



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“PROGRAMACIÓN LINEAL EN LÍNEAS DE
PRODUCCIÓN EN EMPRESAS
LATINOAMERICANAS, EN LOS ÚLTIMOS 5 AÑOS:
UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA CIENTÍFICA”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Industrial

Autoras:

Erika Elizeth Ortiz Mendoza

Rossmery Carolina Uribe Cortez

Asesor:

Mg.Ing. Karla Rossemary Sisniegas Noriega

Cajamarca - Perú

2020

Tabla de contenido

RESUMEN.....	3
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	8
CAPÍTULO III. RESULTADOS	11
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	21
REFERENCIAS	25

RESUMEN

Se ha realizado una revisión sistemática enfocada en causas teórico-prácticas que identifican el impacto que la programación lineal genera en las líneas de producción en empresas a nivel de Latinoamérica, para determinar los niveles óptimos de distribución de recursos según la línea de producción que se analice, así como conocer los diferentes tipos de softwares que se emplean para llegar a la solución del PL e identificar las reducciones en costos que se puede generar dentro de las empresas analizadas que apliquen la programación lineal en su producción. La búsqueda se llevó a cabo en agosto de 2020 en las siguientes bases: Scielo, Redalyc, Dialnet, Ebsco, Researchgate y Google académico. Siguiendo los criterios de inclusión y exclusión se obtuvo una muestra final de 33 estudios. Se han encontrado que la mayoría de los estudios cuentan con una importante disminución de costos bajo la aplicación del PL. Se identificaron diferentes tipos de softwares como apoyo en el desarrollo de la programación lineal, cuyos sistemas presentaban la solución más óptima posible a lo largo de su desarrollo. Las investigaciones analizadas en su mayoría, evocan con una misma finalidad; maximización de la utilidad al optimizar el uso de los recursos y minimizando costos.

PALABRAS CLAVES: Optimización, Programación lineal, Investigación de operaciones, Revisión sistemática y Modelamiento matemático.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Las primeras actividades formales de la Investigación de operaciones se iniciaron en Inglaterra durante la segunda guerra mundial, donde las empresas marcaron una notable revolución industrial, desarrollando diferentes técnicas matemáticas como la programación lineal, con el objetivo de disminuir costos de producción, mejorar el nivel de vida de los trabajadores y para continuar cada vez más con su respectivo mejoramiento continuo, para con esto apuntar a un considerable crecimiento económico; es ahí donde intervienen los padres de la Ingeniería Industrial Edward Deming, Henry Fayol, entre otros, quienes desarrollaron los primeros métodos que permitieron cumplir con las expectativas de cada empresa. (Taha & Navarro Salas, 2012)

La programación lineal bajo una línea de proceso consiste en modelar anticipadamente decisiones que permitan optimizar el uso de los recursos productivos bajo las restricciones implicadas. Si se conoce a intervalos regulares de tiempo y la cantidad de producción que será demandada, es posible desarrollar programas para la producción, distribución del trabajo y compra de materiales, logrando que la compañía alcance el rendimiento pleno, sin que sea necesario el almacenamiento de grandes stocks por un tiempo excesivo, economizando el capital e interés de la empresa. (Mula, Reyes Zotelo, Gutiérrez Gonzalez, & Díaz Madroñero, 2017)

Actualmente, es fundamental saber con exactitud los volúmenes de producción para que la empresa se considere competitiva. Por este motivo, las empresas con líneas de producción en Latinoamérica han recurrido a la implementación de herramientas matemáticas para determinar cuánto producir, en qué momento hacerlo y bajo qué recursos.

Se identificaron diversos hallazgos en cuanto al impacto que la programación lineal genera en empresas de manufactura a nivel de latinoamericana, determinando las cantidades a fabricar de cada producto y la secuencia de producción más óptima.

Bajo estudios aplicados en la agroindustria en América Latina se identificaron diversos resultados, tomando en cuenta en primera instancia un estudio de división óptima de tierras utilizando la programación lineal y la programación por metas, dirigido a diversos periodos de producción de dos tipos de productos en específico, café y cacao, de los cuales se obtuvieron, siembras satisfactorias en diferentes tiempos de cultivo, tiempos adecuados de producción y procesamiento de datos para la distribución de áreas de cultivo. (Lora Freyre & Pellicer Durán, 2016) (Imbert Tamayo & Pacheco Cabrera, 2016) ;como segundo punto, se toma en consideración estudios dirigidos a la producción de frutas, en donde se encuentra que existen excesos de ofertas por parte de los productores, para ello se considera como factor de importancia la implementación del MPL, con la finalidad de reportar las cantidades exactas de cultivo que permitan sobrellevar dicho problema. (Gessa Perera & Sancha Dionisio, 2015) ; en una tercera instancia se encuentra que, bajo las actividades ganaderas es necesario optimizar la producción total de forrajes, este estudio toma en consideración 4 escenarios diferentes que permiten la accesibilidad del programa bajo las diferentes restricciones que se requieren, optimizando de esta forma el proceso de manufactura del forraje. (Torres Suárez, Tijerina Chávez, Ibáñez Castillo, & Bautista Hernández, 2020) .

Así también, se identificaron cambios positivos en empresas ubicadas en América del Sur. Se encontró un estudio en el que se implementa la programación entera mixta para una planificación táctica de la cosecha forestal, además se identificó que, el PI proporciona escenarios exactos para una toma de decisiones precisas acorde a la situación en la que se encuentra. (Linfati-Medina, Pradenas-Rojas, & Ferland, 2016) .De igual forma, se

identificaron estudios a lo largo del proceso de producción de madera en empresas de Ecuador y Chile, en donde se tomaron en cuenta dos aspectos básicos, la minimización de excedentes y el trabajo en paralelo de forma efectiva de la maquinaria del área de secado, ambos aspectos dirigidos hacia un aumento en los ingresos en la industria maderera. (Cifuentes, Gatica, & Linfati, 2017) (Lopez Calvajar, Castro Perdomo, & Guerra, 2017) . Así mismo, se realizaron investigaciones sobre la optimización de producción a través de la teoría de restricciones, contribuyendo así con el desempeño del sistema productivo por medio de la determinación de las cantidades a fabricar de cada producto y la secuencia de producción. (Romero Rojas, Ortiz Triana, & Caldcedo Rolón, 2019) .

Finalmente se encontraron cambios positivos en empresas peruanas, por un lado, se identificó que la implementación de la programación lineal genera beneficios dentro de la cadena de suministros, aplicada a una empresa de caña de azúcar, tales como la disminución en un 11% de los costos en asignación de equipos, transportes, penalizaciones y tiempo ocioso en comparación con los costos actuales de funcionamiento. (Morales Chávez, Soto Mejía, & Sarache, 2015) ;por otro lado, el estudio llevado a cabo en una empresa de producción agrícola pudo lograr la minimización de costos del proceso de fertilización de un cultivo por medio de la optimización de los requerimientos nutricionales de las plantas. (Niquin Alayo, Vergara Moreno, & Calderon Niquin, 2018)

Teniendo en cuenta lo previamente mencionado, este artículo de investigación se enfoca en proporcionar una revisión general sobre la influencia de la programación lineal en líneas de producción. Por esta razón, la pregunta de investigación es: ¿Cuál es el impacto causado por la programación lineal en líneas de producción de empresas latinoamericanas, en los últimos 5 años?

Se pretende recopilar información sobre empresas que utilicen la programación lineal dentro de su proceso de producción. Por tal motivo, en base a la pregunta del artículo, el objetivo a tratar es: la determinación del impacto causado por la programación lineal en líneas de producción de empresas latinoamericanas.

El presente artículo está justificado por causas teórico-prácticas, ya que la información recopilada se obtiene de diversos estudios debidamente revisados antes de ser publicados, con el fin de proporcionar datos reales sobre la situación actual de las empresas, dentro de un marco de 5 años, las cuales utilizan la programación lineal en la planificación de sus procesos productivos.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

El presente estudio se realizó bajo la modalidad de revisión sistemática, en donde se ha tratado de reunir el conocimiento de un tema en específico, en este caso la programación lineal en líneas de producción, esta recolección se realizó mediante la información obtenida en distintas bases de datos como, Scielo, Redalyc, Dialnet, Ebsco, Researchgate y Google académico, con la intención de responder a la siguiente pregunta ¿Cuál es el impacto causado por la programación lineal en líneas de producción de empresas latinoamericanas, en los últimos 5 años?

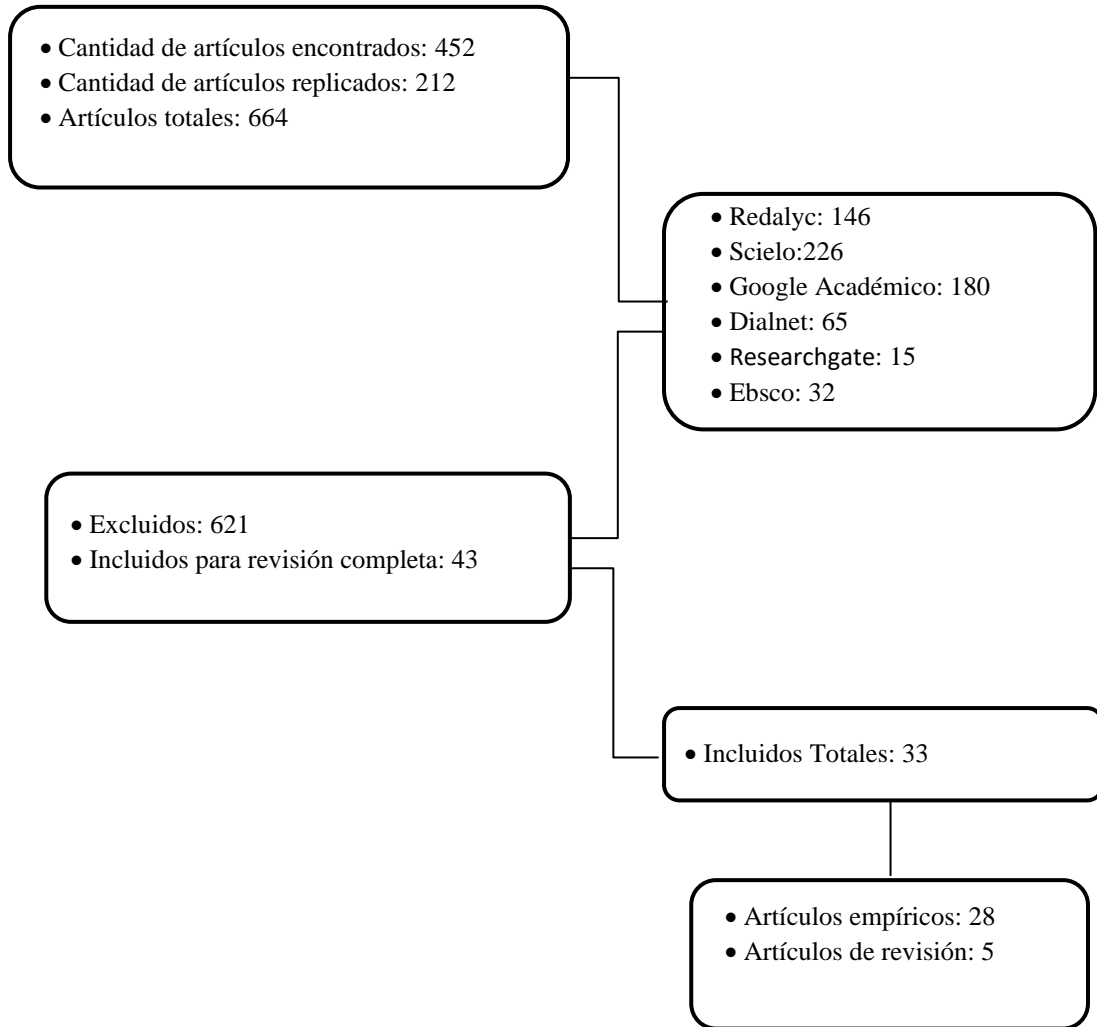
Se desarrolló en primera instancia el concepto de la investigación de operaciones, considerando sus primeros inicios de desarrollo en las industrias, tomando en cuenta posteriormente una definición de la Programación Lineal (PL), para luego dar a conocer las diversas aplicaciones de la PL en diferentes sectores de producción a nivel de Latinoamérica, exponiendo los principales beneficios que aportan a las organizaciones.

Para garantizar la sensibilidad del proceso de búsqueda se definieron como descriptores los siguientes términos «*Programación lineal, líneas de producción, Implementación, empresas de manufactura*». Con el objetivo de minimizar el potencial sesgo de publicación, la búsqueda tuvo limitación temporal de una antigüedad no mayor a 5 años, los tipos de investigación fueron específicamente artículos científicos de investigación.

La búsqueda se realizó en el mes de abril de 2020 y mostró xx resultados, los cuales disminuyeron a 30 artículos después de filtrarlos bajo criterios de inclusión y exclusión. La figura 1 expone los criterios de exclusión aplicados en la búsqueda.

Figura 1

Diagrama de flujo de los estudios empíricos incluidos en la revisión



Criterios de inclusión y exclusión

La revisión sistemática incluyó trabajos que cumplieran los siguientes criterios: (a) estudios que manifiesten aplicaciones de herramientas de Investigación de Operaciones; (b) que los procesos presentados estén regulados por modelados matemáticos; (c) que la muestra fuera de empresas de producción en latinoamericanas que implementen la programación

lineal; (d) estudios que estuviesen redactados en español, inglés o portugués; (e) estudios tanto empíricos como de revisión.

En cuanto a los criterios de exclusión tras la lectura de título y resumen, de las cuales en un inicio se identificaron 452 bases, no se tomaron en cuenta: (a) No había relación con el tema (185); (b) No eran empresas de manufactura (68); (c) Duplicadas (212). Por otro lado, se identificó tras un segundo filtro de revisión ciertos artículos que mantenían las siguientes características: (a) Enfoque inadecuado (4); (b) Alcance muy amplio de la aplicación de la herramienta (5).

Codificación de los resultados y análisis de la información

El manual de codificación sirve como base de datos para el registro de las variables, ayudando al autor a identificar cada uno de los componentes base de la información a utilizar.

Se recopiló de cada uno de los trabajos la siguiente información: autores, propósito, año de la publicación, país de aplicación, idioma (español, inglés y portugués), diseño de la investigación, forma de aplicación del modelamiento matemático, que el estudio mantenga un análisis estrictamente enfocado en líneas de producción, las investigaciones aprobadas debían ser tanto empíricas y de revisión, así como el tipo de revista en que se publica la investigación. De esta forma el total de artículos incluidos en la revisión, fue un número total de 33 estudios.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Respecto a la localización de los estudios, un 34.38% se realizaron en Colombia, un 15.63% en Cuba, un 18.75% en México, un 12.5% en Chile, un 3.13% en Brasil y Costa Rica, un 6.25% en Perú y Ecuador. En cuanto al idioma, el 21.88% de los estudios estaba publicados en inglés y en el 78.13% en lengua española. El diseño en los trabajos revisados fue de tipo descriptivo, contando con estudios empíricos y de revisión. La mayoría de los estudios informaron sobre la toma de diferentes variables y restricciones, considerándose según el tipo de empresa analizada, dentro de ellas se encontraron investigaciones en los siguientes rubros: Un 28.13% en agroindustria, un 9.38% en reforestación, un 6.25% en construcción, un 53.13% en consumo masivo y un 3.13% en agropecuario. Cada uno de estos rubros mantienen una aceptación del acoplamiento del sistema PL en su función productiva.

En la tabla 1 se identificó que, en el consumo masivo, se toma restricciones como: los tiempos de entrega, planificación mensual, tipo de máquina, tecnología implementada (Cifuentes, Gatica, & Linfati, 2017) , tiempos de producción por área, materia prima, estacionalidades, entre otros (Vergara, Palma, & Sepúlveda, 2015).

Tabla 1

Artículos sobre consumo masivo

Título	Autor	País	Idioma	Año	Palabras Clave	Buscador
Modelo de planeación y control de la producción a mediano plazo para una industria textil en un ambiente make to order	Gerson Arredondo-Ortega, Kelly Vanessa Ocampo-Jaramillo, Juan Pablo Orejuela-Cabrera, Carlos Alberto Rojas-Trejos.	Colombia	Español	2016	Make to order, planeación agregada, programación de operaciones, makespan.	Redalyc
Programación de las operaciones de suministro interno de materiales en plantas de alimento concentrado tipo pre molienda	Carlos Alberto Rojas Trejos, Luis Felipe Saavedra Arango, Juan Pablo Orejuela Cabrera.	Colombia	Ingles	2017	Programación de operaciones; costo total relevante; requerimientos de materiales; programación lineal.	Scielo

Optimización de la cadena de suministros mediante un modelo que incorpora su impacto en el cambio climático	Natalia Robles-Obando.	Costa Rica	Español	2017	Emisiones de carbono; huella de carbono; cadenas de suministros sostenibles; programación por metas.	Scielo
Modelo de Programación Lineal Multiobjetivo para la Logística Inversa en el Sector Plástico de Polipropileno	Efraín De la Hoz, Jorge Vélez y Ludys López.	Colombia	Español	2017	Logística inversa; índice de degradación; residuos sólidos; plástico; programación lineal multiobjetivo.	Scielo
Comparación de modelos de optimización para la planificación de la producción de madera aserrada	Francisco P Vergara, Cristian D Palma, Héctor Sepúlveda.	Chile	Inglés	2015	Programación lineal, patrones de corte, producción en aserraderos.	Scielo
Un modelo de programación lineal para el problema de máquinas paralelas no relacionadas en el área de secado de un aserradero en Chile	Nayaret Cifuentes; Gustavo Gatica; Rodrigo Linfati.	Chile	Inglés	2017	Máquinas paralelas; Parametrización; Programación de la producción.	EBSCO
Procedimiento para la programación y control de producción de una pequeña empresa	Viviana K. Ortiz-Triana, Álvaro Jr. Caicedo-Rolón.	Chile	Español	2015	Cosecha forestal, optimización, planificación forestal agregada, programación lineal entera mixta.	Redalyc
Optimización del plan de producción. Estudio de caso carpintería de aluminio	López Calvajar, Guillermo A.; Castro Perdomo, Nelson A.; Guerra, Otto.	Ecuador	Español	2017	Modelación económico-matemática, optimización, producción empresarial.	Scielo
Plan maestro de producción basado en programación lineal entera para una empresa de productos químicos	Yunuem Reyes Zotelo; Josefa Mula; Manuel Díaz-Madroñero; Eduardo Gutiérrez González.	México	Español	2017	Planificación de la producción; plan maestro de producción (PMP); programación lineal entera; industria química.	Dialnet

Modelo de programación de la producción por lotes de múltiples productos con tiempo continuo	Jenny Díaz-Ramírez, José Ignacio Huertas.	México	Español	2018	Programación entera mixta; programación de la producción por lotes; industria química; modelación matemática; simulación Monte Carlo.	Scielo
Modelo de Programación Lineal para Planeación de Requerimiento de Materiales	John Paul Reyes Vásquez, David Cáceres Cárdenas, Mario Geovanni García Carrillo, Carlos Humberto Sánchez Rosero.	Ecuador	Español	2015	Programación entera mixta, planeación de requerimiento de materiales, industria metalmeccánica.	EBSCO
La Teoría de Restricciones y la Optimización como Herramientas Gerenciales para la Programación de la Producción. Una Aplicación en la Industria de Muebles	Julián David Romero Rojas, Viviana Karolina Ortiz Triana, Álvaro Junior Caicedo Rolón.	Colombia	Español	2018	Contabilidad del throughput, gestión de la producción, mezcla óptima de producción, producción sincronizada, programación lineal.	DIALNET
CIC-Erosión: herramienta computacional para la predicción del desgaste erosivo en líneas de producción y transporte de hidrocarburos	Bossio Vélez, José Luis; Londoño Orrego, Sandra Milena; Jaramillo López, Carlos Mario.	Colombia	Español	2018	Café, programación meta o por objetivos, optimización.	Redalyc
Estudio de la eficiencia financiera en compañías certificadas con el sello BASC usando Análisis Envolverte de Datos: Caso aplicado en Cali - Colombia	Tomás José Fontalvo-Herrera, Enrique José DeLaHoz-Domínguez.	Colombia	Ingles	2018	Eficiencia; procesos logísticos; modelo CCR-O.	Scielo
Alternativas de reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en la producción de cemento. Propuesta de un modelo de evaluación	Ana Gessa Perera M ^a del Pilar Sancha Dionisio	Costa Rica	Español	2016	Emisiones de CO ₂ , medioambiental, planificación de la producción, Protocolo de Kyoto, enfoque integrado preventivo	Dialnet

En la tabla 2 se identificó que, dentro de la agroindustria, se consideran restricciones entre, áreas de cultivo, estacionalidades y tipos de tierra; tal y como se observa en el estudio de (Gessa Perera & Sancha Dionisio, 2015).

Tabla 2

Artículos referidos a la agroindustria

Título	Autor	País	Idioma	Año	Palabras Clave	Buscador
Diseño de un modelo de producción para huertas urbanas	Sinestros Obregón, Edilberto ; Forero Castro, José Luis ; Bonilla Isaza, Rubén Darío	Colombia	Español	2019	diseño, huerta urbana, modelo, optimización, producción, recursos.	Dialnet
FERTIDIF: software para la planificación de fertilización agrícola basado en optimización lineal con costos difusos	Esmelin Niquin-Alayo; Edmundo Vergara-Moreno; Marks Calderón-Niquín	Perú	Español	2018	optimización lineal difusa; fertilización agrícola; costos difusos; planificación de nutrientes para vegetales; modelo difuso.	Scielo
Diseño de un modelo de programación lineal para la planeación de producción en un cultivo de fresa, según factores costo/beneficio y capacidades productivas en un periodo temporal definido	Daniel Sánchez Pineda, Natalia Ramírez Torres	Colombia	Español	2017	Capacidades productivas, costo/beneficio, cultivo de fresa, modelo de programación lineal, planeación de producción.	Researchgate
Modelo de programación lineal entera mixta para el corte, carga y transporte de caña de azúcar. Un caso de estudio en Perú	Marcela María Morales-Chávez; José A. Soto-Mejía; William Sarache	Perú	Inglés	2015	Programación lineal entera mixta; planeación de cadenas de abastecimiento; caña de azúcar; biocombustibles	Scielo
Propuesta del plan óptimo de producción para la línea de granulados de una empresa de fertilizantes	Sandra L. Arena Castaño; Carlos M. Araujo Morán	Colombia	Español	2016	VENTILADORES INDUSTRIALES, MECÁNICA, MANTENIMIENTO, SOFTWARE	Google Académico

Maximización de la producción de café a través de la programación lineal	Raimundo J. Lora-Freyre; Rubén G. Pellicer-Durán	Cuba	Español	2016	programación lineal, recuperación cafetalera, sistema informático, optimización, variedades del café.	Google Académico
Distribución óptima de la tierra destinada a cultivos varios mediante la programación por metas en una empresa cafetalera	Josué Ernesto Imbert-Tamayo; Yaylín Pacheco-Cabrera	Cuba	Español	2016	café, programación meta o por objetivos, optimización	Google Académico
Optimización de recursos en la producción de forrajes distrito de riego 028 Tulancingo	Sandra Luz Torres Suárez; Leonardo Tijerina Chávez; Laura Alicia Ibáñez Castillo; Martha Bautista Hernández	México	Español	2020	beneficio neto, patrón de cultivos, programación lineal	DIALNET
Producción de melón y sandía en la Comarca Lagunera: un estudio de planeación para reducir la volatilidad de precios	Ana Gessa Perera; Maria del Pilar Sancha Dionisio	México	Español	2015	Emisiones de CO ₂ , industria de cemento, gestión medioambiental, planificación de la producción, Protocolo de Kioto, enfoque integrado preventivo	DIALNET

En la tabla 4 se identificó que, en la reforestación, se toman en cuenta restricciones como el área de cultivo, periodos de cultivo, clima, selección de especies, (Linfati-Medina, Pradenas-Rojas, & Ferland, 2016) turnos técnicos de trabajo y pago de servicios ambientales (Hernandez Ramírez , Bluhm Gutiérrez, & Valle Rodríguez, 2016).

Tabla 3

Artículo sobre reforestación

Título	Autor	País	Idioma	Año	Palabras Clave	Buscador
Conceptos básicos de programación lineal y aplicación en el manejo de recursos naturales	Daniel Hernández-Ramírez; Jorge Bluhm-Gutiérrez; Santiago Valle-Rodríguez	México	Español	2016	Manejo, Recursos Naturales, Programación Lineal.	Google Académico

Modelación del raleo mediante el uso de la programación lineal en plantaciones de Pinus caribaea Morelet de la Empresa Agroforestal Pinar del Río, Cuba	Bertha Rita Castillo Edua; Zhofre Aguirre Mendoza	Cuba	Español	2018	Modelamiento forestal, tratamiento silvicultural, programación lineal, plantaciones de Pinus caribaea	Scielo
Planificación agregada en la cosecha forestal: un modelo de programación matemática y solución	Rodrigo Linfati-Medina, Lorena Pradenas-Rojas, Jacques Ferland	Chile	Español	2016	Contabilidad del throughput, gestión de la producción, mezcla óptima de producción, producción sincronizada, programación lineal.	Redalyc
Modelos matemáticos para la determinación del turno óptimo en plantaciones forestales	Guera, Ouorou Ganni Mariel; Silva, José Antônio Aleixoda; Ferreira, Rinaldo Luiz Caraciolo; Álvarez Lazo, Daniel; Barrero Medel, Héctor.	Cuba	Español	2019	Crecimiento forestal; incremento medio anual; programación lineal entera; programación por metas entera; turno económicamente óptimo; valor esperado de la tierra	Scielo

Asimismo, se identificó que dentro de los rubros de construcción y metalmecánica se toman en cuenta las restricciones como materia prima, tiempos de entrega, tiempos de transporte, tipos de producción por estación y demanda (Saboya, Tozzo, Lemos Cotrim, Lapasini Leal, & Cardoza Galdamez, 2017).

De igual manera, se determinó que en la industria agropecuaria y de apicultura se aplicaron restricciones tales como: estacionalidad, selección de insumos para el ganado, peso, entre otros (Pacheco Fernández & Pestana Hormilla, 2015).

En las tablas 6 y 7 se logra identificar la cantidad de artículos encontrados por cada base de datos y aquellos que fueron rechazados debido a su incumplimiento, acorde al objetivo de la revisión, obteniendo finalmente un consolidado de 33 artículos para su análisis, así como también, se identificaron 13 artículos excluidos el total de la base de datos.

Tabla 4

Resumen de proceso de búsqueda – análisis

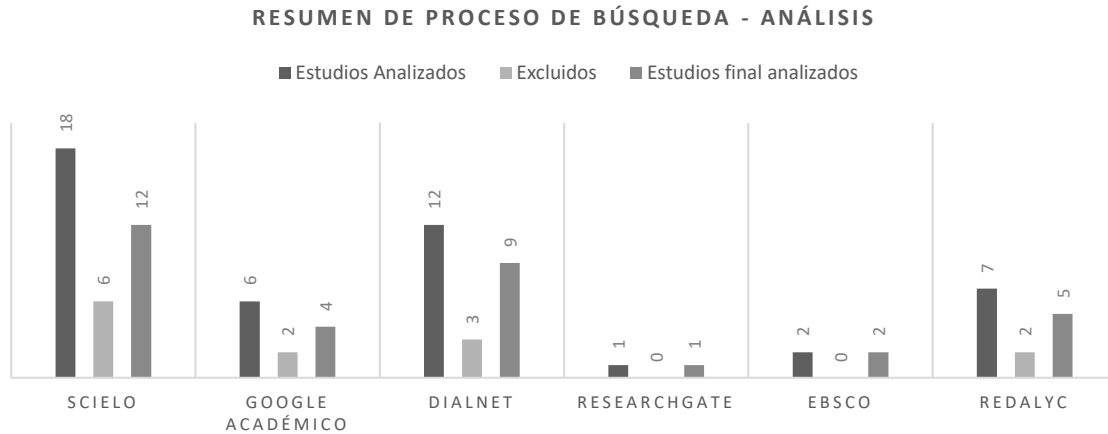
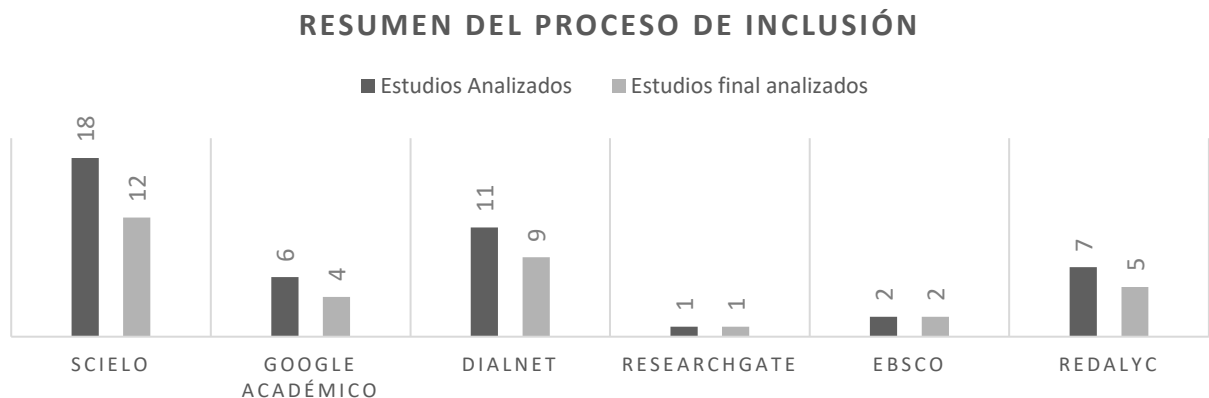


Tabla 5

Resumen del proceso de inclusión



En la tabla 8 se incluye los resultados de los estudios según los artículos incluidos dentro de la revisión a tratar.

Tabla 6

Resultados de artículos incluidos en la revisión

Autores	Resultados
Angel J. Caicedo-Rolón; Alvaro M. Criado-Alvarado; K. J. Morales-Ramón	Este estudio busca implementar un modelo de programación lineal que apoye a la planeación de la producción en un corto plazo, tomando en cuenta las restricciones que la línea de producción demandada, Se obtuvo como conclusión que la PL es una herramienta de apoyo para una toma de

decisiones táctica, que ayuda con la satisfacción de la demanda en su plenitud.

Hinestroza Obregón,
Edilberto ; Forero Castro, José
Luis ; Bonilla Isaza, Rubén Darío

Este artículo genera una modelación estándar por medio de la PL que permita optimizar cultivos y el costo-beneficio en huertas urbanas, siendo adaptable a cualquier tipo de huerta que cumpla con las mismas restricciones a trabajar.

Yunuem Reyes Zotelo;
Josefa Mula; Manuel Díaz-
Madroñero; Eduardo Gutiérrez
González

Este artículo tiene la finalidad de realizar una PLE para la planificación de producción de distintos tipos de productos con demanda independiente, enfocado principalmente en la obtención de la aplicación de la minimización de los costos implicados; concretamente, el tiempo ocioso y extra de los recursos, así como la consideración de un nivel mínimo de servicio ligado a la demanda diferida.

Francisco P Vergara,
Cristian D Palma, Héctor
Sepúlveda

Mediante un modelo matemático se plantea un plan de producción de trozos de madera, variando entre la reducción de los desperdicios y la maximización de la ganancia. Si bien ambos modelos, tanto el de maximización de ganancias como minimización de desperdicios, mostraron retornos positivos, se puede concluir que con el modelo de minimización de excedentes se utilizan menos recursos, lo que es considerado como una buena decisión por parte de la empresa.

Arnulfo Luevanos-Rojas

En este trabajo se presenta un modelo para el diseño óptimo de vigas rectangulares de concreto armado, variando el objetivo entre crear un diseño de costo mínimo y uno de peso mínimo. Se obtuvo que el modelo de costo mínimo se obtuvo ahorro en el costo para ese diseño de vigas.

Jenny Díaz-Ramírez,
José Ignacio Huertas

En este estudio se aplica una PL mixta para identificar el tamaño de lote y producción de productos con el fin de maximizar el beneficio. Se obtuvo una reducción en el costo de producción en un 12%, así como un incremento del 19% en la utilidad.

Carlos Alberto Rojas
Trejos, Luis Felipe Saavedra
Arango, Juan Pablo Orejuela
Cabrera

En este estudio se utiliza el modelo matemático de PL para minimizar los costos de producción de los materiales utilizados en la fabricación de alimentos concentrados.

Tomás José Fontalvo-
Herrera, Enrique José DeLaHoz-
Domínguez

En este estudio se utiliza la PL para optimizar los ingresos, trabajando con variables como los activos y proveedores actuales, obteniendo como resultado un incremento en la eficiencia de las empresas.

Esmelin Niquin-Alayo;
Edmundo Vergara-Moreno;
Marks Calderón-Niquín

En este estudio se utiliza el modelo matemático para determinar la cantidad de abono y fertilizante a utilizar, para lo cual se plantea como objetivo obtener el costo mínimo en el proceso de fertilización del cultivo. Se obtuvo un modelo que satisface tanto los requerimientos nutricionales como la necesidad de obtener un costo mínimo.

Natalia Robles-Obando

En este estudio se realiza un PL con el objetivo de minimizar las emisiones de carbono como también los costos totales de operación. Esto se aplica a la cadena de suministros de un refresco. Se obtuvo que el modelo matemático minimiza el costo y a su vez reduce las emisiones de carbono.

Gerson Arredondo-
Ortega, Kelly Vanessa Ocampo-
Jaramillo, Juan Pablo Orejuela-
Cabrera, Carlos Alberto Rojas-
Trejos

En este estudio se utiliza un PL con el objetivo de determinar la cantidad de fabricación dentro del sector textil, a su vez minimizando el make span. Se obtuvo que la utilización aumentó y que, al disminuir el make span, la empresa podrá tomar decisiones más acertadas para satisfacer la necesidad del cliente.

Efraín De la Hoz, Jorge
Vélez y Ludys López

A través de la aplicación de modelos de programación lineal multiobjetivo en empresas pertenecientes al sector plástico de polipropileno, con la finalidad de recuperar material desechado, que aparentemente no tiene

mayor uso, se identificó un probable mejoramiento del 12.6% en costos asociados al programa de producción.

Ricardo Saboya, Everton
Tozzo, Syntia Lemos Cotrim,
Edwin Vladimir Cardoza
Galdamez, Gislaine Camila
Lapasini Leal

Por medio de la aplicación de la programación lineal, sometiendo como prueba en una primera instancia a un lote de producción de bloques de pavimento, se identificaron niveles de calidad viables y una producción más económica.

Daniel Sánchez Pineda,
Natalia Ramírez Torres

Por medio de la aplicación de una metodología de optimización como el PL, se toma en cuenta la planeación de la producción a nivel frutícola, en donde se logró generar una solución para una óptima capacidad productiva teniendo en cuenta los periodos de cultivo.

Marcela María Morales-
Chávez; José A. Soto-Mejía;
William Sarache

A través de un análisis generado a las cadenas de suministros de empresas de caña de azúcar en el Perú, se identificó que, debido a la implementación de una modelación matemática, los costos en asignación de equipos, transportes, penalizaciones y tiempo ocioso fueron disminuidos en un 11% en comparación con los costos actuales de funcionamiento.

Nayaret Cifuentes;
Gustavo Gatica; Rodrigo Linfati

Este estudio analiza un caso real en secadores de madera verde en aserradores de Chile, trabajando conjuntamente con las restricciones como, planificación mensual, tipo de máquina y tecnología implementada, obteniendo como resultado un trabajo efectivo entre las máquinas estudiadas bajo un trabajo en paralelo para su producción.

Sandra L. Arena
Castaño; Carlos M. Araujo Morán

Este estudio se basa en la aplicación de métodos cuantitativos y teóricos, por el cual una de las herramientas a utilizar será la PL, con la finalidad de resolver problemas de planeación de la producción de fertilizantes dependiendo de las restricciones establecidas.

Bertha Rita Castillo
Edua; Zhofre Aguirre Mendoza

Esta investigación se enfoca en realizar una modelación mediante programación lineal, que permita el resultado más óptimo de raleo en un periodo de 2 años, logrando identificarse de esta manera la cantidad exacta del filtro necesarios, de combustible a emplear y así también las visitas pertinentes según el periodo del cultivo.

López Calvajar,
Guillermo A.; Castro Perdomo,
Nelson A.; Guerra, Otto

La investigación en cuestión se basa en la implementación asociada a modelos económicos matemáticos en la planeación industrial de aluminio, comprendiendo cambios en las cantidades y capacitación de producción al igual que la maximización en las utilidades.

John Paul Reyes
Vasquez, David Cáceres
Cárdenas, Mario Geovanni
García Carrillo, Carlos Humberto
Sánchez Rosero

En la siguiente investigación se identifica que, bajo la aplicación de la programación lineal, se tiene como propósito generar un MRP, dicho modelamiento permite conocer las cantidades exactas de inventario para satisfacer la demanda y así controlar que no existan retrasos en la producción, con esto se logra reducir 49,7% del costo de mantener inventario de materiales en empresas de montaje de carrocerías.

Julián David Romero
Rojas, Viviana Karolina Ortiz
Triana, Álvaro Junior Caicedo
Rolón

Este estudio identifica que bajo la aplicación de la programación lineal trabajando conjuntamente con herramientas como la teoría de restricciones contribuye con el desempeño del sistema productivo por medio de la determinación de las cantidades a fabricar de cada producto y la secuencia de producción.

Rodrigo Linfati-Medina,
Lorena Pradenas-Rojas, Jacques
Ferland

Se trata de un estudio realizado por medio de la programación entera mixta para una planificación táctica de la cosecha forestal, en este estudio se identificó que el PI proporciona escenarios exactos para una toma de decisiones precisa acorde a la situación en la que se encuentra.

Viviana K. Ortiz-Triana,
Álvaro Jr. Caicedo-Rolón

Por medio de la aplicación de PL y teoría de restricciones se generó un modelamiento para la obtención de un sistema de producción de calzado óptimo, logrando como resultado una disminución en costos de inventarios y tiempos de entrega, para lograr satisfacer la demanda de la mejor manera posible.

Raimundo J. Lora-Freyre; Rubén G. Pellicer-Durán

El estudio fue realizado en una empresa agroindustrial, con la finalidad de generar una distribución óptima de tierras para su cultivo de café, obteniéndose de esta forma procesamientos exactos que permitirán identificar áreas específicas y tiempos adecuados de producción.

Josué Ernesto Imbert-Tamayo; Yaylín Pacheco-Cabrera

El estudio fue llevado a cabo con la finalidad de obtener una distribución óptima de tierras para dos tipos de cultivos en específico, café y cacao, por medio de la aplicación de la programación por metas. Se tuvo como finalidad una siembra satisfactoria de varios tipos de cultivos.

Daniel Hernández-Ramírez; Jorge Bluhm-Gutiérrez; Santiago Valle-Rodríguez

Bajo se investigación se analizó la forma de intervención de la PL en la conservación de recursos, en donde, por medio el análisis de un ejemplo base, se llegó a la conclusión de que la PL en una herramienta metodológica que permite involucrar diferentes factores que van relacionados de forma directa con la gestión de recursos ambientales, sociales y económicos.

Pacheco Fernández, Meylin; Pestana Hormilla, Laura

Este estudio tiene la finalidad de generar un programa lineal de optimización que genere impulso en cuanto a la exportación de Miel (empresas apícolas), buscando a través de la una solución óptima del plan de producción.

Sandra Luz Torres Suárez; Leonardo Tijerina Chávez; Laura Alicia Ibáñez Castillo; Martha Bautista Hernández

El artículo en estudio, busca la implementación de un MPL para optimizar la producción total de forrajes para el desarrollo de las actividades ganaderas, situándose hasta en 4 escenarios diferentes, que permitan la accesibilidad del programa bajo las diferentes restricciones que se requieren.

Ana Gessa Perera; Maria del Pilar Sancha Dionisio

El estudio en mención se enfoca en un problema dirigido a la producción de melón y sandía, manifestado en el año 2013, debido a un exceso de ofertas de dichos productos, obteniéndose como resultado que luego de la implementación de la PL se reportaron las cantidades exactas de cultivo para cada producto que permita eliminar excesos.

Jorge Quevedo Buitrago, Natalia Gámez Manchola, Miguel Ojeda Enríquez

El modelo matemático permitió dar una nueva fórmula de alimentación de acuerdo al porcentaje que se le aplica al bulto de cada materia prima en la tonelada, permitiendo una reducción significativa en los costos de alimentación en los cerdos por tonelada producida.

Bossio Vélez, José Luis; Londoño Orrego, Sandra Milena; Jaramillo López, Carlos Mario

En este estudio se presenta una investigación de revisión enfocada directamente en las industrias de proceso de petróleo, realizando un seguimiento de los procesos erosivos, además de ser considerados en el dimensionamiento de las líneas y determinación de velocidades máximas de flujo, con el fin de mitigar y controlar la erosión por medio de la modelación matemática.

Guera, Ouorou Ganni Mariel; Silva, José Antônio Aleixo da; Ferreira, Rinaldo Luiz Caraciolo; Álvarez Lazo, Daniel; Barrero Medel, Héctor.

En la investigación se proponen procedimientos de determinación de turnos técnicos, económicos y los de plantación forestal, el programa lineal en este enfoque toma en cuenta el aspecto técnico que permite identificar la distribución más óptima de actividades a realizar dentro del proceso de producción.

Ana Gessa Perera M^a del Pilar Sancha Dionisio

La resolución del modelo analiza la compatibilidad de las alternativas propuestas para minimizar las emisiones de carbono en el ámbito del cumplimiento del PK y maximizar el rendimiento del programa de producción.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

En la información analizada, se encuentra que, en el rubro de consumo masivo, el 50% de los estudios analizados, tienen como resultados una reducción del costo de producción y un aumento en las utilidades. Una de las metodologías utilizadas consiste en la definición del escenario actual de la empresa para posteriormente generar la estructuración del modelo matemático que implicará aspectos económicos y productivos para su evaluación. Los artículos de (Lopez Calvajar, Castro Perdomo, & Guerra, 2017) y (Arredondo Ortega, Ocampo Jaramillo, Orejuela Cabrera, & Rojas Trejos, 2016) que, en una empresa de aluminio y textil respectivamente, utilizan la programación lineal como una herramienta para modificar su estructura de producción y disminuir además costos de contratación del personal. Del mismo modo, con una metodología enfocada a la reducción de costos de inventario, determinación de cantidades a producir y satisfacción de la demanda, los autores (Cáceres Cárdenas, Reyes Vásquez, García Carrillo, & Sanchez Rosero, 2015), (Ortiz Triana & Caicedo Rolón, 2015), (Vergara, Palma, & Sepúlveda, 2015), (Mula, Reyes Zotelo, Gutiérrez Gonzalez, & Díaz Madroñero, 2017) y (Díaz Ramirez & Huertas, 2018) obtienen como resultado el número de lotes a producir, la cantidad de existencias en reposo en almacén y la satisfacción de la demanda que en primera instancia no fue cumplida.

Por otra parte, en el rubro de la agroindustria, se vieron mejoras con respecto a la utilidad, disminución de costos de producción y mayor aprovechamiento del área disponible para el cultivo. Existen variaciones en la metodología, dependiendo de la localización y objetivo por el cual se realizó el estudio. Por tal motivo, dentro de los estudios analizados, se encontró que (Imbert Tamayo & Pacheco Cabrera, 2016) utilizó el programa HYPERLINDO con el objetivo de encontrar un resultado mucho más eficiente en relación a

las áreas de producción. Así también, el autor (Hinestroza Obregón, Forero Castro, & Bonilla Isaza, 2019) desarrolló su modelo matemático en el software GAMS, con el que pudo determinar el uso eficiente de los recursos naturales en las huertas. Al mismo tiempo, los estudios de (Niquin Alayo, Vergara Moreno, & Calderon Niquin, 2018), (Arenas Castaño & Araujo Morán, 2016), (Torres Suárez, Tijerina Chávez, Ibáñez Castillo, & Bautista Hernández, 2020) y (Gessa Perera & Sancha Dionisio, 2015) realizaron evaluaciones en diferentes escenarios para determinar qué modelo de programación lineal satisfacía en mayor medida su objetivo. Por otro lado, si bien todos los escenarios bajo este mismo rubro dependen de su entorno, todos comparten la necesidad de maximizar el aprovechamiento del área de cultivo y el buen uso de los recursos naturales.

En las empresas agropecuarias y de apicultura, se valieron de softwares para poder obtener una interpretación del programa lineal propuesto. En el caso de la empresa (Pacheco Fernández & Pestana Hormilla, 2015) se utilizó el software WIN QSB para verificar el punto más óptimo de producción. De igual forma, en (Quevedo Buitrago, Gámez Manchola, & Ojeda Enríquez, 2018) se creó el prototipo PIGMODEL para identificar la cantidad de materia prima incluida en las raciones de alimentación.

En el rubro de reforestación, se desarrollaron los modelos matemáticos bajo diferentes procedimientos, como por ejemplo, en el estudio de (Guera, Silva, Ferreira, Álvares Lazo, & Barrero Medel, 2019) se realizan dos métodos, el método gráfico y el método analítico; dentro del método analítico se trata de combinar el IMA y el VET para determinar los turnos técnicos óptimos basados en tres modelos: un modelo de monocriterio de programación lineal entera, un modelo de programación por metas ponderadas y un modelo de programación por metas lexicográficas. Mientras tanto, en el estudio de (Hernandez Ramírez, Bluhm Gutiérrez, & Valle Rodríguez, 2016), si bien no se utilizó un

software en específico, el nivel de complejidad del modelamiento dio paso a la utilización del método gráfico para poder determinar la cantidad a sembrar de pinos y pasto. Por el contrario, se encontraron dos estudios con metodologías un poco más complejas como se lo demostrado en (Linfati-Medina, Pradenas-Rojas, & Ferland, 2016) en donde se emplea un programa identificado como Solver Cplex 9.0 ILOG, interpretado por un lenguaje de programación C++. Adicional a ello, se modelaron siete escenarios diferentes para llegar a la utilidad más óptima. Asimismo, en el estudio (Castillo Edua & Aguirre Mendoza, 2018) se utilizó el software WINQSB para poder determinar la cantidad máxima de rodales a ralear en conjunto con la optimización de combustible a utilizar para dicha labor.

Con respecto al rubro de construcción, se tiene que los autores (Luevanos Rojas, 2016) y (Saboya, Tozzo, Lemos Cotrim, Lapasini Leal, & Cardoza Galdamez, 2017) tienen como resultado la distribución más óptima de materiales a incorporar en cada uno de los productos según sean sus parámetros mínimos para su producción. Sin embargo, los medios por los cuales se llegan a los resultados difieren en su procedimiento. En el primer estudio, se evalúan tres casos de minimización de recursos, en donde la reducción de costos de materiales utilizados en las vigas resulta en un ahorro para la empresa; además, en el segundo estudio, se realizaron muestreos de un lote de pavimento para realizar un análisis de calidad.

Conclusiones

Se identificó que, en su mayoría, los estudios evocan a una misma finalidad: maximización de la utilidad al optimizar el uso de los recursos y minimizando costos.

Acorde a los estudios analizados, se identificó que los estudios aplicaron diversas metodologías según la complejidad de su planteamiento, el tipo de datos a obtener y datos procesados. Además, la estructuración de la programación lineal varía según el objetivo a

alcanzar y el contexto de la empresa, como por ejemplo el método simplex, la programación lineal entera, entera mixta, por metas, con variables binarias y multiobjetivo.

Así también se puede encontrar que en algunos estudios existen diferentes escenarios o modelación ideal, experimentación y aplicación de forma directa. El primero correspondiente a varios casos hipotéticos en donde se varían las restricciones para llegar al resultado más óptimo según lo que la empresa decida. El segundo se basa en una forma piloto en busca de la obtención del producto con la calidad más alta. El tercero refiere a una visualización de todo el escenario de producción para la aplicación instantánea del modelamiento y posterior recolección de datos.

A su vez, las restricciones dependen del escenario propuesto y el rubro de la empresa en análisis. En contraste con lo anterior, en algunos estudios no se llegó a cumplir la función objetivo según la finalidad de la empresa ya que se contaban con muchas limitaciones en su entorno (restricciones). Sin embargo, se pudo mejorar otros aspectos dentro de la producción como la optimización de recursos.

REFERENCIAS

- Arenas Castaño, S., & Araujo Morán, C. (2016). Propuesta del plan óptimo de producción para la línea de granulados de una empresa de fertilizantes. *Pontificia Universidad Javeriana Cali*.
- Arredondo Ortega, G., Ocampo Jaramillo, K. V., Orejuela Cabrera, J. P., & Rojas Trejos, C. A. (2016). Modelo de planeación y control de la producción a mediano plazo para una industria textil en un ambiente make to order. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 169-193.
- Cáceres Cárdenas, D., Reyes Vásquez, J., García Carrillo, M., & Sanchez Rosero, C. (2015). Modelo de Programación Lineal para Planeación de Requerimiento de Materiales. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, 24-33.
- Castillo Edua, B. R., & Aguirre Mendoza, Z. (2018). Modelación del raleo mediante el uso de la programación lineal en plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet de la Empresa Agroforestal Pinar del Río, Cuba. *Scielo*, 597-613.
- Cifuentes, N., Gatica, G., & Linfati, R. (2017). Un modelo de programación lineal para el problema de máquinas paralelas no relacionadas en el área de secado de un aserradero en Chile. *Revista Facultad de Ingeniería*, 9-17.
- Díaz Ramírez, J., & Huertas, J. I. (2018). Modelo de programación de la producción por lotes de múltiples productos con tiempo continuo. *Ingeniería e Investigación*, 96-104.
- Gessa Perera, A., & Sancha Dionisio, M. D. (2015). Producción de melón y sandía en la Comarca Lagunera: un estudio de planeación para reducir la volatilidad de precios. *Innovar: revista de ciencias administrativas y sociales*, 51-66.

Guera, O. G., Silva, J. A., Ferreira, R. L., Álvares Lazo, D., & Barrero Medel, H. (03 de Mayo de 2019). Modelos matemáticos para la determinación del turno óptimo en plantaciones forestales. *Madera bosques*, 25(1).
doi:<https://dx.doi.org/10.21829/myb.2019.2511636>

Hernandez Ramírez , D., Bluhm Gutiérrez, J., & Valle Rodríguez, S. (2016). CONCEPTOS BÁSICOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL Y APLICACIÓN EN EL MANEJO DE RECURSOS NATURALES. *Revista del Doctorado Interinstitucional en Ciencias Ambientales*, 97-104.

Hinestroza Obregón, E., Forero Castro, J. L., & Bonilla Isaza, R. D. (2019). Diseño de un modelo de producción para huertas urbanas. *Revista Vínculos*, 10-10.

Imbert Tamayo, J., & Pacheco Cabrera, Y. (2016). DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DE LA TIERRA DESTINADA A CULTIVOS VARIOS MEDIANTE LA PROGRAMACIÓN POR METAS EN UNA EMPRESA CAFETALERA. *Anuario Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, 34-40.

Linfati-Medina, R., Pradenas-Rojas, L., & Ferland, J. (2016). PLANIFICACION AGREGADA EN LA COSECHA FORESTAL: UN MODELO DE PROGRAMACION MATEMÁTICA Y. *Redalyc*, 555-566.

Lopez Calvajjar, G. A., Castro Perdomo, N. A., & Guerra, O. (2017). Optimización del plan de producción. Estudio de caso Carpintería de Aluminio. *SciELO*, 178.

Lora Freyre, R., & Pellicer Durán, R. (2016). MAXIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ A TRAVÉS DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL. *Anuario Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, 61-70.

- Luevanos Rojas, A. (Marzo de 2016). Experimentación numérica para el diseño óptimo de vigas rectangulares de concreto reforzado para secciones simplemente reforzadas. *DYNA*, 83(196), 134-142. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v83n196.48031>
- Morales Chávez, M. M., Soto Mejía, J., & Sarache, W. (2015). Modelo de programación lineal entera mixta para el corte, carga y transporte de caña de azúcar. Un caso de estudio en Perú.
- Mula, J., Reyes Zotelo, Y., Gutiérrez Gonzalez, E., & Díaz Madroñero, M. (2017). Plan maestro de producción basado en programación lineal entera para una empresa de productos químicos. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 147-168.
- Niquin Alayo, E., Vergara Moreno, E., & Calderon Niquin, M. (2018). FERTIDIF: software para la planificación de fertilización agrícola basado en optimización lineal con costos difusos.
- Orejuela, J. P., Salcedo, M. A., & Giraldo, L. E. (2016). ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD EN RESTAURANTES DE FABRICACIÓN MASIVA. *Scielo*, 219-226.
- Ortiz Triana, V., & Caicedo Rolón, Á. (2015). Procedimiento para la programación y control de la producción de una pequeña empresa. *Revista Ingeniería Industrial*, 89-104.
- Pacheco Fernández, M., & Pestana Hormilla, L. (2015). Propuesta para optimizar el plan de producción de miel a granel cubana para la exportación. *Entelequia revista interdisciplinar*, 189-199.
- Pacoricuna Cabrera, E., & Mejía Fuente, M. (2015). Mejoras en la programación de la producción de una empresa farmacéutica. *Industrial Data*, 27-35.

Quevedo Buitrago, J., Gámez Manchola, N., & Ojeda Enríquez, M. (2018). Modelo de optimización para minimizar costos de piensos porcinos en pie (levante, ceba y finalizador). *Scientia et Technica*, 241-248.

Romero Rojas, J. D., Ortiz Triana, V. K., & Calcedo Rolón, Á. J. (2019). La Teoría de Restricciones y la Optimización como Herramientas Gerenciales para la Programación de la Producción. *Revista De Métodos Cuantitativos Para La Economía Y La Empresa*, 74-90.

Saboya, R., Tozzo, E., Lemos Cotrim, S., Lapasini Leal, G. C., & Cardoza Galdamez, E. V. (2017). Optimización de mezclas para la producción de pavimentos a través de modelos de programación lineal. *Scielo*, 42-48.

Sánchez Pineda, D., & Ramirez Torres, N. (2017). Diseño de un modelo de programación lineal para la planeación de producción en un cultivo de fresa, según factores costo/beneficio y capacidades productivas en un periodo temporal definido. *Ingenierías USBMed*, 7-11.

Taha, H., & Navarro Salas, R. (2012). *Taha, H. and Navarro Salas, R., 2012. Investigación De Operaciones. México: Pearson Educación de México.* México: Pearson Educación de México.

Torres Suárez, S. L., Tijerina Chávez, L., Ibáñez Castillo, L. A., & Bautista Hernández, M. (2020). Optimización de recursos en la producción de forrajes distrito de riego 028 Tulancingo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 153-163.

Vergara, F. P., Palma, C. D., & Sepúlveda, H. (2015). Comparación de modelos de optimización para la planificación de la producción de madera aserrada. *Scielo*, 239-246.