

---

Modelo de planificación de la producción en las microempresas del sector maderero “Las Américas” en Sincelejo

Herneth Menco Herrera  
Faiber Fadid Brieva Sanmartín

Corporación Universitaria del Caribe – CECAR  
Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura  
Ingeniería Industrial  
Sincelejo  
2023

---

Modelo de planificación de la producción en las microempresas del sector maderero “Las  
Américas” en Sincelejo

Herneth Menco Herrera  
Faiber Fadid Brieva Sanmartín

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial

Director  
Rolando José López Martínez  
Magister en Ciencias Agroalimentarias

Codirector  
José Luis Ruíz Meza  
Doctor en Logística y Gestión de Cadenas de Suministro

Corporación Universitaria del Caribe – CECAR  
Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura  
Ingeniería Industrial  
Sincelejo  
2023

**Nota de Aceptación**

4.5  
(Cuatro punto cinco)

  
Director

  
Evaluador 1

  
Evaluador 2

Sincelejo, Sucre, octubre 19 de 2023

### **Dedicatoria**

*Este trabajo de grado va dedicado a Dios y a mis padres; Herneth Antonio y Etilvia Isabel, y a mi fiel compañera, Carmen María. Ellos me sostuvieron cuando pensé en tirar la toalla y dejar todo de lado. Fueron calma en la tormenta, limaron mis miedos y tristezas, pero, sobre todo, me amaron con calma y paciencia... a fuego lento. A mi abuela Flor María y a mi tía Yeinis, quiénes me guiaron con perseverancia y esmero, y que siempre tuvieron palabras de amor para conmigo.*

*A mis hermanos; a Christian, quién me enseñó la importancia de resurgir y salir victorioso y a José Mario quién con su sabiduría se abre camino al éxito y nos arrastra con él.*

*Por último y no menos importante, esto va dirigido a mi abuelo César Julio (Q.E.P.D), quién fue como mi padre y que me quiso más que a un hijo. Los momentos vividos a su lado jamás los olvidaré. Me enseñó templanza, fortaleza y me brindó felicidad. Hoy soy Ingeniero Industrial gracias a él.*

*Herneth Menco Herrera*

*El presente proyecto de grado se lo dedico y se lo agradezco primeramente a Dios, quien ha permitido y también al mismo tiempo, ayudado, en el trascurso de esta profesión que ha sido larga y fructífera. Igualmente, le agradezco también a mi madre Yaneth Sanmartín y mi hermano Fred Brieva que gracias a su ayuda pude alcanzar este logro, aunque haya habido algunos tropiezos, pero afortunadamente Dios siempre está presente, bendiciendo y dándonos sabiduría.*

*Gracias a quienes también estuvieron presentes en cada paso del camino en esta trayectoria que hace parte de mi vida, y por Dios, mi madre y hermano, dedico el título de Ingeniero Industrial.*

*Faiber Fadid Brieva Sanmartín*

## **Agradecimientos**

*Queremos a gradecer de forma sincera a la Corporación Universitaria del Caribe (CECAR) por ser nuestra alma máter y a la Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura, por hacernos amar la ingeniería.*

*A los docentes de la facultad de Ingeniería Industrial, desde el primer semestre hasta el último. Desde los que nos enseñaron Matemática Básica hasta Distribución en Planta. La huella que dejaron es imborrable, intachable e irrepetible. Salimos con ganas de comernos el mundo gracias ustedes.*

*De manera particular queremos agradecer a nuestro director de tesis, ingeniero Rolando José López Martínez, por su dedicación y esmero para con este trabajo de grado; sin su aporte este documento jamás hubiese salido a la luz.*

*También a nuestro codirector, el doctor José Luis Ruíz Meza, por su gran versatilidad, disponibilidad de tiempo y el cariño que le dedicó a todo este proceso (k). Su aporte es invaluable e intangible.*

*Por último y no menos importante, a la ingeniera Angélica Torregrosa que fue quién en su momento me dio la idea de comenzar esta tesis y que nos ayudó a formular las bases iniciales.*

*Infinitamente agradecidos.*

## Tabla de contenido

Resumen.....	13
Abstract.....	14
Introducción.....	15
1. Marco referencial.....	18
1.1 Sector maderero a nivel global.....	18
1.2 Sector maderero a nivel nacional.....	21
1.3 Empresas del sector maderero en Sincelejo y Sucre.....	23
1.4 Plan de Requerimiento de Materiales (MRP).....	27
1.4.1 Plan agregado de producción (APP - Aggregate Production Planning).....	29
1.4.2 Programa Maestro de Producción.....	31
1.4.3 Lista de materiales BOM (Bill Of Materials).....	32
1.5 Modelos matemáticos de planificación de la producción.....	33
1.5.1 Modelo matemático de Jeremy F. Shapiro.....	34
1.5.2 Modelo matemático de Graves.....	35
1.5.3 Modelo matemático de Arango.....	35
1.5.4 Modelo matemático de Mula & García-Sabater.....	36
1.6 Comparación de los modelos matemáticos deterministas para MRP.....	38
1.7 Aplicación de modelos matemáticos en la planificación de la producción en empresas manufactureras.....	39
1.8 Inventarios.....	41
1.8.1 Ventajas de los inventarios.....	41
1.8.2 Control de inventarios.....	42
1.8.3 Gestión de inventarios.....	43
1.9 Análisis ABC según el principio de Pareto.....	43
1.9.1 Análisis ABC en empresas del sector manufacturero.....	44
1.10 Estudio de tiempos.....	45
1.10.1 Etapas para la medición del trabajo.....	45
1.10.2 Medición del desempeño.....	47
1.11 Diagramas de proceso y recorrido.....	47

1.12 Capacidad de absorción de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).....	48
1.12.1 Capacidad de absorción de dióxido de carbono – Roble y Cedro.....	49
1.12.2 Capacidad de absorción de dióxido de carbono – Teca.....	50
1.12.3 Capacidad de absorción de dióxido de carbono – Campano.....	52
1.12.4 Bono que adquieren las empresas por absorción de dióxido de carbono CO <sub>2</sub> .....	54
2. Metodología.....	56
2.1 Fase 1: Diagnóstico de las condiciones actuales de producción de muebles de madera en el sector de Las Américas.....	58
2.1.1 Identificación y cálculo del tamaño de la muestra.....	58
2.1.2 Análisis ABC para identificar y caracterizar los productos de mayor rotación, teniendo en cuenta los principios de Pareto.....	58
2.1.3 Construcción de un instrumento para la toma de datos de operación.....	59
2.1.4 Toma de datos.....	59
2.1.5 Diseño del programa maestro de producción.....	60
2.1.6 Construcción de diagramas de análisis de proceso y de recorrido.....	62
2.1.7 Cálculo de la planificación de materiales y diagramas BOM (Bill Of Materials). 62	
2.1.8 Planteamiento del plan de requerimiento de materiales.....	62
2.1.9 Estudio de tiempos.....	63
2.1.10 Análisis de datos a través de los resultados obtenidos.....	65
2.2 Fase 2: Construcción del modelo matemático de planificación de la producción y MRP.....	65
2.3.1 Identificación de las diferentes variables obtenidas.....	66
2.3.2 Identificación de los parámetros.....	66
2.3.4 Construcción de la función objetivo mediante programación lineal.....	66
2.3.5 Diseño de restricciones.....	67
2.4 Fase 3: Validación del Modelo Matemático.....	67
2.4.1 Codificación del modelo en GAMS.....	67
2.4.2 Validación con datos creados o adaptados de la literatura.....	68
2.5 Fase 4: Evaluación con datos reales.....	69
2.5.1 Análisis de resultados.....	69
2.5.2 Informe final.....	69
3. Resultados.....	70

3.1 Fase 1: Diagnóstico de las condiciones actuales de producción de muebles de madera en el sector de Las Américas .....	70
3.1.1 Cálculo del tamaño de la muestra en el sector de Las Américas.....	70
3.1.2 Caracterización de materias primas para la realización de un Análisis ABC en el sector maderero de Las Américas .....	72
3.1.2.1 Análisis ABC en el stock de inventario en las tres microempresas objeto de estudio. ...	74
3.1.2.2 Diagrama del análisis ABC.....	76
3.1.3 Programa maestro de producción en las microempresas del sector Las Américas ....	77
3.1.3.1 Datos históricos de productos en las microempresas del sector.....	79
3.1.3.2 Cálculo de los pronósticos por periodo en las microempresas del sector. ....	81
3.1.4 Diagramas de análisis proceso y recorrido en el sector maderero de Las Américas..	86
3.1.4.1 Diagramas de recorrido para cada una de las microempresas.....	87
3.1.5 Lista de materiales (BOM – Bill Of Materials).....	87
3.1.6 Plan de requerimiento de materiales en las microempresas del sector .....	92
3.1.6.1 Requerimientos reales de materia prima. ....	93
3.1.7 Estudio de tiempos en las microempresas de Las Américas .....	94
3.1.7.1 Cálculo de estándares de tiempo en la microempresa Artes y Diseños. ....	96
3.1.7.2 Cálculo de los estándares de tiempo en Muebles La Bucaramanga.....	98
3.1.7.3 Cálculo de los estándares de tiempo en Muebles Ian.....	100
3.1.7.4 Disponibilidad de tiempo. ....	101
3.1.7.5 Tiempos de fabricación.....	102
3.1.8 Costos de producción y mano de obra .....	103
3.1 Fase 2: Construcción del modelo matemático de planificación de la producción y MRP .....	103
3.1.9 Índices de producción en el sector de Las Américas.....	103
3.1.8 Elementos y parámetros .....	104
3.1.9 Variables de decisión.....	104
3.1.10 Modelo matemático de MRP en el sector Las Américas .....	105
3.1.10.1 Función objetivo 1: Maximización de la utilidad.....	106
3.1.10.2 Función objetivo 2: Utilización de la madera que más absorbe <b>CO2</b> .....	107
3.1.10.3 Función objetivo 3: Función objetivo total. ....	108
3.1.10.4 Restricción 1: cumplimiento de la demanda. ....	108



3.1.10.5 Restricción 2: Limitación de materia prima.....	108
3.1.10.6 Restricción 3: Tiempo efectivo.....	109
3.1.10.7 Restricción 4: Elección de madera.....	109
3.1.10.8 Restricción 5: Solo se puede utilizar un tipo de madera por producto.....	110
3.1.9.1 Restricción 6: inventario del primer periodo.....	110
3.1.9.2 Inventario de los periodos siguientes.....	110
3.1.9.3 Restricción 8: Tiempo extra requerido en las empresas.....	111
3.1.9.4 Restricción 9: Inventario final.....	111
3.1.9.5 Restricción 10: Requerimiento de madera para las empresas.....	111
3.1.9.6 Restricción 11: Bono de <b>CO<sub>2</sub></b> .....	112
3.1.9.7 Restricción 12: Costo del tiempo extra.....	112
3.2 Fase 3: Validación del modelo matemático.....	112
3.1.10 Complejidad computacional.....	113
3.2 Fase 4: Evaluación con datos reales.....	113
3.2.1 Análisis de resultados.....	113
3.2.1.1 Cantidad de productos a fabricar.....	114
3.2.1.2 Inventarios de productos en las empresas.....	115
3.2.1.3 Uso de madera.....	115
3.2.1.4 Requerimientos de madera para las empresas.....	117
3.2.1.5 Tiempo efectivo en las empresas.....	118
3.2.1.6 Tiempo extra en las empresas.....	119
3.2.1.7 Cantidad por comprar de materia prima.....	120
3.2.1.8 Bono que adquieren las empresas por absorción de dióxido de carbono.....	121
3.2.1.9 Maximización de la utilidad.....	122
3.2.1.10 Minimización de los costos de la madera que más absorbe <b>CO<sub>2</sub></b> .....	123
3.2.1.11 Función objetivo total.....	123
4. Conclusiones.....	125
5. Recomendaciones.....	127
Referencias bibliográficas.....	129
Anexos.....	135

### Listado de tablas

Tabla 1 Características principales y condiciones de los modelos deterministas MRP .....	39
Tabla 2 Fijación de dióxido de carbono en kgm/ha (kilogramos métricos/hectárea) en las especies de roble y cedro .....	50
Tabla 3 Cuadro comparativo de resultados en relación a otros grupos .....	51
Tabla 4 Fijación de CO2 por especie en los tres tratamientos .....	53
Tabla 5 Microempresas objeto de estudio en el sector “Las Américas” .....	71
Tabla 6 Tipos de materias primas existentes en el proceso de producción y transformación de las empresas del sector Las Américas .....	72
Tabla 7 Costos de materia prima por unidad según su presentación comercial .....	73
Tabla 8 Valor total de la madera por periodo de tiempo t .....	73
Tabla 9 Lista de productos en inventario, su valor total en los cinco periodos y su costo unitario .....	74
Tabla 10 Valorización de cada producto y porcentaje de consumo.....	75
Tabla 11 Porcentaje de acumulación de la participación del consumo .....	76
Tabla 12 Especificaciones de los productos fabricados en las tres microempresas del sector de Las Américas en Sincelejo.....	78
Tabla 13 Especificaciones de los productos fabricados en cada una de las empresas del sector .	79
Tabla 14 Numeración de los procesos de fabricación en las empresas del sector .....	79
Tabla 15 Datos históricos de cada uno de los productos en las empresas del sector.....	80
Tabla 16 Pronósticos durante cinco periodos para closets.....	82
Tabla 17 Pronósticos para juegos de cocina durante un horizonte de cinco meses .....	83
Tabla 18 Pronósticos para juegos de comedor en un horizonte de planeación de 5 meses .....	83
Tabla 37 Pronósticos para camas en un horizonte de cinco meses .....	84
Tabla 38 Pronóstico para puertas en un horizonte de cinco meses.....	84
Tabla 21 Cálculo del pronóstico de Escaparates para un horizonte de cinco meses .....	85
Tabla 22 Pronósticos para Juegos de cuarto en un horizonte de cinco meses .....	85
Tabla 23 Pronósticos para Multimuebles en un horizonte de cinco meses.....	86
Tabla 24 Precio de la madera en pies.....	88
Tabla 25 Listado de las materias primas que componen la elaboración de un closet.....	88
Tabla 26 Listado de las materias primas que componen la elaboración de un juego de cocina...	89
Tabla 27 Listado de las materias primas que componen la elaboración de un juego de comedor	89
Tabla 28 Listado de las materias primas que componen la elaboración de una cama.....	90
Tabla 29 Listado de las materias primas que componen la elaboración de una puerta .....	90
Tabla 30 Listado de las materias primas que componen la elaboración de un escaparate .....	90
Tabla 31 Listado de las materias primas que componen la elaboración de un juego de cuarto ...	91

Tabla 32 Listado de las materias primas que componen la elaboración de un multimueble.....	91
Tabla 33 Disponibilidad de materia prima en el sector .....	92
Tabla 34 Requerimientos de materia prima para las empresas del sector maderero Las Américas .....	94
Tabla 35 Productos con mayor demanda en las microempresas del sector Las Américas .....	95
Tabla 36 Cálculo de los estándares de tiempo para Artes y Diseños.....	96
Tabla 37 Cálculo de los estándares de tiempo para Muebles La Bucaramanga .....	98
Tabla 58 Cálculo de los estándares de tiempo para Muebles Ian .....	100
Tabla 39 Índices del modelo matemático MRP .....	103
Tabla 40 Parámetros y subíndices del modelo.....	104
Tabla 41 Variables de decisión del modelo matemático MRP .....	105
Tabla 42 Fijación de dióxido de carbono en los tipos de madera existentes en Las Américas ..	107
Tabla 43 Complejidad computacional del modelo matemático MRP .....	113
Tabla 44 Cantidad de productos a fabricar en cada una de las empresas en todos los periodos	114
Tabla 45 Solo se puede usar un tipo de madera por producto – uso de madera .....	116
Tabla 46 Requerimientos de madera para las empresas .....	117
Tabla 53 Tiempo efectivo en las empresas durante los cinco periodos de tiempo .....	119
Tabla 48 Tiempo extra requerido en cada una de las empresas para la elaboración de los productos.....	120
Tabla 49 Cantidad de materia prima a comprar en las empresas.....	121
Tabla 50 Bono que adquieren las microempresas de las américas por absorción de dióxido de carbono.....	122

### Listado de figuras

Figura 1 Número y localización de las microempresas fabricantes de muebles en los barrios de la ciudad de Sincelejo, año 2016 .....	24
Figura 2 Proceso de transformación de madera en Sincelejo y Sampués .....	26
Figura 3 Requisitos de un sistema MRP .....	29
Figura 4 Elementos que conforman un Programa Maestro de Producción .....	32
Figura 7 Lista de símbolos utilizados en un diagrama de operaciones y de recorrido .....	48
Figura 6 Ubicación geográfica del barrio Las Américas en Sincelejo.....	56
Figura 7 Esquema metodológico .....	57
Figura 8 Diagrama del análisis ABC en las microempresas de Las Américas .....	77

### Listado de anexos

Anexo 1 Formato de encuesta.....	135
Anexo 2 Lenguaje de programación en GAMS.....	138
Anexo 3 Diagrama de recorrido en las microempresas del sector.....	141
Anexo 4 Estudio de tiempos en Artes y Diseños .....	142
Anexo 5 Hoja de cálculos para un estudio de tiempos en Muebles La Bucaramanga.....	143
Anexo 6 Hoja de cálculos para un estudio de tiempos en Muebles Ian.....	145
Anexo 7 Tiempo disponible en las microempresas del sector .....	146
Anexo 8 Tiempo real de fabricación en las empresas del sector .....	146
Anexo 9 Costos de producción y de mano de obra.....	148
Anexo 10 Costos de mano de obra en Muebles La Bucaramanga.....	148
Anexo 11 Costo de mano de obra en Muebles Ian .....	149
Anexo 12 Precio de venta en Artes y Diseños .....	149
Anexo 13 Precio de venta en Muebles La Bucaramanga .....	150
Anexo 14 Precio de venta en Muebles Ian.....	150

## Resumen

El presente estudio de investigación se ocupa de diseñar un modelo matemático de planificación de la producción considerando las diferentes variables que se presentaron en un entorno no determinista como el sector maderero de “Las Américas” en Sincelejo, Sucre. Se pudieron identificar problemas relacionados a la productividad en el sector mediante el modelamiento matemático a través de herramientas de la producción como el MRP – Plan de Requerimiento de Materiales y el MPS – Plan Maestro de Producción. Se estableció que, en las tres microempresas objeto de estudio denominadas “Artes y Diseños”, “Muebles Ian” y “Muebles La Bucaramanga” no existía un MRP que permitiera el abastecimiento adecuado de insumos para la elaboración de los productos comercializados por lo que se procedió a realizar la caracterización del sector en general a través de una encuesta, seguido de un estudio de tiempos teniendo en cuenta los procesos de fabricación para establecer las diferentes variables que influyen en el proceso de producción. Se analizaron los costos de mano de obra, esta información permitió la elaboración un modelo matemático de planificación de la producción codificado en un software de optimización llamado General Algebraic Modeling System – GAMS. Esta herramienta permite a las empresas de la parte productiva generar las cantidades de materias primas a comprar durante los periodos de tiempo, el tipo de madera a utilizar para cada producto y la cantidad de productos a fabricar y en la parte financiera; calcular los costos y la utilidad. A través de GAMS se tiene la confianza de que los resultados serán acordes a lo planteado por los decisores ya que considera aspectos relevantes del modelamiento matemático y arroja la solución más óptima posible. La utilidad obtenida en el sector permite corroborar que lo dicho en relación a la herramienta utilizada es acorde a la realidad, entregando óptimos resultados.

*Palabras clave:* Análisis, producción, métodos, costos, optimización, modelamiento, programación, lineal, investigación, operaciones.

### **Abstract**

The present research study is concerned with designing a mathematical model for production planning considering the different variables that were presented in a non-deterministic environment such as the logging sector of “Las Américas” in Sincelejo, Sucre. Problems related to productivity in the sector could be identified through mathematical modeling through production tools such as the MRP – Materials Requirements Plan and the MPS – Master Production Plan. It was established that, in the three microenterprises under study called “Artes y Diseños”, “Muebles Ian” and “Muebles La Bucaramanga” there was no MRP that would allow the adequate supply of inputs for the production of the marketed products, so proceeded to characterize the sector in general through a survey, followed by a time study taking into account the manufacturing processes to establish the different variables that influence the production process. Labor costs were analyzed, this information allowed the development of a mathematical production planning model encoded in an optimization software called General Algebraic Modeling System – GAMS. This tool allows companies in the productive part to generate the quantities of raw materials to purchase during the periods of time, the type of wood to use for each product and the quantity of products to be manufactured and in the financial part; calculate costs and profit. Through GAMS there is confidence that the results will be in accordance with what was proposed by the decision-makers since it considers relevant aspects of mathematical modeling and yields the most optimal solution possible. The utility obtained in the sector allows us to corroborate that what was said in relation to the tool used is in accordance with reality, delivering optimal results.

*Keywords:* Analysis, production, methods, optimization, modeling.

## Introducción

Conociendo que muchas empresas poseen problemas de productividad, eficiencia y de entrega óptima de productos, es importante tener en cuenta aspectos relevantes que puedan brindar solución a estos problemas, considerando las herramientas disponibles. La planeación o planificación de la producción, son un métodos que permite estimar o determinar a través de ciertos modelamientos matemáticos y planes de requerimientos de materiales, cual es la cantidad óptima y necesaria de la cual se debe abastecer de insumos (materia prima, recursos humanos y herramientas transformadoras) para suplir y/o satisfacer una demanda establecida o variable en una empresa, entidad u organización con el fin de satisfacer al usuario, consolidarse en el mercado, generar servicios de calidad y entregar los productos según los tiempos establecidos (Heizer & Render, 2009).

El modelamiento matemático y el uso de herramientas informáticas como GAMS permite que la resolución de los problemas se realice de forma práctica. El cálculo de pronósticos y el Plan de Requerimiento de Materiales entrega información fiable acerca de las cantidades necesarias para la elaboración de un producto y, sobre todo, cuando fabricar y cuanto fabricar en un periodo determinado de tiempo.

Según lo expresan Cáceres et al. (2015):

Una correcta planificación además de un buen control de la producción y suministros, juega un importante papel en el proceso productivo de una empresa, esto se debe a que puede afectar de manera directa los otros procesos de la organización (producción, inventarios y suministro de materiales) (p.12)

Planear la producción nos puede permitir tener en cuenta y programar la utilización de todos nuestros recursos (talento humano, maquinaria y mano de obra) dentro de la empresa. Por ello, siempre debe considerarse el desarrollo de un campo que debe abordarse principalmente desde la ingeniería industrial, lo cual permitirá buscar la mejor forma de asignar recursos económicos y así minimizar los costos del plan de producción y a raíz de esto podemos satisfacer las necesidades de los clientes internos o externos para lograr poner en marcha la producción en un periodo determinado de manufactura”. El abastecimiento de la materia prima es de suma

importancia para esta planificación y control de los materiales y de los productos o servicios que la empresa quiera brindar, sin embargo, no existe en la mayoría de las empresas del sector productivo una gestión de inventario o un análisis que nos permita establecer cómo manejar los insumos, la mano de obra y la maquinaria ideal para el proceso.

El know-how de este tipo de empresas se basa más en la experiencia de los más antiguos del negocio, su capacidad de producción es baja, generación de muchos recortes de materias primas (madera) y generalmente sus tiempos de entrega crean serios problemas de incumplimiento e insatisfacción al cliente o usuario final, quienes en muchas ocasiones prefieren comprar en almacenes de cadena o distribuidores más reconocidos a un costo mayor, pero con mejores beneficios y servicios de valor agregado (Pérez-Olivera, 2011).

Conociendo las operaciones de producción poco organizadas e improvisadas de estas empresas, es notorio el desaprovechamiento de los insumos, materias primas y el tiempo que se emplea para la ejecución de las tareas y actividades, traducidos en una producción ineficiente, que trae consigo el aumento de los costos de los artículos de mueblería. Por tanto, será pertinente realizar la siguiente pregunta ¿Cómo la realización de un modelo de planificación de la producción puede ayudar a mejorar la eficiencia de la producción de las microempresas del sector maderero “Las Américas” en Sincelejo?

Por lo anterior se diseñó un modelo matemático de planeación de la producción para la eficiencia y sostenibilidad en los procesos de elaboración de muebles y accesorios de madera en el sector “Las Américas” en Sincelejo, Sucre. Este modelo de planeación y su diseño es relevante, teniendo en cuenta que se considera la productividad como el parámetro principal y más importante de toda organización y empresa que desee mejorar, debido a que comprende todas y cada una de las actividades relacionadas a la transformación de materias primas. Desde una perspectiva mucho más general, se describe como el conjunto de materiales, fuerza de trabajo y capital de tecnología que concretan el diseño de un producto o servicio. El MRP se encarga de la toma de decisiones enlazadas a los procesos de producción, de tal manera que los productos o servicios sean los más acordes según lo establecido en las especificaciones, los plazos y a los costos y la calidad requerida (Sánchez & Arencibia, 2020).



El levantamiento de información base realizado en la ciudad de Sincelejo, en el sector de Las Américas, arrojó una información similar dando por sentada la información previamente descrita; no existiendo en ellas una gestión de inventarios o un plan de requerimiento de materiales que permita planificar y estimar lo que se necesita para satisfacer la demanda a corto, largo o mediano plazo. El plan de requerimiento de materiales integró actividades de gestión y compra, suministro, programa de adquisiciones en función del plan general de producción. Todo esto es un sistema de planificación de la producción y además de ello, es una gestión de inventarios que da respuesta a la pregunta sobre los requerimientos primordiales sobre lo que se va a fabricar o de qué nos debemos aprovisionar. En definitiva, el MRP tiene como objetivo principal un enfoque más objetivo y sensible para determinar los requerimientos de materiales de la empresa (Heizer & Render, 2009).

Las microempresas ubicadas en el sector de Las Américas son talleres unipersonales y familiares con bajos niveles de organización, productividad, eficiencia, nivel tecnológico, escaso financiamiento y mano de obra calificada. Se trata de negocios caseros en los que predomina el propietario único y que se estructura en la mayoría de las veces como una extensión familiar.

El presente estudio de investigación tuvo como objetivo caracterizar, identificar y generar un modelo matemático de planificación de la producción en el sector de Las Américas en Sincelejo, Sucre, que es el epicentro maderero y productivo de la ciudad, con el fin de identificar los problemas que pueden limitar la eficiencia y productividad de las pequeñas y medianas empresas del sector, se encontró una solución guía que mejoró los factores de gran relevancia en estas microempresas como: productividad, eficiencia, reducción de costos, reducción de la mano de obra y optimización de la materia prima.

## 1. Marco referencial

### 1.1 Sector maderero a nivel global

En el informe de *World Furniture Outlook* del CSIL (*Centre For Industrial Studies*) muestra que el mercado de muebles a nivel mundial comprende una gran y amplia gama de productos tales como: sillas, sofás, armarios, luminarias y muebles específicos para oficinas, hogares y espacios para eventos, los cuales son elaborados mediante materias primas como madera, plástico y metal entre muchos otros. En este informe destaca a China como el productor principal de muebles, obteniendo alrededor de un 41 % de la producción mundial de este mercado, seguido de Estados Unidos, Alemania, Francia, Reino Unido y Japón. Evidenciándose que de 2011 a 2020, la participación en la producción de muebles en Asia y en el Pacífico, se incrementó en 11 puntos porcentuales. Como consecuencia de esto, en el 2020, más de la mitad de la producción mundial de muebles tuvo lugar entre Asia y el Pacífico, y durante el 2018 el aumento de las importaciones de Estados Unidos fue el principal motivo para que el sector de muebles creciera mucho más a nivel internacional (NOTIFIX, 2021).

Las empresas que utilizan la madera para la producción y elaboración de muebles son comunes en la industria de la producción y manufactura, además de que, pueden variar en tamaño, ya sea desde pequeños talleres hasta empresas grandes de producción en masa por lo que se necesita a un equipo especializado de carpinteros y artesanos para producir piezas de calidad. Es importante que también tengan un conocimiento sólido de los diferentes tipos de madera y cómo trabajar con ellos, así como las técnicas de acabado y ensamblaje. Todas las empresas y talleres deben seguir ciertos estándares de sostenibilidad y responsabilidad ambiental en el manejo de la madera y sus productos derivados. Esto incluye la utilización de materia prima proveniente de bosques de madera sostenible, la implementación de prácticas de reciclaje y la minimización de residuos y emisiones de dióxido de carbono (Villegas-Sáenz & Villegas-Sáenz, 2009).

En términos de marketing y ventas, las empresas que fabrican muebles suelen destacarse debido a que pueden ofrecer servicios de diseño personalizado, trabajar con clientes y crear piezas únicas. El Centro de Estudios Industriales publicó el llamado “*Top 200 Furniture Manufacture Worldwide*” donde enumeraron las empresas más grandes en relación con la productividad y

facturación en el mercado de muebles. Este grupo de empresas producen una utilidad total que está alrededor de los 180 mil millones de dólares, de los cuales, cerca de los 120 mil millones de dólares, según estimaciones del CSIL están relacionados específicamente al mercado y sector de muebles de madera.

El índice de concentración de estas 200 empresas ha seguido aumentando durante los últimos años, las cuales abarcan un 20 % de la producción mundial de muebles. Estas empresas se encuentran repartidas por todo el mundo y cuentan con sede en 30 países. La utilidad total de los 200 principales fabricantes de muebles aumentó más del 30 % entre 2017 y 2022 (compensando los niveles de producción previos a la pandemia del Covid-19) (CSIL, 2023).

Una de las empresas productoras de muebles más relevantes en el mundo es:

- **IKEA:** Con sede en Países Bajos, IKEA es una de las empresas de muebles más grandes del mundo, con más de 500 tiendas en alrededor del planeta. La empresa se centra en ofrecer muebles modernos y de bajo costo para hogares y oficinas. Al ser una macroempresa que cuenta con sede en varios países, su producción está tecnificada y cuenta con las herramientas tecnológicas necesarias para cumplir con la producción necesaria para satisfacer su demanda (Cárdenas et al., 2021).

En el contexto latinoamericano la producción de muebles de madera y artesanías se muestra con una participación menor a nivel mundial. En el 2012 en la ciudad de Santo Domingo se realizó el levantamiento de información base para la caracterización del sector maderero, midiendo de esta manera las características tecnológicas, su evolución y su maquinaria industrial (máquinas de aserrado y corte). La gran parte de la producción en la ciudad de Santo Domingo se dedica al mercado interno, especialmente a la producción de muebles de madera. Por otra parte, al indagar en las características principales de producción de las empresas y organizaciones que se dedican a la producción de muebles y accesorios de madera, se obtuvo que fueron clasificadas 214 máquinas en 27 empresas, arrojando un promedio de 8 máquinas por empresa, (Toirac, 2012).

Así mismo, los resultados hallados en la investigación arrojaron información relevante que determinó en una muestra de 27 empresas que el 52 % las empresas se encuentran en las primeras fases de desarrollo tecnológico y solo el 3 % pasó a fase de desarrollo tecnológico. No obstante,

el sector de muebles y maderero en la ciudad de Santo Domingo está solo empezando a determinar las primeras fases de desarrollo tecnológico, por lo que cuenta con poca experiencia en la interacción con mercados de exportación o bursátiles y que permitan aportar más desarrollo a la economía y cultura de la ciudad y el país, sin embargo, las caracterizaciones muestran avances significativos, enfatizando en las mejoras relacionadas a productividad y eficiencia (Toirac, 2012).

La industria del mueble en Costa Rica está conformada por alrededor de 200 empresas que están registradas como pequeñas y medianas empresas. Muchos productores de muebles en este país prefieren realizar sus trabajos a partir de madera maciza. La demanda del mercado de muebles del país se satisface con las importaciones de los productos derivados del proceso de transformación de la madera.

La cadena de distribución incluye la comercialización y venta directa de productores locales a los consumidores, los cuales son tiendas especializadas en muebles como La Artística y grandes cadenas que no se especializan en muebles, tales como tiendas de artículos para el hogar (Grigolini, 2020).

Sudamérica y el Caribe cuentan con una población aproximada de 640 millones de habitantes y un PNB per cápita de 9000 dólares. El Centro de Estudios Industriales estima que el sector de muebles y su mercado está valuado en un valor cercano a los 16 mil millones de dólares, considerando la utilidad que genera la importación y exportación de todos los productos derivados (NOTIFIX, 2020).

En Argentina la industria de muebles cuenta con más de 2000 empresas registradas y certificadas. Se estima que entre el 85 % y 90 % son pymes. Una gran parte del sector del mueble en este país está constituida por la llamada “producción gris”, los cuales en su mayor parte son productores informales no certificados que representan un 40 % - 50 % de la totalidad de la producción. Los líderes de la industria argentina son empresas como: Fontenla y Ricchezza que se encargan de fabricar segmentos de muebles para el hogar (NOTIFIX, 2020).

## 1.2 Sector maderero a nivel nacional

En Colombia, la madera es una de las materias primas más utilizadas en la producción de muebles a nivel nacional. Según el informe del *World Furniture Outlook*, se clasifica y caracteriza a Colombia entre los 100 principales países en la industria y la producción de muebles. Los países que hacen parte de esta lista fueron seleccionados principalmente por su economía y en segundo lugar por su contribución en la industria del mueble. Para el caso de Centro América y Sudamérica, el país hace parte de los 15 países con mayor relevancia en la producción en este sector específico (CSIL, 2023).

Una de las empresas más importantes en el sector de maderas a nivel nacional y regional, son:

- Muebles Jamar: Con más de 50 años de experiencia en la producción de muebles y accesorios para el hogar, cuenta con una amplia variedad de productos que van desde muebles de sala, comedor hasta camas y muebles para exteriores (El Economista, 2022).

La capacidad de innovación del sector permite la competitividad debido a que las empresas logran ventajas considerando a otros competidores a través de los desafíos y estos pueden presentarse mediante el desarrollo tecnológico, la introducción de cambios incorporados en la producción y al aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles, lo que permite la elaboración de la mayor cantidad de productos en el menor tiempo posible. La industria productiva del mueble en Colombia alcanzó los 1.71 billones de pesos con un crecimiento del 0.94 % para el año 2017, esto se debió a que el sector se vio empujado en especial por el sector de la construcción en ciudades principales como Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla, las cuales abarcan un 40 % de la producción nacional. En la actualidad existen alrededor de 4781 fabricantes de muebles que contribuyen en el sector industrial del país un 1.44 % de la producción (Marín, 2017).

La elaboración de muebles es un eslabón fuerte en el mercado, pero, al centrarse en un entorno mucho más regional, a nivel del Caribe, se puede evidenciar que los principales centros productivos que poseen mayor concentración de empresas que pertenecen al Sector Madera y Muebles se ubican en las ciudades de Barranquilla, Santa Marta y Cartagena, concorde a la

información relacionada por las Cámaras de Comercio de estas ciudades (Salas-Navarro & Cotabarría-Castañeda, 2014).

Gran parte de las empresas pertenecientes al Sector Madera y Muebles en la Región Caribe son microempresas, lo que se evidencia con porcentajes altos de 49 %, 94 %, y 80 % de las empresas en Barranquilla, Santa Marta y Cartagena respectivamente. El 41 % de las empresas en Barranquilla son medianas, lo que deja en evidencia un mayor avance en cuanto a crecimiento económico de este sector y al número de operarios que se dedican a las actividades que derivan en la producción de un mueble de madera (Salas-Navarro & Cotabarría-Castañeda, 2014).

El sector maderero en la región Caribe de Colombia se destaca principalmente por el proceso productor de madera en la ciudad de Barranquilla, que se caracteriza por conglomerar empresas que van desde las actividades de aserrío, venta y comercialización de madera, listones, tablones, paneles y muebles.

En relación con lo anterior Pérez y Villalobos (2010) afirman:

El eslabón de aserrío y aserrados utiliza madera en rollo industrial como insumo para producir madera aserrada para la industria del mueble, empaques de madera estructural y muebles para viviendas. Es importante tener en cuenta que se considera aserradero, aquella industria en que se procesa la madera en troncos para obtener productos semielaborados, tales como las tablas, tablones, durmientes, vigas y en general madera aserrada.

Existe una gran variedad de empresas la ciudad de Barranquilla que se dedican a las actividades que van desde el aserrado, cepillado, impregnación e inmunización de madera, compra y venta de madera de toda y especie, comercialización de listones, diseño y venta de estibas en madera, hasta servicios de corte y preparación de madera en bruto. Todo este proceso permite que la producción y distribución de la madera y sus derivados genere el proceso productivo para la elaboración de muebles y artesanías en la región (Perez & Villalobos, 2010).

### 1.3 Empresas del sector maderero en Sincelejo y Sucre

En el departamento de Sucre y su capital Sincelejo, tiene dentro de sus sectores importantes el sector maderero y manufacturero, su desarrollo es primordial en la transformación estructural y crecimiento económico del departamento, permitiendo una mejor competitividad del sector y eficiencia en la producción (UNIDO, 2013).

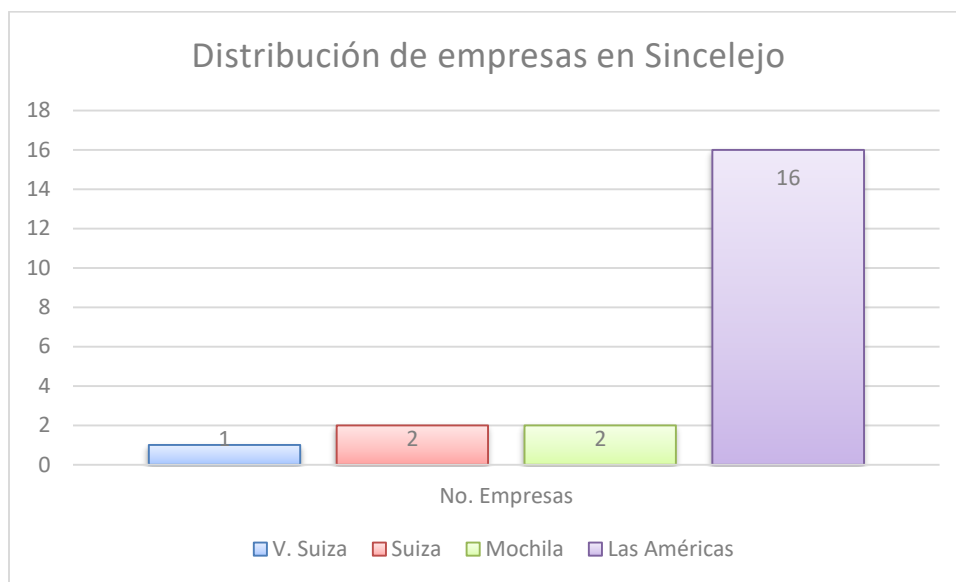
De acuerdo con el criterio de propiedad, el 47.6 % de las pequeñas y medianas empresas de la ciudad de Sincelejo son unidades de producción familiar donde los miembros principales son padres e hijos, quienes contribuyen con su trabajo de manera directa en las actividades que se requieren para el funcionamiento, no tendiendo los procesos tecnificados y realizando la manufactura del producto de manera artesanal. El 52.4 % de las microempresas son individuales. Una parte muy importante de la producción en Sincelejo es el sector de “Las Américas”, el cual es el epicentro principal de la elaboración de muebles de madera en la ciudad. Este sector se caracteriza principalmente por contar con pequeñas y medianas empresas (PYMES) productoras de muebles y artesanías (Cámara de Comercio Sincelejo, 2019).

Tomando en cuenta la base de datos del registro mercantil para micro, pequeñas y medianas empresas que se encuentran registradas en la Cámara de Comercio de Sincelejo, se pudo identificar a 21 microempresas fabricantes de muebles en la ciudad. Respecto a la localización de estas los resultados de encuestas realizadas muestran que en el sector centro-oeste (o también llamado comuna 4) se encuentran localizadas el 100 % de estas microempresas, habiendo una concentración de 16 de ellas en el barrio Las Américas, un porcentaje de 76.2 % ubicación que resulta ser muy favorable dado a que brinda posibilidades de obtener aglomeración de muebles y artesanías, lo que se traduce en beneficios por la reducción de costos debido a la utilización de recursos compartidos.

Por otra parte, se evidencia que 15 de las 21 microempresas que representan el 71.4 % del total, desarrollan actividades de producción, manufactura y transformación en las viviendas de los dueños. El 28.6 % restante funciona en locales arrendados independientes a las viviendas (Tinoco-Cantillo et al., 2016).

**Figura 1**

*Número y localización de las microempresas fabricantes de muebles en los barrios de la ciudad de Sincelejo, año 2016*



*Fuente:* elaboración propia a partir de (Tinoco-Cantillo et al., 2016)

Aproximadamente, más de la mitad de estas sociedades industriales y manufactura, no tienen elaborado un plan de producción, puesto en práctica de manera mensual. La planeación es llevada a cabo con base en una necesidad implantada o según la demanda (DANE, 2012).

El flujo, actividades y procesos que siguen las medianas y pequeñas empresas transformadoras de madera en el municipio de Sincelejo, no es un proceso tecnificado e ideal, pero aún con eso, y con los escasos recursos que se cuentan, se logran obtener productos que perduran a lo largo del tiempo. Observando las unidades productivas de las ciudades de Sincelejo y Sampués, se puede entender que las características de estas microempresas familiares (capacidad productiva, procesos, operaciones y fuerza de trabajo) del departamento de Sucre, se han dado a conocer a través de los entes investigadores como por otros tipos de proyectos de tipo organizacional (Taboada, Gómez Franklin, & Cárdenas, 2013).



La información relacionada a continuación corresponde a las unidades productivas de muebles de madera los municipios de Sincelejo y Sampués, y teniendo en cuenta al sector “Las Américas” en Sincelejo se puede evidenciar lo siguiente:

- Continúa teniendo mucha relevancia la informalidad tanto como en la estructura organizacional de las microempresas como en lo operativo. Son muy reacios a la asociatividad (55 %) cuando fueron consultados al respecto.

- Se prioriza el trabajo y manufactura familiar y se descuida una importante visión de futuro como empresarios. Muchas veces se vinculan a trabajar vecinos de taller con el fin de evadir las exigencias dictadas por los entes ambientales.

- Son elementales en cuanto a los sistemas de producción y los protocolos de seguridad industrial.

- Son muy escasos los propietarios que manejan sistemas adecuados de costos, esto implica también escasas estrategias en cuanto a competitividad en relación con otras empresas en calidad y precio cuando comienzan ciertas temporadas en la ciudad de Sincelejo, a pesar de que se conoce que las ventas bajan (42,5 %), que la capacidad competitiva disminuye (20 %) y que se tendría que disminuir los precios de los productos ofrecidos en un (17,5 %).

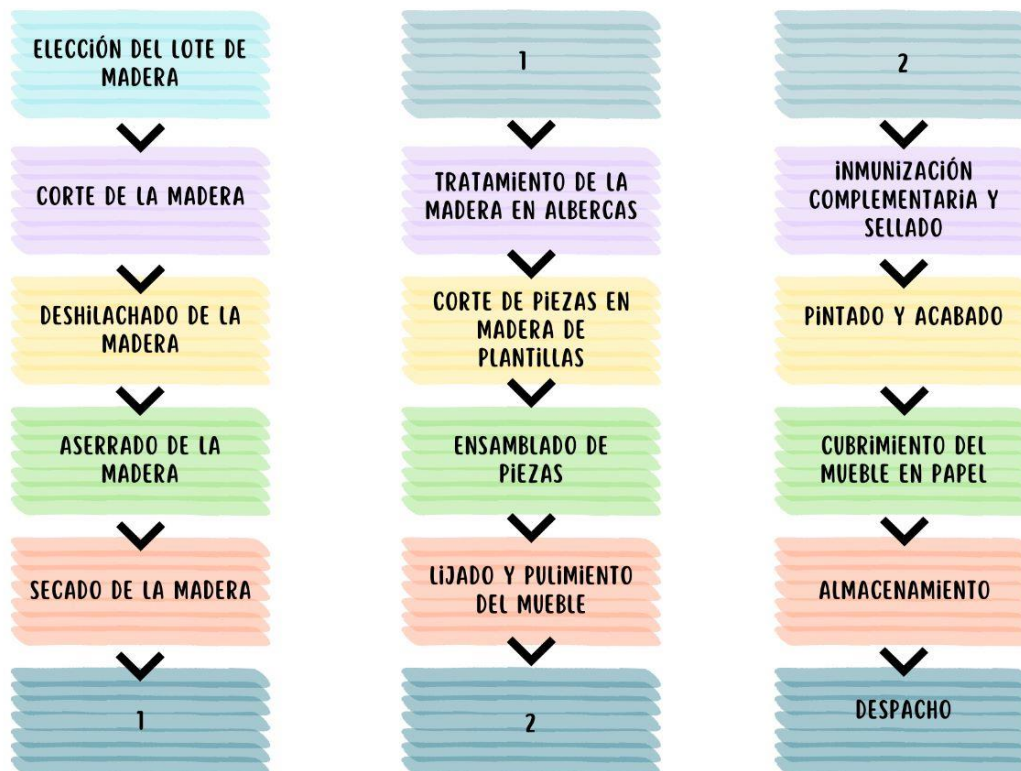
- Es notoria la comercialización del mueble en bruto.

- Al frente de la empresa está el fundador de ella. Es muy escasa la dirección por un género femenino. La cónyuge/compañera ayuda de manera marginal, está atenta a lo que pueda llegar a requerir su compañero en cuanto a la información de los productos y clientes (Viloria et al., 2012).

Pese a que el proceso de elaboración de muebles en Sincelejo se realiza a través de manufactura familiar y que los procesos de transformación no se encuentran tecnificados; existe un diagrama de operaciones que explica paso a paso el proceso de producción de inicio a fin. Este puede verse en la Figura 2.

**Figura 2**

*Proceso de transformación de madera en Sincelejo y Sampués*



*Fuente:* elaboración propia a partir de (Viloria et al., 2012)

A pesar de las carencias competitivas, organizacionales y productivas que tiene el sector de “Las Américas” y la ciudad de Sincelejo, existe un potencial dentro de los proyectos relacionados en el Plan Regional de Competitividad del departamento. Sucre tiene como principal objetivo la formalización de la industria y el empleo mediante las Pymes productivas y manufactureras (donde se destacan las empresas del sector de maderero). Esto permitirá que se puedan producir bienes de alto valor agregado con calidad de tipo exportación y donde se pueda potenciar la transformación, productividad y crecimiento del Sector Maderas (Cámara de Comercio & Ministerio de Industria y Turismo, 2019).

Sincelejo y el sector maderas en el departamento de Sucre tiene un amplio margen de crecimiento. La innovación y modernización a través de la tecnología y el planteamiento de

herramientas productivas que ayuden a complementar los procesos de elaboración y producción son elementales para el posicionamiento en el mercado y la eficiencia. La gestión de la producción a través de herramientas como el Plan de Requerimiento de Materiales (MRP), Programa Maestro de Producción (MPS) y la aplicación de modelos matemáticos de programación lineal, puede lograr que la capacidad tecnológica, productiva, humana y estratégica se incremente hasta lograr los objetivos trazados a corto y mediano plazo (Tinoco-Cantillo et al., 2016).

#### **1.4 Plan de Requerimiento de Materiales (MRP)**

Conocer los productos y materiales requeridos en un momento oportuno para los clientes y sin llegar a tener un inventario excesivo. Este escenario es un problema clásico de producción, el cual recibe el nombre de Planificación de Requerimiento de Materiales o en inglés *Material Requirements Planning (MRP)*. La aplicación del MRP en empresas del sector manufacturero permite plantear lo siguiente: la producción y la capacidad de inventario, cuanto producir e inventariar y cuando producir o inventariar. El plan de requerimiento de materiales ha sido objeto de estudio a través del tiempo y ha ido evolucionando con la llegada de los ordenadores y los programas de cómputo (software). Todo esto trae muchos aspectos consigo, el cumplir a tiempo con la demanda de un cliente, reducir el costo por inventario e incrementar la eficiencia (Carballosa et al., 2014).

- **Plan Agregado de Producción (APP):** a través del plan agregado se habla de familia de productos. En una empresa que produce chocolate lo anterior sería la línea de galletas, burbujas y sobres de chocolate. En el plan agregado se determina cuanto se debe producir en la familia de productos de galleta para el próximo semestre o trimestre, dependiendo del horizonte de planeación.

- **Master Production Schedule (MPS):** con el MPS se profundiza en la referencia de las familias de productos, determinando de esta manera cuanto se debe producir y en qué momento hacerlo. En el MPS se define cuantas galletas de chocolate con chips de 3x4 se deben producir en el próximo mes.

- **Bill Of Materials (BOM):** contiene una lista extensa de materias primas, subconjuntos, ensamblajes intermedios componentes y piezas involucradas en la creación de productos o

servicios, así como las cantidades de cada uno, el costo e instrucciones sobre como ensamblar el producto.

- Plan de Requerimiento de materiales (MRP): permite una mejor profundización y determina los materiales (crema, mini chips o empaques) y la cantidad de producir las galletas que fueron tomadas como ejemplo (Betancourt, 2020).

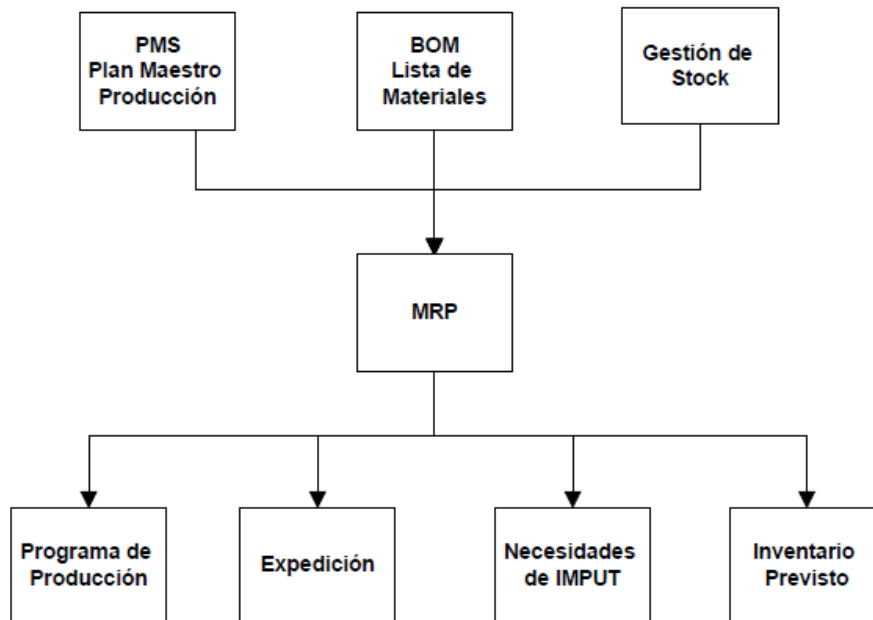
Los modelos matemáticos son una herramienta que permite la resolución de un problema productivo que tiene en cuenta todos los conceptos de capacidad, almacenamiento, materias primas y cumplimiento de la demanda, pero es necesario la elaboración de un plan de requerimiento de materiales (MRP) que pueda abarcar todos estos conceptos, parámetros y herramientas. El MRP se caracteriza principalmente porque es una herramienta óptima que permite determinar de una forma precisa la eficiencia de un plan que se basa en restricciones de capacidad por medio de una comunicación directa con el cálculo de necesidad de materiales e insumos (Cáceres et al., 2015).

El plan de requerimiento de materiales debe realizarse cuando se conozca el plan maestro de producción (qué debe hacerse y cómo), se cuente con las especificaciones y las listas de materiales necesarias para la elaboración de los productos, el inventario o stock disponible, órdenes de compra pendientes y tiempos de entrega.

La Figura 3 muestra cuales los requisitos necesarios para que un sistema productivo sea considerado MRP.

**Figura 3**

*Requisitos de un sistema MRP*



*Fuente:* (Soriano, 2018)

#### ***1.4.1 Plan agregado de producción (APP - Aggregate Production Planning)***

Al hablar de planeación o planificación agregada, se refiere al modo corto o corto plazo prolongado de un horizonte de un año o 18 meses. El origen de este tipo productivo generalmente tiene implicaciones en un solo producto o una familia de productos similares en mínimas diferencias (Jamalnia & Soukhakian, 2009).

APP es una poderosa e importante actividad de alto nivel de planificación en un sistema de gestión y planificación de la producción. Del plan que concierne a la planeación agregada de la producción, dependen de manera jerárquica el programa maestro de producción (MPS) y el plan de requerimiento de materiales (MRP) (Tang, 2002).

La planeación agregada (APP) o planeación de largo plazo, es un proceso que permite la elaboración de planes tácticos para complementar y apoyar los negocios de la empresa. Por lo

general, incluye el desarrollo, análisis y el mantenimiento de los planes de ventas totales, la producción total, el inventario objetivo, y la cartera de clientes para cada una de las familias de productos. El plan de producción es el resultado de un proceso de la planificación de la producción, planificación de ventas y operaciones. La planeación agregada arroja como resultado un plan de producción agregada el cual es un plan a largo plazo que se utiliza para determinar el tiempo y la cantidad del total de la producción futura para una familia de productos (APICS, 2008).

En las industrias productivas la planificación y programación de la producción se contempla la implicación por la variedad de trabajos o actividades que suelen realizar las etapas productivas y que se toma entorno a las decisiones jerárquicas. En los ambientes de elaboración es necesario la unión con las distintas áreas o departamentos de una organización (Torabi, 2009).

En todos los procesos de producción y manufactura es necesario interactuar con otras funciones en la toma de decisiones. Un esquema que se usa ampliamente son los sistemas MRP. Al momento de realizar una programación, es menester que las materias primas estén disponibles en el lugar y momento adecuado para su uso. La terminación de los trabajos debe ser determinada por el sistema de planificación y programación con el sistema MRP (Serna-Urán, 2009).

Los sistemas de planificación de la producción son bastante elaborados. Cada producto posee una lista de materiales (BOM), la cual muestra a detalle las piezas y herramientas necesarias para la producción. El sistema MRP siempre tiene presente el inventario y realiza un seguimiento de cada una de las partes, determinando así el momento ideal de compra de cada uno de los materiales. Se utilizan técnicas como el tamaño de lote, similares a los usados en los sistemas de programación y planeación (Serna-Urán, 2009).

En lo interno de este sistema se establecen tres pilares que están sujetos a una inminente programación, los cuales son: productos terminados, componentes y materias primas. La mercadería final se considera como el producto elaborado, la salida u *output* en todos los sistemas productivos o bien son los artículos llevados al cliente cuando finaliza el proceso de elaboración. Todos estos factores son artículos o productos en fases intermedias de la fabricación, y la materia prima consta de los materiales que entran al sistema (Nahmias, 2007).

De esa manera, la iniciativa de producto final, producto terminado, componentes y materias primas, dependerán definitivamente del sistema con que se esté trabajando actualmente en la empresa, ya que, por ejemplo, los productos terminados en un sistema de producción y planeación pueden ser una materia prima o un componente para otro producto que lo requiera. Una empresa que se dedica a la transformación de materias primas para la elaboración de productos puede considerar esa misma materia prima como su producto terminado, pero para muchas empresas esa materia prima suele considerarse solo insumos de entrada. Al final los insumos en la mayoría de las ocasiones suelen ser usados para la creación de elementos totalmente distintos (Serna, 2011).

#### ***1.4.2 Programa Maestro de Producción***

El Programa Maestro de Producción (*MPS - Master Production Schedule*) es puntual al referenciar en qué actividades, operaciones o productos deben realizarse y en qué momento, qué y cuándo (refiriéndose al número de productos acabados). Este programa debe estar coordinado directamente y ser acorde con el plan de requerimiento de materiales y el plan de producción. Este plan establece el nivel general de producción en términos globales. El plan también incluye una gran variedad de insumos, incluidos en ellos los financieros, demandas del cliente y las capacidades de operación e ingeniería, mano de obra actual, disponibilidad, fluctuaciones del inventario almacenado, desempeños de los operarios y el proveedor, cambios en la demanda, entre otros aspectos (Heizer & Render, 2009).

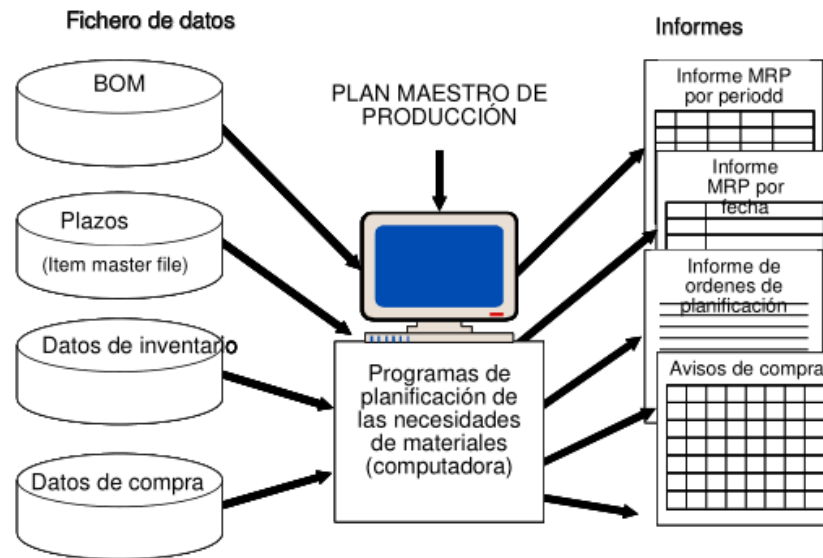
El proceso de la planeación consiste claramente en la obtención de buenos resultados para la organización. El programa de producción ha establecido límites superiores e inferiores para la realización del programa maestro de producción, teniendo en cuenta que el programa maestro de producción no es más que el resultado del proceso de planeación de la producción. MPS establece así cuales son los productos a realizar y en qué momentos deben realizarse los procesos de transformación productiva: desagrega el plan agregado de producción. Si bien el plan agregado de producción establece términos generales las familias del producto el MPS se establecen en términos de productos totalmente específicos (Heizer & Render, 2009).

Según APICS (2008) se afirma que “El programa maestro de producción (MPS), siempre representará lo que la empresa tiene planeado fabricar expresando especificaciones de productos,

las cantidades y las fechas de entrega. El programa maestro de producción debe contar con los pronósticos, el plan de producción y demás consideraciones relevantes.

**Figura 4**

*Elementos que conforman un Programa Maestro de Producción*



*Fuente: (Heizer, 2007)*

**1.4.3 Lista de materiales BOM (Bill Of Materials)**

También conocida como BOM por sus siglas en inglés *Bill Of Materials*, la lista de materiales es un detalle específico de componentes, materiales y piezas que constituyen a un producto terminado. En un BOM los elementos, insumos o productos que están por encima de un nivel son denominados como padres; y todos los que están por debajo son considerados hijos. El nivel superior es el nivel 0 y a medida que va descendiendo así mismo va aumentando el nivel. Cada material tiene entre paréntesis la totalidad necesaria de cantidades para fabricar una unidad del padre superior (Betancourt, 2020).

El BOM se crea generalmente en la etapa de planificación, sin embargo, es un trabajo que no debe realizarse solo desde una perspectiva. Es necesario tener en cuenta trabajar con los departamentos, partes interesadas, proveedores, clientes y operarios para asegurar que no se



escapen detalles al momento de finalizar la lista. El BOM debe presentarse en un formato jerárquico, con el producto terminado en el nivel principal y los subconjuntos y los demás componentes, y otros requisitos enumerados en niveles inferiores (Asana, 2022).

### **1.5 Modelos matemáticos de planificación de la producción**

Los modelos matemáticos de planificación de la producción determinan que se puedan realizar actividades de especial importancia en una empresa, debido a que permite la optimización y productividad de las operaciones de distribución, satisfacer la mayoría de los pedidos de los clientes en los tiempos ideales y a costos muchos más bajos. La aplicabilidad de las técnicas matemáticas en este proceso garantiza tomas de decisiones más rápidas. Los modelos de planificación de la producción proponen en la mayoría de los casos modelos multiobjetivo que facilitan el cumplimiento de la demanda determinando la cantidad de recursos para llevar a cabo la producción, lo que redundará en la disminución de los niveles de inventario. El proceso de planeación incluye los pronósticos de las ventas y pedidos, la planificación de la producción y la relación que se pueda dar con futuras demandas de los clientes a los suministros que están disponibles. Durante todo este proceso se trazan los objetivos principales de desarrollo y la elaboración de productos que son demandados, minimizando el flujo de la materia prima, productos terminados, teniendo en cuenta el dinero, la utilidad e información de cada ciclo del producto (Garza-Ríos & González-Sánchez, 2014).

La decisión sobre qué, cuanto y como elaborar productos para cumplir con la demanda de un periodo es una tarea compleja, en la cual, se tienen en cuenta materiales financieros e informáticos para cumplir con la misión de la empresa. La programación multiobjetivo constituye un claro enfoque multicriterio y que posee una gran potencialidad cuando el contexto productivo está determinado por una serie de objetivos que deben satisfacer a un conjunto de restricciones. La optimización simultánea en todos los objetivos de la producción es completamente imposible, puesto que en la vida cotidiana usualmente los objetivos se encuentran en conflicto. Este enfoque multiobjetivo en lugar de determinar un no existente óptimo para el proceso, pretende establecer un conjunto determinado de soluciones existentes (Llamazares & Berumen, 2011).

Existen muchísimos modelos matemáticos deterministas para sistemas MRP que pretenden minimizar o maximizar una función objetivo; a través de diferentes técnicas de optimización que responden al cumplimiento de unas restricciones planteadas para que los resultados finales del modelo sean eficientes y factibles. Algunos de los modelos más relevantes son: Jeremy F. Shapiro, Graves, Arango, Mula y García-Sabater. Todos estos modelos se centran en la planificación de la producción y de materiales. La mayoría de ellos son multi-producto, multi-nivel y multi-periodo. A rasgos generales, la función objetivo de estos modelos busca disminuir los costos de producción, inventarios y capacidad, así como maximizar la utilidad bruta. (Cáceres et al., 2015).

### *1.5.1 Modelo matemático de Jeremy F. Shapiro*

Este autor aplica para este caso un modelo de optimización agregada, usualmente utilizada en MRP y MPS. Todo esto en virtud de que los supuestos que van acorde a la realidad de que, la disponibilidad de materiales suele acumularse a lo largo del tiempo y debido a esto se trata de encontrar una estructura óptima de producción para la gran mayoría de los procesos y operaciones sujetos a las variaciones de la demanda y las restricciones de capacidad; el estudio que presenta Shapiro está basado en el problema de la administración para producir cantidades de productos a partir de cientos de componentes individuales. Los problemas del MRP pueden llegar a convertirse en algo demasiado complejo para los sistemas manuales. El modelo matemático de (Shapiro, 1989) es de programación entera y mixta. Este es aplicable para una amplia gama de procesos y problemas de fabricación. Este busca determinar un programa maestro, eficaz y productivo mediante la asignación de la capacidad. Este modelo es multietapa, multi-producto y con una capacidad de producción limitada.

- **Función objetivo:** la función objetivo del modelo de Shapiro se plantea con el fin de evitar costos de inventarios, preparaciones y trabajos en horas extras para obtener de esta manera el costo mínimo posible.

$$MIN Z = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (h_i y_{it} + cs_i \delta_i) + \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T (co_{kt} O_{kt})$$

**Ecuación 1.** Función objetivo del modelo matemático de Shapiro

Fuente: (Shapiro, 1989)

### 1.5.2 Modelo matemático de Graves

El presente modelo considera como un elemento importante para los problemas de planeación y planificación de la producción, el cómo ajustar los niveles de todos los recursos y de la capacidad a lo largo de todo el horizonte de planeación. Para todo esto se debe habilitar el poder modificar los niveles de la mano de obra por medio de decisiones, contrataciones o despido.

Este modelo va a considerar a un único recurso que se representa a través de la fuerza de trabajo. Este modelo se puede extender para incluir otros recursos que pueden ser manejados de una manera un tanto similar en el horizonte de planificación. Este modelo no considera costos de preparación, adecuación, producción ni tiempos de suministro (Serna-Urán, 2009).

- **Función objetivo:** a través de esta función objetivo se pretende minimizar los costos de recursos (mano de obra, despidos y contrataciones) además de los costos de producción e inventarios. Todos estos son costos variables.

$$\text{Min } Z = \sum_{t=1}^T (cw_t w_t + ch_t h_t + cf_t f_t) + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I (cp_{it} p_{it} + cq_{it} q_{it})$$

*Ecuación 2. Función objetivo del modelo matemático de Graves*

*Fuente: (Graves, 1999)*

### 1.5.3 Modelo matemático de Arango

El modelo matemático MRP de Arango permite ilustrar las aplicaciones de la programación lineal difusa en los procesos de producción y programación. La complejidad que puede llegar a tener un sistema MRP se traduce en la gran cantidad de información, parámetros y variables que es necesaria para administrar apropiadamente los procesos productivos (Cáceres et al., 2015).

Para la aplicación de este modelo es necesario conocer la siguiente información:

- Tiempos de suministro.
- La cantidad mínima de producción o de compra.
- Nivel de inventario actual.
- Componentes y elementos necesarios para la fabricación.

Este modelo se construye inicialmente a partir de supuestos y de la no existencia de restricciones de capacidad o almacenamiento. No se considera el incumplimiento o aplazamiento de la demanda, por lo que es posible que la existencia de demanda externa de todos los componentes. También se consideran los desperdicios generados por estos componentes (Arango, 2012).

• **Función objetivo:** La función objetivo del modelo matemático MRP de Arango, permite la realización de pedidos considerando el tamaño mínimo a pedir y el nivel promedio de stock que se genera durante el horizonte de planeación, o, dicho de otra forma, realizar el lanzamiento de pedidos tan tarde como sea posible, pero sin extenderse más allá de la fecha del requerimiento.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^P \sum_{t=1}^T (T - t) x_{i,t}$$

*Ecuación 3. Función objetivo del modelo matemático de Arango*

*Fuente: (Arango, 2012)*

#### ***1.5.4 Modelo matemático de Mula & García-Sabater***

El objetivo principal del modelo matemático de Mula y García-Sabater es determinar el programa maestro de producción (MPS) para todos los productos y el MRP (plan de requerimiento de materiales) para todas las materias primas en cada uno de los periodos. Así se puede determinar los niveles totales de stock en inventario, los pedidos para el cumplimiento la demanda y los niveles de capacidad general de uso en un horizonte de planificación y producción dado (Mula & García-Sabater, 2007).

El modelo de programación lineal que se propuso inicialmente por (Mula J. P., 2006) es un modelo que se utiliza principalmente para lograr optimizar el problema referente a la planificación de la producción en un Plan de Requerimiento de Materiales (MRP), el cual se desarrolló en un espacio de manufactura y que posee una capacidad limitada, multi-producto, multi-nivel y multi-periodo (Eslava-Flechas, 2017).

Este tipo de modelos matemáticos siempre tendrán pocas restricciones con el fin de que sean genéricos. Algunas de estas restricciones consideradas en este conjunto también son incluidas en el modelo que fue propuesto por Escudero durante el año de 1994: procesos y actividades alternativas de producción de algunos productos, las diferentes variables de contratación y las descargas o asignación de la mano de obra para la planificación de los recursos y la producción, los niveles de las horas extras, los niveles de stock en inventario, etc. (Mula & García-Sabater, 2008).

La solución final que puede satisfacer a todas las restricciones y permite reducir al mínimo los objetivos descritos anteriormente debe utilizarse de forma dinámica, es decir, solo se podrán ejecutar las decisiones que se relacionan directamente con los primeros periodos del horizonte de planificación, de ese modo, cuando una nueva información sobre la demanda disponible de los recursos, lista de materiales, tiempos de entrega y costos, etc., llegue, el modelo deberá ser actualizado y se debe volver a ejecutar (Mula & García-Sabater, 2008).

• **Función objetivo:** la función objetivo del modelo matemático de Mula busca minimizar todos los costos de producción, así como los costos de inventario, costos que se generen por el retraso de la demanda, los costos del tiempo extra en los recursos, costos de tiempo ocioso o tiempo muerto de los recursos. Luego de todo, se busca satisfacer los retrasos que sufra la demanda y los penaliza con  $c_{bi}$ , lo cual se puede interpretar al asumirse como un costo lineal.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T (cp_i P_{it} + ci_i INVT_{it} + cB_i B_{it}) + \sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^T (ctun_{rt} Tun_{rt} + ctovi_{rt} Tov_{rt})$$

**Ecuación 4.** Función objetivo del modelo matemático de Mula y García-Sabater

Fuente: (Cano, 2011)

La principal fortaleza del modelo es la relación existente entre el mismo y las ecuaciones de balance, que tienen en cuenta el inventario actual disponible y lo ejecuta de tal manera que al final del periodo la demanda existente pueda satisfacerse. La cantidad a producir debe ser igual al inventario al final del periodo, existiendo así un balance entre estas dos relaciones, de allí proviene el nombre que se le da a las ecuaciones de balance de inventario. Para entender mejor la importancia del inventario en estos procesos, es necesario conocer cómo se comportan dentro de una empresa y la definición e importancia que tienen (Serna-Urán, 2009).

### **1.6 Comparación de los modelos matemáticos deterministas para MRP**

Se puede evidenciar que de la tabla 1 que existe una comparación entre los modelos que, relacionados anteriormente, en donde se detallan las condiciones principales del problema, elementos, función objetivo, parámetros, restricciones y variables de decisión que fueron tomados en cuenta para todos los modelos deterministas MRP en la planificación de la producción a corto y mediano plazo. Con la información obtenida en los conceptos anteriores, y considerando los procesos más comunes y representativos de los modelos de (Shapiro, 1989) (Graves, 1999) (Arango, 2012) (Mula & García-Sabater, 2007) se propende diseñar un modelo matemático determinista para la solución de un sistema MRP (Cano, 2011).

La comparación entre los diferentes modelos permite evidenciar la relación conceptual entre los elementos y variables más importantes de cada uno, y esto refuerza la aplicación de modelos matemáticos en la resolución de problemas de producción.

**Tabla 1**

*Características principales y condiciones de los modelos deterministas MRP*

<b>Condiciones del problema</b>	(Shapiro, 1989)	(Graves, 1999)	(Arango, 2012)	(Mula & García-Sabater, 2007)
Multi-producto	X	-	X	X
Multi-nivel	X	-	X	X
Multi-periodo	X	-	X	X
Permite el retraso en la demanda	-	-	X	X
Capacidad de producción limitada	X	-	X	X
Tiene en cuenta tamaños de lote	-	-	X	-
Variabilidad de la mano de obra	-	X	X	-

*Fuente:* (Eslava-Flechas, 2017) y (Cano, 2011)

Los modelos explicados, se enfocan principalmente en la planificación de la producción y los requerimientos de materiales, por lo que se observa que la mayoría de ellos presentan problemas multi-producto, multi-nivel y multi-periodo con capacidad limitada en donde la función objetivo va detrás de la reducción de costos de producción, inventarios y capacidad general. Estos modelos presentan también restricciones de balance de inventario y requerimiento de materiales, así como restricciones de capacidad y restricciones de indicadores de producción (Cano, 2011).

### **1.7 Aplicación de modelos matemáticos en la planificación de la producción en empresas manufactureras**

Una gran parte de los problemas que se dan dentro del área de la Ingeniería Industrial en el marco de la producción y la logística, se presentan por la necesidad de una herramienta confiable que pueda soportar la toma de decisiones respecto a la demanda, planes de requerimiento, tiempos de fabricación, elaboración de productos, distribución y las elecciones de instalación o reubicación (Gamboa & Tabares, 2012). Por lo que los modelos matemáticos de planificación de la producción

se vislumbran como una herramienta útil, confiable y efectiva para la resolución de las necesidades en empresas del sector manufacturero.

A continuación, se evidencian cuatro aplicaciones de modelos matemáticos de planificación de la producción en empresas y sectores manufactureros.

- La industria de snacks en Colombia es una importante industria en la que se destacan tres fabricantes importantes: Frito Lay, Yupi y Super Ricas. La industria en el país está valuada alrededor de 2 billones de pesos según los datos de Euromonitor. Estas empresas cuentan con dos grandes plantas de producción ubicadas en los departamentos de Cauca y Antioquia. Un estudio realizado por Gamboa & Tabares (2012) determina el uso y aplicación de modelos matemáticos de planificación en la producción en estas empresas, para la resolución de problemas de logística y distribución.

- Garza-Ríos & González-Sánchez (2014) hacen uso de un modelo matemático de la planificación de la producción en la cadena de suministro en una empresa que fabrica jabones. La demanda de estos productos va en aumento día a día y con un uso adecuado de maquinarias instaladas es muy probable satisfacer la gran demanda de todos estos productos. Los planes de ventas son elaborados considerando la demanda y necesidad de los productos. Esta empresa no ha recibido rechazo en las ventas debido a la calidad de los productos, pero si se han afectado por problemas en la producción. La aplicación del modelo MRP solucionó este inconveniente.

- En la ciudad de Cúcuta fue objeto de estudio una empresa metalmecánica mediana dedicada al diseño y fabricación de cilindros y tanques para el almacenamiento y transporte del Gas Licuado del Petróleo (GLP). La empresa se encarga de producir cilindros completos o parte de ellos que se distribuyen en una presentación de “kits” para satisfacer la demanda y las necesidades de tres plantas de producción pertenecientes al grupo empresarial. Se fabrican partes de estos cilindros para otras empresas, pero la principal prioridad es atender los requerimientos de la empresa principal. La aplicación de un modelo matemático de planificación de la producción permitió que la fabricación se realizara correctamente y se cumpliera con la demanda (Caidedo-Rolon et al., 2019).



- La aplicación de modelos matemáticos obtuvo resultados en los estudios de prospectiva tecnológica e industrial, realizados por el Opticor (Observatorio de Prospectiva Tecnológica e Industrial para la Competitividad Regional) en los sectores de cuero y calzado, confecciones y metalmecánica en la ciudad de Cali. Se pudo determinar a través de la participación de expertos en cada uno de los sectores que uno de los problemas más comunes es la falta de asociatividad. Por lo que la aplicación de modelos matemáticos permitió mejorar la productividad de estos importantes sectores en la ciudad de Cali (González & Gálvez, 2008).

## **1.8 Inventarios**

Los inventarios son bienes cuantitativos, tangibles, dispuestos para la venta y para el proceso de transformación y/o de producción, dichos procesos generarán un producto utilizado para su posterior comercialización. Los inventarios representan dentro de una empresa, todos aquellos bienes físicos con los que se disponen en un tiempo determinado no importando su naturaleza. En un aspecto general y competitivo, toda empresa u organización siempre dependerá de su capital, con el que puede contar además de todos sus bienes tangibles. Todo esto se debe a que sin ninguno de estos bienes no puede existir la posibilidad de que la línea productiva se desarrolle adecuadamente y los flujos de dinero e ingresos para la organización funcionen correctamente (Silva, 2006).

Para muchas empresas el inventario representa uno de los mayores activos dentro de la organización. Los inventarios son productos o materias primas que se almacenan dentro de la cadena productiva y que tienen ciertas características que los identifican. Uno de los principales temas a tener en cuenta de este parámetro, son las desventajas que un inventario genera en una empresa de manufactura (McItosh, 2018).

### ***1.8.1 Ventajas de los inventarios***

El inventario da servicio a variedad de actividades y/o funciones que añaden flexibilidad a las operaciones de la empresa. Las principales cuatro funciones y ventajas del inventario son: (Render & Heizer, 2007).

- Desarticular o separar varias partes del proceso de producción de tal manera que si la demanda de la empresa varía es muy posible que sea necesario este proceso para suplir la necesidad y los procesos de producción de los proveedores.
- Separar la empresa de las fluctuaciones de demanda y proporcionar un inventario de bienes que ofrezca variedad a los clientes.
- Aprovechar el descuento por cantidad, debido a que las compras por grandes cantidades disminuyen el costo de todos los bienes, así como su entrega.
- Protegerse de la inflación o el aumento de precios.

En las organizaciones que se enfocan específicamente en la producción y transformación de materias primas a bienes y consumo, los costos de inventario afectan un 25 % las utilidades anuales de la empresa (Chávez, 2009). Controlar los inventarios y lograr una administración completamente efectiva de ellos puede mejorar notablemente las utilidades del productor.

Las minimizaciones de los diferentes costos en inventarios generalmente atraviesan diferentes metodologías tales como: investigación de operaciones y formulaciones matemáticas.

Con la meta de adquirir y adaptar funciones de inventario, las empresas han determinado los cuatro tipos de inventario que existen. 1. Inventario de materias primas. 2. Inventario de trabajo o productos en proceso. 3. Inventario del mantenimiento o reparación de tareas y operaciones. 4. Inventario final o del producto finalizado (Render & Heizer, 2007).

### ***1.8.2 Control de inventarios***

La administración del inventario se puede considerar como una herramienta fundamental y necesaria de la producción moderna, debido a que facilita a las empresas y organizaciones la cantidad existente de productos disponibles dentro de la línea productiva y que permanecen en proceso de almacenamiento o se encuentran disponibles para la comercialización en un tiempo y lugar determinado. (Espinoza, 2011) Un control correcto de los inventarios dentro de las organizaciones afianzará la fluidez sobre el funcionamiento general en una organización en sus distintas áreas y fases de producción a la que los productos y/o materiales son sometidos. Para que una empresa pueda considerarse productiva dependerá de que todos los departamentos (de producción, mano de obra e inventarios) se complementen para permitir que se desarrolle la

eficacia en las actividades y así no contar con inconvenientes que afecten en el futuro (Arenas & Méndez, 2004).

Para que se logren resultados eficaces y esperados es primordial implementar los diferentes procesos que son requeridos llevar de manera constante y muy ordenada, lo que implicará obtener los conceptos implícitos en la organización. La importancia del control de inventarios residirá en los objetivos principales de toda empresa u organización, que es la obtención de ganancias y utilidades, que tienen vital importancia y resolución en las ventas debido a que este es el motor principal de las empresas de manera general (la prestación de productos y servicios), de todos modos, si la función del inventario no operase con efectividad, estas ventas no tendrían el material necesario y adecuado para poder trabajar. De ese parámetro es donde nace la inconformidad del cliente o usuario y la oportunidad de tener ganancias se disolverá (Aguilar, 2009).

### ***1.8.3 Gestión de inventarios***

Se entiende precisamente a lo relacionado a la gestión de inventarios a todo lo concerniente al control y manejo de todas las existencias de todos los actuales bienes en una empresa, en la cual deberán aplicarse métodos y estrategias que pueden hacer rentable, eficiente y productiva la tenencia de todos los diferentes bienes y a la vez estos servirán para evaluar los procedimientos de *inputs* y *outputs* de dichos productos (Zeledon & Kuant, 2014).

## **1.9 Análisis ABC según el principio de Pareto**

El análisis ABC dividirá el inventario que se tiene en tres grupos según su volumen anual en valor monetario. Es una aplicación real de lo que se conoce generalmente como principio de Pareto. La ley de Pareto es una herramienta de calidad y plantea “En cualquier negocio e industria pocos elementos son vitales, mientras que la mayoría no lo son”. También se le considera como Ley 20-80. El 20 % de la población es la que provoca en 80 % de los problemas (Borjas & Manuel, 2005).

La idea principal se centra en definir políticas de inventarios que se centren sus recursos en muy pocos artículos importantes del stock y no en los muchos artículos que son triviales.

Resulta ser muy poco práctico y realista dar un control y seguimiento a todos los artículos baratos con el mismo cuidado que los artículos más caros (Sloan & Shanthikumar, 2000).

El análisis ABC deriva directamente del principio general de Pareto. Haciendo énfasis en el control y gestión de inventarios.

El análisis ABC permite así, caracterizar e identificar los artículos que tienen un impacto importante en un valor global de inventario, venta y costos. El ejemplo aplicable de la gestión de stock nos generará el principio básico de Pareto a través de análisis ABC, los cuales se dividen en tres clases de artículos (Alfaro, 2009).

### ***1.9.1 Análisis ABC en empresas del sector manufacturero***

Por sus siglas en inglés *Activity Based Costing* (costo basado en actividades) figura como una herramienta o un método aplicado que ofrece claridad al momento de tomar decisiones. Su importancia establece en los costos de los procesos y actividades de una empresa a fin de estimar el valor de los artículos para que sean priorizados de forma descendente, optimizando así de esta manera la administración de los recursos y logrando mejorar la toma decisiones (Gordillo, 2009).

Los principales beneficios de la aplicación de los inventarios son: La participación monetaria de cada artículo en el valor total del inventario, logrando así la determinación exacta de donde se originan los costos de almacenamiento.

- Lograr optimizar los pedidos de los consumidores finales.
- Determinar el inventario óptimo de los artículos en el área de almacenaje.
- Obtener los costos de manejo y sus componentes.
- Eliminar los costos innecesarios al máximo (Gordillo, 2009).

Como todos los métodos el objeto principal del ABC es optimizar actividades y gastos innecesarios en todos los departamentos involucrados en un proceso de manufactura.

## **1.10 Estudio de tiempos**

También conocido como “método clásico con cronómetro” el Estudio de Tiempos fue propuesto por Frederick Taylor en 1881. A pesar de que se han desarrollado otros métodos para la medición del trabajo, el clásico método con cronómetro sigue imperando en la actualidad. Este proceso consiste en medir el tiempo que tarda un trabajador en realizar una operación determinada con el objetivo principal de establecer un tiempo estándar (Salazar, 2019).

Es importante considerar que el estudio de tiempos es diferente a la Medición del Trabajo. Esta última implica la aplicación de técnicas y herramientas para determinar el tiempo que tarda un operario cualificado en realizar una actividad de acuerdo a una norma de ejecución establecida. El estudio de tiempos es una de esas técnicas (Salazar, 2019).

La medición del trabajo hace parte del Estudio del Trabajo, el cual permite la medición de todas las actividades existentes en un proceso productivo, con el fin de mejorar actividades, operaciones y tareas. El proceso consiste en establecer el mejor tiempo para una actividad realizada por un trabajador; a esto se le conoce como “cálculo del tiempo estándar”. Para el cálculo de este tiempo en una operación, existen una serie de pasos necesarios, sin embargo, para establecer un tiempo de trabajo antes deben mejorarse los métodos (INA, Cálculo del tiempo estándar, 2017).

El estudio del trabajo explica que el tiempo de trabajo aumentará si existe un mal diseño del producto a fabricar, un mal funcionamiento del proceso o debido al tiempo improductivo. La Ingeniería de Métodos es una técnica para minimizar la cantidad de trabajo de tipo operativo, suprimir movimientos innecesarios y reemplazar las acciones o métodos. La medición del trabajo permite investigar, minimizar y eliminar el tiempo muerto del sistema. Una función adicional perteneciente a la medición del trabajo es la fijación de tiempos estándar, lo que es una herramienta que sirve de complemento a la Ingeniería de Métodos, principalmente en las fases de definición e implantación (Salazar, 2019).

### ***1.10.1 Etapas para la medición del trabajo***

El tiempo estándar es aquel tiempo que tiene inmersa una actividad de trabajo desde el momento que inicia un producto hasta su finalización. El método de referencia más utilizado es el

cálculo del tiempo estándar que utiliza como elemento principal de medición “los cronómetros”. Este método implica en definir el inicio y el final de cada operación. Existen muchos tipos de cronómetros, los principales son: los que dividen el minuto en cien partes o cronómetro centesimal y también el sexagesimal que divide el minuto en 60 partes (INA, 2017). Existen dos metodologías para la toma de tiempo a la hora de recolectar información. La primera metodología es “por ciclo” la cual consiste en cronometrar toda la duración de la actividad, desde donde inicia hasta donde finaliza. La segunda se conoce “por elemento” la cual descompone la operación en elementos más pequeños para un estudio mucho más preciso.

Para el inicio de un estudio de tiempos y movimientos es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Estudio de los operarios de la planta, considerando como ideales a aquellos trabajadores cuyas habilidades y destrezas estén en el promedio.
- No es recomendable trabajar con trabajadores que sean muy lentos o excesivamente rápidos, puesto que los resultados no serían representativos.
- El método de trabajo debe estar estandarizado (mejorado) con respecto a su situación actual.
- Las tomas de tiempo deben realizarse en distintas horas del día de manera que el estudio sea representativo en relación a horarios de trabajo diferentes.
- Es importante establecer el mejor método, así como el mejor ritmo de trabajo con el fin de que se evidencie un parámetro para aplicar el factor de calificación.
- Las personas observadas deben tener destreza para la aplicación del método y tener dominio si el método es nuevo.
- Las personas observadas deben tener disposición para realizar el trabajo con el fin de garantizar eficiencia en las actividades.
- Se debe garantizar que el método utilizado sea ergonómico (que la máquina, herramienta o método se ajuste al operador) además de que establezcan reglas básicas de seguridad como el uso de guantes, protectores, gafas o casco cuando aplique.
- Estandarizar los métodos de producción, es decir, determinar el método más adecuado desde un punto de vista que minimice los movimientos para realizar la operación.

- Observar y registrar los tiempos reales de fabricación que requieren los elementos de la operación (a través del cronómetro) para tener claridad del inicio y fin de la operación.
- Tener a la mano una hoja de observación.
- Dividir las operaciones en elementos o ciclos para la toma de tiempos (INA, 2017).

### ***1.10.2 Medición del desempeño***

También conocida como “Medición del trabajo” la medición del desempeño ha resuelto muchos problemas a lo largo del tiempo. En el presente y futuro cercano si se pretende resolver a algunos de los problemas de tipo productivo, como en el caso de la producción en masa sin tiempos improductivos, la optimización al máximo de las materias primas involucradas en un proceso de producción y la utilización adecuada de las mismas. La medición del desempeño es una rama importante de la Ingeniería Industrial que es definida como la aplicación de procedimientos para determinar la mejor técnica de trabajo, reduciendo los tiempos de producción y distribución (Leal, 2008).

### **1.11 Diagramas de proceso y recorrido**

Durante el procedimiento de la Ingeniería de Métodos, es imperativa la utilización de técnicas para el diseño y análisis de los métodos de trabajo, entre los cuales se encuentran los diagramas de procesos. Los más relevantes son:






- Diagramas de operación: cursograma sinóptico o diagrama de operaciones o inspecciones del proceso.
- Diagramas de recorrido: muestran el recorrido de un producto sobre una superficie física, considerando las operaciones principales, inspecciones, demoras en transporte y almacenamiento (INA, 2017).

Se puede observar que los procedimientos a seguir por parte de un ingeniero de métodos, la elección adecuada a estudiar es el punto de inicio. Luego de culminar la operación inicial, la etapa siguiente del procedimiento va dedicada a la recolección y registro de los hechos relativos al método existente (Leal, 2008). Un diagrama de procesos deja en evidencia la secuencia en orden

cronológico de todos los procesos realizados en un taller (unidad productiva); las inspecciones, márgenes de tiempo y materia prima a utilizar en un proceso de fabricación, desde la llegada inicial de los materiales hasta el empaque final. La Figura 9 muestra la simbología utilizada para representar los diferentes tipos de acciones (Sanchis, 2020).

**Figura 5**

*Lista de símbolos utilizados en un diagrama de operaciones y de recorrido*

Símbolos	Nombre
	Operación
	Inspección
	Transporte
	Espera
	Almacenamiento

*Fuente:* (Sanchis, 2020)

**1.12 Capacidad de absorción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

La madera en todos sus tipos pertenece a ecosistemas forestales, ya sean de bosques o de plantaciones. Los árboles a través del proceso de fotosíntesis toman el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera, incorporando el carbono (C) a su estructura y liberan oxígeno (O<sub>2</sub>), convirtiendo esto en medidas de mitigación para mantener o disminuir los niveles de dióxido de carbono (Cubero-Moya & Rojas-Piedra, 1999).



Así mismo, los procesos de deforestación siempre van a generar emisiones de dióxido de carbono debido a la descomposición de los organismos vivos. Se estima que entre el periodo comprendido entre 1990 y 2010, las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GHG por sus siglas en inglés) según el FOLU (FOLU, 2014) estuvieron entre un 11 % y 17 %. A raíz de esta problemática los gobiernos a lo largo y ancho del planeta, lanzaron ideas e iniciativas internacionales y regionales con el fin de mitigar o reparar este fenómeno.

La cantidad de carbono que absorben los diferentes tipos de especies de árboles que aquí son descritas, no suele arrojar un valor exacto porque ese dato suele variar en función de la edad del árbol, del clima y del ecosistema en el que crece. Un árbol de roble de cinco años no fija la misma cantidad de carbono que uno de diez años. Una especie que creció cerca a la rivera fija una cantidad carbono de manera distinta a la misma especie que creció en la sabana. A pesar de que estos datos no son exactos, la desviación estándar en relación a la fijación de carbono en estas especies no es muy grande y la dispersión no es elevada, por lo que se utiliza como referencia a investigaciones y proyectos de grado que hicieron investigaciones minuciosas sobre estas especies de árboles (roble, teca, campano y cedro) y se utilizan los datos que corresponden la media general de la capacidad de absorción de dióxido de carbono en estos tipos de madera. (Rodríguez et al., 2014).

### ***1.12.1 Capacidad de absorción de dióxido de carbono – Roble y Cedro***

La información descrita proviene de CAEM (Rodríguez et al., 2014) de donde fueron seleccionadas seis especies de árboles, entre las cuales se encuentra la especie roble (*Quercus robur*) y cedro (*Cedrus*), las cuales son parte importante de esta investigación. Las especies comprendían edades que iban desde los 2 a los 10 años, tomando como base principal el inventario anual del Parque Ecológico de la Poma en el departamento de Cundinamarca. La forma principal y más efectiva para calcular la fijación de carbono existente es evaluar las propiedades dasométricas del árbol, estas propiedades son: diámetro normal (DN) en cm, altura total (HT) en metros, altura a la base de la copa (HBC) en metros, diámetros de la copa (DC) en metros y diámetro de la base del fuste en centímetros (Rodríguez et al., 2014).

Esto permite la evaluación de precosecha y postcosecha de los tipos de árboles, y al final, una evaluación en un laboratorio donde se determina el carbono orgánico contenido en todos los componentes de la planta. A raíz de este proceso, se obtienen datos expuestos en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Fijación de dióxido de carbono en kgm/ha (kilogramos métricos/hectárea) en las especies de roble y cedro*

-	Aliso	Cedro	Encenillo	Guayacán	Mano de oso	Roble
Media	12.186	66.306	16.23	25.304	28.324	92.544
Desviación estándar	16.00141	89.58192	18.44008	21.88611	30.9113	75.91095

*Fuente:* (Díaz-Cepeda & Velázquez-Camacho, 2015)

Se puede evidenciar que el roble absorbe 92.544 kg y el cedro 66.306 kg. Convirtiendo estos valores a toneladas se obtiene que los valores para el roble son 0.0925 tn y el cedro 0.066306 tn.

### ***1.12.2 Capacidad de absorción de dióxido de carbono – Teca***

Para obtener la cantidad de carbono fijado en las plantaciones de *Tectona grandis* (teca) los investigadores determinaron el objetivo de cuantificar la biomasa aérea total y el dióxido de carbono que fue fijado estos árboles. En este proceso se aplicaron un método llamado “directo destructivo”. En la fase inicial o la base de campo y determinaron el área de estudio con la metodología 3-4-5 de Pitágoras, a través de la cual se delimitó la parcela que se iba a estudiar para realizar el muestreo. En el inventario forestal de *Tectona grandis* se conocen los datos individuales para cada árbol según los criterios establecidos en la FAO. Talaron los árboles desde su base. Luego de la aplicación de esta metodología (Correa & Romero-Hidalgo, 2016) evidenciaron los resultados obtenidos en una parcela regular de 500 metros cuadrados de una plantación forestal de árboles de teca de 4.3 ha y una edad que va desde los 5 a los 14 años de edad de la siembra, en la provincia de Guayas, Ecuador, la cual tiene un promedio de 49 árboles de teca, un volumen de

0,1147 m<sup>3</sup>, biomasa aérea total de 34,311 kg, carbono almacenado de 17.155 Tn y CO<sub>2</sub> fijado de 62,959 kg. En la Tabla 3 se detalla lo anterior.

**Tabla 3**

*Cuadro comparativo de resultados en relación a otros grupos*

-	Unidades de teca	Volumen promedio (m <sup>3</sup> )	Biomasa aérea total (kg)	CO <sub>2</sub> fijado (kg)
Grupo 1	49	0.1147	34.3114	62.959
Grupo 2	22	0.162	37309	136924.04
Grupo 3	52	0.009	335	1229.45
Grupo 4	34	0.09	2720	9982.4
Grupo 5	44	0.11	90.14	-

Fuente: Elaboración propia a partir de (Díaz-Cepeda & Velázquez-Camacho, 2015)

Es importante anexar la comparativa para entender que las condiciones y la edad influyen en la fijación de dióxido de carbono, incluso en las mismas especies.

Se evidencia que la madera teca fija dióxido de carbono en una cantidad de 62.959 kg. Convirtiendo esta unidad a toneladas nos queda que la fijación de CO<sub>2</sub> para este caso es de 0.062959 t/ha.

Es importante destacar que el uso de la madera que proviene de plantaciones forestales, debe ser destinada a productos que sean duraderos, con el fin de que a largo plazo puedan retener más carbono durante periodos prolongados, convirtiendo el proceso y los productos en sistemas de fijación y almacenamiento continuo. Es importante que los gobiernos puedan incrementar el área anual a establecer en la variedad de plantaciones forestales, todo con el fin de que se pueda mantener un stock disponible de carbono para negociaciones internacionales de comercialización por el servicio de fijación de carbono en estas especies. De esto se desprende el bono de (CO<sub>2</sub>) que obtienen las empresas del sector madera según la cantidad de t/ha absorbidas que utilizan para la fabricación de los productos comercializados (Correa & Romero-Hidalgo, 2016).

### ***1.12.3 Capacidad de absorción de dióxido de carbono – Campano***

La cantidad de  $CO_2$  almacenado en los árboles y su capacidad de absorción, fue determinado a través de tres tipos de tratamientos (T1, T2 y T3) con ecuaciones alométricas que permitieron el uso de diferentes densidades experimentales y teóricas, además de la utilización del software i-Tree ECO, todo esto con el objetivo principal de obtener un promedio de fijación de dióxido de carbono haciendo el uso debido de las herramientas disponibles y así poder determinar si este software puede arrojar datos concretos. Considerando que i-Tree es un software creado en Estados Unidos, la pregunta principal era si aplicarlo en Colombia funcionaría de la misma manera independientemente de las condiciones de las especies de árboles. Este software funciona haciendo el uso de las variables dasométricas tales como el DAP, altura total del árbol y especie, pero para que se pudiese obtener un valor 75 % más real, fue necesario ingresar datos como la salud de la copa y la exposición solar de la especie (Cortés-Cagüño & Matías-Barrientos, 2019).

Al final, se obtienen las estimaciones realizadas bajo los tres tratamientos y se obtuvo la tabla en donde se puede identificar la fijación total de  $CO_2$  bajo los tres tratamientos por especie de árboles, organizando la fijación de carbono en valores que van de mayor a menor, en donde T1 es una solución que se obtiene a través de una ecuación alométrica con densidad teórica, T2 es una ecuación alométrica con densidad experimental y T3 es el software i-Tree ECO (Cortés-Cagüño & Matías-Barrientos, 2019). Para este caso en particular el valor de fijación de  $CO_2$  que obtuvo el *Samanea saman* (campano). Esto se detalla a continuación:

**Tabla 4***Fijación de CO<sub>2</sub> por especie en los tres tratamientos*

<b>Especie</b>	<b>Fijación total, kg CO<sub>2</sub> eq T1</b>	<b>Especie</b>	<b>Fijación total, kg CO<sub>2</sub> eq T2</b>	<b>Especie</b>	<b>Fijación total, kg CO<sub>2</sub> eq T3</b>
<i>Ficus elástica</i>	1051.6	<i>Ficus elástica</i>	941.2	<i>Brownea ariza</i>	1928.5
<i>Spathodea campanulata</i>	961.8	<i>Cordia allidora</i>	930.07	<i>Ficus elástica</i>	1188.7
<i>Cordia allidora</i>	853.8	<i>Spathodea campanulata</i>	925.7	<i>Eugenia jambos</i>	1175.8
<i>Meliococcus bijugatus</i>	754.7	<i>Meliococcus bijugatus</i>	680.8	<i>Cecropia engleriana</i>	1058.7
<i>Eugenia jambos</i>	750.6	<i>Cecropia engleriana</i>	655.4	<i>Meliococcus bijugatus</i>	973.2
<i>Cecropia engleriana</i>	732.3	<i>Guazuma ulmifolia</i>	580.3	<i>Cordia allidora</i>	769.9
<i>Guazuma ulmifolia</i>	479.2	<i>Eugenia jambos</i>	575.1	<i>Inga eludis</i>	705.3
<i>Inga edulis</i>	358.4	<i>Inga eludis</i>	475.5	<i>Guazuma ulmifolia</i>	672.3
<i>Samanea saman</i>	281.3	<i>Samanea saman</i>	319.2	<i>Samanea saman</i>	487.7
<i>Gliricidia sepium</i>	174.4	<i>Gliricidia sepium</i>	154.7	<i>Gliricidia sepium</i>	353.4
Total	1274829.92	-	1245200.25		2148192.21

*Fuente:* (Cortés-Cagüeno & Matías-Barrientos, 2019)

*Samanea saman* (campano) en el tratamiento T1 tiene una capacidad de fijación de dióxido de carbono de 281.3 kg. Para el tratamiento T2 se tiene un valor de 319.2 kg y para el tratamiento T3 tiene resultado de 487.7 kg de dióxido de carbono fijado. Debido a que se desea mayor rigurosidad y teniendo en cuenta que los tratamientos T1 tienen en cuenta densidades teóricas y el T2 densidades experimentales; se opta por utilizar en investigaciones el valor que arrojó el software i-Tree ECO con el tratamiento T3, que considera muchas más variables a la hora de calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> fijado y es de gran utilidad para estos cálculos en países como Estados Unidos y Colombia (Cortés-Cagüeno & Matías-Barrientos, 2019).

#### ***1.12.4 Bono que adquieren las empresas por absorción de dióxido de carbono $CO_2$***

Debido a que las especies de madera en sus diferentes tipos almacenan dióxido de carbono en sus fustes y eso ayuda a mitigar el impacto ambiental provocado por los gases de efecto invernadero, los gobiernos crearon los denominados “bonos de carbono”. Un bono de carbono o también conocido como crédito de carbono, es un término que es muy utilizado para referirse de una manera muy genérica a una unidad de intercambio principal en el mercado del carbono. Cada bono de carbono equivale a una tonelada de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) que equivale a ( $tCo_2e$ ) que ha sido reducida, fijada o capturada mediante un proceso de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. A los bonos de carbono también se les tiende a conocer como reducciones carbono verificadas (Zamora & González, 2011).

En Colombia, se creó en 2016 a través de la Ley 1819 de 2016, todo con el hecho de cumplir con la meta de mitigar la emisión de gases de efecto invernadero.

Los gases de efecto invernadero (GEI) es un gas atmosférico que causa este efecto, sin este gas la temperatura de la tierra rondaría alrededor de los  $-18\text{ }^{\circ}C$ . Actualmente la temperatura promedio de la Tierra se sitúa en  $15\text{ }^{\circ}C$  y si continúa de esta manera, la temperatura aumentará hasta el punto de que causará efectos dañinos y posteriormente irreversibles en el medioambiente, la flora, fauna, la biodiversidad y finalmente a los seres humanos. Por eso es importante trabajar para reducir las emisiones de dióxido de carbono (ENEL, 2018).

Un bono de carbono representa la reducción de una tonelada de dióxido de carbono o su equivalente de gases de efecto invernadero.

1 bono de carbono = 1 tonelada de  $CO_2$  que ha sido removida de la atmósfera.

El impuesto nacional del carbono fijó en 2021 una tarifa de \$17.660 COP por una tonelada absorbida de dióxido de carbono (ENEL, 2018).

Este valor se utilizó en este proyecto de grado, para calcular el bono que adquirieron las tres microempresas del sector de Las Américas, sin embargo, el bobo obtenido en dinero no indica

---

una utilidad para el sector, sino que indica qué tipo de madera absorbe más  $CO_2$  y prioriza la utilización de la misma en el proceso de producción.

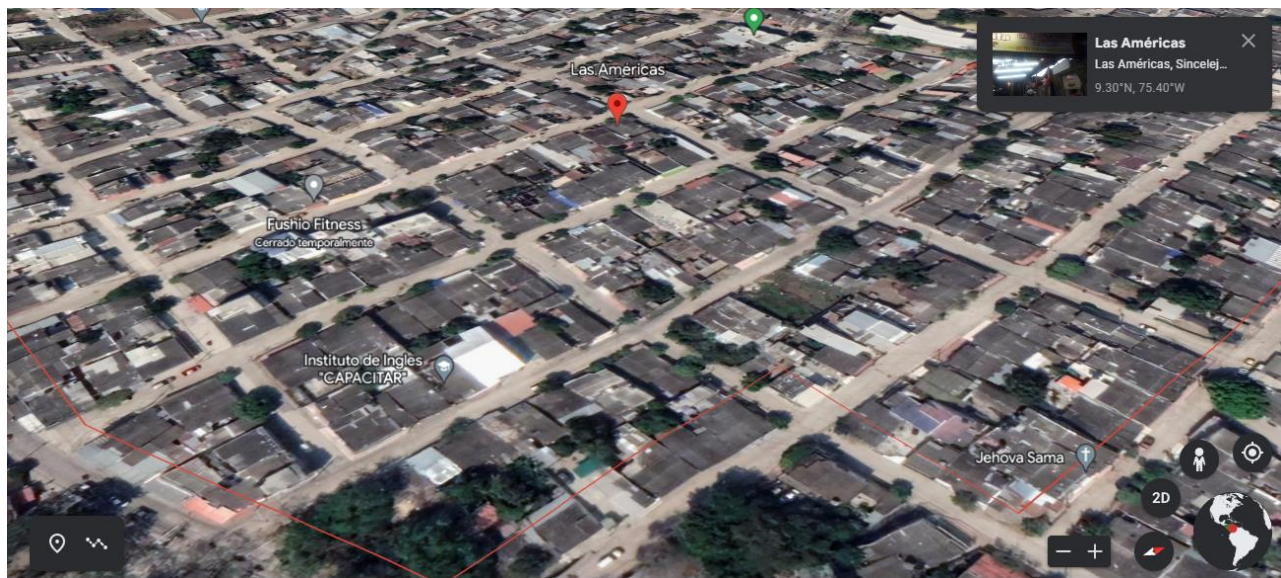


## 2. Metodología

La ubicación geográfica de la investigación se situó en el sector maderero conocido como “Las Américas” de la ciudad de Sincelejo en el departamento de Sucre. Esta investigación fue de tipo exploratorio con manejo de técnicas cuantitativas. El desarrollo del presente trabajo de grado es secuencial considerando los conceptos básicos del MRP. Para cumplir con el presente proyecto se desarrollaron las cuatro fases tecnológicas para dar cumplimiento al objetivo general y los objetivos específicos, considerando principalmente el enfoque cuantitativo de investigación. La Figura 6 muestra la ubicación geográfica del sector.

### Figura 6

*Ubicación geográfica del barrio Las Américas en Sincelejo*



Fuente: (Google Earth, 2023)

La Figura 7 representa el esquema metodológico utilizado en el presente trabajado de grado. Se evidencia de forma secuencial la forma en cómo fue desarrollado todo el proceso a través de la metodología y separa por bloques cada uno de los procesos concernientes a cada fase.



**Figura 7**

*Esquema metodológico*



## **2.1 Fase 1: Diagnóstico de las condiciones actuales de producción de muebles de madera en el sector de Las Américas**

Se centró en realizar un diagnóstico inicial de las microempresas del sector maderero de Las Américas usando técnicas cuantitativas de medición como encuestas, costos de producción y la identificación del tamaño de muestra de empresas en las que se realizó el desarrollo conceptual y práctico del presente trabajo de grado. El proceso de recolección de información fue amplio pero detallado; con la información obtenida se pudo iniciar una metodología que se desarrolló secuencialmente a través del concepto de requerimientos de materiales, permitiendo utilizar la programación lineal para la resolución de los problemas de producción en el sector. Esta fase se realizó en el siguiente orden:

### ***2.1.1 Identificación y cálculo del tamaño de la muestra***

Se procedió a determinar el tamaño de muestra teniendo en cuenta un nivel de confiabilidad del 95 % lo que permite el diagnóstico de las condiciones actuales de producción de muebles de madera en este sector.

El proceso utilizado para la obtención de los resultados del presente proyecto de grado fue la caracterización del sector en el que se desarrolló; identificando a cada una las microempresas para poder definir las variables involucradas, el problema principal y las herramientas para su resolución.

De esa forma se escogieron las microempresas en las cuales se desarrolló el levantamiento de información para el presente proyecto de grado.

### ***2.1.2 Análisis ABC para identificar y caracterizar los productos de mayor rotación, teniendo en cuenta los principios de Pareto***

Para la realización del análisis de las actividades basadas en costos (ABC) se tomaron en cuenta los valores totales de los productos en stock durante los periodos de tiempo. El proceso se enfocó principalmente en el análisis de Pareto para la entrega de los resultados una vez realizado el Análisis ABC.

Durante todo el proceso de levantamiento de información base en el sector maderero de Las Américas, en las microempresas en las que se trabajó, se pudieron identificar los artículos y materiales (materias primas y accesorios) en las listas prioritarias con mayor demanda por lo que se definió un número de nivel prioritario, cantidad en el periodo de tiempo  $t$  y costo unitario.

Debe entenderse que, para estas empresas se consideraron periodos mensuales que van desde  $T...1$  a  $T...5$ , por lo que se entiende que se trabajó en cinco periodos distintos, sin embargo, debido a que la demanda del sector no suele variar con el tiempo, se consideró a esta demanda estática y dependiente por lo que el stock de estas materias primas siempre será el mismo independientemente del periodo  $t$ .

Con esta información se procedió a identificar y caracterizar por nivel los tipos de materia prima más importantes en el sector de Las Américas, utilizando los principios de Pareto, posteriormente la realización de un Análisis Basado en Costos que se centró inicialmente en estos datos de entrada, lo cual determinó el valor del stock en inventario.

### ***2.1.3 Construcción de un instrumento para la toma de datos de operación***

El proceso exploratorio adoptado en el sector para el levantamiento de información, fue realizado en esta fase, donde convergen variables cuantitativas que solo pueden medirse a través de la observación; se hizo necesario el uso de herramientas propias de la Ingeniería de Métodos como el uso de cronómetros para medir los tiempos de producción y en base a ello diseñar un estudio de tiempos determinista. Para conocer las variables, la demanda, los tipos de productos, los procesos y los parámetros existentes en este sector, fue necesaria la construcción de una encuesta detallada (Anexo 1) para las microempresas en donde se pudo dar cuenta de los elementos presentes en el proceso de producción y comercialización del sector.

### ***2.1.4 Toma de datos***

El contexto primordial como diagnóstico de la situación inicial de las empresas, se basó principalmente en referenciar los tipos de productos y materias primas con mayor demanda en el mercado. Por lo que, después conocer las condiciones iniciales de estas microempresas a través de un acercamiento con los propietarios y operarios de estas, realizar una encuesta y entablar un

diálogo; se lograron visualizar los costos producción, de productos y materias primas. Se evidenció que las materias primas del sector están divididas en diferentes categorías, donde la materia prima esencial es la madera en todos sus tipos y el resto de materias primas son accesorios y productos que se añaden luego del corte y moldeado de la materia prima principal. Estos accesorios entraron en juego al momento de dar forma al producto final y al momento del ensamble.

### ***2.1.5 Diseño del programa maestro de producción***

El cumplimiento de la demanda según los requerimientos y de los clientes movió el engranaje del modelo matemático que a su vez buscó reducir los costos de fabricación y almacenamiento, aumentando la eficiencia y reduciendo los niveles de stock en la línea de procesos.

La demanda de productos de madera en el sector Las Américas, es una demanda con pocas variaciones, por lo que pronosticar los comportamientos y variaciones que se puedan presentar, es mucho más sencillo en comparación a otras empresas en la región o el país. Esto se debe a que el sector posee una clientela establecida que consume productos mes a mes.

Por lo que se hizo imperativo la realización de un plan maestro de producción a través del cálculo de los pronósticos en el sector, es decir, un proceso mediante el cual se pudieron efectuar cambios determinados y que conllevasen menos tiempo. Se realizó un plan específico con los pasos necesarios en el que fueron relacionados los productos con los que se trabajó por lo que tuvo en cuenta la cantidad a producir y el tiempo en que se realizó para que de esta manera se identificaran las cantidades fabricadas, las que quedaron en inventario. Por lo que a través del MPS realizado en Las Américas, se pudo conocer qué producir, cuando producir y cuánto producir.

Esto permitió la mejora de la productividad definiendo la capacidad productiva, minimizar y prevenir las posibles pérdidas a lo largo del horizonte de planeación y la planificación de los tiempos de entrega. Indagando sobre los procedimientos que se llevan a cabo a día a día en las microempresas transformadoras de madera en el sector de Las Américas, se evidenció que en ellas se realiza una variedad de actividades y tareas a través de las cuales se generan diferentes productos que son comercializados a los clientes en un horizonte de cinco periodos  $t$  de tiempo donde cada

periodo equivale a un mes. La demanda de estos productos suele ser estática, aunque a veces dependiendo de la temporada suele variar en relación a los periodos anteriores o posteriores.

Al conocer el tipo de productos fabricados en el sector, la demanda de estos productos y el horizonte de planificación, se pudo realizar el plan maestro de producción.

Para esto es necesario definir cuántos meses posee el horizonte de planificación, conocer el inventario inicial, el pronóstico del área de ventas y los pedidos y/o demanda del sector. Debido a que se conoce el inventario final del periodo anterior, se pudo determinar el inventario inicial para el horizonte de planificación.

El primer paso consiste en determinar el MPS para todos los periodos  $t$  y llenar la tabla con toda la información disponible: pronósticos, pedidos reales o demanda y el inventario inicial del periodo 1. Este paso debe validar si el inventario inicial puede cumplir con las necesidades de la demanda. En este punto es importante identificar cual es el requerimiento real para cada periodo; el pronóstico o el pedido. Por lo que se tiene en cuenta el valor máximo entre los dos. En caso de que el inventario no tenga la capacidad de suplir los requerimientos se dice que necesitará de MPS. Para determinar el plan maestro de producción en las microempresas de Las Américas, se hace uso de las siguientes ecuaciones.

Si:

$$Inv. Inicial < Max(Pronósticos, Pedidos)$$

***Ecuación 5. Cálculo del MPS***

*Fuente:* (Salazar, 2019)

Entonces:

$$MPS > 0$$

Lo siguiente corresponde al cálculo del inventario final de cada periodo, para lo cual se recurrió al balance de inventarios con una pequeña modificación, para este caso se reduce el máximo valor entre el pronóstico y los pedidos de dicho periodo.

$$Inv.Final1 = Inv.Inicial1 + MPS1 - (Max(Pronósticos, Pedidos))$$

**Ecuación 6.** *Cálculo del inventario final para MPS*

*Fuente:* (Salazar, 2019)

### **2.1.6 Construcción de diagramas de análisis de proceso y de recorrido**

Fue sumamente importante conocer desde una perspectiva general las operaciones y el recorrido de los insumos dentro de un proceso de producción hasta que finalmente es transformado en un producto. En el sector de Las Américas se fabrican variedad de productos y cada uno de ellos posee un flujo de operaciones y recorrido. Esta fase muestra las operaciones y el recorrido de un producto sobre una superficie física, considerando las operaciones, inspecciones, demoras, transporte y almacenamiento; elementos mencionados por (Sanchis, 2020). Debido a que las tres microempresas del sector trabajan de forma similar al momento de recibir la carga inicial de materia prima y también considerando las capacidades de almacenamiento, producción y ritmo de trabajo, se realizó un diagrama de operaciones para el sector y un diagrama de recorrido para cada una de las tres microempresas. Este diagrama puede verse en el Anexo 3.

### **2.1.7 Cálculo de la planificación de materiales y diagramas BOM (Bill Of Materials)**

Se realizaron las listas BOM para cada uno de los productos, que se dividen en las listas de materiales necesarios para la transformación del producto final y que dio una idea general de cómo se compuso cada producto luego del proceso y al momento del ensamble.

### **2.1.8 Planteamiento del plan de requerimiento de materiales**

Los requerimientos de materia prima expuestos en el modelo de planificación MRP y su relación con la disponibilidad existente de insumos en las empresas del sector, determinan cual es la cantidad disponible de materia prima en el stock necesaria para satisfacer la demanda de los

clientes en un periodo  $t$ . Estos requerimientos no varían en el tiempo a medida que transcurren los periodos, ya que se conoce de antemano que la demanda de Las Américas es estática con pocas variaciones en el mercado.

A través de la encuesta y del diálogo con los propietarios del sector, se pudo determinar cuál era la cantidad de insumos y/o materias primas necesarias en los periodos de tiempo  $t$  para satisfacer la demanda de los clientes en el sector Las Américas. Esta fase permitió la realización de este proceso el cual fue primordial para el planteamiento del modelo matemático MRP.

### **2.1.9 Estudio de tiempos**

Un estudio de tiempos es importante, primordial y necesario para la obtención de datos reales relacionados a la productividad y eficiencia de una empresa. Los datos que se obtienen durante la recolección de tiempos de un analista (Ingeniero Industrial) son los tiempos reales de fabricación de un producto o un proceso en general. A raíz de estas interacciones de tiempo se logran obtener relaciones entre el tiempo de fabricación y la productividad de los operarios en la mano de obra. En muchas ocasiones la eficiencia de los operarios suele ser baja en comparación a los procesos de otras empresas competidoras, por lo que se generan cuellos de botella durante el proceso general y retrasos en la entrega de los productos que son requeridos por la demanda. El estudio de tiempos busca conocer cada uno de los tiempos reales que tarda un operario en un proceso y los relaciona en torno a los demás procesos de fabricación del producto, conociendo así el tiempo total que se tarda en la elaboración de un producto.

El estudio de tiempos para el cálculo del tiempo normal de ciclo y el tiempo estándar fue realizado en las tres microempresas del sector Las Américas, específicamente en la línea de producción y transformación de madera, donde se coordina la mano de obra, la entrega oportuna, materiales requeridos y utilización de herramientas. Se identificaron los tiempos de producción para cada proceso de ensamble y subensamble a través de hojas de control, considerando el registro de tiempos promedio y cálculo del tiempo normal, utilizando como factor de desempeño las tablas de Wetingshouse para determinar la tolerancia considerando la destreza y habilidad de los operarios. Las fórmulas de los estándares de tiempo son las propuestas por INA (2017).

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de los estándares de tiempo, son las siguientes:

$$Tiempo\ normal = Tiempo\ promedio \times Índice\ de\ desempeño\ (ID)$$

Fuente: (INA, 2017)

$$Tiempo\ estándar = Tiempo\ normal\ (1 + Tolerancia)$$

Fuente: (INA, 2017)

$$Tolerancia = 11\ \%$$

Fuente: (INA, Cálculo del tiempo estándar, 2017)

La tolerancia para este caso tiene un nivel B1 con un valor de 11 % (0.11) debido a que el observador determinó que el desempeño de los operarios es excelente considerando los valores de destreza y habilidad relacionados en las tablas Wettinghouse. Estos valores pueden observarse en lo descrito por Sánchez (2017).

Para el desarrollo del estudio de tiempos en las tres empresas objeto de estudio, se escogió un producto específico por empresa para estimar el número de observaciones (ciclos), debido a que se podía medir el factor de desempeño de los operarios en la línea de producción si se consideraban los procesos y operaciones.

Se escogió el producto con mayor demanda en cada microempresa.

Se hace uso de la siguiente ecuación descrita por (Salazar, 2019) para estimar el número de ciclos o repeticiones a realizar.

$$n = \left( \frac{40 \sqrt{n' \sum x^2 - \sum(x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

Fuente: (Salazar, 2019)



Siendo:

- **n** tamaño de la muestra que queremos calcular.
- **n'** número de observaciones del estudio preliminar
- $\Sigma$  suma de los valores
- **x** valor de observaciones
- **40** constante para un nivel de confianza del 95 %

### ***2.1.10 Análisis de datos a través de los resultados obtenidos***

Se realiza un análisis respectivo para cada punto. La situación inicial de las microempresas del sector deja en evidencia la cantidad de variables, parámetros, escenarios productivos y herramientas que son necesarios para que la transformación de madera se realice de forma correcta. Este punto permite la interpretación de los resultados obtenidos para cada ítem, desde el punto de vista de costos, inventarios tiempos de producción y requerimiento de materiales.

## **2.2 Fase 2: Construcción del modelo matemático de planificación de la producción y MRP**

Mediante la programación lineal se diseñó un modelo matemático MRP para la resolución de los problemas de requerimientos y producción evidenciados en el sector objeto de estudio a través del diagnóstico inicial. Fue importante la conjugación de la información inicial con esta fase debido a que el diseño del modelo depende de ello.

Uno de los objetivos principales de este modelo matemático de planificación, fue también evaluar en términos ambientales y económicos, la fijación y el almacenamiento de dióxido de carbono en los cuatro tipos de madera (roble, teca, campano y cedro) que los propietarios y operarios de las tres microempresas del sector “Las Américas” utilizaron para la elaboración de los ocho productos que son comercializados.

Los cuatro tipos de especies de árboles que producen la madera almacenan carbono, el cual se mide según la cantidad de toneladas métricas absorbidas por hectárea (*tm/ha*).

Es importante aclarar que todas las especies de árboles fijan dióxido de carbono en sus fustes (parte sólida de los árboles conocidas como el tallo o fustes) y en su biomasa aérea (hojas, ramas y flora). Para esta investigación solo se consideró la capacidad de absorción de dióxido de carbono que se almacena en los fustes, debido a que es con las partes de estos árboles se fabrican los productos de las microempresas en Las Américas.

La Fase 2 permitió identificar y plantear lo siguiente:

### ***2.3.1 Identificación de las diferentes variables obtenidas***

Las variables de decisión son el grupo de variables que representan los elementos del modelo de programación lineal que se está por modelar, y que son controladas por los decisores de este proyecto. Los modelos lineales continuos de las variables de decisión toman valores de números reales y son representados por letras y subíndices. Para la investigación y el planteamiento de estas variables y teniendo en cuenta un análisis riguroso del estudio del comportamiento y variaciones del sector Las Américas; se obtuvo como fruto la consecución de estas variables que brindarán los resultados al modelo de planificación MRP.

### ***2.3.2 Identificación de los parámetros***

Los parámetros que son referenciados, son todos aquellos que fueron evidenciados durante el levantamiento de la información base en las empresas del sector. Cada uno de los parámetros son procesos internos de las microempresas o de fabricación existentes en cada una de ellas. Estos procesos son realizados por los operarios y a través de ellos se obtienen los productos que son fabricados para su comercialización y venta. Estos parámetros suelen ser lineales y algunos varían dependiendo del entorno en que se encuentre la empresa o el sector.

### ***2.3.4 Construcción de la función objetivo mediante programación lineal***

Usando programación lineal, considerando los parámetros y variables obtenidas en el sector, se procede a diseñar un modelo matemático con dos funciones objetivo. Una de

maximización de utilidad y la segunda minimización de costos de producción. Esto permite el modelo en su resolución entregue resultados concernientes a la utilidad y a la reducción de costos.

### ***2.3.5 Diseño de restricciones***

Haciendo uso de los mismos conceptos de programación lineal y considerando las variables obtenidas, se procede al diseño de las restricciones. Las cuales consideran capacidades, requerimientos, inventarios y tiempos.

## **2.4 Fase 3: Validación del Modelo Matemático**

Esta fase es de codificación y validación. Para esto, se hizo uso de un software de programación matemática llamado GAMS, el cual es importante para validar la información planteada en la Fase 2. Luego de obtener las variables y parámetros del sector, diseñar la función objetivo y las restricciones, se procedió a codificar esa información en el software con todos los datos de entrada: requerimientos y disponibilidad de materia prima, demanda y tiempos de fabricación. Esto permitió que a través del uso de esta herramienta se obtuvieran resultados concernientes al mejoramiento de la planificación de la producción de las microempresas del sector.

El desarrollo de la Fase 3 contuvo lo siguiente:

### ***2.4.1 Codificación del modelo en GAMS***

Para probar los datos de entrada obtenidos en el sector maderero de Las Américas en la ciudad de Sincelejo, se obtuvieron inicialmente los tipos de materia prima, los tiempos de fabricación, la demanda del sector, los materiales, insumos y costos de mano obra; necesarios para el planteamiento del modelo matemático MRP que facilitó la resolución a algunos de los problemas que se presentan en el sector en cuanto a la producción, tiempos de entrega, satisfacción al cliente y planificación de la producción. Además de la realización de un estudio de tiempos

determinístico que soportó el planteamiento del problema y le dio un peso extra a la resolución de los datos obtenidos. Se permitió codificar los datos de entrada (inputs) con un carácter cuantitativo a través un análisis ABC soportado según los principios de la ley de Pareto con el fin de determinar los tipos de inventarios que se poseen en el sector y caracterizarlos según su valor monetario y la importancia que tienen en el proceso de producción, con el fin de obtener los costos de inventario y tratar de reducirlos mediante el modelo matemático MRP.

Para la resolución de todos los parámetros que se obtuvieron en el levantamiento de información en el sector de Las Américas, fue necesario el uso de un programa de cómputo experto en programación matemática. Existen en el mercado programas que funcionan exactamente para esto, existe mucha variedad, entre los más destacados resaltan el más importante para este proyecto de grado: GAMS (General Algebraic Modeling System) (Cano, 2011).

#### ***2.4.2 Validación con datos creados o adaptados de la literatura***

Para probar y validar el modelo de planificación de la producción MRP utilizado en este sector maderero, se utilizó GAMS, ya que es considerado tanto un programa como de modelización matemática como un programa que se destaca por la resolución de problemas de optimización. Una de las principales virtudes que tiene GAMS y por la cual tiene una ventaja sobre los otros programas de modelamiento matemático, es que junto al módulo de modelización base incorpora diferentes solvers (algoritmos dispuestos para la resolución de problemas) tanto de programación no lineal, lineal y entera. Otra de las ventajas que posee GAMS es que también posee la capacidad de resolver diferentes versiones de un mismo modelo matemático, tanto como problema no lineal, lineal y entero y poder usar diferentes solvers (Cano, 2011).

De igual manera con GAMS se pueden utilizar ficheros de datos que puedan contener todas las instrucciones y datos necesarios para resolver o también se puede recurrir a leer ficheros de datos externos tipo ASCII o como ficheros de hojas de cálculo en Excel o Lotus (Cano, 2011).

Este proceso fue validado a través de los datos de la información observada en las microempresas objeto de estudio y fue apoyado a través de los modelos matemáticos de (Mula & García-Sabater, 2007) y (Arango, 2012).

## **2.5 Fase 4: Evaluación con datos reales**

La fase final permitió analizar los resultados obtenidos mediante el modelo matemático e interpretar la situación final luego del desarrollo de las tres fases anteriores. Este proceso se realizó a través presente informe final, el cual contiene toda la información relevante para el desarrollo del proyecto de grado y el marco referencial.

### ***2.5.1 Análisis de resultados***

Después de realizar un levantamiento de información base, encuestas, estudios de tiempo, análisis ABC y un plan maestro de producción; luego de haber estudiado a fondo los parámetros y variables que intervienen en las microempresas de Las Américas; habiendo explicando cada una de ellas y realizar el planteamiento adecuado, en este punto evidencian los resultados obtenidos luego de haber codificado el modelo matemático a través del software GAMS.

### ***2.5.2 Informe final***

Se realizó el informe final con toda la información recolectada, datos de entrada y marco referencial. Considerando los datos obtenidos a través de la encuesta a través del levantamiento de información en las microempresas del sector, se realizó el informe final el cual contiene lo descrito en la metodología, el marco referencial, los resultados, la discusión, conclusiones y recomendaciones. Se compactan los conceptos más relevantes que son fundamentales para la elaboración de este trabajo de grado y se referencian los autores más relevantes en el proceso.

### 3. Resultados

#### 3.1 Fase 1: Diagnóstico de las condiciones actuales de producción de muebles de madera en el sector de Las Américas

##### 3.1.1 Cálculo del tamaño de la muestra en el sector de Las Américas

Gracias a Tinoco et al. (2016) se conoce a través del registro mercantil de la Cámara de Comercio de Sincelejo que en la ciudad hay 21 pymes que se dedican a la producción y manufactura de madera para la elaboración de muebles y artesanías; 16 de estas empresas están ubicadas en el denominado sector de “Las Américas”.

De las 16 microempresas del sector se decidió trabajar con una muestra de tres (3) empresas en las que se desarrolló el trabajo de campo y el levantamiento de la información que sirvió como fundamento principal del planteamiento del modelo matemático. Sabiendo que las 16 empresas del sector se encuentran registradas en la Cámara de Comercio de Sincelejo y que todas son de índole personal o familiar; se consideraron los parámetros de (MinCIT, 2019) donde se argumenta que para que una empresa del sector manufacturero sea considerada como microempresa debe constar con 10 trabajadores o menos y poseer el valor de la UVT (unidad de valor tributario) inferior o igual 23.563. Considerando los datos obtenidos en la encuesta relacionada en el Anexo 1, se sabe que de las 16 empresas registradas seis (6) de ellas son aserraderos (no realizan transformación de madera ni producen muebles) y cuatro (4) poseen 10 o más trabajadores, por lo que finalmente se identifican seis (6) empresas en el sector que fueron usadas como referencia, por lo que solo se tuvieron en cuenta las microempresas en las que sus operarios o propietarios contaran con al menos 10 años de experiencia en el sector de producción de muebles. Las microempresas que cumplen con estos parámetros y que son tomadas como muestra en para el desarrollo del presente trabajo de grado se encuentran relacionadas a continuación.

**Tabla 5**

*Microempresas objeto de estudio en el sector “Las Américas”*

<b>Empresas (j)</b>	<b>Numeración</b>	<b>Descripción</b>	<b>Propietario</b>
Artes y Diseños	Empresa 1	Constituida legalmente en la cámara de comercio de la ciudad de Sincelejo, su propietario posee 40 años de experiencia en la transformación de madera.	Mauricio Montes
Muebles La Bucaramanga	Empresa 2	Está legalmente en la cámara de comercio de Sincelejo y los trabajadores poseen 10 años de experiencia en fabricación y transformación de madera.	Freddy Arroyo
Muebles Ian	Empresa 3	Su propietario posee 25 años de experiencia en el sector.	Giancarlo Ricardo

Los propietarios y/u operarios de las tres microempresas relacionadas en la Tabla 5, cuentan con una amplia experiencia en el sector productivo de madera. A pesar de eso, aún no se ha tecnificado el proceso y no se hace uso de herramientas tecnológicas e ingenieriles que permitan mejorar la productividad y reducir costos de producción y almacenamiento. Sin embargo, Artes y Diseños se preocupa por la seguridad de sus trabajadores, brindando elementos como guantes y gafas para efectuar procesos, además posee una clientela establecida, se preocupa por la estética de sus productos y cumplir con los tiempos de entrega establecidos; poseyendo un catálogo descriptivo e ilustrativo de sus productos, además de contar con redes sociales. Muebles Ian y Muebles La Bucaramanga poseen ventajas en cuanto a la disposición del espacio, contando con mayor amplitud para realizar los procesos y actividades, pero omiten los demás elementos que si son considerados por Artes y Diseños. De las tres microempresas objeto de estudio se pudo determinar que Artes y Diseños es una referencia importante del sector, sumado también a que posee 40 años de experiencia, lo cual le brinda experiencia y relevancia.

### 3.1.2 Caracterización de materias primas para la realización de un Análisis ABC en el sector maderero de Las Américas

Las materias primas usadas para la fabricación de muebles y artesanías de madera en el sector de Las Américas y sus costos están relacionadas en las tablas 6, 7 y 8.

Donde  $L$  son los insumos o materia prima y  $P$  los cuatro tipos de madera que son utilizados. Es importante tener en cuenta que los tipos de madera utilizados en las tres microempresas son los más utilizados de manera general en Las Américas.

#### Tabla 6

*Tipos de materias primas existentes en el proceso de producción y transformación de las empresas del sector Las Américas*

Materias primas utilizadas en el sector ( $L$ )	Numeración
Roble	L1-P1
Teca	L1-P2
Campano	L1-P3
Cedro	L1-P4
Tornillería o clavos	L2
Lijas	L3
Pintura o pintura selladora	L4
Pintura cintilla	L5
Thinner	L6
Accesorios (rodachinas, bisagras, grapas, cerraduras)	L7
Colbón o pegamento	L8

La Tabla 7 evidencia la relación de los costos unitarios de materia prima utilizados en Las Américas.



**Tabla 7**

*Costos de materia prima por unidad según su presentación comercial*

<b>Materias primas (L)</b>	<b>Presentación</b>
Roble	\$ 20.000
Teca	\$ 18.750
Campano	\$ 18.750
Cedro	\$ 20.000
Tornillería o clavos	\$ 35.000
Lijas	\$ 24.000
Pintura o pintura selladora	\$ 38.000
Pintura cintilla	\$ 35.000
Thinner	\$ 18.000
Accesorios (rodachinas, bisagras, grapas, cerraduras)	\$ 40.000
Colbón o pegamento	\$ 34.000

La Tabla 8, relaciona el valor total y la cantidad de madera que se compró en las tres empresas del sector y que se mantuvo en stock para efectuar el cumplimiento de la demanda. Las microempresas se abastecieron de estas cantidades por periodo, por lo que, si se quiere determinar el valor total del inventario durante todos los periodos, solo se debe multiplicar el valor unitario por periodo por los cinco periodos de tiempo disponibles. Así se determinó el valor total del stock durante los periodos que van de  $T...1$  A  $T...5$ .

**Tabla 8**

*Valor total de la madera por periodo de tiempo t*

<b>Tipos de madera (P)</b>	<b>Valor por periodo t</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Medidas (cm)</b>	<b>Medidas en pies</b>	<b>Periodos totales</b>
Roble (P1)	\$500.000	25 tablones	2,10x20	8 pies	5
Cedro (P2)	\$150.000	8 tablones	2,10x20	8 pies	5
Teca (P3)	\$150.000	8 tablones	2,10x20	8 pies	5
Campano (P4)	\$400.000	20 tablones	2,10x20	8 pies	5

### 3.1.2.1 Análisis ABC en el stock de inventario en las tres microempresas objeto de estudio.

Los datos relacionados en la Tabla 9 muestran los productos en inventario durante los cinco periodos de tiempo  $t$  y evidencia el valor total de las unidades en stock durante estos periodos de tiempo.

**Tabla 9**

*Lista de productos en inventario, su valor total en los cinco periodos y su costo unitario*

Número de prioridad	Materia prima ( $L$ )	Denominación	Valor de unidades en stock de $T...1$ a $T...5$	Costo unitario
1	Roble	Madera – MP1	\$2.500.000	\$ 20.000
2	Cedro	Madera – MP1	\$750.000	\$ 18.750
3	Teca	Madera – MP1	\$750.000	\$ 18.750
4	Campano	Madera – MP1	\$2.000.000	\$ 20.000
5	Tornillería y clavos	MP2	\$175.000	\$ 35.000
6	Lijas	MP3	\$120.000	\$ 24.000
7	Pintura selladora	MP4	\$190.000	\$ 38.000
8	Pintura cintilla	MP5	\$175.000	\$ 35.000
9	Thinner	MP6	\$90.000	\$ 18.000
10	Accesorios	MP7	\$200.000	\$ 40.000
11	Colbón y pegamento	MP8	\$170.000	\$ 34.000

A continuación, se procedió a realizar la valorización para cada uno de los productos prioritarios. La valorización de este consumo se obtiene al multiplicar el valor unitario del producto por el valor total unidades en stock. Para este caso en particular se consideró el valor total de los cinco periodos  $t$ .

Se considera del 100 % total de estos 11 insumos, un porcentaje de participación del 9,09 % para cada uno y así mismo pudo determinarse el porcentaje de consumo.

En esta tabla se obtuvo el porcentaje de participación de la materia prima en la elaboración de los ocho productos que se fabricaron en Las Américas durante los cinco periodos de tiempo. Estos datos se consideraron teniendo en cuenta de que se cumplió con la totalidad de la demanda.

En la Tabla 10 se puede evidenciar que los cuatro tipos de materias primas principales (madera) son los que más porcentajes de consumo tuvieron en la elaboración de un producto.

**Tabla 10**

*Valorización de cada producto y porcentaje de consumo*

Número de prioridad	Materias primas (L)	Valorización del consumo	Porcentaje de participación	Porcentaje de consumo total
1	Roble	\$50.000.000.000	9,09 %	32,12 %
2	Cedro	\$14.062.500.000	9,09 %	9,02 %
3	Teca	\$14.062.500.000	9,09 %	9,02 %
4	Campano	\$40.000.000.000	9,09 %	25,66 %
5	Tornillería o clavos	\$6.125.000.000	9,09 %	3,92 %
6	Lijas	\$2.880.000.000	9,09 %	1,84 %
7	Pintura selladora	\$7.220.000.000	9,09 %	4,63 %
8	Pintura cintilla	\$6.125.000.000	9,09 %	3,92 %
9	Thinner	\$1.620.000.000	9,09 %	1,04 %
10	Accesorios	\$8.000.000.000	9,09 %	5,13 %
11	Colbón o pegamento	\$5.780.000.000	9,09 %	3,70 %
	-	<b>\$155.875.000.000</b>	100 %	-

A continuación, se determinó la acumulación en porcentaje de la valorización de participación y el consumo total de los productos. Esta acumulación en porcentajes se tendrá en cuenta a raíz de los resultados obtenidos en la Tabla 10. Estos datos se encuentran relacionados en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Porcentaje de acumulación de la participación del consumo*

Número de prioridad	Materia prima (L)	Consumo total	% de acumulación de participación	% de acumulación del consumo	Clase
1	Roble	32,12 %	9,09 %	32,12 %	A
2	Cedro	9,02 %	18,18 %	41,14 %	A
3	Teca	9,02 %	27,27 %	50,16 %	A
4	Campano	25,66 %	36,36 %	75,82	A
5	Tornillería y clavos	3,92 %	45,45 %	79,74 %	B
6	Lijas	1,84 %	54,54 %	81,58 %	B
7	Pintura selladora	4,63 %	63,63 %	86,21 %	B
8	Pintura cintilla	3,92 %	72,72 %	90,13 %	B
9	Thinner	1,04 %	81,81 %	90,17 %	C
10	Accesorios	5,13 %	90,9 %	96,3 %	C
11	Colbón y pegamento	3,70 %	100 %	100 %	C

### 3.1.2.2 Diagrama del análisis ABC.

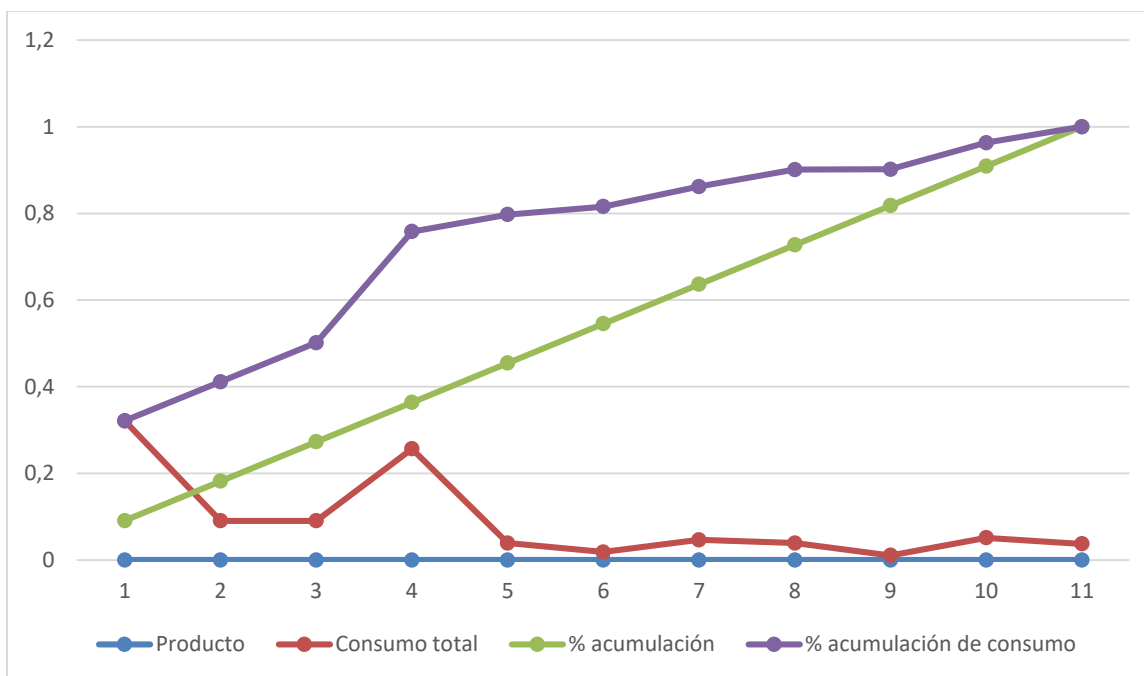
En la gráfica se puede notar que se le asigna a cada miembro de los productos las zonas ABC. Se evidencia que esta asignación cumple con lo descrito por (Alfaro, 2009) y (Heizer, 2007). En vista a lo realizado en este proceso, se puede denotar un análisis concreto:

- La madera se considera un producto Clase A, ya que representa el 75,82 % del porcentaje de consumo de todos los insumos y materias primas que hay en inventario. De alguna manera, las microempresas del sector Las Américas, cumplen con el principio de Pareto, el cual dicta que, en la mayoría de las empresas u organizaciones, el 80 % del valor monetario se encuentra en el 20 % de los productos. Las Américas no fue la excepción, porque se pudo determinar que la mayor cantidad del valor del inventario se encuentra en cuatro tipos de materias primas: la madera.
- La Clase B, la cual consta de Lijas, Pintura Selladora, Pintura Cintilla y Tornillería, representa el 14,31 % del valor del stock y posee un porcentaje acumulativo de 90,13%

- Finalmente, la Clase C, en la cual se consideraron los productos con menos valor en stock, está conformada por Thinner, Accesorios, Colbón o Pegamento, representa un 9,87 % del valor del inventario y un porcentaje acumulativo final del 100 %

### Figura 8

Diagrama del análisis ABC en las microempresas de Las Américas



### 3.1.3 Programa maestro de producción en las microempresas del sector Las Américas

Para la realización del modelo matemático de planeación de requerimiento de materiales MRP y su resolución, se tuvieron en cuenta aspectos netamente necesarios y que son vitales para que las variables de decisión y las restricciones fuesen planeadas y funcionaran correctamente. El modelo matemático presentado en este proyecto de grado ayudó a resolver los problemas referentes a la planificación de materiales considerando los conceptos de (Heizer & Render, 2009) durante cinco periodos de producción, venta y comercialización. La planificación tuvo como fin mejorar la producción de las microempresas del sector, aumentando la calidad de manera implícita conectando la relación entre del cumplimiento del plan de producción y la demanda existente.

Para la elaboración del MPS es necesaria la identificación de los productos fabricados, sus procesos y la demanda del sector. Estos datos se encuentran relacionados de las Tablas 12 a la 14.

**Tabla 12**

*Especificaciones de los productos fabricados en las tres microempresas del sector de Las Américas en Sincelejo*

<b>Nombre</b>	<b>Numeración del producto (i)</b>
Closets	I1
Juegos de cocina	I2
Juegos de comedor	I3
Camas	I4
Puertas	I5
Escaparates	I6
Juegos de cuarto	I7
Multimuebles	I8

En la Tabla 13 son especificados qué productos son fabricados en las tres empresas del sector Las Américas y en qué empresas son fabricados. La producción de los tres productos se divide entre las tres empresas del sector, debido a esa particularidad existen empresas que no fabrican ciertos productos.

**Tabla 13**

*Especificaciones de los productos fabricados en cada una de las empresas del sector*

Empresas	Closets	Juegos de cocina	Juegos de comedor	Camas	Puertas	Escaparates	Juegos de cuarto	Multimuebles
Empresa 1	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	No
Empresa 2	No	No	Si	Si	No	Si	No	Si
Empresa 3	No	Si	Si	Si	No	No	No	No

Los productos relacionados en la Tabla 13 fueron fabricados mediante procesos  $k$ . Los procesos y la duración de los mismos para cada estación de trabajo y producción, fueron referenciados a través de un estudio de tiempos y están enumerados en la Tabla 14.

**Tabla 14**

*Numeración de los procesos de fabricación en las empresas del sector*

Procesos ( $k$ )	Numeración
Corte	$K1$
Lijado	$K2$
Pintado	$K3$
Ensamblado	$K4$

### 3.1.3.1 Datos históricos de productos en las microempresas del sector.

A continuación, se especifica la demanda de los productos durante todos los periodos  $t$  correspondientes al sector de Las Américas.

**Tabla 15**

*Datos históricos de cada uno de los productos en las empresas del sector*

<b>Productos (i)</b>	<b>Productos en inventario (j)</b>	<b>T...1</b>	<b>T...2</b>	<b>T...3</b>	<b>T...4</b>	<b>T...5</b>
Closets	Empresa 1	7	6	5	3	4
	Empresa 2	-	-	-	-	-
	Empresa 3	-	-	-	-	-
Juegos de cocina	Empresa 1	5	5	6	4	4
	Empresa 2	-	-	-	-	-
	Empresa 3	2	2	3	1	2
Juegos de comedor	Empresa 1	2	1	2	1	1
	Empresa 2	3	4	2	2	3
	Empresa 3	2	1	3	1	1
Camas	Empresa 1	-	-	-	-	-
	Empresa 2	19	20	21	22	20
	Empresa 3	7	5	6	7	6
Puertas	Empresa 1	10	11	12	10	10
	Empresa 2	-	-	-	-	-
	Empresa 3	-	-	-	-	-
Escaparates	Empresa 1	-	-	-	-	-
	Empresa 2	33	34	36	31	36
	Empresa 3	-	-	-	-	-
Juegos de cuarto	Empresa 1	3	3	4	4	4
	Empresa 2	-	-	-	-	-
	Empresa 3	-	-	-	-	-
Multimuebles	Empresa 1	-	-	-	-	-
	Empresa 2	3	3	2	4	3
	Empresa 3	-	-	-	-	-



La demanda de los productos fabricados en el sector se tiene en cuenta en relación al número de artículos que se requieren en cinco periodos de tiempo  $t$  expresados en la Tabla 15.

Para Chud y Burbano (2018): “este sistema es el más apropiado para empresas pequeñas que no consideren una previsión de rotura de stocks ni altos picos de demanda en determinadas épocas. Consiste en producir lo que pide la demanda para un periodo de tiempo, eliminando los costos de inventario, mantenimiento o reparación” por lo que el tamaño de lote será igual a la demanda del periodo.

### **3.1.3.2 Cálculo de los pronósticos por periodo en las microempresas del sector.**

Se procedió a realizar los cálculos que determinaron el MPS (cuanto producir y cuando) en las tres microempresas del sector: “Artes y Diseños”, “Muebles Ian” y “Muebles La Bucaramanga” durante un horizonte de planificación de cinco meses y a través de los datos históricos facilitados por el área de ventas (propietarios) del sector, se pudo conocer el pronóstico de los productos durante todo el horizonte de planificación.

De acuerdo a la siguiente ecuación se sabe que inventario inicial de cada periodo corresponde al inventario final del periodo anterior. Luego de aclarar esto, se procede con el cálculo de los pronósticos para el producto Closets.

$$Inv. Inicial < Max(Pronósticos, Pedidos)$$

(Salazar, 2019)

Debido a que el inventario inicial (4) en el periodo  $t=0$  no es menor que el valor máximo entre los pronósticos y pedidos (para este caso pedidos = 3), se decide que el MPS será igual a 0.

Para calcular el inventario final del primer periodo se utiliza la Ecuación propuesta por (Salazar, 2019).

$$Inv. Final1 = Inv. Inicial1 + MPS1 - (Max(Pronósticos, Pedidos))$$

$$Inv. Final = 4 + 0 - 3$$

$$Inv. Final = 1$$

Así mismo se aplica el mismo concepto para calcular el pronóstico para los siguientes periodos:

**Tabla 16**

*Pronósticos durante cinco periodos para closets*

Parámetros	Periodos				
	1	2	3	4	5
Inventario inicial	4	1	0	0	0
Unidades pronosticadas	2	2	5	4	4
Pedido	3	4	5	5	5
MPS	0	3	5	5	5
Inventario final	1	0	0	0	0

Se procede a calcular el pronóstico correspondiente para Juegos de cocina en el sector.

$$Inv. Final1 = Inv. Inicial1 + MPS1 - (Max(Pronósticos, Pedidos))$$

$$Inv. Final = 6 + 0 - 5$$

$$Inv. Final = 1$$

**Tabla 17**

*Pronósticos para juegos de cocina durante un horizonte de cinco meses*

Parámetros	Periodos				
	1	2	3	4	5
Inventario inicial	6	1	0	0	0
Unidades pronosticadas	4	5	3	4	4
Pedido	5	6	4	4	5
MPS	0	5	4	4	5
Inventario final	1	0	0	0	0

A continuación, se realizan los pronósticos correspondientes para Juegos de comedor.

$$Inv. Final1 = Inv. Inicial1 + MPS1 - (Max(Pronósticos, Pedidos))$$

$$Inv. Final = 4 + 0 - 2$$

$$Inv. Final = 2$$

**Tabla 18**

*Pronósticos para juegos de comedor en un horizonte de planeación de 5 meses*

Parámetros	Periodos				
	1	2	3	4	5
Inventario inicial	7	3	0	0	0
Unidades pronosticadas	4	4	4	4	4
Pedido	4	4	3	5	5
MPS	0	1	3	5	5
Inventario final	3	0	0	0	0

Se procede a realizar el cálculo de los pronósticos para Camas en el sector.

$$Inv. Final1 = Inv. Inicial1 + MPS1 - (Max(Pronósticos, Pedidos))$$

$$Inv. Final = 26 + 0 - 24$$

$$Inv. Final = 2$$

**Tabla 19**

*Pronósticos para camas en un horizonte de cinco meses*

Parámetros	Periodos				
	1	2	3	4	5
Inventario inicial	26	2	0	0	0
Unidades pronosticadas	22	24	22	22	20
Pedido	24	23	24	19	19
MPS	0	21	24	19	19
Inventario final	2	0	0	0	0

Así mismo se realiza el cálculo para Puertas.

$$Inv. Final1 = Inv. Inicial1 + MPS1 - (Max(Pronósticos, Pedidos))$$

$$Inv. Final = 0 + 10 - 10$$

$$Inv. Final = 0$$

**Tabla 20**

*Pronóstico para puertas en un horizonte de cinco meses*

Parámetros	Periodos				
	1	2	3	4	5
Inventario inicial	10	0	0	0	0
Unidades pronosticadas	9	9	10	10	11
Pedido	10	10	10	11	12
MPS	0	10	0	11	12
Inventario final	0	0	0	0	0

El pronóstico para Escaparates en un horizonte de cinco meses es el siguiente.

$$Inv. Final1 = Inv. Inicial1 + MPS1 - (Max(Pronósticos, Pedidos))$$

$$Inv. Final = 36 + 0 - 28$$

$$Inv. Final = 0$$

**Tabla 21**

*Cálculo del pronóstico de Escaparates para un horizonte de cinco meses*

Parámetros	Periodos				
	1	2	3	4	5
Inventario inicial	36	8	0	0	0
Unidades pronosticadas	35	32	33	33	32
Pedido	28	29	33	32	33
MPS	0	21	33	32	33
Inventario final	8	0	0	0	0

Se realiza el procedimiento para Juegos de cuarto de la misma manera:

$$Inv. Final1 = Inv. Inicial1 + MPS1 - (Max(Pronósticos, Pedidos))$$

$$Inv. Final = 4 + 0 - 10$$

$$Inv. Final = 0$$

**Tabla 22**

*Pronósticos para Juegos de cuarto en un horizonte de cinco meses*

Parámetros	Periodos				
	1	2	3	4	5
Inventario inicial	4	0	0	0	0
Unidades pronosticadas	4	6	5	6	5
Pedido	10	5	7	6	6
MPS	6	5	2	6	6
Inventario final	0	0	0	0	0

Para Multimuebles, el pronóstico es el siguiente:

$$Inv. Final1 = Inv. Inicial1 + MPS1 - (Max(Pronósticos, Pedidos))$$

$$Inv. Final = 3 + 0 - 3$$

$$Inv. Final = 0$$

**Tabla 23**

*Pronósticos para Multimuebles en un horizonte de cinco meses*

Parámetros	Periodos				
	1	2	3	4	5
Inventario inicial	3	0	0	0	0
Unidades pronosticadas	3	2	4	4	4
Pedido	4	3	4	3	4
MPS	1	3	4	3	4
Inventario final	0	0	0	0	0

Se pudo determinar con el cálculo de pronósticos, el MPS, o, dicho de otra manera, qué debe producirse, cuánto debe producirse, cuando. El cálculo de los pronósticos realizado a través de las ecuaciones de inventario final, determinó las cantidades a producir en un horizonte de cinco meses. Se planificó en estos periodos debido a que la información de datos históricos suministrada por las empresas del sector, relaciona información correspondiente a cinco periodos.

### ***3.1.4 Diagramas de análisis proceso y recorrido en el sector maderero de Las Américas***

Las Américas es un sector productivo que fabrica muebles de madera. Se pudo definir y caracterizar el proceso operativo efectuado por los trabajadores en las tres microempresas. Dado que los procesos de elaboración de muebles y artesanías son similares tanto en “Artes y Diseños”, “Muebles Ian” y “Muebles La Bucaramanga” se realizó un diagrama de operaciones para el sector en general, considerando los conceptos de Ingeniería de Métodos explicados por (Leal, 2008) y (Sanchis, 2020) para creación de diagramas de procesos y operaciones. La Figura 11 muestra todas las operaciones que son realizadas en la fabricación de un producto *i*.

### **3.1.4.1 Diagramas de recorrido para cada una de las microempresas.**

Este diagrama comprende el recorrido que realizan los productos e insumos en la superficie física de cada una de las microempresas; determinando de esta forma el recorrido comprendido por las piezas e insumos desde el inicio de la operación hasta que finalmente son ensambladas y se convierten en el producto final. Se realizó este diagrama de recorrido para el producto con mayor demanda en cada microempresa. Siendo Juegos de Closet para Artes y Diseños, Juegos de Cocina para Muebles Ian y Escaparates para Muebles La Bucaramanga. Este diagrama puede verse en el Anexo 3.

### **3.1.5 Lista de materiales (BOM – Bill Of Materials)**

Es la caracterización inicial de las microempresas del sector que se detalla en el Análisis ABC, se determinó el valor de la madera en pies. Estos valores obtenidos fueron considerados nuevamente para detallar las listas de materiales BOM del sector Las Américas, relacionando los costos y la cantidad a utilizar de madera y de los demás insumos durante en la elaboración de cada uno de los ocho (8) productos, según la caracterización obtenida mediante el Análisis ABC. Para el diseño de estas listas en este sector maderero, se referencian los conceptos explicados (Betancourt, 2020) y (Asana, 2022) pero se anexan tres ítems en relación con sus listas de materiales, los cuales son: unidad, precio unitario y precio total. Esto permite evidenciar cuanto es el valor total según la cantidad de materia prima utilizada en la elaboración de un producto específico.

Las unidades de madera se encuentran en pies cúbicos debido a que su conversión al momento de interactuar con el software GAMS es más eficiente y óptima. Sumado a esto, los propietarios del sector trabajan con esas unidades.

**Tabla 24***Precio de la madera en pies*

<b>Tipos de madera (P)</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Medidas (cm)</b>	<b>Medidas en pies</b>	<b>Valor en pies</b>
Roble	\$20.000	\$500.000	25 tablones	2,10x20	8 pies	\$2500
Cedro	\$18.750	\$150.000	8 tablones	2,10x20	8 pies	\$2343.75
Teca	\$18.750	\$150.000	8 tablones	2,10x20	8 pies	\$2343.75
Campano	\$20.000	\$400.000	20 tablones	2,10x20	8 pies	\$2500

En la Tabla 24 se evidencia la cantidad de madera y otros insumos utilizados en la elaboración de un closet. También pueden verse los costos de los insumos según las cantidades utilizadas.

**Tabla 25***Listado de las materias primas que componen la elaboración de un closet*

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
Madera	100	Pies	\$2500	\$375.000
Pintura selladora	1	Galones	\$38.000	\$38.000
Thinner	1	Galones	\$18.000	\$18.000
Pintura cintilla	1	Galones	\$35.000	\$35.000
Lijas	5	Pliegos	\$4.800	\$24.000
Bisagras	6	Unidades	\$5.833	\$35.000
Tornillos	100	Unidades	\$350	\$35.000
Colbón	1	Galones	\$34.000	34.000
-	-	-	\$138.483	\$594.000

La Tabla 25 muestra la cantidad de insumos y accesorios utilizados, los costos y el precio unitario y total según sus cantidades. El producto fabricado es juego de cocina.



**Tabla 26**

*Listado de las materias primas que componen la elaboración de un juego de cocina*

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
Madera	50	Pies	\$2500	\$100.000
Melanina	20	Pies	\$2500	\$50.000
Tornillos	100	Unidades	\$350	\$35.000
Lijas	5	Pliegos	\$4.800	\$24.000
Cerraduras	2	Unidades	\$17.500	\$35.000
Bisagras	4	Unidades	\$8750	\$35.000
Pintura selladora	1	Galón	\$35.000	\$35.000
Colbón	1	Galón	\$34.000	\$34.000
-	-	-	\$100.600	\$324.000

En la Tabla 26 se detallan las cantidades y los costos requeridos para la elaboración de un juego de comedor.

**Tabla 27**

*Listado de las materias primas que componen la elaboración de un juego de comedor*

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
Madera	100	Pies	\$2500	\$300.000
Tornillos o clavos	100	Unidades	\$350	\$35.000
Lijas	5	Pliegos	\$4.800	\$24.000
Pintura selladora	1	Galón	\$38.000	\$38.000
Pintura cintilla	1	Galón	\$35.000	\$35.000
Colbón	1	Galón	\$34.000	\$34.000
-	-	-	\$114.650	\$466.000

En la Tabla 27 se detallan las cantidades utilizadas y los costos necesarios para la elaboración de una cama.

**Tabla 28**

*Listado de las materias primas que componen la elaboración de una cama*

Material	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio total
Madera	50	Pies	\$2343.75	\$117.187
Tornillos o clavos	100	Unidades	\$350	\$35.000
Lijas	5	Pliegos	\$4.800	\$24.000
Pintura selladora	1	Galones	\$38.000	\$38.000
Thinner	1	Galones	\$18.000	\$18.000
Colbón	1	Galón	\$34.000	\$34.000
-	-	-	\$97.493	\$266.187

La Tabla 28, así mismo, permite conocer la cantidad de insumos necesarios y los costos unitarios y totales en la elaboración de puertas.

**Tabla 29**

*Listado de las materias primas que componen la elaboración de una puerta*

Material	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio total
Madera	50	Pies	\$2343.75	\$117.187
Lijas	5	Pliegos	\$4.800	\$24.000
Pintura selladora	1	Galón	\$38.000	\$38.000
Bisagras	2	Unidades	\$8750	\$17.500
Cerraduras	1	Unidades	\$35.000	\$35.000
Colbón	1	Galón	\$34.000	\$34.000
-	-	-	\$122.893	\$265.687

La Tabla 29 muestra los insumos necesarios en la producción de un escaparate, uno de los productos con mayor demanda del sector.

**Tabla 30**

*Listado de las materias primas que componen la elaboración de un escaparate*

Material	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio total
Madera	50	Pies	\$2343.75	\$117.187
Tornillos o clavos	100	Unidades	\$350	\$35.000
Lijas	5	Pliegos	\$4.800	\$24.000
Pintura selladora	1	Galón	\$38.000	\$38.000
Bisagras	15	Unidades	\$8750	\$131.250

Colbón	1	Galón	\$34.000	\$34.000
-	-	-	\$88.243	\$379.437

Las cantidades y costos requeridos para la producción y elaboración de un juego de cuarto se relacionan en la Tabla 30.

**Tabla 31**

*Listado de las materias primas que componen la elaboración de un juego de cuarto*

Material	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio total
Madera	100	Pies	\$2500	\$250.000
Tornillos o clavos	100	Unidades	\$350	\$35.000
Lijas	5	Pliegos	\$4.800	\$24.000
Pintura selladora	1	Galón	\$38.000	\$38.000
Colbón	1	Galón	\$34.000	\$34.000
-	-	-	\$79.650	\$381.000

Finalmente, en la Tabla 31 se relacionan los costos y cantidades necesarios para la elaboración de uno de los productos con mayor demanda del sector, los multimuebles.

**Tabla 32**

*Listado de las materias primas que componen la elaboración de un multimueble*

Material	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio total
Madera	100	Pies	\$2443.75	\$244.300
Tornillos o clavos	100	Unidades	\$350	\$35.000
Lijas	5	Pliegos	\$4.800	\$24.000
Pintura selladora	1	Galón	\$38.000	\$38.000
Colbón	1	Galón	\$34.000	\$34.000
-	-	-	\$79.593	\$375.300

### 3.1.6 Plan de requerimiento de materiales en las microempresas del sector

En la Tabla 33 se deja en evidencia la cantidad de materia prima *L* disponible en los periodos de tiempo. Según (Carballosa, Tarrés, & Sánchez, 2014) y (Betancourt, 2020) definir esta relación es de suma importancia para determinar el MRP en las microempresas del sector. La relación de esta disponibilidad se evidencia a continuación:

**Tabla 33**  
*Disponibilidad de materia prima en el sector*

Materia prima disponible en stock en el periodo <i>t</i>	Empresas	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5
Madera (L1)	J1	2000 pies	2000 pies	2000 pies	2000 pies	2000 pies
	J2	2900 pies	2900 pies	2900 pies	2900 pies	2900 pies
	J3	900 pies	900 pies	900 pies	900 pies	900 pies
Tornillería o clavos (L2)	J1	300 un	300 un	300 un	300 un	300 un
	J2	200 un	200 un	200 un	200 un	200 un
	J3	300 un	300	300 un	300 un	300 un
Lijas (L3)	J1	30 un	30 un	30 un	30 un	30 un
	J2	20 un	20 un	20 un	20 un	20 un
	J3					

		20 un	20 un	20 un	20 un	20 un
Pintura o pintura selladora (L4)	J1	5 gal	5 gal	5 gal	5 gal	5 gal
	J2	6 gal	6 gal	6 gal	6 gal	6 gal
	J3	5 gal	5 gal	5 gal	5 gal	5 gal
Pintura cintilla (L5)	J1	5 gal	5 gal	5 gal	5 gal	5 gal
	J2	6 gal	6 gal	6 gal	6 gal	6 gal
	J3	6 gal	6 gal	6 gal	6 gal	6 gal
Thinner (L6)	J1	6 gal	6 gal	6 gal	6 gal	6 gal
	J2	4 gal	4 gal	4 gal	4 gal	4 gal
	J3	2 gal	2 gal	2 gal	2 gal	2 gal
Accesorios (L7)	J1	40 un	40 un	40 un	40 un	40 un
	J2	30 un	30 un	30 un	30 un	30 un
	J3	10 un	10 un	10 un	10 un	10 un
Colbón (L8)	J1	3 gal	3 gal	3 gal	3 gal	3 gal
	J2	6 gal	6 gal	6 gal	6 gal	6 gal
	J3	2 gal	2 gal	2 gal	2 gal	2 gal

### 3.1.6.1 Requerimientos reales de materia prima.

Los requerimientos de materia prima son todos los valores arrojados cuantitativamente que informan al operario cuanto se requiere de materiales (materia prima en general) para la elaboración de un producto. Para el sector de Las Américas, este concepto indicó cuánto se necesitó de madera, pintura, tornillería, etc., para la construcción de todos los productos

comercializados. La relación numérica entre estos insumos y la cantidad necesaria que se requiere de cada uno de ellos se expresa en la Tabla 34.

Las materias primas utilizadas para tal relación son:

- Roble (L1-P1)
- Teca (L1-P2)
- Campano (L1-P3)
- Cedro (L1-P4)
- Tornillería o clavos (L2)
- Lijas (L3)
- Pintura o pintura selladora (L4)
- Pintura cintilla (L5)
- Thinner (L6)
- Accesorios (rodachinas, bisagras, grapas, cerraduras) (L7)
- Colbón o pegamento (L8)

**Tabla 34**

*Requerimientos de materia prima para las empresas del sector maderero Las Américas*

<b>Productos (I)</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>	<b>L7</b>	<b>L8</b>
Closets	100 pies	50 un	5 lijas	1 gal	1 gal	1 gal	50	1 gal
Juegos de cocina	50 pies	100 un	5 lijas	1 gal	-	1 gal	6	-
Juegos de comedor	100 pies	100 un	5 lijas	1 gal	1 gal	1	-	1 gal
Camas	50 pies	100	5 lijas	1 gal	-	1 gal	-	1 gal
Puertas	50 pies	-	5 lijas	1 gal	-	-	3 un	1 gal
Escaparates	50 pies	100 un	5 lijas	1 gal	-	-	15 un	1 gal
Juego de cuarto	100 pies	100 un	5 lijas	1 gal	-	-	-	1 gal
Multimueble	30 pies	100 un	5 lijas	1 gal	-	-	-	1 gal

### **3.1.7 Estudio de tiempos en las microempresas de Las Américas**

Tiene diferentes procesos establecidos los cuales fueron analizados y tomados en cuenta para determinar el tiempo total de fabricación de cada uno de los ocho productos que se elaboran

en las tres empresas relacionadas en el sector productivo. Dichos tiempos fueron cronometrados y relacionados en una tabla de Excel, permitiendo conocer los tiempos reales del proceso de fabricación para cada producto.

Estos tiempos sirvieron como la base principal que permitió determinar el número de observaciones, ciclos o repeticiones que se realizaron para que el estudio de tiempos fuera factible en cada producto, dando validez y el soporte necesario que requiere un modelo de planificación. Así mismo se relacionaron los estándares de fabricación en relación el tiempo total estimado de elaboración de productos, teniendo en cuenta cada uno de los procesos.

Esta relación fue tomada en cuenta como una variable que se obtuvo para el cumplimiento del objetivo principal de este proyecto de grado; la construcción del modelo matemático de la planificación de la producción MRP, por lo que la aplicación del estudio de tiempos fue de vital importancia para el desarrollo general de este trabajo de grado, que tuvo en cuenta parámetros cuantitativos como base general para su construcción.

Para la realización del estudio de tiempos en cada una de las tres microempresas del denominado sector de Las Américas se escogió el producto con mayor demanda y utilidad por cada empresa; los mismos productos tenidos en cuenta en el diagrama de recorrido. Estos se relacionan a continuación:

**Tabla 35**

*Productos con mayor demanda en las microempresas del sector Las Américas*

<b>Productos con mayor demanda en Las Américas</b>	
Artes y Diseños	Juegos de closet
Muebles Ian	Juegos de Cocina
Muebles La Bucaramanga	Escaparates

### 3.1.7.1 Cálculo de estándares de tiempo en la microempresa Artes y Diseños.

Se realizaron 5 observaciones preliminares. Los valores de los respectivos tiempos transcurridos en segundos son: 40s, 38s, 41s, 43s, 39s. Con estos datos se procede a calcular los cuadrados que indica la fórmula de la Ecuación 18.

**Tabla 36**

*Cálculo de los estándares de tiempo para Artes y Diseños*

$x$	$x^2$
40	1600
38	1444
41	1681
43	1849
39	1521
$\sum x = 201$	$\sum x^2 = 8095$

Se hace uso de la Ecuación descrita por (Salazar, 2019) para estimar el número de ciclos o repeticiones a realizar.

$$n = \left( \frac{40 \sqrt{n' \sum x^2 - \sum(x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

Siendo:

- **n** tamaño de la muestra que queremos calcular.
- **n'** número de observaciones del estudio preliminar
- $\Sigma$  suma de los valores
- **x** valor de observaciones
- **40** constante para un nivel de confianza del 95 %

$$n = \left( \frac{40 \sqrt{5(8095) - (201)^2}}{(201)} \right)^2$$



$$n = 2,9306$$

$$n = 3 \text{ ciclos}$$

Se observa que el número de ciclos requeridos para la fabricación de un closet de madera en la empresa Artes y Diseños es menor al número de observaciones preliminares, por lo que mantenemos el número de ciclos en 5 en lugar de 3 para observar las variaciones y resultados con mayores datos y exactitud.

En el Anexo 4 se relacionan los valores de tiempo cronometrados por el observador en los que se puede evidenciar cuánto tarda cada proceso en la línea de producción considerando: corte, ensamble, lijado y pintura.

Luego de documentar en la hoja de observaciones el estudio de tiempos, se evidenciar el cálculo del tiempo normal de ciclo, utilizando las ecuaciones correspondientes. El tiempo normal de ciclo es el tiempo que tardan los operarios en desarrollar una actividad a un ritmo normal sin interrupciones. Puede evidenciarse en la tabla de observaciones el tiempo normal para cada proceso  $k$ .

La sumatoria de todos los valores de tiempo normal es 3954.41 segundos. El índice de desempeño es un valor asignado a cada operación por el observador, quien califica de 1 a 100 el desempeño de un operario según su destreza y habilidad. Este valor es de 90 % (0,9) en las tres microempresas del sector. Se pudo determinar que el tiempo normal en segundos es 3954.41 y convirtiendo este dato a minutos se tiene un valor de 65.90. Este es el tiempo que tarda un operario de Artes y Diseños en fabricar un producto sin considerar holguras o tiempo de ocio.

$$\textit{Tiempo normal} = \textit{Tiempo promedio} \times \textit{Índice de desempeño (ID)}$$

$$\textit{Tiempo normal} = 3954.41 \text{ segundos}$$

$$\textit{Tiempo normal} = 65.90 \text{ minutos}$$

Finalmente se procede con el cálculo del tiempo estándar. Se conoce el tiempo normal y según la habilidad y destreza de los operarios en esta empresa, se estableció una tolerancia de 11 % (0.11)

$$\textit{Tiempo estándar} = \textit{Tiempo normal} (1 + \textit{Tolerancia})$$

$$\textit{Tiempo estándar} = 3954.41 (1 + 0.11)$$

$$\textit{Tiempo estándar} = 3954.41 \times 1.11$$

$$\textit{Tiempo estándar} = 4389.39 \textit{ segundos}$$

$$\textit{Tiempo estándar} = 73.15 \textit{ minutos}$$

El tiempo estándar de ciclo es el tiempo real desde que se comienza el proceso de producción hasta la finalización de este. Para esta empresa fue de 73.15 minutos.

### 3.1.7.2 Cálculo de los estándares de tiempo en Muebles La Bucaramanga.

Para Muebles La Bucaramanga también fueron consideradas 5 observaciones preliminares. Los valores obtenidos en estas observaciones fueron: 43s, 45s, 44s, 40s, 45s.

**Tabla 37**

*Cálculo de los estándares de tiempo para Muebles La Bucaramanga*

$x$	$x^2$
43	1849
45	2025
44	1936
40	1600
45	2025
$\sum x = 217$	$\sum x^2 = 9435$

Siendo:

- $n$  tamaño de la muestra que queremos calcular.

- $n'$  número de observaciones del estudio preliminar.
- $\Sigma$  suma de los valores
- $x$  valor de observaciones
- **40** constante para un nivel de confianza del 95 %

$$n = \left( \frac{40\sqrt{5(9435) - (217)^2}}{(217)} \right)^2$$

$$n = 2,922$$

$$n = 3 \text{ ciclos}$$

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo 5 se relacionan los valores de tiempo cronometrados por el observador en Muebles La Bucaramanga.

Se observa que el comportamiento de la fórmula es similar al de la empresa anterior. Esto se debe a que se analizaron productos similares y los tiempos de fabricación de corte, ensamble, lijado y pintado son parecidos con algunas ligeras diferencias de tiempo. Igualmente se procede a realizar el cálculo normal para Muebles La Bucaramanga. En la tabla de observación para esta empresa se puede evidenciar el tiempo normal de ciclo. La sumatoria total de este tiempo para cada proceso determina el tiempo de fabricación del producto sin considerar el tiempo de ocio.

$$\textit{Tiempo normal} = \textit{Tiempo promedio} \times \textit{Índice de desempeño (ID)}$$

$$\textit{Tiempo normal} = 4233.60 \text{ segundos}$$

$$\textit{Tiempo normal} = 70.56 \text{ minutos}$$

Finalmente se realiza el cálculo del tiempo estándar utilizando la ecuación correspondiente.

$$\textit{Tiempo estándar} = \textit{Tiempo normal} (1 + \textit{Tolerancia})$$

$$\textit{Tiempo estándar} = 4233.60 (1 + 1.11)$$

$$\textit{Tiempo estándar} = 4233.60 \times 1.11$$

$$\textit{Tiempo estándar} = 4699.29 \textit{ segundos}$$

$$\textit{Tiempo estándar} = 78.32 \textit{ minutos}$$

El tiempo estándar para Muebles La Bucaramanga es de 78.32 minutos. Este es el tiempo requerido para la elaboración de un producto de inicio a fin.

### 3.1.7.3 Cálculo de los estándares de tiempo en Muebles Ian.

De la misma forma son consideradas 5 observaciones preliminares. Los valores obtenidos fueron: 30, 29, 34, 35, 32.

**Tabla 38**

*Cálculo de los estándares de tiempo para Muebles Ian*

$x$	$x^2$
30	900
29	841
34	1156
35	1225
32	1024
$\sum x = 160$	$\sum x^2 = 5146$

Siendo:

- **n** tamaño de la muestra que queremos calcular.
- **n'** número de observaciones del estudio preliminar.
- $\Sigma$  suma de los valores
- **x** valor de observaciones
- **40** constante para un nivel de confianza del 95 %

$$n = \left( \frac{40\sqrt{5(5146) - (160)^2}}{(160)} \right)^2$$

$$n = 8,125$$

$$n = 8 \text{ ciclos}$$

En el Anexo 6 se relacionan los valores de tiempo cronometrados por el observador en Muebles Ian.

En Muebles Ian se realiza de igual forma los cálculos de los estándares de tiempo. El cálculo del tiempo normal es el siguiente:

$$\textit{Tiempo normal} = \textit{Tiempo promedio} \times \textit{Índice de desempeño (ID)}$$

$$\textit{Tiempo normal} = 2167.88 \textit{ segundos}$$

$$\textit{Tiempo normal} = 36.13 \textit{ minutos}$$

El tiempo estándar requerido para la elaboración del producto en Muebles Ian se determinó igualmente.

$$\textit{Tiempo estándar} = \textit{Tiempo normal} (1 + \textit{Tolerancia})$$

$$\textit{Tiempo estándar} = 2167.88 (1 + 0.11)$$

$$\textit{Tiempo estándar} = 2167.88 \times 1.11$$

$$\textit{Tiempo estándar} = 2406.32 \textit{ segundos}$$

$$\textit{Tiempo estándar} = 40.11 \textit{ minutos}$$

#### **3.1.7.4 Disponibilidad de tiempo.**

La disponibilidad de tiempo dentro de una empresa se refiere a la cantidad de tiempo disponible que poseen los operarios de una para elaborar productos o prestar servicios. El sector de Las Américas es un sector manufacturero, por lo tanto, la fabricación de cada uno de los productos necesita de un tiempo estimado para que las operaciones puedan efectuarse. Debido a la caracterización que se realizó previamente, basando el proceso en el estudio de tiempos que

determinó cuánto tardan los operarios en realizar tareas específicas definidas (corte, lijado, ensamble y pintado) y soportando la información mediante la aplicación de la encuesta e indagando sobre los procesos generales del sector; se obtuvieron los tiempos de fabricación de los operarios en las empresas para manufacturar los productos. Esta disponibilidad de tiempo es:

Considerando una jornada laboral de 8 horas por día, obtenemos los siguientes datos:

- **Empresa 1:** Artes y Diseños

2 trabajadores, cada uno labora en jornadas de 8h al día x 5 días a la semana.

- **Empresa 2:** Muebles “La Bucaramanga”

5 operarios, cada uno trabaja en jornadas de 10h horas al día, 6 días a la semana. El tiempo extra para esta empresa es de 2h.

- **Empresa 3:** Muebles Ian

4 operarios, cada uno trabaja en jornadas de 12h al día, 5 días a la semana. El tiempo extra de esta empresa es de 4h.

Estos datos pueden observarse en el Anexo 7.

### **3.1.7.5 Tiempos de fabricación**

A continuación, se relacionarán los tiempos de fabricación para cada producto en el sector maderero de Las Américas, es decir, el tiempo total que tardan los operarios en fabricar y culminar el proceso general incluyendo los cuatro procesos que se están trabajando (corte, lijado, ensamble y pintado). Los valores que se encuentran aquí representados fueron determinados a través del estudio de tiempos que se realizó con anterioridad, fruto del análisis determinístico que se realizó en cada una de las tres empresas que conforman el sector. Estos tiempos de fabricación no varían en relación con los tiempos hallados durante el estudio de tiempos determinístico, debido a que en el análisis de esos parámetros se incluyen los tiempos reales de fabricación sin holguras. En el Anexo 8 se evidencia esa información.

### 3.1.8 Costos de producción y mano de obra

Los costos de mano de obra mostrados se relacionan los costos que entran en proceso al momento de elaborar un producto en particular o el pago a los operarios que fabrican dichos productos. Estos costos son considerados al final de un periodo de tiempo  $t$  de 30 días. Puede verse esta información en el Anexo 9. Del Anexo 10 en adelante pueden observarse el precio de venta de los productos en cada una de las microempresas objeto de estudio.

## 3.1 Fase 2: Construcción del modelo matemático de planificación de la producción y MRP

Esta fase se centra en la construcción del modelo matemático de planificación de la producción para las microempresas del sector Las Américas, teniendo en cuenta la información obtenida en la Fase 1 y utilizando las herramientas principales de programación lineal, se puede caracterizar el sector y diseñar los parámetros y variables que se obtienen del proceso productivo de transformación de madera.

### 3.1.9 Índices de producción en el sector de Las Américas

La siguiente tabla, especifica todos y cada uno de los elementos que fueron encontrados en el sector de Las Américas en las tres microempresas en las cuales se realizó el levantamiento de información base. Dichos elementos se relacionan a continuación y sirven como base primordial para la resolución del modelo matemático MRP.

**Tabla 39**

*Índices del modelo matemático MRP*

Índice	Parámetros	Número de parámetros
$p$	Tipos de madera	4
$L$	Materia prima	8
$i$	Productos	8
$j$	Empresas	3

<b><i>k</i></b>	Procesos	4
<b><i>T</i></b>	Periodos de tiempo	5

### 3.1.8 Elementos y parámetros

Los parámetros descritos en la Tabla 40, son los elementos principales para tener en cuenta durante el proceso de producción. Estos son parte indispensable para el diseño del modelo MRP.

**Tabla 40**

*Parámetros y subíndices del modelo*

<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>
<b><i>Dem<sub>ijt</sub></i></b>	Demanda del producto <i>i</i> en la empresa <i>j</i> en el periodo de tiempo <i>t</i>
<b><i>DisMP<sub>ilt</sub></i></b>	Materia prima actual disponible
<b><i>REQ<sub>il</sub></i></b>	Requerimiento de materias primas (todos los materiales e insumos utilizados para la fabricación de cada producto)
<b><i>TDis<sub>jt</sub></i></b>	Tiempo disponible de los operarios
<b><i>TF<sub>ikj</sub></i></b>	Tiempo de fabricación para cada producto
<b><i>TM<sub>jt</sub></i></b>	Tiempo de ocio o tiempo muerto en cada empresa
<b><i>Pv<sub>ij</sub></i></b>	Precio de venta del producto <i>i</i> en la empresa <i>j</i>
<b><i>Cinv<sub>ij</sub></i></b>	Costo de productos en stock
<b><i>CMP<sub>L</sub></i></b>	Costo de materia prima por unidad
<b><i>CMO<sub>j</sub></i></b>	Costo de mano de obra
<b><i>Cmad<sub>p</sub></i></b>	Costo de madera <i>P</i> en pies
<b><i>Cobs<sub>p</sub></i></b>	Capacidad de absorción de CO <sub>2</sub> equivalente del tipo de madera <i>P</i>
<b><i>Precio</i></b>	Valor del bono por tonelada de CO <sub>2</sub> absorbida

### 3.1.9 Variables de decisión

La Tabla 41 muestra las variables de decisión del modelo de planificación MRP de Las Américas. Es importante tener en cuenta que estos elementos son importantes para la resolución



del modelo ya que brindan las respuestas necesarias: cantidades a producir, inventarios, costos, tiempos y cantidad a comprar.

**Tabla 41**

*Variables de decisión del modelo matemático MRP*

<b>Variabes de decisión</b>	<b>Descripción</b>
$X_{ijt}$	Cantidad del producto $i$ a fabricar en la empresa $j$ en el periodo $t$
$IINV_{ijt}$	Inventario del producto $i$ en la empresa $j$ en el periodo $t$
$Y_{ijp}$	Uso de madera tipo $p$
$Req2_{Ljtp}$	Requerimientos de madera para las empresas
$TEF_{jt}$	Tiempo efectivo en cada una de las empresas
$TExtra$	Tiempo extra de los operarios de la empresa $j$ en el periodo $t$
$ComMP_{Ljt}$	Cantidad que comprar de materia prima
$Bono_{jt}$	Bono que adquiere la empresa por absorción de dióxido de carbono $CO_2$

### 3.1.10 Modelo matemático de MRP en el sector Las Américas

Los aspectos más importantes a destacar del siguiente modelo matemático de planificación MRP son: cantidad de productos a fabricar, tiempo efectivo de entrega para los productos por periodo, optimización de costos y de materia prima, tiempos de fabricación, tiempo de ocio o tiempo muerto, cantidades de materia prima a comprar y el bono de  $CO_2$  en estas microempresas.

Así mismo se tuvieron varios modelos en cuenta que sirvieron como referencia para la construcción del modelo MRP que se desarrolló y se codificó en GAMS, pero los más factibles y similares al que se deseaba manejar en este proyecto fue el modelo de (Mula J. P., 2006) y (Arango, 2012) ya que denotaron similitudes en las variables de decisión, la función objetivo, las restricciones, los conceptos y herramientas de fabricación que allí fueron encontradas. Otra similitud muy importante es que la función objetivo de ambos modelos buscan reducir los costos de producción. Este modelo también posee técnicas que incluyen procesos que se utilizan principalmente para la optimización del problema referente a la planificación de la producción en

un MRP, en un ambiente de manufactura con capacidad limitada, multi producto, multi nivel y multi periodo.

### 3.1.10.1 Función objetivo 1: Maximización de la utilidad.

Antes de describir a la función objetivo principal de este trabajo de grado, debemos tener en cuenta que este modelo matemático es multiobjetivo, multi-nivel, multi-producto y multi-periodo. Por eso se cuenta con tres funciones objetivo, la dos principales y la función objetivo total.

Mediante la primera función objetivo se logra maximizar la utilidad de las tres microempresas del sector Las Américas durante los cinco periodos de tiempo en los que se trabajó. Considerando la utilidad como la totalidad real de las ganancias de las tres empresas. Esta ecuación como se puede observar tiene en cuenta la cantidad de productos a fabricar durante los periodos que van de  $T=1$  a  $T=5$  y a esta cantidad le resta el precio de venta, cantidad a comprar de materia prima, cantidad a comprar de madera, costo de la madera, los requerimientos de madera para las empresas, el inventario, costo de inventario, el tiempo extra y finalmente al costo de mano de obra. Al final, en los resultados de este modelo matemático, la función objetivo deberá entregar la utilidad bruta para los cinco periodos de tiempo una vez considerados todos los parámetros que requirió para su optimización.

$$\begin{aligned}
 MAXZ_1 = & \sum_i \sum_j \sum_t ((x_{ijt}) * (Pv_{ij})) - \sum_{L>1}^L \sum_j ((ConMP_{ijt}) * (CMP_L)) \\
 & - \sum_j \sum_t \sum_p ((Cmad_p) * (Req2_{L1jtp})) - \sum_i \sum_j \sum_t ((Inv_{ijt}) * (Cinv_{ij})) \\
 & - \sum_j \sum_t ((Textra_{jt}) * (CT)) - \sum_j (CMO_j)
 \end{aligned}$$

*Ecuación 7. Función objetivo 1 del modelo matemático MRP Menco-Brieva*

### 3.1.10.2 Función objetivo 2: Utilización de la madera que más absorbe CO<sub>2</sub>.

Referenciando la información relacionada por (Díaz-Cepeda & Velázquez-Camacho, 2015) y (Cortés-Cagüño & Matías-Barrientos, 2019) se puede evidenciar la cantidad de dióxido de carbono almacenado en árboles de cuatro especies de madera utilizadas en el sector de Las Américas para el presente trabajo de grado. Esa información se relaciona en la Tabla 42.

**Tabla 42**

*Fijación de dióxido de carbono en los tipos de madera existentes en Las Américas*

Tipo de madera	Cantidad de carbono almacenado en toneladas
Roble	0.0925
Cedro	0.066306
Teca	0.062959
Campano	0.4877

La segunda función objetivo de este modelo matemático es la que permite minimizar los costos de producción del tipo de madera ( $P$ ) que más absorbe CO<sub>2</sub> en las microempresas. Una forma muy simple de explicar lo que esta ecuación realiza es entender el concepto del bono por absorción de dióxido de carbono que obtienen las tres empresas en los cinco periodos de tiempo.

La función objetivo identifica el tipo de madera que más absorbe CO<sub>2</sub> a través del cálculo del bono de carbono, es decir, utilizando el valor más alto que se obtuvo a través de este cálculo. Esto hará que, considerando la sostenibilidad del proceso, se permita identificar el tipo de madera que más absorbe dióxido de carbono antes de que el árbol fuera talado. Se obtiene el valor del bono que obtendrían estas empresas, pero el objetivo principal es identificar el tipo de madera más sostenible en el proceso de producción y priorizar su uso en la elaboración de los productos.

$$MINZ_2 = \sum_i \sum_j \sum_t ((Bono_{jt}))$$

**Ecuación 8.** *Función objetivo 2 del modelo matemático MRP Menco-Brieva*

### 3.1.10.3 Función objetivo 3: Función objetivo total.

La función objetivo total es la suma del producto de la función objetivo 1 por su peso escalar en el modelo matemático y el producto de la función objetivo 2 por su peso escalar. Para este caso particular, se le dio una mayor relevancia a la utilidad que a la minimización de los costos de la madera que más absorbe dióxido de carbono. El peso de la utilidad será del 80 % y de la minimización de madera del 20 %

$$Z_3 = (p_1 * Z1) + (p_2 * Z2)$$

*Ecuación 9. Función objetivo 3. Del modelo matemático MRP Menco-Brieva*

### 3.1.10.4 Restricción 1: cumplimiento de la demanda.

La primera restricción del presente modelo matemático es la que permitirá que se cumpla con la demanda de los productos a fabricar dentro de las tres microempresas. Este concepto es simple: la cantidad de productos a fabricar debe ser menor o igual a la demanda. En un escenario donde esta restricción no se cumple, se incurriría en pérdidas debido a que si se fabrican más productos entrarían en la planificación costos de mano de obra extra, tiempos de fabricación y costos de inventario o almacenamiento. Esto se expresa de la siguiente forma:

$$X_{ijt} \leq Dem_{ijt}$$

*Ecuación 10. Restricción 1: cumplimiento de la demanda*

### 3.1.10.5 Restricción 2: Limitación de materia prima.

La siguiente ecuación denota cuando existe limitación de materia prima  $L$  en el proceso de producción  $K$  y los requerimientos por productos son mayores a la disponibilidad de la materia prima y no se puede satisfacer la demanda. Esto sucede cuando en stock no poseemos suficiente material para elaborar los productos que son fabricados en el sector de Las Américas. Esto es algo muy usual y que ocurre en muchas empresas. Al tener este problema de producción, tenemos una limitante en el modelo MRP de producción, por lo que se anexa a la restricción una variable de

“compra” que determina que no existe materia prima para satisfacer la demanda y la restricción permite que se compren las cantidades necesarias para elaborar los productos en el periodo de tiempo  $t$ . Esta ecuación se expresa de la siguiente forma:

$$X_{ijt} * Req_{iL} \leq DispMP_{Ljt} * ConMP_{Ljt}$$

*Ecuación 11. Restricción 2: limitación de materia prima*

### 3.1.10.6 Restricción 3: Tiempo efectivo.

El tiempo efectivo o tiempo real de fabricación, es el tiempo óptimo que se puede identificar en una empresa. Es el tiempo real en que se deben fabricar los productos y se desarrollan los sistemas de producción. Esta restricción solo considera tiempo efectivo de fabricación, es decir, solo se realizan trabajos que involucren mano de obra y tiempos de fabricación. No se consideran holguras, tiempos de ocio o tiempos muertos. El tiempo efectivo se determina mediante la siguiente ecuación:

$$TEF_{jt} = Tdis_{jt} - TM_{jt}$$

*Ecuación 12. Restricción 3: tiempo efectivo*

### 3.1.10.7 Restricción 4: Elección de madera.

La ecuación de elección de madera es aquella que le indica al modelo matemático cual es el tipo de madera  $P$  a utilizar para la fabricación de un producto  $I$ , en relación con la cantidad de productos a fabricar, los requerimientos de materia prima y la disponibilidad dentro del proceso de producción en el periodo de tiempo  $t$ . El modelo matemático MRP a través de esta restricción elige la madera óptima para cada producto. Lo anterior se relaciona en la siguiente restricción, a continuación:

$$\sum_i ((x_{ijt}) * (Req_{iL1})) \leq DispMP_{L1jt} * \sum_i (Y_{ijp})$$

*Ecuación 13. Restricción 4: elección de madera*

### 3.1.10.8 Restricción 5: Solo se puede utilizar un tipo de madera por producto.

La siguiente restricción es una de las más importantes porque es la que fija la condicionante principal para la elaboración de los ocho productos fabricados en el sector de Las Américas. Esta restricción especifica que solamente se puede utilizar un tipo de madera para manufactura de un producto, un closet, por ejemplo, no puede producirse con dos tipos de madera diferente.

$$\sum_P (Y_{ijp}) = 1$$

*Ecuación 14. Restricción 5: solo se puede utilizar un tipo de madera por producto*

### 3.1.9.1 Restricción 6: inventario del primer periodo.

Esta restricción como bien se indica es la ecuación que calcula el inventario en el periodo de tiempo T=1. Esta se define de la siguiente manera:

$$IINV_{ijt1} = IINV_{ijt1} + X_{ijt} - Dem_{ijt}$$

*Ecuación 15. Restricción 6: inventario del primer periodo*

### 3.1.9.2 Inventario de los periodos siguientes.

Esta restricción permite que se pueda conocer el inventario para los siguientes periodos de tiempo. Esta ecuación sería:

$$Inv_{ijt>1} = Inv_{ijt-1} + X_{ijt} - Dem_{ijt}$$

*Ecuación 16. Restricción 7: inventario de los periodos siguientes*

### 3.1.9.3 Restricción 8: Tiempo extra requerido en las empresas.

Esta restricción va a determinar el tiempo extra que requiere cada empresa en cada periodo de tiempo  $t$  para elaborar sus productos. Considerando para este caso que el tiempo extra será el 20 % del tiempo de fabricación disponible. Esta ecuación será:

$$Textra_{jt} = Tdis_{jt} * 0,2$$

*Ecuación 17. Restricción 8: tiempo extra requerido en las empresas*

### 3.1.9.4 Restricción 9: Inventario final.

Esta restricción como su nombre lo indica, nos entregará el inventario de productos final para las tres empresas en el periodo del tiempo  $t$  correspondiente. Para este caso particular, se decide que el inventario final por cada periodo no debía superar las 20 unidades debido a que el espacio de almacenamiento en las microempresas es limitado. La ecuación será la siguiente:

$$\sum_i Inv_{ijt} \leq 20$$

*Ecuación 18. Restricción 9: inventario final*

### 3.1.9.5 Restricción 10: Requerimiento de madera para las empresas.

Esta restricción calcula cuál es la cantidad de madera  $L$  que requieren las empresas en el periodo de tiempo  $t$ . Es necesario entender que este requerimiento es diferente al requerimiento de materias primas principal, ya que este solo se centrará en los tipos de madera que serán requeridos. La ecuación es:

$$Req2_{L1jtp} \leq Y_{ijp} * Cobs_p * Precio + Req_{iL1}$$

*Ecuación 19. Restricción: requerimientos de madera para las empresas*

### 3.1.9.6 Restricción 11: Bono de CO<sub>2</sub>.

Esta restricción es muy relevante ya que teniendo en cuenta los tipos de madera que hay en stock para la elaboración de los productos en Las Américas, conociendo el valor del bono por tonelada absorbida de dióxido de carbono y también conociendo la capacidad de absorción en kg por cada tipo de madera, se puede determinar el valor del bono que adquieren las empresas en los periodos de tiempo  $t$ . Este bono se calcula de la siguiente forma:

$$Bono_{jt} = \sum_i \sum_p ((Y_{ijp}) * (Cobs_p)) * Precio$$

*Ecuación 20. Restricción 11: bono que adquieren las empresas por absorción de dióxido de carbono*

### 3.1.9.7 Restricción 12: Costo del tiempo extra.

Luego de que se haya determinado el tiempo efectivo y el tiempo extra requerido para este modelo matemático, podemos determinar cuál es el costo del tiempo extra para las tres empresas en los cinco periodos de tiempo  $t$ . Se determina a través de la siguiente restricción:

$$X_{ijt} * \sum_K (Tf_{ikj}) \leq TEF_{jt} + Textra_{jt}$$

*Ecuación 21. Restricción 12: cálculo del costo del tiempo extra*

## 3.2 Fase 3: Validación del modelo matemático

Esta fase fue necesaria y esencial para la resolución del modelo matemático MRP planteado. Luego de la identificación de los parámetros, variables de decisión, el diseño de dos funciones objetivos (una de maximización de la utilidad y otra de minimización de costos de desperdicio) y del diseño de las restricciones; el paso a seguir fue la codificación de estos elementos en el software GAMS.



### 3.1.10 Complejidad computacional

Este indicador evaluó el uso de todos los recursos que se utilizaron durante el desarrollo y cálculo de la solución del modelo matemático mediante un equipo de cómputo a través del software GAMS. Todos los ítems a tener en cuenta son los siguientes: el tiempo que tardó el modelo en ejecución, cantidad de recursos utilizados (obtenido por el software) y que fue necesario para hallar solución al problema, se incluirá también el número de interacciones necesarias para la solución.

La Tabla 43 resume de manera clara los elementos que son evaluados. De esta forma se entregan los datos obtenidos por el programa GAMS. Estos son:

**Tabla 43**

*Complejidad computacional del modelo matemático MRP*

Modelo matemático	Estado	Interacciones totales	Tiempo de procesamiento	Solución
MENCO-LA	Óptimo	293	0.47 segundos	Factible, satisface las tolerancias

### 3.2 Fase 4: Evaluación con datos reales

La Fase 4 es la fase de análisis. Con los resultados obtenidos a través GAMS, se realizó el análisis que evidencia la resolución del plan de requerimiento de materiales planteado para las microempresas de Las Américas. En esta fase se obtiene la cantidad de productos a fabricar en los periodos  $t$ , el inventario, el uso del tipo de madera  $p$ , los requerimientos de madera necesarios, el tiempo efectivo, tiempo extra, cantidad a comprar de materia prima y el bono que adquieren las empresas por absorción de CO<sub>2</sub>

#### 3.2.1 Análisis de resultados

Los datos que se evidenciados de las Tablas 44 a la 51, son resultado del modelo matemático MRP para las tres empresas.

Para entender estos resultados se debe tener en cuenta los puntos que están descritos en las “Variables de decisión”.

### 3.2.1.1 Cantidad de productos a fabricar.

La variable  $X_{ijt}$  es la encargada de calcular según los requerimientos de materia prima y la demanda del sector, la cantidad de producto a fabricar en la empresa  $i$  durante el periodo de tiempo  $t$ . La cantidad real de productos a fabricar debe ser menor o igual a la demanda, según lo obtenido en el pronóstico realizado para que no se incurra en incumplimiento en los tiempos de entrega. Utilizando los conceptos de demanda y producción explicados en el modelo matemático de (Mula & García-Sabater, 2008) se obtienen los resultados descritos en la Tabla 50.

**Tabla 44**

*Cantidad de productos a fabricar en cada una de las empresas en todos los periodos*

Producto/Empresa	T1	T2	T3	T4	T5
I1/J1	3	4	5	5	5
I2/J1	3	4	2	3	3
I2/J3	2	2	1	1	2
I3/J1	2	1	1	3	3
I3/J2	1	1	1	1	1
I3/J3	1	1	1	1	1
I4/J2	18	18	19	17	15
I4/J3	6	5	5	2	4
I5/J1	10	10	10	11	12
I6/J2	28	29	33	32	33
I7/J1	10	5	7	6	6
I8/J2	3	3	3	3	3

En donde I1 son closets, I2 juegos de cocina, I3 juegos de comedor, I4 camas, I5 puertas, I6 escaparates, I7 juegos de cuarto y I8 multimuebles.

La cantidad de productos a fabricar por empresa varía muy poco en relación a todos los periodos debido a que la demanda así lo exige, es decir, en Las Américas no existe inventario de productos, por lo que se trabaja bajo pedido y en los cinco periodos de tiempos estimados para este trabajo de grado, la demanda se cumplió para cada uno de estos periodos de tiempo  $T$ . Para esta investigación desarrollada en el sector, se establece que se cumplió con el 100 % de la demanda contemplada en los pronósticos.

Un análisis competitivo del sector maderero en la región Caribe de Colombia desarrollado (Salas-Navarro & Cotabarría-Castañeda, 2014) establece un proceso productivo y manufacturero muy similar al sector de Las Américas, estableciendo los puntos principales de producción en las ciudades de Santa Marta, Barranquilla y Cartagena, donde se establece un gran potencial de crecimiento en la región en el sector de muebles y se hace énfasis en las perspectivas ingenieriles de fabricación que permiten el desarrollo ideal de sus productos, lo que permite cumplir con la demanda al 100 % al igual que en el sector de Las Américas en la ciudad de Sincelejo. Sin embargo, se detallan observaciones respecto a la innovación de productos con materiales diferentes o complementarios a la madera para disminuir el impacto ambiental por el uso de madera, además de que se propende certificar procesos productivos y administrativos que garanticen la calidad de los productos ofrecidos.

### **3.2.1.2 Inventarios de productos en las empresas.**

Los resultados obtenidos en GAMS según los datos suministrados son (0). Esto se debe a que según lo explicado con anterioridad no se maneja inventario de productos, todo lo que exige la demanda es fabricado y entregado inmediatamente una vez realizada la manufactura del producto final.

Este modelo matemático consideró el concepto de inventario propuesto por (Garza-Ríos & González-Sánchez, 2014) el cual considera la programación por metas o planificación de la producción, por la gran operatividad con la que cuenta este sistema. Este enfoque adapta los conceptos más relevantes de producción para la satisfacción de la demanda de los clientes minimizando de esa forma los niveles de inventario. Esto permite que no se mantengan productos en inventario en el sector de Las Américas y no se incurran en costos de inventario por almacenamiento o producción.

### **3.2.1.3 Uso de madera.**

El uso de madera ( $P$ ) en las microempresas de Las Américas está determinado de la siguiente manera: solo se puede utilizar un tipo de madera por producto. El modelo matemático optimiza este proceso y determina cual es el tipo de madera a utilizar en la manufactura de cada

uno de los ocho (8) productos que se fabrican. Los resultados obtenidos son se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 45**

*Solo se puede usar un tipo de madera por producto – uso de madera*

Producto/Empresa	P1 – Roble	P2 – Teca	P3 - Campano	P4 - Cedro
I1/J1			X	
I1/J2	X			
I1/J3	X		X	
I2/J1				X
I2/J2			X	
I2/J3			X	
I3/J1		X		
I3/J2				X
I3/J3				X
I4/J1			X	
I4/J2	X			
I4/J3			X	
I5/J1	X			
I5/J2			X	
I5/J3			X	
I6/J1		X		
I6/J2			X	
I6/J3			X	
I7/J1			X	
I7/J2	X			
I7/J3	X			
I8/J1			X	
I8/J2				X
I8/J3			X	

Se evidencia que el software GAMS cumple con las especificaciones para el uso de madera (P) en las microempresas de Las Américas.

Debido a lo expuesto por (Taboada et al., 2013) se pudo conocer que alrededor del 42 % del mercado de madera en Colombia se realiza de forma ilegal, incurriendo en que muchas especies de árboles se encuentren en peligro de extinción debido a la tala indiscriminada y las pocas regulaciones. Dos tipos de madera de los cuatro utilizados en este proyecto de investigación en el

departamento de Sucre (teca y cedro) se encuentran en riesgo crítico de desaparecer (ICA, 2011). Por lo que el uso de madera de este modelo matemático para cada producto consideró ese aspecto, brindando prioridad a los tipos de madera que no se encuentran en riesgo de extinción, y considerando también la calidad, flexibilidad, costos y cantidad de absorción de dióxido de carbono.

### 3.2.1.4 Requerimientos de madera para las empresas.

Según la información suministrada al modelo matemático, GAMS determinó la cantidad de madera ( $P$ ) en pies cúbicos a utilizar en la empresa  $J$  en el periodo de tiempo  $t$ . La cantidad de madera a utilizar es importante debido a que según se observa en el Análisis Basado en Costos realizado con anterioridad, se determinó que la madera es el principal y más importante insumo para la fabricación de los productos  $I$ .

**Tabla 46**

*Requerimientos de madera para las empresas*

Empresa/Periodo	P1 – Roble	P2 - Teca	P3 - Campano	P4 – Cedro
<i>J1/T1</i>	30 pies	30 pies	50 pies	30 pies
<i>J1/T2</i>	30 pies	30 pies	50 pies	30 pies
<i>J1/T3</i>	30 pies	30 pies	50 pies	30 pies
<i>J1/T4</i>	30 pies	30 pies	50 pies	30 pies
<i>J1/T5</i>	30 pies	30 pies	50 pies	30 pies
<i>J2/T1</i>	30 pies	30 pies	30 pies	50 pies
<i>J2/T2</i>	30 pies	30 pies	30 pies	50 pies
<i>J2/T3</i>	30 pies	30 pies	30 pies	50 pies
<i>J2/T4</i>	30 pies	30 pies	30 pies	50 pies
<i>J2/T5</i>	30 pies	30 pies	30 pies	50 pies
<i>J3/T1</i>	30 pies	30 pies	100 pies	30 pies
<i>J3/T2</i>	30 pies	30 pies	100 pies	30 pies
<i>J3/T3</i>	30 pies	30 pies	100 pies	30 pies
<i>J3/T4</i>	30 pies	30 pies	100 pies	30 pies
<i>J3/T5</i>	30 pies	30 pies	100 pies	30 pies

En la Tabla 46 se puede evidenciar de manera clara la cantidad de madera requerida por las empresas durante los periodos de tiempo  $t$  establecidos para el sector maderero Las Américas.

El sector de Las Américas de la ciudad de Sincelejo al igual que el sector maderero de la región caribe (en la mayoría de empresas) en ciudades como Barranquilla, Cartagena y Santa Marta no cuenta con planes de mercado, planeación estratégica o planificación de la producción que permitan identificar los la demanda del mercado ni los requerimientos reales para la elaboración de productos. (Salas-Navarro & Cotabarría-Castañeda, 2014) explican este problema y es aplicable también para Las Américas.

A pesar de ello, se desarrolló el Plan de Requerimiento de Materiales para este modelo matemático y se pudo determinar la cantidad de materia prima necesaria para cada producto en cada periodo de tiempo  $t$ .

En Sincelejo existe un MRP que permita determinar las cantidades necesarias para la elaboración de productos en un sector importante de producción como Las Américas, lo cual deja en evidencia un problema productivo que de no ser solucionado puede generar costos elevados en la producción a largo plazo. (Salas-Navarro & Cotabarría-Castañeda, 2014) dejan en evidencia que en Barranquilla alrededor del 53 % de las empresas del sector maderero cuenta con un Plan de Requerimiento de Materiales para suplir con la demanda de productos. Solo el 42 % de empresas en la ciudad de Cartagena consideran un plan de mercadeo o un MRP para los procesos productivos y en la ciudad de Santa Marta, alrededor del 22 % de empresas consideran necesario y poseen un MRP elaborado. Esto representa un problema evidente en la caracterización tecnológica de las empresas del sector maderero en la región Caribe, debido a que en la mayoría de los casos se trabaja bajo incertidumbre y sin conocimiento real de las fluctuaciones del mercado.

### **3.2.1.5 Tiempo efectivo en las empresas.**

Según la cantidad de tiempo disponible (el cual se pudo determinar debido al estudio de tiempos realizado) y de antemano conociendo el tiempo ocioso o tiempo muerto en las tres microempresas de Las Américas, GAMS arroja la siguiente información, la cual es el tiempo efectivo en minutos (o tiempo real de fabricación) en las tres empresas:

**Tabla 47**

*Tiempo efectivo en las empresas durante los cinco periodos de tiempo*

<b>Empresas</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>
<i>J1</i>	19.109 min	18.929 min	19.217 min	19.057 min	19.169 min
<i>J2</i>	71.902 min	72.340 min	71.665 min	72.591 min	70.923 min
<i>J3</i>	57.498 min	57.500 min	57.141 min	57.521 min	57.589 min

Una investigación relevante que aplica los conceptos de eficiencia o tiempo efectivo y tiempo extra en las empresas manufactureras, fue la realizada por (Salazar, 2019) en donde luego de realizar un análisis y realizar un estudio de tiempos para un horizonte de planificación de 24 días, considerando jornadas diarias en donde la producción real es 990 unidades de un producto con un tiempo estándar de 1,25 minutos. La producción esperada es de 1152 productos. Lo cual, comparando la producción real vs la producción esperada, se obtiene una eficiencia del 85 % en esta línea de producción manufacturera.

Considerando los tiempos de fabricación del sector de Las Américas y estableciendo que el tiempo efectivo, es decir, el tiempo real de fabricación en comparación al tiempo disponible varía de un 95 % a 99 % se puede determinar que durante la producción de muebles del sector solo se pierde un 5 % del tiempo disponible. Al final del horizonte de planificación de 30 días se entregan todos los productos esperados según la demanda, por lo que la eficiencia de la línea en este sector es del 100 %

### **3.2.1.6 Tiempo extra en las empresas.**

Teniendo en cuenta la cantidad de tiempo disponible para cada una de las microempresas para la fabricación de todos los productos, se podrá calcular a través de GAMS el tiempo extra (en minutos) que es necesario requerido por las empresas durante los periodos de tiempo. El resultado es el descrito en la Tabla 75.

Así mismo, (Salazar, 2019) calcula el tiempo extra necesario por las empresas en los periodos  $t$  en la elaboración de sus productos. Determinando que este tiempo en un horizonte de planeación de 24 meses es de 2400 minutos. Los resultados obtenidos en las Américas para cada empresa en un horizonte de 30 días se relacionan en la Tabla 48.

**Tabla 48**

*Tiempo extra requerido en cada una de las empresas para la elaboración de los productos*

<b>Empresas</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>
J1	3840 min	3800 min	3860 min	3824 min	3848 min
J2	14400 min	14485 min	14353 min	14534 min	14200 min
J3	11524 min	11520 min	11448 min	11522 min	11535 min

### **3.2.1.7 Cantidad por comprar de materia prima.**

El modelo matemático MRP codificado en GAMS, calculó según la disponibilidad de materia prima disponible en stock y los requerimientos de materia prima, la cantidad a comprar de insumos desde L1 a L8.

La cantidad por comprar de materia prima es una variable que se calcula cuando la disponibilidad no satisface a los requerimientos y se debe comprar para cumplir con la producción y satisfacer la demanda. Durante los cinco periodos será la misma para todos debido a la estabilidad de la demanda, sin embargo, la cantidad a comprar es mínima teniendo en cuenta que en la mayoría de los casos la disponibilidad satisface a los requerimientos.

Siendo L1 madera, L2 tornillería o clavos, L3 lijas, L4 pintura selladora, L5 pintura cintilla, L6 thinner, L7 accesorios, L8 colbón o pegamento. A continuación, en la tabla 49 se detallan las cantidades a comprar de materia prima durante los periodos de tiempo  $t$ .

Estos resultados son obtenidos según los conceptos explicados por (Mula & García-Sabater, 2007) y (Serna-Urán, 2009). En donde se plantea la variable de la cantidad requerida para elaborar un producto  $i$ . El concepto de cantidad de materia prima a comprar permitió que se pudiera determinar la cantidad necesaria a comprar de materia prima para la elaboración de los productos en los periodos  $t$ .



**Tabla 49***Cantidad de materia prima a comprar en las empresas*

Insumos/Empresas	T1	T2	T3	T4	T5
L1/J1	0.500 pies	0.250 pies	0.350pies	0.300 pies	0.300 pies
L1/J2	0.483 pies	0.500 pies	0.569 pies	0.552 pies	0.569 pies
L1/J3	0.333 pies	0.278 pies	0.278 pies	0.111 pies	0.222 pies
L2/J1	3.333 un	1.667 un	2.333 un	2.000 un	2.000 un
L2/J2	1.400 un	1.450 un	1.650 un	1.600 un	1.650 un
L2/J3	2.000 un	1.667 un	1.667 un	0.667 un	1.333 un
L3/J1	1.6 pliegos	1.6 pliegos	1.6 pliegos	1.8 pliegos	2.0 pliegos
L3/J2	7.0 pliegos	7.2 pliegos	8.2 pliegos	8.0 pliegos	8.2 pliegos
L3/J3	1.5 pliegos	1.2 pliegos	1.2 pliegos	0.5 pliegos	1.0 pliegos
L4/J1	2 galones	2 galones	2 galones	2.2 galones	2.4 galones
L4/J2	4.6 galones	4.8 galones	5.5 galones	5.3 galones	5.2 galones
L4/J3	1.2 galones	1 galones	1 galones	0.4 galones	0.8 galones
L5/J1	0.6 galones	0.8 galones	1 galones	1 galones	1 galones
L5/J2	0.16 galones	0.16 galones	0.16 galones	0.16 galones	0.16 galones
L5/J3	0.16 galones	0.16 galones	0.16 galones	0.16 galones	0.16 galones
L6/J1	0.50 galones	0.66 galones	0.83 galones	0.83 galones	0.83 galones
L6/J2	4.5 galones	4.5 galones	4.7 galones	4.2 galones	3.7 galones
L6/J3	3 galones	2.5 galones	2.5 galones	1 galones	2 galones
L7/J1	0.7 unidades	1 unidades	1.2 unidades	1.2 unidades	1.2 unidades
L7/J2	8.4 unidades	8.7 unidades	9.9 unidades	9.6 unidades	9.9 unidades
L7/J3	1.2 unidades	1.2 unidades	0.6 unidades	0.6 unidades	1.2 unidades
L8/J1	3.3 galones	3.3 galones	3.3 galones	3.6 galones	4 galones
L8/J2	4.6 galones	4.8 galones	5.5 galones	5.3 galones	5.5 galones
L8/J3	3 galones	2.5 galones	2.5 galones	1 galones	2 galones

### 3.2.1.8 Bono que adquieren las empresas por absorción de dióxido de carbono.

Se obtiene cálculo del bono que adquieren las microempresas de Las Américas por absorción de  $CO_2$  en los periodos de tiempo  $t$ .

**Tabla 50**

*Bono que adquieren las microempresas de las Américas por absorción de dióxido de carbono*

<b>Empresas</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>
Artes y Diseños	\$ 46.980 COP	\$ 46.980 COP	\$ 46.980 COP	\$ 46.980 COP	\$ 46.980 COP
Muebles La Bucaramanga	\$ 25.058 COP	\$ 25.058 COP	\$ 25.058 COP	\$ 25.058 COP	\$ 25.058 COP
Muebles Ian	\$ 46.980 COP	\$ 46.980 COP	\$ 46.980 COP	\$ 46.980 COP	\$ 46.980 COP

Siendo J1 – Artes y Diseños; J2 – Muebles La Bucaramanga; J3 – Muebles Ian.

### **3.2.1.9 Maximización de la utilidad.**

La maximización de la utilidad son las ganancias obtenidas en las tres microempresas del sector Las Américas al final del quinto periodo pronosticado, luego de tener en cuenta las variables de la Función Objetivo 1. El resultado obtenido en GAMS es el siguiente:

<b>Utilidad bruta – Z1</b>	<b>\$ 308.485.588 COP</b>
----------------------------	---------------------------

La utilidad bruta o ganancias (maximización de la utilidad) es de trescientos ocho millones cuatrocientos ochenta y cinco mil quinientos ochenta y ocho pesos.

El resultado obtenido en la maximización de la utilidad de las microempresas del sector, posee bases según lo establecido por (Cano, 2011). Esta investigación plantea un MRP en una empresa de bienes y servicios del sector manufacturero. La forma de cálculo de la utilidad es similar a la de este modelo ya que la función objetivo está basada en los modelos matemáticos de (Mula & García-Sabater, 2008) y se consideran las mismas variables de decisión.

La utilidad de este sector manufacturero (eléctrico) luego de aplicar modelos matemáticos de requerimientos de materiales es cercana a los \$70.000.000.000 (setenta mil millones de pesos). En comparación al modelo matemático propuesto en esta investigación, hay diferencias abismales debido a las naturalezas de los sectores y considerando que el sector de Las Américas solo se

centró en tres microempresas, por lo que las dos investigaciones pueden ser contrastadas solo desde el planteamiento del modelo MRP.

### 3.2.1.10 Minimización de los costos de la madera que más absorbe $CO_2$ .

GAMS pudo calcular el bono que genera el tipo de madera que más absorbe dióxido de carbono. El modelo matemático optimizó este proceso y priorizó la utilización de la madera en función del valor del bono en las microempresas Artes y Diseños y Muebles Ian. Se sabe de antemano que el tipo de madera  $P$  utilizadas en estas dos microempresas es el que más absorbe  $CO_2$  porque el bono que obtuvieron fue más alto con relación a la otra microempresa. El tipo de madera que más absorbe  $CO_2$  es el campano y se observar que es el que más se utiliza para la fabricación de los productos en Las Américas.

El resultado de la minimización de estos costos es la siguiente.

<b>Minimización de los costos de desperdicio – Z2</b>	<b>\$ 4.760.754 COP</b>
---	-------------------------

### 3.2.1.11 Función objetivo total.

La función objetivo total es la solución óptima posible y que relaciona a las dos funciones objetivos; la que maximiza la utilidad y la que minimiza los costos de producción. Esta función objetivo total o función en conflicto le dio un peso escalar a Z1 y Z2, dándole más importancia a la utilidad. La utilidad tendrá una importancia del 80 % para este modelo matemático y la minimización de los costos un 20 %. El resultado de GAMS se detalla a continuación:

<b>Función en conflicto – Z3</b>	<b>\$ 308.485.588 COP</b>
<b>Beneficio máximo</b>	<b>\$ 267.173.803 COP</b>

La función objetivo total o Z3 nos entrega la solución factible del modelo matemático y nos entrega también el resultado del beneficio máximo que se obtendría si se considerase el desarrollo del presente trabajo de grado en un ambiente determinista; es decir, que el proceso productivo, la utilidad y las variables que se contemplaron en las tres microempresas para este

modelo de planificación MRP se desarrollaron teniendo en cuenta solo las condiciones iniciales sin considerar los costos de desperdicio, de mano de obra, de energía o de otras variables que pudiesen limitar la utilidad.

Sin embargo, debido a que se tuvo en cuenta lo anterior se puede evidenciar que la solución real para el modelo matemático es de \$ 267.173.803 COP.

A pesar de esto, es válida y necesaria la comparación para tener en cuenta las dos posibilidades reales de ejecución, desarrollo y resultados.

#### 4. Conclusiones

La aplicación que posee la modelación matemática en el campo productivo y manufacturero de la madera, teniendo en cuenta conceptos relevantes como el MRP (Plan de Requerimiento de Materiales) en la ciudad de Sincelejo. La solución que fue obtenida en este modelo matemático permite que se pueda valorar el resultado en relación con el beneficio máximo que se obtendría si se tuviese en cuenta un campo netamente determinista. Dicho en otras palabras, se pretende ponderar la solución más óptima considerando un campo productivo en donde no se consideren variables de tiempo, producción, holguras y capacidad tecnológica en comparación a los resultados reales.

Es muy importante que se pueda entender que GAMS posee la confianza en que la aplicación e interpretación de la solución factible encontrada puede estar conforme con los requerimientos de los decisores. Esto se puede afirmar gracias a que el algoritmo y los *solvers* que posee el software van ligados directamente a los conceptos más relevantes de la programación lineal, la cual es una base sólida del planteamiento de modelos matemáticos de requerimientos de materiales y las soluciones obtenidas son acordes a lo que el decisor plantea o espera del modelo. Contando con la aplicación de esta herramienta en el sector “Las Américas”.

Todo el proceso del modelo matemático MRP aquí presentado, es un ejemplo claro de la variedad de aplicaciones que este puede tener en la mayoría de los campos productivos, no solo el de la madera sino también de otros tipos. Sincelejo cuenta con un amplio campo manufacturero que puede convertirse poco a poco en un gran epicentro productivo y el poder contar con planes de producción que faciliten los requerimientos óptimos, haría mucho más sencillo el trabajo en un amplio espectro. Se pretendió entonces con esta investigación colocar un grano de arena para que la eficiencia de las empresas a futuro mejore, no solamente en la ciudad sino en la región.

Una de las más grandes fortalezas que tuvo todo este proceso; incluyendo la documentación y la aplicación del modelo matemático en el aspecto productivo es que se puede retroalimentar e involucrar información y evidencia que pueda corresponder a datos históricos, opiniones, conceptos subjetivos o intuitivos de personas que sean expertos en el campo de la producción que hayan elaborado procesos y modelos similares. Lo anterior se respalda con la información obtenida

al momento de realizar el Plan Maestro de Producción (MPS) de esta investigación. Para diseñar el MPS fue necesario contrastar evidencias y opiniones de autores como (Cano, 2011) y (Serna-Urán, 2009) que aportaron información relevante sobre el MRP. Esto fue necesario debido a que en el sector “Las Américas” la información era limitada en relación a datos históricos que permitieran elaborar los pronósticos para cada periodo, por lo que la opinión subjetiva de estos autores y apoyados en la información del departamento de ventas de las microempresas del sector, se pudo idear un MPS a la altura de la investigación. Esto siempre es importante porque permite que se desarrolle un tratamiento matemático de la imprecisión que puedan poseer los parámetros de las empresas, sumado a que, se pueden determinar las falencias y holguras correspondientes en cada campo.

Se puede afirmar que si bien la aplicación de todo lo descrito anteriormente no es la respuesta principal a todos los problemas e inconvenientes que puedan surgir en los sistemas de producción y manufactura, si se puede constituir como una herramienta sencilla y que se puede utilizar siempre y cuando se entiendan los conceptos principales de producción. A pesar de que la metodología que fue utilizada en este trabajo de grado es relevante para crear un plan de requerimiento de materiales óptimo, mejorar los tiempos y optimizar la utilidad de las empresas en general; no se pretende reemplazar las teorías ya existentes en el campo de la producción o el modelamiento matemático en empresas del sector manufacturero en relación a la toma de decisiones, sino que se pretende complementar a los demás procesos y así permitir encontrar soluciones más precisas a futuro en campos similares.

## 5. Recomendaciones

Para investigaciones futuras que se piensen desarrollar en el campo de la producción y que involucren el uso de modelos matemáticos para la planificación, requerimientos de materiales y optimización de tiempos, se sugiera abarcar estos temas que por motivos de extensión no se pudieron tener en cuenta en esta tesis:

1. Hacer uso de herramientas de simulación que permitan determinar el análisis, eficiencia o efectividad de los diferentes modelos matemáticos MRP. Sumado a esto, estas herramientas o softwares permiten la comparación de estos modelos con los resultados que se obtendrían en un espacio productivo real. Una herramienta muy importante para esto y que se debería considerar para este proceso es FlexSim.

2. A pesar de que este trabajo de grado se centró en aspectos principales como: la planificación de la producción, plan de requerimiento de materiales, mejora de tiempos, efectividad, maximización de los recursos disponibles y la utilidad general de las empresas a través de programación lineal, no es necesario únicamente que en investigaciones futuras solo se abarquen estos temas y herramientas o algunos de ellos, sino, que hay conceptos como: la programación de la producción, lógica difusa, el principio de incertidumbre, el ERP y MPS que son igualmente relevantes y que pueden tenerse muy en cuenta para el modelamiento matemático de los requerimientos de una empresa o un sector.

3. Este modelo matemático de planificación MRP parte de un concepto determinista de programación lineal, muy a pesar de ello, en muchas situaciones los coeficientes, costos, parámetros, variables, utilidad, personal, mano de obra y la situación en general de las empresas no se pueden expresar de manera lineal. Por eso, se abre ante nosotros un campo amplio de consulta e investigación en el que se debería partir, en principio, de modelos matemáticos con programación no lineal para la solución y optimización de los modelos de producción en contextos que manejen demanda inestable o incertidumbre.

4. Muchos de los sistemas de planeación de la producción suelen encontrar limitaciones en sus recursos (mano de obra, costos y tecnológicos, etc.) de la cadena de

suministros. Por lo que se sugiere que, en investigaciones posteriores, la aplicación de lógica difusa en la gestión de la cadena de suministros. Esto permite la apertura de muchas ventanas investigativas en conceptos que se relacionen a la demanda de los clientes, el suministro de materias primas, el abastecimiento y el control de inventarios. Incluir un concepto de trazabilidad en los productos también podría ser retroactivo e importante.



### Referencias bibliográficas

- Aguilar, P. R. (2009). *Administración de inventarios en almacenes* .
- Alfaro, J. G. (2009). *Economía de la empresa* .
- APICS. (2008). *APICS Dictionary 12th edition*.
- Arango, M. D. (2012). *Modelos de sistemas MRP cerrados integrando incertidumbre*. Medellín. extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/740/Eslava%20Flechas%2C%20Edgar%20Fernando%20-%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arenas, S. Z., & Méndez, S. (2004). *Diccionario de economía* . Ciudad de México.
- Asana. (2022). *Lista de materiales BOM: Una plantilla para optimizar la producción*. Obtenido de <https://asana.com/es/resources/bill-of-materials>
- Banco de la República, D. (2012).
- Betancourt, D. F. (2020). *Cómo hacer la Planificación de los requerimientos de material (MRP)*.
- Borjas, B., & Manuel, C. (2005). *Ley de Pareto aplicada a la fiabilidad*. La Habana, Cuba.
- Cáceres, D., Reyes, J., García, M., & Sánchez, C. (2015). *Modelo de programación lineal para la planeación de requerimiento de materiales* [Trabajo de grado. Universidad Técnica de Ambato]. Quito. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/8109>
- Caidedo-Rolon, A., Criado-Alvarado, A., & Morales-Ramón, K. (2019). *Modelo matemático para la planeación de la producción en una industria metalmecánica*. [Trabajo de grado. Universidad Cúcuta]. Cúcuta. <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/16031>
- Cámara de Comercio Sincelejo, C. C. (2019). *Listado de empresas pertenecientes al sector maderero en la ciudad de Sincelejo*. Sincelejo.
- Cámara de Comercio, S., & Ministerio de Industria y Turismo, C. (2019). *Empresas del Sector Maderero en Sincelejo - Plan Regional de Competitividad de Sucre*. Sincelejo.
- Cano, J. A. (2011). *Modelo de un sistema MRP cerrado integrando incertidumbre en los tiempos de entrega, disponibilidad de la capacidad de fabricación e inventarios*. [Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia] Medellín. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8524>

- Carballosa, A. N., Tarrés, L. G., & Sánchez, J. B. (2014). *Dirección de operaciones: Decisiones tácticas y estratégicas*. Barcelona: UOC.
- Casasus, T. M., Sanchis, M., & V. Sala, R. (1997). *Optimización económica con GAMS*. . V Jornadas de Asepuma, Malaga.
- Chase, R. J. (2009). *Administración de la producción y operaciones, Ed. 12, Mac Graw Hill*. .
- Chase, R., & Jacobs, F. R. (2014). *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministro* (13 ed.). México DF.
- Chávez, J. (2009). *Una verdad incómoda: el costo de mantener inventarios*.
- Chiavetano, I. (2011). *Administración de procesos administrativos*. Ciudad de México.
- Chud, V. L., & Burbano, F. J. (2018). *Definición del tamaño de lote de producción considerando la trazabilidad*.
- Correa, G. H., & Romero Hidalgo, Ó. M. (2016). *Cuantificación de la biomasa aérea total, carbono almacenado y CO2 fijado en árboles de teca*. Machala, Ecuador.  
<https://www.eumed.net/rev/delos/26/teca.html>
- Cortés-Cagüño, J. H., & Matías-Barrientos, É. V. (2019). *Estimación de la capacidad potencial de fijación de CO2 y producción de O2, como servicio ecosistémico suministrado por el arbolado del parque Los Fundadores y la alameda de la avenida 40 en el municipio de Villavicencio (Meta)*. [Trabajo de grado. Universidad Santo Tomás] Villavicencio.  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18427/2019jhoncortes.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- CSIL, C. F. (2023). *Top 200 Furniture Manufacturers Worldwide*. Milán.
- Cubero Moya, J. A., & Rojas Piedra, S. R. (1999). *Fijación de carbono en plantaciones de melina (Gmelina arborea Roxb), teca (Tectona grandis) y pochote (Bombacopsis quinata Jacq.) en los cantones de Hojancha y Nicoya*. Guanacaste, Costa Rica.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2010-2016). *Anexos de la Encuesta Anual Manufacturera: desgregación variables*.
- DANE. (2012). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*.
- Díaz Cepeda, B. D., & Velázquez Camacho, L. F. (2015). *Análisis de captura de carbono en seis especies forestales nativas (3 esciofitas-3 heliofitas) plantadas con fines de restauración en el Parque Ecológico La Poma (PEP)*. [Trabajo de grado. Universidad distrital Francisco José de Caldas] Bogotá. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/2566>

- El Economista, A. (2022). *Madera de Colombia: Directorio de Empresas*. Obtenido de <https://empresite.eleconomistaamerica.co/Actividad/MADERA-COLOMBIA/>
- ENEL. (2018). *Bono de carbono: cómo ahorrar en el impuesto*. Bogotá.
- Eslava Flechas, E. (2017). *Modelo matemático de optimización de compras para un sistema con restricciones de contenerización* [Trabajo de grado. Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito] . Bogotá . chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/740/Eslava%20Flechas%2C%20Edgar%20Fernando%20-%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Espinoza, O. (2011). *La administración eficiente de los inventarios* . Madrid.
- FOLU. (2014). *Forestry and Other Land Use*.
- Gamboa, J., & Tabares, J. R. (2012). *Diseño de un modelo matemático aplicado a la planeación de la producción y distribución de la Supply Chain de una empresa de consumo masivo*. [Trabajo de grado. Universidad ICESI] Cali. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\_digital/bitstream/10906/68152/1/dise%C3%B1o\_modelo\_matematico.pdf
- Garza Ríos, R., & González Sánchez, C. (2014). *Modelo matemático para la planificación de la producción en la cadena de suministro* . [Trabajo de grado. Universidad de La Habana] La Habana. <https://rii.cujae.edu.cu/index.php/revistaind/article/view/158>
- González, C., & Gálvez, H. (2008). *Modelo de emprendimiento en red - MER. Aplicación de las teorías de emprendimiento en las redes empresariales*. Cali.
- Google Earth. (16 de Junio de 2023). Obtenido de <https://earth.google.com/web/search/Las+Am%c3%a9ricas,+Sincelejo,+Sucre/@9.29906269,-75.40189592,197.90110731a,238.12582143d,35y,-69.61088771h,59.99710544t,0r/data=CooBGmASWgolMHg4ZTU5MTQ0NGY4NjU1MmFkOjB4NzAxNGYxYmMwNmM5YWFlNxmG0z38RpkIQCELcItDx9ISwCofTGF>
- Gordillo, V. (2009). *Propuesta de un sistema de gestión de inventarios*. Guatemala.
- Graves, S. (1999). *Manufacturing Planning and Control*. Boston. Recuperado el 2023
- Grigolini, M. (2020). *CSIL Industry and Country Studies*.
- Heizer, J. (2007). *Dirección de la producción y de operaciones. Decisiones tácticas*. Madrid.

- Heizer, J., & Render, B. (2009). *Planeación de requerimientos de materiales (MRP) y ERP*. Ciudad de México.
- INA, I. N. (2017 ). *Diagramas de proceso y recorrido* .
- INA, I. N. (2017). *Cálculo del tiempo estándar*.
- Jamalnia, A., & Soukhakian, M. (2009). *A hybrid fuzzy goal programming approach with different goal priorities to aggregate production planning*. Computers & Industrial Engineering.
- Jiménez, L. F. (2016). *Método de Wetinghouse en la empresa American Security localizada en el municipio de Cúcuta para reducir el tiempo de fabricación de las puertas de seguridad* . Pamplona.
- Leal, J. L. (2008). *Medición del trabajo aplicado a la empresa D'Vargas Repujado en Aluminio S.A de C.V.* [Trabajo de grado. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo] . Mineral de la Reforma. <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-de-zacatepec/geometria-analitica/medicion-del-trabajo-aplicado/11914121>
- Llamazares, F., & Berumen, S. (2011). *Los métodos de decisión multicriterio y aplicación al análisis del desarrollo local* . Madrid.
- Marín, C. (2017). *La construcción un sector estratégico para el sector maderero*.
- McItosh, K. A. (2018). *Desventajas de un inventario excesivo*.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, M. d. (2019). *Definición dell tamaño empresarial: micro, pequeña, mediana o grande*.
- Mula, J. P. (2006). *MRP with flexible constraints: a fuzzy mathematical programming approach*. Fuzzy Sets and Systems 157 .
- Mula, J. P., & García-Sabater, J. (2007). *Material Requirement Planning with fuzzy constraints and fuzzy coefficients*. Fuzzy Sets and Systems 158.
- Mula, J. P., & García-Sabater, J. (2008). *Capacity and material requirement planning modelling by comparing deterministic and fuzzy models*. International Journal of Production Research.
- Nahmias, S. (2007). *Análisis de la producción y las operaciones*. 5ta edición, Mc Graw Hill.
- NOTIFIX. (2020). *La industria del mueble en América Latina: Perfil de algunos países seleccionados*.

- NOTIFIX. (2021). *Se estima que el consumo mundial de muebles caiga un 10 % en 2020*.
- Pérez Olivera , H. A. (2011). *Caracterización de los parques tecnológicos en Colombia y su proyección en el sector madera y mueble de la ciudad de Barranquilla*. Barranquilla : Producom.
- Perez, H., & Villalobos, B. (2010). *Análisis Competitivo Del Sector Madera y Muebles De La Ciudad De Barranquilla*. Barranquilla: Corporación Universitaria de la Costa (CUC).
- Ramos, A., Sánchez, P., Ferrer, J. M., Barquín, J., & Linares, P. (2010). *Modelos matemáticos de optimización*. Madrid .
- Render, B., & Heizer, J. (2007). *Administración de la producción* . México DF.
- Rodríguez, N., Melo, O., & Rojas, F. (2014). *Crecimiento, biomasa acumulada y carbono capturado de 25 especies de árboles y arbustos nativos de la cordillera oriental colombiana*. (F. Natura, Ed.) Colombia.
- Salas Navarro, K., & Cotabarría Castañeda, L. (2014). *Análisis competitivo del sector madera y muebles*. Barranquilla.
- Salazar, B. (2019). *¿Qué es el estudio de tiempos?* Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/estudio-de-tiempos/que-es-el-estudio-de-tiempos/>
- Sánchez, J. (2017). *Tablas del sistema Wetinghouse para la calificación de la actuación del trabajador*. Huacho.
- Sánchez, L. (2006). *Logística de inventarios*. Bogotá.
- Sánchez, Y. S., & Arencibia, F. R. (2020). *Las Pymes y la gestión de operaciones*. Pamplona.
- Sanchis, R. (Abril de 2020). *Diagramación de Procesos*.
- Serna Urán, C. A. (2009). *Desarrollo de modelos de programación matemática fuzzy para la planificación de la producción en contextos de incertidumbre*. Medellín.
- Serna, M. D. (2011). *Modelo de un sistema MRP cerrado integrando incertidumbre en los tiempos de entrega, disponibilidad de la capacidad de fabricación e inventarios*. [Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia] Medellín.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70017>
- Shapiro, J. F. (1989). *Modelo matemático de Jeremy F. Shapiro*.
- Silva, Á. (2006). *Logística de almacenamiento* . Caracas .

- Sloan, T., & Shanthikumar, G. (2000). *Combined production and maintenance scheduling for multiple product, single machine production system.*
- Soriano, L. A. (2018). *Implantación de un sistema de aprovisionamiento automático en una empresa del sector aeronáutico.* [Trabajo de grado. Universidad de Sevilla] . Sevilla .  
<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/60082/>
- Spiegel, M. R., & Stephens, L. J. (2005). *Estadística Schaum* (4ta Edición ed.). Omaha, Estados Unidos .
- Taboada, R. J., Gómez Franklin, H., & Cárdenas, A. (2013). *Caracterización de la producción maderera y su transformación por empresas familiares productoras de muebles en Sincelejo y Sampués.* Sincelejo.
- Tang, O. G. (2002). *Planning and replanning the master production schedule under demand uncertainty.* International Journal of Production Economics.
- Tinoco Cantillo, U. A., Buelvas Martínez, A. M., & Buelvas Mesa, C. G. (2016). *Caracterización económica de las microempresas fabricantes de muebles de madera en la ciudad de Sincelejo.* Sincelejo , Sucre, Colombia.
- Toirac, L. (2012). *Arqueología industrial del mueble en la ciudad de Santo Domingo.*
- Torabi, E. (2009). *Fuzzy hierarchical production planning (with a case study), Fuzzy Sets and Systems.*
- Torabi, S. H. (2010). *An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning, Fuzzy Sets and Systems.*
- UNIDO. (2013). *United Nations Development organization.*
- Villegas Sáenz, L. A., & Villegas Sáenz, L. M. (2009). *Clasificación y caracterización de las empresas de.* Bogotá.
- Viloria, A., Jiménez, L., & Ospina, A. (2012). *Caracterización de la producción en las unidades de negocios pertenecientes al sector de la manufactura de muebles en Sampués.* Sincelejo - Sampués.
- Zamora, C., & González, J. M. (2011). *Finanzas y Carbono: activos, mercados y operaciones financieras.*
- Zeledon, K. P., & Kuant, R. O. (2014). *Control del Inventario de productos terminados en la Fábrica de alimentos “La Matagalpa” durante el primer semestre del año 2013.*

**Anexos**

**Anexo 1**

*Formato de encuesta*

**Formato de encuesta**

<b>Encuesta tesis</b>	<b>Modelo de planificación de la producción en las microempresas del sector maderero “Las Américas” en Sincelejo.</b>
-----------------------	---

Género: Masculino \_\_\_\_\_ Femenino \_\_\_\_\_ Profesión \_\_\_\_\_

Cargo \_\_\_\_\_ Tiempo Ejerciendo el Cargo \_\_\_\_\_

Mediante la cual se pretende conocer y analizar las diferentes variables que están en contexto de las microempresas constituidas legalmente en la Cámara de Comercio de Sincelejo en el sector maderero Las Américas, con el fin de levantar información base que nos permita entender los tipos de variaciones que se presentan entre ellas y conocer los procesos de elaboración, tiempos de entrega y productividad con mucha más certeza.

La siguiente encuesta cuenta con dos tipos de preguntas; abiertas y cerradas.

En las cerradas marque con una *x* la opción que considere correcta y en las abiertas responda de manera clara y concisa.

1. ¿Cuál es el nombre de su empresa?

\_\_\_\_\_

2. ¿Cuántos empleados están vinculados al taller?

Directos \_\_\_\_\_ Indirectos \_\_\_\_\_



3. ¿Cuál es el tipo de madera que más se emplea en el taller?

\_\_\_\_\_

4. ¿Qué tipos de productos se fabrican en esta empresa?

\_\_\_\_\_

5. ¿Cuáles son los productos de mayor rotación? (Los que más se vende por unidad)

\_\_\_\_\_

6. ¿Tienen un tiempo estándar para la fabricación de sus muebles y artesanías?

Sí\_\_\_ No\_\_\_

7. ¿Conoce su tiempo medio de fabricación?

Sí\_\_\_ No\_\_\_

¿Cuál es? (Opcional)

\_\_\_\_\_

8. ¿Cada cuánto se abastecen de materiales para la elaboración de productos?

Diario\_\_\_ Semanal\_\_\_ Quincenal\_\_\_ Mensual\_\_\_

9. ¿Compra productos aserrados?

Sí\_\_\_ No\_\_\_

10. ¿Qué tipo?



Tablas\_\_\_ Tablones\_\_\_ Polines\_\_\_ Tabletetas\_\_\_ Otros\_\_\_\_\_

11. ¿Cuánto es la cantidad de producto de la que se abastece?

\_\_\_\_\_

12. ¿El suficiente su inventario para satisfacer su demanda actual?

Sí\_\_\_ No\_\_\_

13. ¿Alguna vez se ha visto en apuros para satisfacer su demanda por falta de inventario?

Sí\_\_\_ No\_\_\_

14. ¿Cuenta esta empresa con un MRP (Plan de requerimiento de materiales) necesario para saber de cuánto debe abastecerse y en qué momento?

Sí\_\_\_ No\_\_\_

15. ¿Llevan registros de compra de materias primas, inventarios de producto termina y de ventas?

Sí\_\_\_ No\_\_\_

16. ¿Cuáles son sus tiempos de entrega del producto final?

\_\_\_\_\_

17. ¿Han sufrido por problemas de entrega e insatisfacción al usuario?

Sí\_\_\_ No\_\_\_

18. ¿Posee cuello de botella actual en el proceso de elaboración?

Sí\_\_\_ No\_\_\_

19. ¿Cuenta con personal capacitado para la elaboración de los muebles y artesanías?

20. ¿La competencia en el sector puede considerarse reñida?

Sí\_\_ No\_\_

21. ¿Usa maquinaria útil y necesaria para la fabricación de los productos?

Sí\_\_ No\_\_

22. ¿Existe algún tipo de proceso automatizado?

Sí\_\_ No\_\_

¿Cuál? (Opcional)

\_\_\_\_\_

23. ¿Cuenta esta empresa con estaciones de trabajo?

Sí\_\_ No\_\_

24. ¿Se pierde materia prima por falta de productividad?

Sí\_\_ No\_\_

25. ¿Existe algún método que controle los desechos que se producen en el proceso de fabricación permitiendo ser reutilizados?

Sí\_\_ No\_\_

26. ¿Existe un horizonte planificado de producción?

Sí\_\_ No\_\_

## **Anexo 2**

### *Lenguaje de programación en GAMS*

## Lenguaje de programación en GAMS

```

File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
MODELO MATEMÁTICO - MENCO - LISTO.gms MODELO MATEMÁTICO - MENCO - LISTO.lst

SETS
P tipos de madera /P1*P4/
L materia prima /L1*L8/
I productos /I1*I8/
J empresas /J1*J3/
K procesos /K1*K4/
T periodos /T1*T5/

TABLE Dem(i,j,t) Demanda del producto i para la empresa j en el periodo de tiempo t
      T1  T2  T3  T4  T5
I1.J1  4   4   4   4   4
I1.J2  0   0   0   0   0
I1.J3  0   0   0   0   0
I2.J1  4   4   4   4   4
I2.J2  0   0   0   0   0
I2.J3  2   2   2   2   2
I3.J1  4   4   4   4   4
I3.J2  3   3   3   3   3
I3.J3  1   1   1   1   1
I4.J1  0   0   0   0   0
I4.J2  20  20  20  20  20
I4.J3  6   6   6   6   6
I5.J1  10  10  10  10  10
I5.J2  0   0   0   0   0
I5.J3  0   0   0   0   0
I6.J1  0   0   0   0   0
I6.J2  36  36  36  36  36
I6.J3  0   0   0   0   0
I7.J1  1   1   1   1   1
I7.J2  0   0   0   0   0
I7.J3  0   0   0   0   0
I8.J1  0   0   0   0   0
I8.J2  3   3   3   3   3

```

```

gamside: C:\Users\user\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\user\Documents\gamsdir\projdir\MODELO MATEM
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
MODELO MATEMÁTICO - MENCO - LISTO.gms MODELO MATEMÁTICO - MENCO - LISTO.lst

I8.J3  0   0   0   0   0;

TABLE DisMP(l,j,t) Disponibilidad de materia prima l por empresa j en el periodo t
      T1  T2  T3  T4  T5
L1.J1  2000 2000 2000 2000 2000
L1.J2  2900 2900 2900 2900 2900
L1.J3  900  900  900  900  900
L2.J1  300  300  300  300  300
L2.J2  2000 2000 2000 2000 2000
L2.J3  300  300  300  300  300
L3.J1  30   30   30   30   30
L3.J2  20   20   20   20   20
L3.J3  20   20   20   20   20
L4.J1  5    5    5    5    5
L4.J2  6    6    6    6    6
L4.J3  5    5    5    5    5
L5.J1  5    5    5    5    5
L5.J2  6    6    6    6    6
L5.J3  6    6    6    6    6
L6.J1  6    6    6    6    6
L6.J2  4    4    4    4    4
L6.J3  2    2    2    2    2
L7.J1  40   40   40   40   40
L7.J2  50   50   50   50   50
L7.J3  10   10   10   10   10
L8.J1  3    3    3    3    3
L8.J2  6    6    6    6    6
L8.J3  2    2    2    2    2;

TABLE Req(i,l) Requerimientos de materia prima l para el producto i

```

```

gamside: C:\Users\user\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\user\Documents\gamsdir\projdir\MODELO
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
MODELO MATEMÁTICO - MENC0 - LIST0.gms MODELO MATEMÁTICO - MENC0 - LIST0.lst

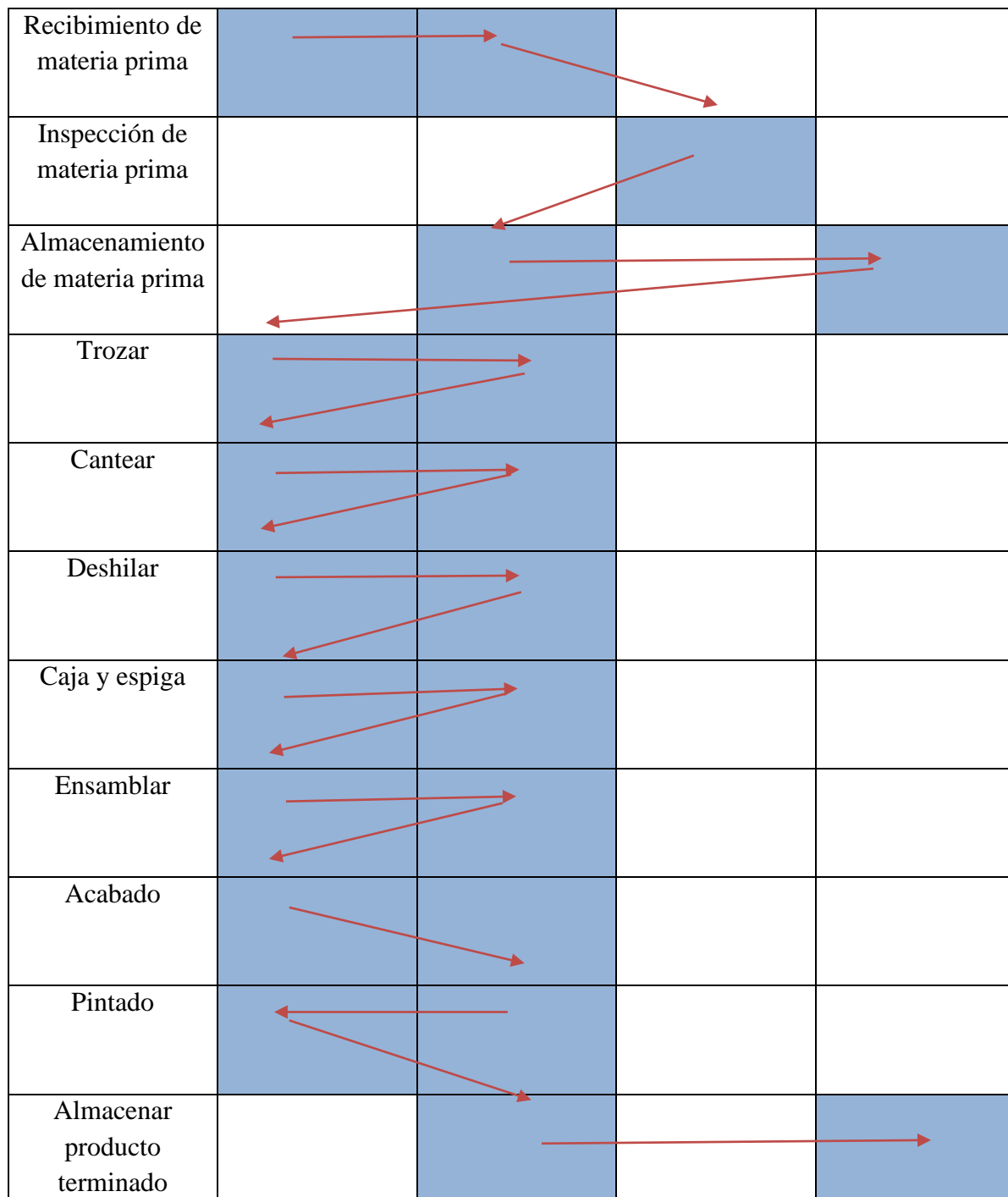
TABLE Req(i,l) Requerimientos de materia prima l para el producto i
      L1  L2  L3  L4  L5  L6  L7  L8
I1  100  50  5  1  1  1  10  1
I2  50  100  5  1  0  1  6  0
I3  100  100  5  1  1  1  0  1
I4  50  100  5  1  0  1  0  1
I5  50  0  5  1  0  0  3  1
I6  50  100  5  1  0  0  15  1
I7  100  100  5  1  0  0  0  1
I8  30  100  5  1  0  0  0  1 ;

TABLE Tdis(j,t) Tiempo disponible en minutos por cada empresa j
      T1  T2  T3  T4  T5
J1  19200  19200  19200  19200  19200
J2  72000  72000  72000  72000  72000
J3  57600  57600  57600  57600  57600;
    
```

**Anexo 3**

*Diagrama de recorrido en las microempresas del sector*

**Diagrama de recorrido en empresas del sector “Las Américas”**



**Anexo 4**

*Estudio de tiempos en Artes y Diseños*

**Hoja de observación para un estudio de tiempos en las microempresas del sector**

HOJA DE OBSERVACIÓN PARA UN ESTUDIO DE TIEMPOS															
IDENTIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN		TOMA DE TIEMPOS, CORTE, ENSAMBLE, PINTURA Y LIJADO								FECHA		16/05/2023			
TIEMPO INICIAL		OPERARIO:				VISTO BUENO				OBSERVADOR: HERNETH MENCO HERRERA					
TIEMPO FINAL		MAURICIO MONTES				BUENO									
DESCRPCIÓN DE ELEMENTOS Y PUNTO DE QUIEBRE		CICLOS										RESUMEN			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Sumatoria T	T prom	ID	TN
1	Cortar plantilla de madera para espaldar	40	38	41	43	39						201	40,2	0,9	36,18
2	Cortar plantilla para lateral 1	25	28	23	22	21						119	23,8	0,9	21,41
3	Cortar plantilla para lateral 2	24	24	23	22	24						117	23,4	0,9	21,6
4	Cortar plantilla para lateral 3	25	25	24	25	23						122	24,4	0,9	21,96
5	Cortar plantilla para lateral 4	26	25	23	24	25						123	24,6	0,9	22,14
6	Cortar plantilla para puerta 1	20	22	21	20	22						105	21	0,9	18,9
7	Cortar plantilla para puerta 2	22	21	20	23	22						108	21,6	0,9	19,44
8	Cortar plantillas para cajones	70	77	74	76	71						368	73,6	0,9	66,24
9	Cortar plantilla para el techo	35	34	33	35	34						171	34,2	0,9	30,78
10	Cortar plantilla para el fondo	33	34	34	35	38						174	34,8	0,9	31,32
11	Lijar plantilla del espaldar	67	70	68	66	65						336	67,2	0,9	60,48
12	Lijar plantilla del lateral 1	50	53	54	52	51						260	52	0,9	46,8
13	Lijar plantilla del lateral 2	50	51	53	52	54						260	52	0,9	46,8
14	Lijar plantilla del lateral 3	55	54	52	52	53						266	53,2	0,9	47,88
15	Lijar plantilla del lateral 4	57	56	58	59	54						284	56,8	0,9	51,12
16	Lijar plantilla para puerta 1	60	62	61	64	63						310	62	0,9	55,8
17	Lijar plantilla para puerta 2	60	65	62	64	59						310	62	0,9	55,8
18	Lijar plantillas de los cajones	50	51	54	53	55						263	52,6	0,9	47,34
19	Lijar plantilla para el techo	64	65	64	63	65						321	64,2	0,9	57,78
20	Lijar plantilla para el fondo	65	65	63	62	63						318	63,6	0,9	57,24
21	Pintar espaldar mano 1	70	77	80	88	90						405	81	0,9	72,9
22	Pintar lateral 1 mano 1	40	44	44	43	30						201	40,2	0,9	37,98
23	Pintar lateral 2 mano 1	44	45	50	54	49						242	48,4	0,9	43,56
24	Pintar lateral 3 mano 1	40	44	43	42	41						210	42	0,9	37,8
25	Pintar lateral 4 mano 1	39	45	46	56	50						236	47,2	0,9	42,48
26	Pintar puerta 1 mano 1	30	31	29	31	30						151	30,2	0,9	27,18
27	Pintar puerta 2 mano 1	31	32	33	34	35						165	33	0,9	29,7
28	Pintar plantillas de cajones mano 1	50	55	57	45	50						257	51,4	0,9	46,26
29	Pintar plantilla de techo mano 1	47	56	60	62	57						282	56,4	0,9	50,76

30	Pintar plantilla para el fondo mano 1	56	55	60	60	67									298	59,6	0,9	53,64
31	Pintar espaldar mano 2	70	77	75	76	80									378	75,6	0,9	68,04
32	Pintar lateral 1 mano 2	45	50	56	49	49									249	49,8	0,9	44,82
33	Pintar lateral 2 mano 2	49	40	41	43	48									221	44,2	0,9	39,78
34	Pintar lateral 3 mano 2	39	41	42	44	54									220	44	0,9	39,6
35	Pintar lateral 4 mano 2	44	42	41	45	47									219	43,8	0,9	39,42
36	Pintar puerta 1 mano 2	32	31	33	32	30									158	31,6	0,9	28,44
37	Pintar puerta 2 mano 2	33	31	27	28	30									149	29,8	0,9	26,82
38	Pintar plantilla de cajones mano 2	50	47	46	48	49									240	48	0,9	43,2
39	Pintar plantilla de techo mano 2	48	49	45	46	44									232	46,4	0,9	41,76
40	Pintar plantilla para el fondo mano 2	47	44	48	44	50									233	46,6	0,9	41,94
41	Ensamblar espaldar, lateral 1, lateral 2, techo, fondo	960	877	924	933	875									4569	913,8	0,9	822,42
42	Armar cajones	667	577	516	556	612									2928	585,6	0,9	527,04
43	Instalar cajones	40	33	37	35	34									179	35,8	0,9	32,22
44	Ensamblar puerta 1	366	344	320	323	299									1652	330,4	0,9	297,36
45	Ensamblar puerta 2	318	316	314	355	361									1664	332,8	0,9	299,52
46	Limpiar	88	90	97	89	88									452	90,4	0,9	81,36
47	Pulir	247	234	250	254	245									1230	246	0,9	221,4

## Anexo 5

Hoja de cálculos para un estudio de tiempos en Muebles La Bucaramanga

### HOJA DE OBSERVACIÓN PARA UN ESTUDIO DE TIEMPOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN		TOMA DE TIEMPOS, CORTE, ENSAMBLE, PINTURA Y LIJADO										FECHA	16/05/2023		
TIEMPO INICIAL		OPERARIO: FREDDY					VISTO BUENO					OBSERVADOR: HERNETH MENCO HERRERA			
TIEMPO FINAL		ARROYO					BUENO								
DESCRIPCION DE ELEMENTOS Y PUNTO DE QUIEBRE		CICLOS										RESUMEN			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Sumatoria T	T prom	ID	TN
1	Cortar plantilla de madera para espaldar	43	45	44	40	45						217	43,4	0,9	39,06
2	Cortar plantilla para lateral 1	33	32	35	34	32						166	33,2	0,9	29,88
3	Cortar plantilla para lateral 2	40	37	36	35	33						181	36,2	0,9	32,58
4	Cortar plantilla para lateral 3	41	42	44	39	38						204	40,8	0,9	36,72
5	Cortar plantilla para lateral 4	38	39	37	40	39						193	38,6	0,9	34,74
6	Cortar plantilla para puerta 1	25	27	28	33	31						144	28,8	0,9	25,92
7	Cortar plantilla para puerta 2	29	26	28	31	32						146	29,2	0,9	26,28
8	Cortar plantillas para cajones	77	79	83	79	88						406	81,2	0,9	73,08
9	Cortar plantilla para el techo	44	43	41	39	41						208	41,6	0,9	37,44
10	Cortar plantilla para el fondo	37	35	37	40	41						190	38	0,9	34,2
11	Lijar plantilla del espaldar	70	67	74	69	70						350	70	0,9	63

12	Lijar plantilla del lateral 1	54	50	51	55	60						270	54	0,9	48,6
13	Lijar plantilla del lateral 2	55	55	54	56	59						279	55,8	0,9	50,22
14	Lijar plantilla del lateral 3	55	54	53	57	62						281	56,2	0,9	50,58
15	Lijar plantilla del lateral 4	61	67	61	59	60						308	61,6	0,9	55,44
16	Lijar plantilla para puerta 1	66	60	62	63	59						310	62	0,9	55,8
17	Lijar plantilla para puerta 2	65	60	61	66	65						317	63,4	0,9	57,06
18	Lijar plantillas de los cajones	55	45	55	54	53						262	52,4	0,9	47,16
19	Lijar plantilla para el techo	66	70	73	65	68						342	68,4	0,9	61,56
20	Lijar plantilla para el fondo	65	71	66	74	71						347	69,4	0,9	62,46
21	Pintar espaldar mano 1	76	75	74	73	70						368	73,6	0,9	66,24
22	Pintar lateral 1 mano 1	43	42	44	41	47						217	43,4	0,9	39,06
23	Pintar lateral 2 mano 1	44	50	49	44	45						232	46,4	0,9	41,76
24	Pintar lateral 3 mano 1	43	44	45	46	47						225	45	0,9	40,5
25	Pintar lateral 4 mano 1	44	42	44	43	47						220	44	0,9	39,6
26	Pintar puerta 1 mano 1	34	34	35	36	33						172	34,4	0,9	30,96
27	Pintar puerta 2 mano 1	38	39	34	36	33						180	36	0,9	32,4
28	Pintar plantillas de cajones mano 1	50	55	56	54	52						267	53,4	0,9	48,06
29	Pintar plantilla de techo mano 1	48	49	50	51	47						245	49	0,9	44,1
30	Pintar plantilla para el fondo mano 1	49	50	51	52	48						250	50	0,9	45
31	Pintar espaldar mano 2	74	74	75	76	74						373	74,6	0,9	67,14
32	Pintar lateral 1 mano 2	47	41	40	44	42						214	42,8	0,9	38,52
33	Pintar lateral 2 mano 2	45	44	43	45	41						218	43,6	0,9	39,24
34	Pintar lateral 3 mano 2	45	46	47	44	41						223	44,6	0,9	40,14
35	Pintar lateral 4 mano 2	44	43	42	43	44						216	43,2	0,9	38,88
36	Pintar puerta 1 mano 2	35	36	39	37	37						184	36,8	0,9	33,12
37	Pintar puerta 2 mano 2	39	38	37	35	39						188	37,6	0,9	33,84
38	Pintar plantilla de cajones mano 2	50	55	54	52	55						266	53,2	0,9	47,88
39	Pintar plantilla de techo mano 2	52	49	50	51	55						257	51,4	0,9	46,26
40	Pintar plantilla para el fondo mano 2	55	54	53	51	49						262	52,4	0,9	47,16
41	Ensamblar espaldar, lateral 1, lateral 2, techo, fondo	1220	1114	989	1034	1095						5452	1090,4	0,9	981,36
42	Armar cajones	560	612	580	598	585						2935	587	0,9	528,3
43	Instalar cajones	30	27	26	27	29						139	27,8	0,9	25,02
44	Ensamblar puerta 1	327	346	344	330	365						1712	342,4	0,9	308,16
45	Ensamblar puerta 2	312	333	345	319	320						1629	325,8	0,9	293,22
46	Limpiar	110	103	98	96	101						508	101,6	0,9	91,44
47	Pulir	261	253	245	254	234						1247	249,4	0,9	224,46



**Anexo 6***Hoja de cálculos para un estudio de tiempos en Muebles Ian*

HOJA DE OBSERVACIÓN PARA UN ESTUDIO DE TIEMPOS															
IDENTIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN		TOMA DE TIEMPOS, CORTE, ENSAMBLE, PINTURA Y LIJADO								FECHA	16/05/2023				
TIEMPO INICIAL		OPERARIO: GIANCARLO			VISTO BUENO					OBSERVADOR: HERNETH MENCO HERRERA					
TIEMPO FINAL		RICARDO													
DESCRIPCION DE ELEMENTOS Y PUNTO DE QUIEBRE		CICLOS										RESUMEN			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Sumatoria T	T prom	ID	TN
1	Cortar plantilla para el espaldar	30	29	34	35	32	33	34	35			262	32,75	0,9	29,475
2	Cortar plantilla para lateral 1	25	26	28	24	29	28	27	23			210	26,25	0,9	23,625
3	Cortar plantilla para lateral 2	24	28	29	26	25	30	25	26			213	26,625	0,9	23,9625
4	Cortar plantilla para lateral 3	27	26	26	27	29	25	31	27			218	27,25	0,9	24,525
5	Cortar plantilla para lateral 4	28	25	26	27	27	29	31	26			219	27,375	0,9	24,6375
6	Cortar plantilla para base	31	32	33	35	31	33	34	32			261	32,625	0,9	29,3625
7	Cortar plantilla para superficie	34	35	33	32	33	34	33	35			269	33,625	0,9	30,2625
8	Cortar plantilla para ventana 1	20	21	23	22	19	20	22	21			168	21	0,9	18,9
9	Cortar plantilla para ventana 2	22	21	25	20	22	21	20	21			172	21,5	0,9	19,35
10	Cortar plantilla para ventana 3	23	24	23	21	23	27	23	22			186	23,25	0,9	20,925
11	Cortar plantilla para ventana 4	23	22	20	23	21	22	24	23			178	22,25	0,9	20,025
12	Cortar plantilla para ventana 5	23	22	19	22	21	23	22	24			176	22	0,9	19,8
13	Cortar plantilla para ventana 6	24	22	21	24	26	21	22	27			187	23,375	0,9	21,0375
14	Lijar plantilla para espaldar	51	54	55	53	52	57	56	60			438	54,75	0,9	49,275
15	Lijar plantilla para lateral 1	33	31	34	35	34	32	33	32			264	33	0,9	29,7
16	Lijar plantilla para lateral 2	31	29	34	35	37	33	34	32			265	33,125	0,9	29,8125
17	Lijar plantilla para lateral 3	35	34	33	33	32	31	35	35			268	33,5	0,9	30,15
18	Lijar plantilla para lateral 4	39	36	34	35	33	32	33	34			276	34,5	0,9	31,05
19	Lijar plantilla para la base	45	47	46	54	49	47	43	45			376	47	0,9	42,3
20	Lijar plantilla de la superficie	46	47	50	51	47	49	51	49			390	48,75	0,9	43,875
21	Lijar plantillas ventanas 1 y 2	38	39	36	37	39	38	33	37			297	37,125	0,9	33,4125
22	Lijar plantillas ventanas 3 y 4	38	37	36	38	38	37	39	33			296	37	0,9	33,3
23	Lijar plantillas ventanas 5 y 6	36	33	32	35	37	35	34	36			278	34,75	0,9	31,275
24	Pintar espaldar	70	69	66	71	71	68	67	66			548	68,5	0,9	61,65
25	Pintar lateral 1	34	35	36	36	35	38	36	33			283	35,375	0,9	31,8375
26	Pintar lateral 2	33	32	34	37	37	36	33	32			274	34,25	0,9	30,825
27	Pintar lateral 3	34	35	36	36	36	34	33	30			274	34,25	0,9	30,825
28	Pintar lateral 4	33	34	35	34	36	36	37	35			280	35	0,9	31,5
29	Pintar base	41	39	37	42	43	44	45	46			337	42,125	0,9	37,9125
30	Pintar superficie	38	38	39	41	39	37	42	38			312	39	0,9	35,1

31	Pintar ventanas 1 y 2	37	35	33	37	38	40	37	36			293	36,625	0,9	32,9625
32	Pintar ventanas 3 y 4	38	36	41	38	38	39	38	41			309	38,625	0,9	34,7625
33	Pintar ventanas 5 y 6	41	38	39	38	38	41	36	36			307	38,375	0,9	34,5375
34	Ensamblar espaldar, base, superficie, laterales 1 y 2	900	903	860	857	897	887	897	912			7113	889,125	0,9	800,2125
35	Ensamblar laterales 2 y 4	20	19	24	24	26	21	22	25			181	22,625	0,9	20,3625
36	Ensamblar ventanas 1 y 2	18	19	20	22	24	24	26	20			173	21,625	0,9	19,4625
37	Ensamblar ventanas 3 y 4	19	20	22	24	25	24	23	21			178	22,25	0,9	20,025
38	Ensamblar ventanas 5 y 6	23	24	25	22	23	24	22	20			183	22,875	0,9	20,5875
39	Hacer últimos retoques y decoraciones	69	70	77	79	80	67	88	78			608	76	0,9	68,4
40	Pintar todo el juego de cocina ensamblado	90	92	96	99	89	90	88	89			733	91,625	0,9	82,4625
41	Limpiar juego de cocina	46	45	45	47	44	46	50	54			377	47,125	0,9	42,4125
42	Pulir juego de cocina	70	76	80	82	84	83	88	77			640	80	0,9	72

### Anexo 7

*Tiempo disponible en las microempresas del sector*

#### Disponibilidad de tiempo en cada una de las microempresas del sector

Empresas (j)	Número de operarios	Días de trabajo por semana	Periodo t en días al mes	Tiempo disponible en horas por operario	Totalidad de tiempo disponible en horas por semana	Disponibilidad total de tiempo en minutos por semana	Disponibilidad total en minutos al mes
<b>Empresa 1</b>	2	5	30	8h	80h	4800 min	19200 min
<b>Empresa 2</b>	5	6	30	10h	300h	18000 min	72000 min
<b>Empresa 3</b>	4	5	30	12h	240h	14400 min	57600 min

### Anexo 8

*Tiempo real de fabricación en las empresas del sector*

Productos (i)	Tiempo de fabricación disponible en horas/día	Tiempo real de fabricación en minutos para la empresa 1	Tiempo real de fabricación en minutos	Tiempo real de fabricación en minutos para la empresa 3	Días de fabricación
---------------	---	---	---------------------------------------	---	---------------------

			<b>para la empresa 2</b>		
Closets	8h	70,67 min	No se fabrican closets en la empresa 2	No se fabrican closets en la empresa 3	3
Juegos de cocina	8h	37,62 min	No se fabrican juegos de cocina en la empresa 2	39,76 min	5
Juegos de comedor	8h	97,92 min	106,86 min	100,2 min	5
Camas	8h	No se fabrican camas en la empresa 1	41,72 min	47,16 min	5
Puertas	8h	22,23 min	No se fabrican puertas en la empresa 2	No se fabrican puertas en la empresa 3	15
Escaparate	8h	73,65 min	No se fabrican escaparates en la empresa 2	No se fabrican escaparates en la empresa 3	15
Juego de cuarto	12h	48,99 min	No se fabrican juegos de cuarto en la empresa 2	No se fabrican juegos de cuarto en la empresa 3	1
Multimuebles	12h	No se fabrican Multimuebles en la empresa 1	43,1 min	No se fabrican Multimuebles en la empresa 3	1

### Costos de producción y de mano de obra

#### Anexo 9

##### *Costos de producción y de mano de obra*

<b>Productos fabricados</b>	<b>Costos de producción por unidad</b>	<b>Cantidad de productos fabricados x mes</b>	<b>Costo total de mano de obra</b>
Juego de closet	\$ 400.000	4	\$ 1.600.000
Juego de cocina	\$ 400.000	4	\$ 1.600.000
Juego de comedor	\$ 400.000	4	\$ 1.600.000
Puertas	\$ 30.000	10	\$ 300.000
Juegos de cuarto	\$ 250.000	1	\$ 250.000
			<b>\$ 5.350.000</b>

#### Anexo 10

##### *Costos de mano de obra en Muebles La Bucaramanga*

<b>Operarios</b>	<b>Costos mano de obra mensual</b>	<b>Cantidad de trabajadores</b>	<b>Costos totales de mano de obra</b>
Carpinteros	\$ 1.334.000	3	\$ 4.002.000
Envasadores	\$ 1.200.000	2	\$ 2.400.000
Pintores	\$ 1.600.000	2	\$ 3.200.000
			<b>\$ 9.602.000</b>

**Anexo 11**

*Costo de mano de obra en Muebles Ian*

<b>Número de operarios</b>	<b>Sueldo</b>	
Operario 1	\$	700.000
Operario 2	\$	700.000
Operario 3	\$	700.000
	\$	<b>2.100.000</b>

**Precio de venta de los productos por empresas**

En donde se relacionan los precios de venta de los diferentes productos de las diferentes empresas del sector.

**Anexo 12**

*Precio de venta en Artes y Diseños*

<b>Productos fabricados</b>	<b>Precio de venta x unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
Closets (I1)	\$ 1.500.000	4	\$ 6.000.000
Juegos de cocina (I2)	\$ 3.000.000	4	\$ 12.000.000
Juegos de comedor (I3)	\$ 800.000	4	\$ 3.200.000
Puertas (I5)	\$ 250.000	10	\$ 2.000.000
Juego de cuartos (I7)	\$ 1.500.000	1	\$ 1.500.000
			\$ <b>24.700.000</b>

**Anexo 13**

*Precio de venta en Muebles La Bucaramanga*

<b>Productos fabricados</b>	<b>Precio de venta por unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor total de las ventas</b>
Juegos de comedor (I3)	\$ 1200.000	3	\$ 3.600.000
Camas (I4)	\$ 350.000	20	\$ 7.000.000
Escaparates (I6)	\$ 580.000	36	\$ 20.880.000
Multimuebles (I8)	\$ 300.000	3	\$ 900.000
			<b>\$ 32.380.000</b>

**Anexo 14**

*Precio de venta en Muebles Ian*

<b>Productos</b>	<b>Precio de venta por unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
Juegos de cocina	\$ 3.000.000	2	\$ 6.000.000
Juegos de comedor	\$ 1.400.000	1	\$ 1.400.000
Camas	\$ 670.000	6	\$ 4.020.000
			<b>\$ 11.420.000</b>