o minimización de costos en operaciones forestales, no resuelve el modelo matemático planteado o si es un estudio duplicado.

En la Tabla 1 se resume el protocolo de RSL diseñado para este trabajo:

Tabla 1 – Protocolo de Revisión Sistemática de Literatura diseñado para el presente trabajo de investigación

Campo	Descripción
Palabras claves	<i>Operational/operations research, profit maximization, mathematical model, mathematical modeling, sawmill, maximize profit y optimization</i>
Período de tiempo	2010 - 2021
Bases de datos	Scopus, Springer, Institute of Electrical and Electronics Engineers y ScienceDirect
Criterio de inclusión	Posee metodología de maximización de beneficios (o minimización de costos) para la planificación de la producción y se aplica en la industria forestal
Criterio de exclusión	No se incluye una metodología de maximización de beneficios (o minimización de costos), no se resuelve un modelo matemático o es un estudio duplicado

Fuente: elaboración propia

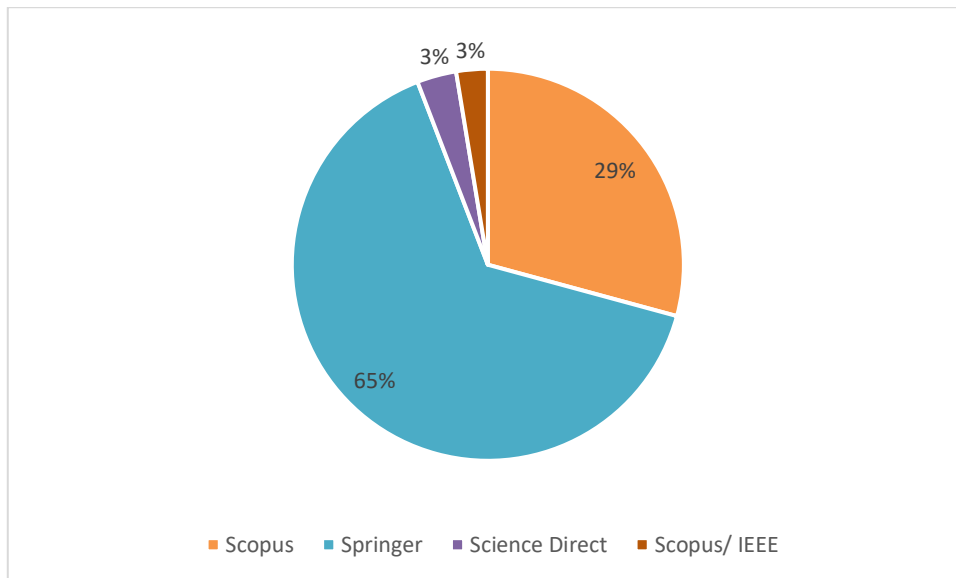
Posteriormente se realizó un análisis de los estudios que cumplieran con el criterio de inclusión para dar respuestas a las preguntas planteadas en la subsección 3.1.

4. Resultados y discusión

A través de la utilización de la metodología de RSL descrita en la sección anterior, se obtuvieron y clasificaron 154 estudios. De la totalidad de artículos obtenidos, 25% posee un modelo de programación matemática de maximización de beneficios o minimización de costos para la planificación de la producción, 69% no desarrolla un modelo y un 6% fueron clasificados en una de las dos categorías anteriores ya que no se pudo acceder a los mismos.

Del total de artículos revisados, un 65% fueron obtenidos a través de la base de datos bibliográfica Springer, un 29% de Scopus, un 3% de Science Direct y el restante 3% figuraban al mismo tiempo en Institute of Electrical and Electronics Engineers y en Scopus. La Figura 1 muestra la clasificación de estudios en función de las bases de datos bibliográficas consultadas.

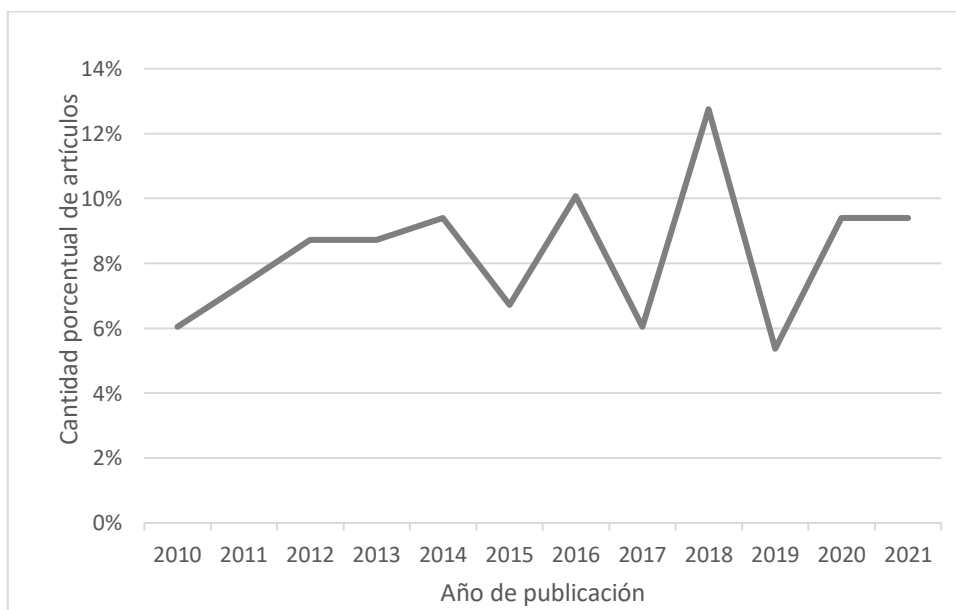
Figura 1 – Clasificación de estudios en función de las bases de datos bibliográficas consultadas.



Fuente: elaboración propia

La Figura 2 muestra la tendencia en las fechas de publicaciones desde el año 2010 al 2021. Como se puede observar hay un creciente interés en la optimización de operaciones en la industria forestal, concentrándose un mayor interés en el año 2018. Este indicador muestra que hay un fuerte interés de la industria y la academia por mejorar el desempeño de la industria forestal y para esto se utilizan herramientas de investigación de operaciones para realizar estudios teóricos y prácticos.

Figura 2 – Tendencia anual de publicación de artículos sobre la optimización de las operaciones forestales

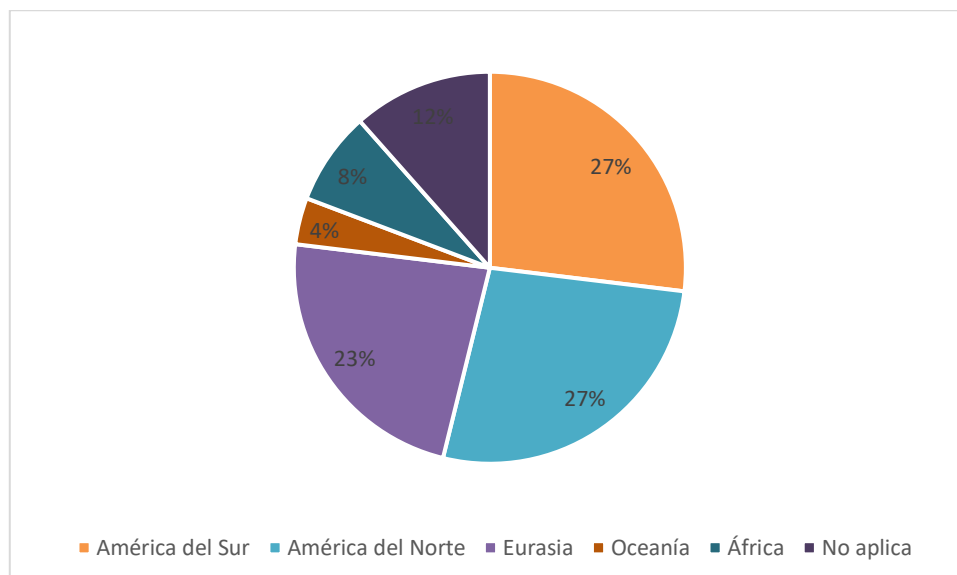


Fuente: elaboración propia

Posteriormente se seleccionaron 26 estudios para ser analizados en profundidad, los cuales cumplían con los criterios de inclusión establecidos y guardaban una estrecha relación con la temática de este trabajo.

Entre los estudios que aplican un modelo de programación matemática, las herramientas más utilizadas para su resolución son en mayor medida CPLEX con un 70% del total, mientras que Microsoft Excel, Gurobi y LINGO representan el restante 30% en partes iguales. Entre los estudios que aplican CPLEX para la resolución de un modelo matemático se puede encontrar como ejemplo los trabajos realizados por Campanella et al. (2018), Entezaminia et al. (2014), Katemi et al. (2013), Parra et al. (2018) y Vanzetti et al. (2018), mientras que Felfel et al. (2015) es un ejemplo de la utilización de las herramientas de Microsoft Excel y LINGO para su resolución. Por otro lado, Lobos y Vera (2016) proponen modelos de optimización para la planificación y gestión de la recolección y producción forestal que son resueltos con Gurobi. Se analizaron los países en los cuales fueron aplicados los estudios seleccionados obteniéndose que América del Norte y América del Sur conforman el 54% del total de artículos seleccionados. Lo anterior se resume en la Figura 3 que detalla la proporción de estudios seleccionados en función de los continentes en los cuales fueron aplicados dichos estudios. Los países con mayor cantidad de estudios fueron Canadá, Chile, Argentina e Irán. Cabe destacar que tres artículos seleccionados no analizaban un caso de aplicación en algún país en particular por lo que se los clasificó con "No aplica". En la Tabla 2 se detalla la cantidad de estudios realizados en función de los países en que los mismos fueron realizados.

Figura 3 – Continentes de pertenencia de los estudios seleccionados



Fuente: elaboración propia

Tabla 2 – Distribución de artículos en función de los continentes en donde se aplicaron los estudios

Países aplicación	Cantidad de estudios
Canadá	7
Argentina	3
Chile	3
No aplica	3
Irán	2
Australia	1
Brasil	1
Escocia	1
España	1
Finlandia	1
Sudáfrica	1
Túnez	1
Turquía	1

Fuente: elaboración propia.

Lo anterior permite observar la importancia que le brinda la academia al desarrollo de la industria forestal en América, principalmente en países como Canadá, Chile y Argentina.

Buscando dar respuesta a las preguntas planteadas en la subsección 3.1, se analizaron en profundidad los 26 artículos seleccionados. A continuación, se detallan los principales hallazgos que responden las preguntas planteadas.

Para mejorar el desempeño de la industria forestal se estudian las operaciones e interacciones de los miembros involucrados en la cadena de suministro, desde la búsqueda de materias primas hasta la distribución y venta de los productos, buscando satisfacer las necesidades de los clientes y considerando que los miembros de la cadena pueden actuar independientemente o ser parte de una gran empresa (VAHIDA et al., 2016).

La investigación de operaciones ha jugado un papel importante en el desarrollo de la industria forestal desde su introducción en los años '60, a través de la utilización de modelos de programación lineal (LP), programación entera (IP), programación entera mixta (MIP), entre otros (RÖNNQVIST et al., 2015).

De la literatura analizada se distinguen dos tipos de enfoques para la optimización de las operaciones forestales, por un lado aquellas actividades que buscan la optimización de la cadena de suministro como un todo y por el otro, aquellas que se centran en la optimización de las operaciones que ocurren dentro de una parte de la cadena, por ejemplo los aserraderos. Para el primer caso, se busca gestionar la cadena de suministro forestal modelando las operaciones de búsqueda y producción. La cadena de suministro considerada por Alayet et al. (2016) está

compuesta por el bosque, plantas de bioenergía, aserraderos, el mercado de la construcción, las papeleras y el mercado del papel. Se considera un período de planificación de cincuenta y dos semanas y se busca determinar la cantidad de materia a transportar a la planta para satisfacer la demanda. Uno de los puntos a destacar en este tipo de problemas es la variabilidad de la demanda se plantea como un impedimento para la planificación de la producción. Alayet et al. (2016) consideran tres patrones de demanda: estable, estacional y estacional cíclica y se estudia el desempeño del modelo para cada uno de ellos, resultando en mayores valores de beneficio cuando existe demanda estacional. A su vez, se resalta la importancia de los costos de operación en cada patrón de demanda, generando una acumulación de stock en períodos de baja demanda y un mayor costo de transporte y producción para cuando la demanda es alta (ALAYET et al., 2016). Por otro lado en Yeşilkaya et al. (2020) se busca optimizar una red teórica industrial localizada en un eco-parque industrial que permite la colaboración de empresas como productores de pulpa y papel, plantas de pellets, aserraderos y productores de tablonos de fibra y partículas. Otro ejemplo de optimización de cadena de suministro es el presentado por Bussemaker et al. (2017) en donde se busca la localización óptima de una bio refinería y la configuración de los elementos de la cadena.

Otro de los enfoques que puede realizarse sobre la optimización de la cadena de suministro es el que refiere a la planificación operativa de la cosecha, buscando minimizar los costos de cosecha, de transporte y de los equipos de cosecha, moviendo el sistema de maquinarias entre unidades a ser cosechadas. En el trabajo realizado por Chauhan et al. (2011) se busca minimizar los costos de cosecha y transporte mientras se satisface la demanda para un período productivo. La planificación operativa de la cosecha consiste en planificar la extracción de madera en cada unidad de cosecha, éstas son analizadas en función de su fisiografía, composición del suelo y edad, así como la producción de madera estimada (MARQUES et al., 2014). Por otro lado, además de la planificación operativa también se distinguen otros dos niveles de actividad dentro de la cadena de suministro: la planificación estratégica y táctica. La planificación estratégica se enfoca en un horizonte de planificación de largo plazo y en el problema estratégico de diseñar y configurar una cadena de suministro multi-etapa genérica, mientras que la planificación táctica abarca un horizonte de planeación de mediano plazo y refiere a la determinación de las mejores políticas y flujos de materiales en la cadena (AL-E-HASHEM; ARYANEZHAD; SADJADI, 2012). El trabajo presentado por Díaz-Madroño et al. (2014) realiza una recopilación y clasificación de estudios que abordan la planificación de la producción táctica resultando en una identificación de las líneas actuales y futuras de investigación.

Para el caso de la optimización de las operaciones de un aserradero, de acuerdo a Taghizadeh et al. (2011) se crean programas MPMP (Multi Período Multi Producto) de planificación de la producción, desarrollándolos en un horizonte de planeación de tres semanas a tres meses y buscando igualar la producción con la demanda del mercado. A su vez, los problemas APP (Planificación Agregada de la Producción por sus siglas en inglés) se enfocan en la planificación de la producción en función de un promedio de items, o en términos de peso, volumen, tiempo de producción o valor de la moneda en una familia de productos con similares características (TAGHIZADEH; BAGHERPOUR; MAHDAVI, 2011). Las operaciones de un aserradero también son estudiadas por Maturana et al. (2010) en donde se diseña un problema de planificación de la producción para un aserradero chileno generado a partir de un estudio de la planta. Se planifica para un horizonte de seis semanas en donde la demanda de la primer semana se conoce con certeza y se realiza un pronóstico para las siguientes cinco semanas, buscando completar las órdenes de producción mientras se minimizan los costos.

Para mejorar el desempeño de la cadena de suministro se plantean casos de colaboración entre diferentes actores de la misma, como por ejemplo se puede dar entre un productor de pulpa y papel y un mayorista en una cadena forestal. En este tipo de mecanismos las empresas coordinan sus actividades para brindar una rápida respuesta a sus clientes y mejorar la satisfacción de los mismos. Para esto se comparte información y recursos entre las empresas involucradas, así como el uso conjunto de estrategias logísticas buscando disminuir los costos de producción y distribución y superar los problemas ambientales, sociales y económicos. En la investigación realizada por Lehoux et al. (2011), el objetivo fue identificar las estrategias de colaboración que puedan asegurar un intercambio eficiente de productos y de información entre el productor de pulpa y papel y el mayorista al mismo tiempo que se maximizan los beneficios. De acuerdo con el trabajo mencionado anteriormente, se identifica una estrategia que es la mejor forma de colaboración entre los involucrados: los resultados muestran que se disminuye los costos de la red si se deja al productor como responsable de gestionar los inventarios del mayorista o compartir pronósticos de demanda para elaborar un plan de producción y distribución en conjunto. El hecho de no trabajar en una red colaborativa genera que cada empresa haga su planificación por separado sin ver la planificación de la otra, implicando mayores niveles de stock o la falta de stock en algunos casos, costos operativos mayores, mayores tiempos de producción, entre otros (LEHOUX; D'AMOURS; LANGEVIN, 2011).

La planificación de un aserradero envuelve diversas decisiones que se deben tomar al mismo tiempo, por ejemplo las cantidades de materia prima a suministrar, patrones de corte a aplicar, gestión de inventarios y la satisfacción de la demanda (VANZETTI et al., 2018). En el caso

particular de los aserraderos, la producción eficiente puede ser lograda a través de una óptima planificación de la producción considerando materias primas (disponibilidad de troncos), productos finales (tableros) y demandas (clientes), teniendo en cuenta las características de los productos primarios (troncos diámetro y longitud), y parámetros industriales, entre otros. Como indican Vanzetti et al. (2018), los aserraderos convierten troncos de diferentes diámetros y longitudes en tablas utilizando patrones de corte (CP). Un CP es un arreglo de rectángulos (grosor y ancho de las tablas) dentro de un círculo. Cada CP puede ser aplicado a troncos de diferentes longitudes, si están disponibles. Además, diferentes CP se pueden aplicar a troncos del mismo diámetro, produciendo diferentes cantidades de tablones diversos, así como residuos (VANZETTI et al., 2018).

Diversos autores analizan la aplicación de los patrones de corte para la optimización de las operaciones de los aserraderos, como es el caso del trabajo realizado por Vergara et al. (2015), quienes presentan un modelo de programación lineal que busca decidir el número de trozas a procesar bajo cada patrón de corte. En dicho trabajo se analizan cinco funciones objetivo diferentes manteniendo el conjunto de restricciones para conocer el impacto en el número de trozas a procesar. El modelo considera restricciones de satisfacción de demanda, de máxima cantidad de trozas disponibles y de acotamiento del tiempo de producción disponible.

De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada, se distinguen dos tipos de funciones objetivos en los modelos de optimización matemática estudiados, aquellas que se centran en la minimización de costos de las operaciones forestales y las que buscan maximizar los beneficios (entendidos como la diferencia entre los ingresos y los egresos percibidos) de las mismas. Uno de los costos más altos que asume la industria forestal es el costo de la materia prima, por eso la importancia que se le brinda en gran parte de la literatura buscando cuidarla al máximo y optimizar los procesos que la utilizan (LINDNER; VLOK; WESSELS, 2015). Otros costos que se incluyen dentro de las funciones objetivos de los modelos revisados son: costos de cosecha, mantenimiento y construcción de carreteras, costos administrativos, transporte que incluye costos de carga y descarga de productos y costos de procesamiento alta (ALAYET et al., 2016). Dems et al. (2015) desarrollan un modelo matemático enmarcado en la planificación a nivel operativo que considera la función no lineal de los costos de la productividad de la cosechadora. El modelo busca maximizar los beneficios de la empresa a través de la disminución de los costos operativos (de cosecha, transporte e inventario) y optimizar la alocaación de los productos a los bloques de corte. La productividad de la cosechadora se ve afectada por los tiempos muertos cuando se tiene que trasladar de una pila de troncos a otra, la cantidad de cortes que deba realizar a los troncos (a mayor cantidad de cortes menor productividad para cosechar) y

los diferentes tipos de madera que deba procesar en cada sector por lo que aumentar la productividad de la cosechadora se vuelve clave para disminuir los costos operativos (DEMS; ROUSSEAU; FRAYRET, 2015).

Dependiendo de la cantidad de funciones objetivo consideradas simultáneamente en un modelo de planificación agregada, se diferencian tres categorías: modelos mono-objetivo, modelos bi-objetivo y modelos multi-objetivo. Los modelos mono-objetivo poseen una sola función objetivo que generalmente busca minimizar los costos involucrados o maximizar los beneficios. En los modelos bi-objetivo se incluyen dos funciones objetivos, en los que generalmente la primera busca minimizar costos o maximizar beneficios y la segunda se enfoca en otros objetivos como maximización del nivel de servicio al cliente, minimización de la variabilidad de los costos, minimización de residuos generados, entre otros (AL-E-HASHEM; ARYANEZHAD; SADJADI, 2012). A modo de ejemplo, en Vergara et al. (2015) se desarrolla un modelo matemático con una función multi-objetivo que busca maximizar los beneficios generados por la venta del producto principal y el subproducto al mismo tiempo que se minimizan los residuos de madera generados a partir de la aplicación de los patrones de corte. En el estudio realizado por Venn et al. (2021) se presenta un modelo que permite evaluar el desempeño financiero de distintas oportunidades de inversión, mientras que en Mäkelä et al (2011) las oportunidades de inversión son estudiadas teniendo en consideración los costos políticos para alcanzar los objetivos productivos de los aserraderos.

6. Conclusiones

Se realizó una Revisión Sistemática de la Literatura acerca de la optimización en la planificación de la producción de aserraderos a través de la cual se revisaron un total de 154 estudios publicados entre los años 2010 a 2021. La base de datos con mayor cantidad de estudios disponibles acerca de la temática fue Springer con un 65% de los artículos y se reconoce el año 2018 como el momento de mayor publicación.

La planificación de la producción engloba diversos niveles y puede ser estratégica, táctica u operativa tal como lo indica (HASHEM; ARYANEZHAD; SADJADI, 2012). Se reconocen en la bibliografía dos tipos de enfoques para la optimización de operaciones forestales: aquel que busca optimizar la cadena de suministro en su conjunto y aquel que se centra en optimizar una parte específica de la cadena.

Se considera de importancia para futuras investigaciones actualizar la Revisión Sistemática de la Literatura realizada para contar con información relevante a los años 2022 y 2023.

REFERENCIAS

- AL-E-HASHEM, S.M.J.M.; ARYANEZHAD, M.B.; SADJADI, S.J. An efficient algorithm to solve a multi-objective robust aggregate production planning in an uncertain environment. **Int J Adv Manuf Technol**. v.58, p. 765–782, 2012.
- ALAYET C.; LEHOUX N.; LEBEL L.; BOUCHARD, M. Centralized supply chain planning model for multiple forest companies, **INFOR: Information Systems and Operational Research**, v.54, n.3, p. 171-191, 2016.
- BUSSEMAKER, M.J.; DAY, K., DRAGE; G.; FRANJO, C. Supply Chain Optimisation for an Ultrasound-Organosolv Lignocellulosic Biorefinery: Impact of Technology Choices. **Waste Biomass Valor**, v. 8, p. 2247–2261, 2017.
- CALVACHE, C.; MORALES, J. Revisión sistemática de la integración de modelos de desarrollo de software dirigido por modelos y metodologías ágiles. **Revista Informador Técnico**. v.8, n.1, p 87-99, 2016.
- CAMPANELLA S.; CORSANO G.; MONTAGNA, J. M. A modeling framework for the optimal forest supply chain design considering residues reuse. **Sustainable Production and Consumption**, v. 16, p. 13-24, 2018.
- CHAUHAN, S.S.; FRAYRET, JM.; LEBEL, L. Supply network planning in the forest supply chain with bucking decisions anticipation. **Annals of Operations Research**, v. 190, p. 93–115, 2011.
- DEMS, A.; ROUSSEAU, LM.; FRAYRET, JM. Effects of different cut-to-length harvesting structures on the economic value of a wood procurement planning problem. **Annals of Operations Research**, v. 232, p. 65–86, 2015.
- DÍAZ-MADROÑERO, M.; MULA, J.; PEIDRO, D. A review of discrete-time optimization models for tactical production planning. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 17, p. 5171-5205, 2014.
- ENTEZAMINIA, A.; HEIDARI, M.; RAHMANI; D. Robust aggregate production planning in a green supply chain under uncertainty considering reverse logistics: a case study. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 90, p. 1507–1528, 2017.
- FELFEL, H.; AYADI, O.; MASMOUDI, F. A Multi-site Supply Chain Planning Using Multi-stage Stochastic Programming. In: , et al. Multiphysics Modelling and Simulation for Systems Design and Monitoring. MMSSD 2014. **Applied Condition Monitoring**, v. 2. Springer, Cham, 2015.
- GARDINER, B.; MOORE, J. Creating the Wood Supply of the Future. In: Fenning, T. (eds) Challenges and Opportunities for the World's Forests in the 21st Century. **Forestry Sciences**, v. 81. Springer, Dordrecht, 2014.

- KAZEMI ZANJANI, M.; NOURELFATH, M.; AIT-KADI, D. A scenario decomposition approach for stochastic production planning in sawmills. **Journal of the Operational Research Society**, v. 64, n.1, p. 48-59, 2013.
- KITCHENHAM, Barbara. Procedures for Performing Systematic Reviews. Keele, UK: Keele University, 2004. 33p.
- LEHOUX, N.; D'AMOURS, S.; LANGEVIN, A. Methodology for Assessing Collaboration Strategies and Incentives in the Pulp and Paper Industry. In: Choi, TM., Cheng, T. (eds) Supply Chain Coordination under Uncertainty. **International Handbooks on Information Systems**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.
- LINDNER, B. G.; VLOK, P.J.; WESSELS, C. B. Determining optimal primary sawing and ripping machine settings in the wood manufacturing chain. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 77, n.3, p. 191-201, 2015.
- LOBOS, A.; VERA, J. R. Intertemporal stochastic sawmill planning: Modeling and managerial insights. **Computers & Industrial Engineering**, v. 95, p. 53-63, 2016.
- MÄKELÄ, M; LINTUNEN, J.; KANGAS, H.L; UUSIVUORI, J. Pellet promotion in the Finnish sawmilling industry: The cost-effectiveness of different policy instruments. **Journal of Forest Economics**, v. 17, n. 2, p. 185-196, 2011.
- MARQUES, A.S., AUDY, J.F., D'AMOURS, S., RÖNNQVIST, M. Tactical and Operational Harvest Planning. In: Borges, J., Diaz-Balteiro, L., McDill, M., Rodriguez, L. (eds). **The Management of Industrial Forest Plantations**. Managing Forest Ecosystems, v. 33. Springer, Dordrecht. 2014.
- MATURANA, S.; PIZANI, E.; VERA, J. Scheduling production for a sawmill: A comparison of a mathematical model versus a heuristic. **Computers & Industrial Engineering**, v.59, n.4, p. 667-674, 2010.
- PARRA GALVEZ, J.L.A.; BORENSTEIN, D.; DA SILVEIRA FARIAS, E. Application of optimization for solving a sawing stock problem with a cant sawing pattern. **Optimization Letters**, v. 12, p. 1755–1772, 2018.
- RÖNNQVIST, M.; D'AMOURS, S.; WEINTRAUB, A.; JOFRE, A.; GUNN, E.; HAIGHT, R. G.; MARTELL, D.; MURRAY, A. T.; ROMERO, C. Operations Research challenges in forestry: 33 open problems. **Annals of Operations Research**. v.232, p 11-40, 2015.
- RUDAS, J.S.; GÓMEZ L.M.; TORO, A.O. Revisión sistemática de literatura. Caso de estudio: Modelamiento de un par deslizante con fines de predecir desgaste. **Prospectiva**. v.11, n.1, p. 50-58, 2013.

TAGHIZADEH, K.; BAGHERPOUR, M.; MAHDAVI, I. An Interactive Fuzzy Goal Programming Approach for Multi-period Multi-product Production Planning Problem. **Fuzzy Information and Engineering**, v.3, n.4, p.393-410, 2011.

VAHID, S.; LEHOUX, N.; DE SANTA-EULALIA L. A.; D'AMOURS, S.; FRAYRET, J. M.; VENKATADRI, U. Supply chain modelling frameworks for forest products industry: a systematic literature review, **INFOR: Information Systems and Operational Research**. v.54, n.1, p 52-75, 2016.

VANZETTI, N.; BROZ, D.; CORSANO, G.; MONTAGNA, J. M. Optimal multiperiod production planning in a sawmill, Editor(s): Mario R. Eden, Marianthi G. Ierapetritou, Gavin P. Towler, **COMPUTER AIDED CHEMICAL ENGINEERING**, Volume 44, 2018, p. 1339-1344. Elsevier, 2018.

VANZETTI, N.; BROZ, D.; CORSANO, G.; MONTAGNA, J.M. An optimization approach for multiperiod production planning in a sawmill. **Forest Policy and Economics**, v. 97, p. 1-8, 2018.

VENN, T. J.; DORRIES, J. W.; MCGAVIN, R. L. A mathematical model to support investment in veneer and LVL manufacturing in subtropical eastern Australia. **Forest Policy and Economics**, v. 128, 2021.

VERGARA, F, P; PALMA, C. D; SEPULVEDA, H. A comparison of optimization models for lumber production planning. **Bosque (Valdivia)**, Valdivia , v.36, n.2, p.239-246, 2015.

YEŞİLKAYA, M.; SENA, DAŞ G.; KÜRŞAD, TÜRKER A. A multi-objective multi-period mathematical model for an industrial symbiosis network based on the forest products industry. **Computers & Industrial Engineering**, v. 150, 2020.