

**Modelo de Programación de la Producción en Células de Trabajo en el Proceso de Selección
y Empaque de Hierbas Aromáticas de la Empresa Agrifresh S.A.**



Autores

**Ing. Carlos Arturo Latorre Mendoza
José Camilo Peña Pérez
Santiago Calvo Martínez**

Tutor

Ing. Mariluz Osorio Quiceno

Metodólogo

Juan Sebastián Sánchez Gómez

**Universidad El Bosque
Especialización en Gerencia de Producción y Productividad
Bogotá, Colombia
Mayo 2023**

Contenido

Contenido	2
Lista de Tablas	5
Lista de Figuras	6
Lista de Gráficas	7
Lista de Ecuaciones	8
Resumen	9
Introducción	10
1. Formulación del Proyecto	11
1.1. Problema de Investigación	11
1.1.1. Identificación	11
1.1.2. Descripción	12
1.1.3. Planteamiento	16
1.2. Justificación	16
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo General	16
1.3.2. Objetivos Específicos	17
1.4. Metodología	17
1.5. Alcances y resultados	19
1.5.1. Alcance Geográfico	19
1.5.2. Alcance cronológico	19
1.5.3. Alcance metodológico	19
2. Marco de Referencia	20
2.1. Antecedentes	20
2.2. Marco Teórico	21
2.2.1. Historia de las técnicas de programación matemática	21
2.2.2. Programación Lineal	22
2.2.3. Sectores de la economía	22
2.2.4. Sistemas de Producción	23
2.2.5. Pronóstico de la Demanda	24
2.2.6. Planeación de recursos empresariales	25
2.2.7. Planeación agregada de la producción	27
2.2.8. Plan maestro de Producción	28
2.2.9. Programación y control de la producción	28
2.2.10. Sistema de manufactura celular	29
2.2.11. Investigación de operaciones y Programación línea	30
3. Diagnóstico de la empresa	31
3.1. Generalidades del Proceso	31
3.2. Estudio de tiempos	33
3.3. Estado inicial de la planeación, programación y control de la producción	35
3.4. Estimación de los tiempos estándar	39
3.5. Análisis de la Capacidad	39
3.6. Políticas de Producción	42
3.6.1. Producir con el primero en entrar	42
3.6.2. Producir por familia de Productos	42

3.7.	Hallazgos	42
4.	DESARROLLO DEL MODELO	43
4.1.	Procedimiento de planeación y programación de la Producción	43
4.2.	Proyección de demanda	45
4.2.1.	Producto A 16 oz Loose	45
4.2.2.	Producto B 16 oz Loose	46
4.2.3.	Producto C 16 oz Loose	47
4.2.4.	Producto A 18 oz $\frac{3}{4}$	47
4.2.5.	Producto B 20 oz 2 $\frac{1}{2}$	48
4.2.6.	Producto C 20 oz 1 $\frac{2}{3}$	48
4.2.7.	Producto C 18 oz $\frac{3}{4}$	49
4.2.8.	Producto B 1000 gr 84	49
4.2.9.	Producto A 24 oz 2	50
4.2.10.	Producto B 500 gr 42	50
4.2.11.	Producto D 16 oz Loose	51
4.2.12.	Producto C 16 oz 1	51
4.2.13.	Producto B 4 oz Loose	52
4.2.14.	Producto A 16 oz 1 $\frac{1}{3}$	52
4.2.15.	Producto E 16 oz Loose	53
4.3.	Desagregación de la Demanda	53
4.4.	Cuadro de mando integral de Producción	54
4.5.	Gestión de Inventarios de materiales	55
4.6.	Modelo de Programación Lineal	56
4.6.1.	Objetivo	56
4.6.2.	Subíndices	56
4.6.3.	Parámetros	56
4.6.3.1.	Parámetros escalares	56
4.6.3.2.	Parámetros vectoriales	57
4.5.4.	Variables	57
4.6.5.	Función Objetivo	57
4.6.6.	Asociación de Producción Operarios con Producción de la Célula	58
4.6.7.	Asignación de operarios a células de trabajo	58
4.6.8.	Disponibilidad de Inventarios y materia prima	59
4.6.9.	Despacho e inventarios de producto terminado	59
4.6.10.	Demanda	60
4.6.11.	No negatividad	60
4.7.	Resultados del modelo	60
4.7.1.	Células de trabajo Versus Producción	60
4.7.2.	Tiempo muerto y horas extras	61
4.7.3.	Despachos	62
4.7.4.	Inventario de materia prima	62
4.7.5.	Inventario de producto terminado	63
4.5.6.	Asignación de Operarios a las Células de Trabajo	64
4.7.6.	Resultado función objetivo	65
5.	COSTOS Y BENEFICIOS DE LA PROPUESTA	66
5.1.	Costos de implementación de la Propuesta	66
5.2.	Pronóstico de la demanda	66

5.3. Análisis de capacidad	66
5.4. Plan maestro de Producción	67
5.5. Condiciones de Trabajo	68
5.6. Evaluación Final del estado de la Planeación, Programación y control de la Producción	68
Conclusiones	70
Recomendaciones	72
Referencias	73
Anexo 1. Modelado en xpress®	73

Lista de Tablas

Tabla 1: Número de operarios por mes trabajado	15
Tabla 2: Horas requeridas, horas empleadas e indicador de productividad de mano de obra directa.	15
Tabla 3: Marco teórico del proyecto	17
Tabla 4: Técnicas de programación matemática	21
Tabla 5: Técnicas de Pronóstico de la demanda	25
Tabla 6: Combinación de empaques	32
Tabla 7: Empaque en Onzas Vs gramos	33
Tabla 8: Empaque en Onzas y equivalencia en gramos	33
Tabla 9: Tiempos suplementarios que aplican al proceso de Selección y Empaque de Agrifresh S.A.	35
Tabla 10: Diagnóstico de planeación de programación y control de la producción	36
Tabla 11: Estimación de tiempos de procesamiento de un Pedido y Numero de Personas Necesarias.	41
Tabla 12. Distribución de la Demanda en los Días de la Semana.	53
Tabla 13. Desagregación de la demanda pronosticada.	54
Tabla 14: Lista de materiales críticos	55
Tabla 15: Puntos de Reorden para cada producto según inventarios	55
Tabla 16: Distribución de la producción según modelo en kg	60
Tabla 17: Tiempos muertos de los operarios según modelo	61
Tabla 18: Horas extras de los operarios según modelo	61
Tabla 19: Resultados de despachos de producto según modelo	62
Tabla 20: Variación de los inventarios	64
Tabla 21: asignación de operarios y configuración de las células de trabajo	65
Tabla 22: Resultado de utilidad bruta según modelo	65
Tabla 23: Costos de la Implementación de la Propuesta	66
Tabla 24: Indicadores de rendimiento después de aplicado el modelo	67
Tabla 25: Ahorro en costo de mano de obra	67
Tabla 26. Evaluación final del estado de la planeación, programación y control de la producción.	68

Lista de Figuras

Figura 1: Puestos de trabajo, Agrifresh SAS	13
Figura 2: Procesos de programación y control de la producción	26
Figura 3: Planificación de la empresa versus planificación y control de la capacidad	27
Figura 4: Del plan de la empresa al plan maestro de producción	28
Figura 5: Proceso de programación de la producción	29
Figura 6: Interfaz Gráfica de aplicación de Registro de Rendimientos	34
Figura 7: Composición de tiempo estándar	35
Figura 8. Parametro para reexportar resultados y Subíndices.	74
Figura 9. Declaración de Paramentos y Variables del Modelo	74
Figura 10. Llenado de los vectores con los parámetros de rendimientos, porcentajes de exportación y disponibilidad de materia prima.	75
Figura 11. Llenado de los vectores con los parámetros de la demanda e inventario inicial de materia prima.	75
Figura 12. Llenado de los vectores con los parámetros de inventario inicial de producto terminado, perdida de inventario de la materia prima y costo de la materia prima.	76
Figura 13. Llenado de Vectores de parámetros de precios de Ventas y explosión de materiales de los productos.	76
Figura 14. Función objetivo y restricciones de capacidad, producción por célula y asignación de operarios a célula de trabajo.	77
Figura 15. Restricción de tamaño de la célula de trabajo, disponibilidad e inventario de materias primas.	77
Figura 16. Declaraciones de vectores para la exportación de resultados.	78

Lista de Gráficas

Gráfica 1: Valor y Peso de las Exportaciones de Hierbas Aromáticas al 2022	11
Gráfica 2: Principales destinos de exportación de hierbas aromáticas	12
Gráfica 3: Cantidad de horas extras ordinarias, nocturnas, festivas y totales sin festivas	14
Gráfica 4: Costos de horas extras.	14
Gráfica 5: Promedio de horas extras promedio por operario	15
Gráfica 6: Distribución Productos AGRIFRESG SA	31
Gráfica 7: Productos que no pasan por la sala de proceso	32
Gráfica 8: Flujo de Proceso, Agrifres SAS	38
Gráfica 9: Proceso de planeación de la producción	39
Gráfica 10: Modelo de producción propuesto	44
Gráfica 11: Pareto de Productos a estudiar	45
Gráfica 12: Gráfica de demanda Producto A 16 oz Loose	46
Gráfica 13: Gráfica de demanda Producto B 16 oz Loose	46
Gráfica 14: Gráfica de demanda Producto C 16 oz Loose	47
Gráfica 15: Gráfica de demanda Producto A 18 oz $\frac{3}{4}$	47
Gráfica 16: Gráfica de demanda Producto B 20 oz $2\frac{1}{2}$	48
Gráfica 17: Gráfica de demanda Producto C 20 oz $1\frac{2}{3}$	48
Gráfica 18: Gráfica de demanda Producto C 18 oz $\frac{3}{4}$	49
Gráfica 19: Gráfica de demanda Producto B 1000 gr 84	49
Gráfica 20: Gráfica de demanda Producto A 24 oz 2	50
Gráfica 21: Gráfica de demanda Producto B 500 gr 42	50
Gráfica 22: Gráfica de demanda Producto D 16 oz Loose	51
Gráfica 23: Gráfica de demanda Producto C 16 oz 1	51
Gráfica 24: Producto B 4 oz Loose	52
Gráfica 25: Gráfica de demanda Producto A 16 oz $1\frac{1}{3}$	52
Gráfica 26: Gráfica de demanda Producto E 16 oz Loose	53
Gráfica 27: Gráfica de inventario de materia prima	63
Gráfica 28: Gráfica del inventario de Producto terminado	63

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1: <i>Ecuación Función Objetivo</i>	30
Ecuación 2: Función de restricciones	30
Ecuación 3: <i>Rendimiento x prsona de empaque</i>	34
Ecuación 4: <i>Formula del tiempo estándar</i>	35
Ecuación 5: Cálculo de la capacidad de Selección y Empaque en Agrifresh SAS	40
Ecuación 6: <i>Ecuación de costo de mano de obra</i>	57
Ecuación 7: Ecuación costo de Materia Prima	57
Ecuación 8: Costo por pérdida de materia prima	58
Ecuación 9: <i>Ecuación de ventas</i>	58
Ecuación 10: <i>Ecuación maximización de utilizad</i>	58
Ecuación 11: Ecuación de asociación de producto a operarios	58
Ecuación 12: Ecuación de asignación de operarios	58
Ecuación 13: Ecuación de asignación de Operarios	59
Ecuación 14: Ecuación de asignación de operarios	59
Ecuación 15: Ecuación de disponibilidad de inventarios	59
Ecuación 16: Ecuación de balanceo de los inventarios	59
Ecuación 17: Despacho de inventarios de producto terminado	59
Ecuación 18: Ecuación de demanda	60
Ecuación 19: Ecuación de no negatividad	60

Resumen

La planeación y programación de resultados en empresas de producción donde se tiene en su gran mayoría mano de obra como un costo fijo es de vital importancia, ya que al no tenerla hay probabilidad de que realicen las operaciones en un mayor tiempo, con mudas en el proceso y un mayor costo total del producto. Es por esto, que se decidió generar un modelo con el fin de mejorar el rendimiento de la mano de obra del proceso de Selección y Empaque de la empresa Agrifresh SAS.

Se efectuó un diagnóstico inicial de la empresa Agrifresh, especialmente el proceso de Selección y Empaque, con el fin de medir y tener un punto de partida para poder realizar el modelo. Con los resultados obtenidos y con la investigación, se generó un modelo por células de trabajo y familias de productos para mejorar el proceso y tener un mayor control de la producción.

Finalmente, se realizó un análisis de resultados en donde se evidencia con una prueba piloto que se hizo, una mejoría en el rendimiento de la mano de obra por cada kg empacado en la empresa.

Palabras Claves:

Células de Trabajo, Planeación y programación de producción, Modelos de programación

Introducción

La programación de la producción permite tomar decisiones de manera anticipada y resolver las siguientes preguntas ¿Cuándo producir?, ¿Cuánto producir? y ¿Qué unidad de trabajo produce? Con el fin de utilizar adecuadamente los recursos productivos y cumplir con la demanda. Teniendo en cuenta lo anterior un modelo PL en donde se tengan en cuenta las variables y restricciones adecuadas puede ayudar con dicha programación de la producción para optimizar al máximo el tiempo productivo de los operarios y los rendimientos de estos por células de trabajo teniendo en cuenta la disponibilidad de Materia Prima y Producto Terminado

En el sector agroindustrial y en particular en la empresa AGRIFRESH S.A. debido a la alta incertidumbre en el suministro de materias primas y en las ventas, la programación de la producción se ha realizado mediante la experiencia y con un componente de intuición, lo que conlleva a operar de manera ineficiente. El presente trabajo busca explorar los diferentes modelos, técnicas y herramientas para la programación de la producción y evaluar cuales pueden ser aplicadas o implementadas en AGRIFRESH S.A. considerando su capacidad instalada y las restricciones existentes en su proceso productivo.

En el capítulo tres “Diagnóstico” se presenta el proceso de selección y empaque de las hierbas aromáticas en AGRIFRESH S.A. se encuentran variables críticas como la mano de obra, los inventarios, la disponibilidad de materia prima y las ventas, siendo la primera un elemento muy importante ya que cada una de las actividades que hacen parte del proceso se realizan de manera manual y no se han introducido equipos automatizados. dado que no hay demandas fijas y varía según empaques y presentaciones solicitadas.

En el capítulo cuatro “Desarrollo del modelo” se encuentra un modelo de programación de la producción que apoya el proceso de toma de decisiones para controlar los costos y la productividad de mano de obra que incluye la programación del personal y la reducción de inventarios, considerando la disponibilidad de materia prima y la demanda del cliente.

Finalmente, en el capítulo cinco “Estimación de costos” se encuentra el dinero que se podría obtener de utilizar si se realizara la programación según lo recomienda el software, haciendo una diferenciación de costos.

1. Formulación del Proyecto

1.1. Problema de Investigación

La falta de un modelo de Planeación, programación y asignación de producción en la empresa AGRIFRESH genera un incremento en la contratación del personal, la utilización de horas extras, el incumplimiento de los pedidos realizados por los clientes, reclamos de calidad, pérdida de los productos y bajo aprovechamiento de los recursos

Durante los 20 años de AGRIFRESH S.A. la programación de la producción se ha caracterizado por ser un proceso desarrollado empíricamente realizado por el supervisor con más experiencia (que se puede catalogar como un experto), el cual realiza la conformación de las células de trabajo (grupos de trabajo), la secuencia de las actividades y los pedidos o el producto a procesar. Lo anterior de manera intuitiva, sin embargo, este método ha repercutido en el incumplimiento de los pedidos, sobrecarga laboral para los trabajadores e ineficiencia en el proceso al desaprovechar las habilidades de las personas.

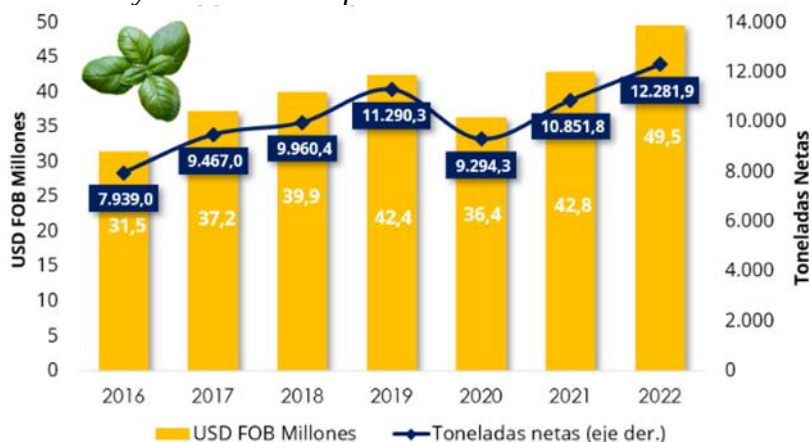
1.1.1. Identificación

A nivel mundial el 30% de las plantas que se producen va destinado a la industria farmacéutica, un 30% para la elaboración de productos cosméticos y el restante para la industria alimentaria. En Colombia se encuentran aproximadamente 400 especies de plantas aromáticas y medicinales que generan más de 40.000 empleos directos e indirectos al año. De estas plantas el 75% de las exportaciones van dirigidas a los mercados de Estados Unidos, Canadá e Inglaterra y el 80% de estas especies se comercializa en fresco y con fines culinarios; las especies más comercializadas son: Albahaca, Cebollín, Estragón, Menta, Laurel, Orégano, Romero, Tomillo, Eneldo, Mejorana y Salvia. (Vega, 2018)

En Colombia se cultivan más de 200 plantas aromáticas durante el año excluyendo las que son utilizadas para fines medicinales, todo esto, gracias a las favorables condiciones climáticas que tiene el país, así como la variedad de pisos térmicos, adicionando características diferenciales como el color, el aroma y el sabor frente a otros países del mundo. Colombia.Co(2022)

Su producción se concentra principalmente en los departamentos de Cundinamarca, Antioquia y Tolima. Sin embargo, en los últimos años, ha crecido la producción de estas hierbas en departamentos como Boyacá y el Valle del Cauca, con un promedio de 15 a 20 toneladas de plantas aromáticas cultivadas semanalmente. La gráfica 1 muestra el valor y peso de las exportaciones de hierbas aromáticas al 2022 en donde se evidencia crecimiento año a año, excepto el 2020 año de la pandemia. AnalDEX (2022)

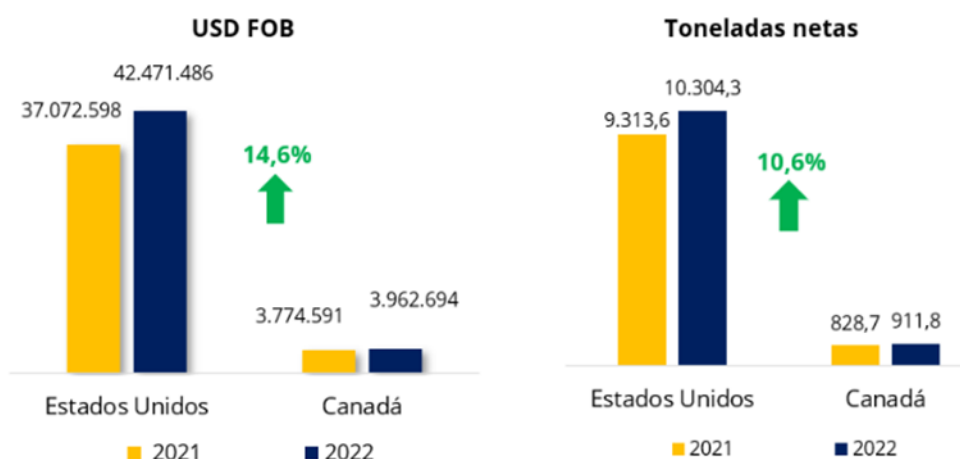
Gráfica 1: Valor y Peso de las Exportaciones de Hierbas Aromáticas al 2022



Fuente: Analdex (2022).

Las exportaciones registraron un crecimiento promedio de 5,29% y se registró una cifra récord de USD 49,5 millones y 12.281 toneladas para el 2022, según ANALDEX(2023), lo cual muestra el crecimiento y potencial del sector de hierbas aromáticas en Colombia, según lo muestra la gráfica 2.

Gráfica 2: Principales destinos de exportación de hierbas aromáticas



Fuente: Analdex (2022).

1.1.2. Descripción

Respondiendo a ese mercado creciente surge AGRIFRESH, una empresa familiar productora y exportadora de hierbas frescas con más de veinte (20) años de experiencia en el suministro a mercados de América del Norte y Europa. Está ubicada en el municipio de Cota, Cundinamarca y cuenta con treinta (30) empleados de los cuales diecinueve (19) pertenecen a la parte operativa y once (11) a la parte administrativa. La empresa AGRIFRESH cuenta con dieciocho (18) diferentes productos los cuales llegan a la planta procesadora para ser seleccionados y empacados en sus diferentes presentaciones de manera manual en puestos de trabajo de 2 a 4 trabajadores, según lo muestra la figura 1. AGRIFRES SAS (2023)

Figura 1: Puestos de trabajo, Agrifresh SAS



Fuente: Elaboración propia.

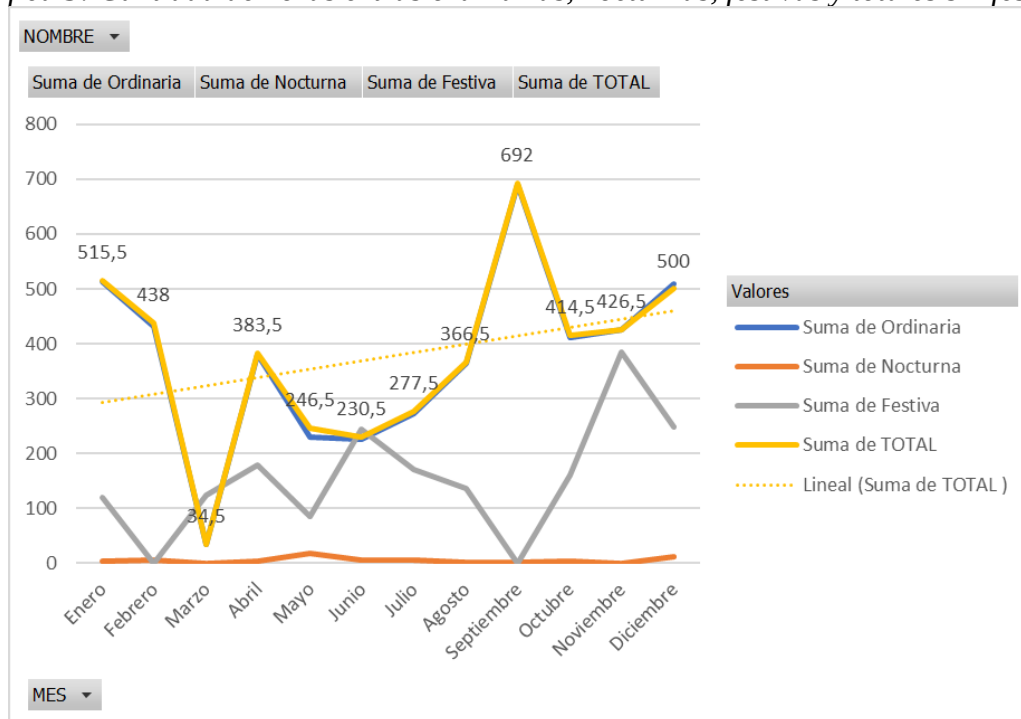
Puesto que el proceso de selección y empaque se realiza de forma manual, el sistema de producción es susceptible a diversas variables humanas como lo son el agotamiento, el estado de ánimo, las ausencias, las renunciaciones y además no se manejan herramientas o técnicas de la administración de operaciones tales como la planeación, programación y asignación de los recursos en la producción teniendo como consecuencia el desbalanceo de la planta según la capacidad instalada versus la requerida traduciéndose en incremento de costos de mano de obra para cumplir con la demanda requerida por el cliente.

Las empresas dedicadas a la producción y exportación de hierbas frescas, en Colombia conocidas como Pymes por su cantidad de trabajadores, son un ejemplo de superación laboral para el país ya que a pesar de su condición de pequeñas empresas logran obtener un margen de contribución ideal para sobrevivir en un país de grandes retos para el emprendimiento. Es por esto, que muchas de estas compañías fijan metas y objetivos a corto plazo, sin definir de manera favorable su estructura funcional y operacional, creciendo de manera desorganizada y sin oportunidades para enfocar los procesos e incrementar su éxito.

Los procesos de planeación tienen como finalidad realizar una adecuada asignación de los recursos físicos, económicos, tecnológicos y humanos, de esta manera ser más productivos en el mercado, aumentando su utilidad. Teniendo en cuenta lo anterior, la empresa AGRIFRESH al no utilizar herramientas aplicadas a sus procesos de planeación y asignación de recursos se está incurriendo en aumento de costo de producción, obteniendo desventaja importante frente a la competencia en el mercado.

Debido a no tener un modelo para la programación de la producción en lo corrido del año 2022 se puede ver en la gráfica 3 un incremento en las horas extras principalmente ordinarias pasando de un promedio 287 horas en el segundo trimestre del año a 447 en el cuarto (4to) trimestre del año.

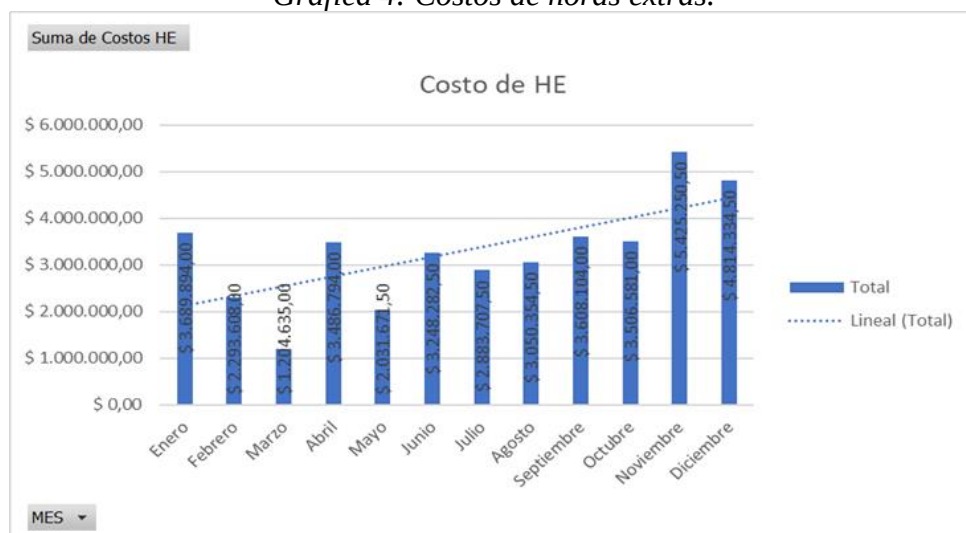
Gráfica 3: Cantidad de horas extras ordinarias, nocturnas, festivas y totales sin festivas



Fuente: Elaboración propia.

En esta misma proporción aumentaron los costos asociados a estas horas extras pasando de 1'204.000 en marzo de 2022 5'425.250 y 4'814.334 en noviembre y diciembre respectivamente, como puede observarse en la gráfica 4.

Gráfica 4: Costos de horas extras.

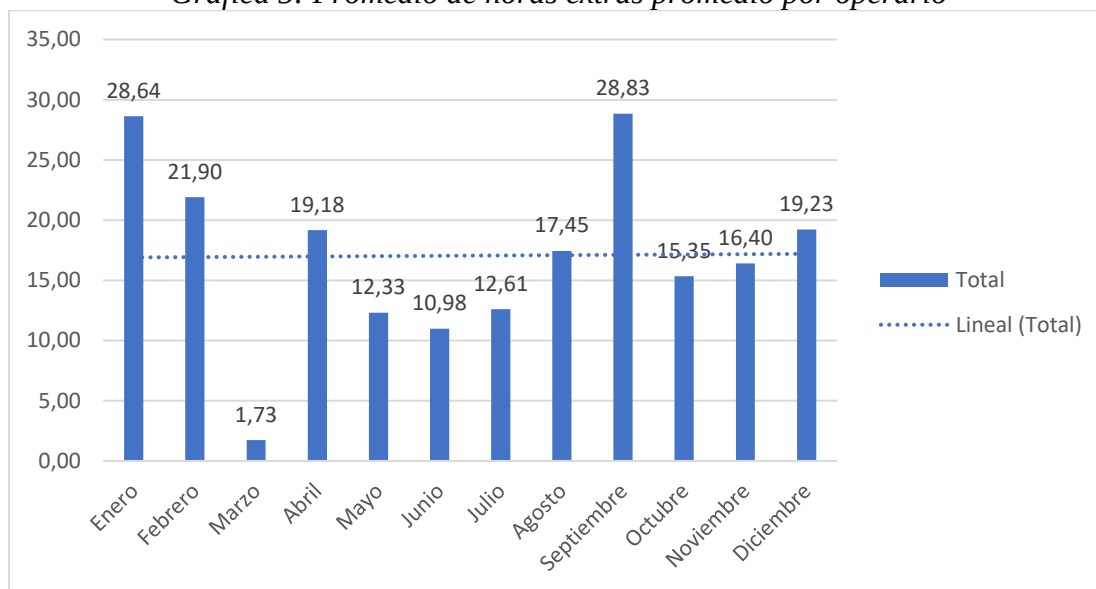


Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 5 se muestra el número de horas extras promedio por operario en el proceso, identificando que existe una correlación entre estas horas extras y la demanda de producción requerida por la planta. Por otro lado, en la tabla 1 es posible observar que estos problemas de

asignación se hacen más presentes a partir del mes de septiembre, ya que con el aumento de horas extras la solución fue contratar más personal a partir de este mes.

Gráfica 5: Promedio de horas extras promedio por operario



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1: Número de operarios por mes trabajado

Mes	Numero de Operarios
Enero	18
Febrero	20
Marzo	20
Abril	20
Mayo	20
Junio	21
Julio	22
Agosto	21
Septiembre	24
Octubre	27
Noviembre	26
Diciembre	26
Total general	22,44

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo y en relación con el número de personal que llegó a la planta, se inició a medir productividad de la mano de obra directa e indirecta y con los rendimientos promedio por producto, se realizó el cálculo de las horas requeridas y se comparó con las empleadas, teniendo como resultado lo mostrado en la tabla 2.

Tabla 2: Horas requeridas, horas empleadas e indicador de productividad de mano de obra directa.

Mes	HO Requeridas	HO Empleada	Indicador de Productividad
Septiembre	1805.52	4221.5	0.43
Octubre	1914.92	4418.00	0.43
Noviembre	2081.14	4133.5	0.50
Diciembre	2261.59	3722.00	0.61
Total General	8063.17	16495.00	0.41

Fuente: Elaboración propia.

De lo anterior se puede observar que la productividad promedio de la mano de obra ha sido de 41% teniendo su máximo en noviembre. Esto quiere decir que el rendimiento real de la selección y el empaque ha estado en un 69% por debajo de los estándares ya que lo ideal es estar cerca de 100% teniendo en cuenta que se planea la cantidad de horas hombres requeridas según la demanda y los datos de rendimiento por producto para que la diferencia con las horas hombre totales empleadas sea mínima. Por lo cual se hace necesario incrementar este indicador de productividad para de esta manera reducir los costos de mano.

1.1.3. Planteamiento

¿Cómo incrementar la productividad de la mano de obra en el proceso de selección y empaque de hierbas aromáticas de AGRIFRESH S.A. por medio de la programación de la producción teniendo en cuenta la demanda, la disponibilidad de materia prima, la gestión de inventarios, la capacidad, la secuenciación de actividades y la conformación de las células de trabajo?

1.2. Justificación

Las organizaciones con alta productividad miden y tienen bajo control sus procesos, lo que permite realizar un proceso de toma de decisiones más acertado y predecir los resultados. Contando con las herramientas adecuadas se puede hacer de un proceso que se ha desarrollado de manera empírica en un proceso analizado con herramientas cuantitativas que permiten que la toma de decisiones sea metódica y efectiva y la planeación sea más eficiente en cuanto a la asignación del trabajo, el personal y los recursos, reduciendo horas extras, reproceso, nivel de inventarios, pérdidas de producto y tiempos muertos durante la jornada laboral.

Por lo tanto, cobra importancia realizar una búsqueda dentro de la Ingeniería Industrial de las teorías, técnicas y herramientas tanto cualitativas y cuantitativas de planeación y programación de la producción que sean más asertivas y eficientes, así como de la asignación de tareas que logre incrementar los indicadores de cumplimiento de los pedidos, reduzca o distribuya mejor la carga laboral de los trabajadores y administre de mejor manera las horas extras.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Proponer un modelo para la programación de la producción en células de trabajo en el proceso de selección y empaque de hierbas aromáticas de la empresa Agrifresh S.A. con el fin de incrementar la productividad de la mano de obra.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Realizar un diagnóstico del método actual utilizado en la programación de la producción en la empresa Agrifresh S.A. para identificar las oportunidades de mejora.
- Plantear un modelo de programación lineal para facilitar la programación de la producción y la asignación del personal en el proceso de selección y empaque de Agrifresh S.A.
- Estimar los beneficios económicos y organizacionales obtenidos de la propuesta.

1.4. *Metodología*

En el presente trabajo se utilizará una metodología de investigación en donde se utilizará inicialmente el método cuantitativo, que según Bernal (2016) se basan en la medición de las características de los fenómenos; es decir que se fundamentan en establecer la relación entre las variables estudiadas de forma deductiva de tal forma que es un método que tiende a generalizar y normalizar los resultados. Lo anterior teniendo en cuenta que en la primera fase del proyecto se observará y se evaluará o medirá parámetros como los rendimientos de los operarios o trabajadores del área de selección y acondicionamiento de la empresa AGRIFRESH S.A. con la finalidad de obtener datos e información de su desempeño individual y como célula de trabajo en cantidades y cualidades obtenidas en cada una de las plantas aromáticas trabajadas en la compañía y en todas las presentaciones de estas plantas aromáticas. Esta metodología se complementará con una investigación de tipo descriptiva, que de acuerdo con Bernal (2016) pretende como su nombre lo indica describir las características o rasgos del fenómeno estudiado.

Luego se utilizara un método teórico de modelación que según Herrera (2018), es el proceso mediante el cual un observador (investigador) con intenciones (por qué y para qué) se aproxima a una realidad determinada que le interesa (concreta o conceptual) mediante prácticas indagatorias (empíricas y/o racionales) y elabora una representación de la misma (modelo) que expresa en un determinado lenguaje (natural/no formal o artificial/formal), el cual le ofrece respuestas que le interesan sobre dicha realidad. Lo anterior teniendo en cuenta que a partir de los datos obtenidos en la primera parte del proyecto se debe diseñar un modelo de programación lineal para la distribución de la producción para el proceso de selección de hierbas aromáticas de la empresa Agrifresh S.A. que reduzca los costos de mano de obra y de esta manera hacer de esta tarea tan cualitativa (teniendo en cuenta que es muy perceptiva de quien la observe ya que lo realizan persona y no máquinas y que cada individuo se comporta y rinde de manera diferente) en un proceso soportado por herramientas y técnicas cuantitativas para tomar decisiones más acertadas en la propuesta de planeación y asignación del trabajo semanal de la compañía. En la tabla 3 se define el marco teórico del proyecto de grado.

Tabla 3: Marco teórico del proyecto

Objetivos	Actividad	Metodología	Método
Desarrollar un diagnóstico de la metodología actual para la programación de la producción identificando las oportunidades de mejora.	Definir las hierbas aromáticas más vendidas en la compañía y las presentaciones que más se trabajen en el proceso de selección con la finalidad de que el método propuesto impacte los productos y presentaciones más	Revisión de datos históricos en cantidades producidas y ventas con la finalidad de utilizar estos datos en un diagrama de Pareto que arroje que cantidad, tipos y presentaciones de hierbas a tener en cuenta para la	Método Cuantitativo

Desarrollar un diagnóstico de la metodología actual para la programación de la producción identificando las oportunidades de mejora.	representativas de la empresa. Tomar datos de los rendimientos en cantidad por unidad de tiempo de cada operario en el proceso de selección de las plantas determinadas en el paso anterior y de cada presentación de estas plantas con la finalidad de realizar una estadística de cada operario como unidad y de las células de trabajo compuestas por estos operarios. Realizar un estudio financiero sencillo en donde se identifiquen los principales factores económicos de la producción actual de las plantas y presentaciones determinadas que sirvan para la toma de decisiones y brinden más información para el planteamiento del modelo de PL a utilizar	propuesta del método a trabajar. Realización de mediciones de rendimiento en Kg/hora de cada operario durante cada semana en la que se esté realizando este proyecto y se alimentara una base de datos en Excel y Power BI con estas cifras para realizar una tabla de rendimientos de operario por producto y presentación de las plantas aromáticas seleccionadas	Método Cuantitativo
Desarrollar un diagnóstico de la metodología actual para la programación de la producción identificando las oportunidades de mejora.	Determinación de variables, parámetros y restricciones para el planteamiento del modelo de PL a utilizar para dar respuesta al problema planteado en el presente trabajo.	Realización de un estudio financiero que arroje datos como lo son costos de mano de obra (horas ordinarias más horas extras discriminadas) costo de las materias primas utilizadas, precio de venta del producto, , demanda del producto y todos aquellos datos que se necesiten para la implementación del modelo de PL a utilizar. Tabulación de datos obtenidos y realización de cálculos para obtener variables, parámetros y restricciones del modelo de PL más acorde, preciso, desarrollable y aplicable para el problema objeto de este trabajo y que dé solución al mismo teniendo en cuenta la variable de estudio.	Método Cuantitativo y Descriptivo
Establecer los parámetros, variables y restricciones a considerar para el diseño del modelo de la programación de la producción y la asignación de tareas en el proceso de selección de Agrifresh S.A.	Realizar las pruebas del modelo de PL determinado ya sea mediante simulación o puesta en práctica si los tiempos y la empresa lo permite para la obtención de resultados y conclusiones.	Realizar pruebas del modelo de PL según los datos y variables obtenidos anteriormente para dar una propuesta a la solución del problema determinado y obtener conclusiones de este.	Método teórico de modelación
Establecer los parámetros, variables y restricciones a considerar para el diseño del modelo de la programación de la producción y la asignación de tareas en			Método teórico de modelación

el proceso de selección de Agrifresh S.A.		
Estimar los costos y beneficios obtenidos de la propuesta.	Tomar los resultados del paso anterior y estimar costos y beneficios del método sugerido.	Realizar un comparativo de tiempos, cantidades y costos entre el escenario actual y el escenario propuesto
		Método teórico de modelación

Fuente: Elaboración propia.

1.5. Alcances y resultados

El presente trabajo por desarrollar tiene los siguientes alcances de tipo geográfico, cronológico y metodológico.

1.5.1. Alcance Geográfico

El proyecto “Modelo de Programación de la Producción en Células de Trabajo en el Proceso de Selección y Empaque de Hierbas Aromáticas de la Empresa AGRIFRESH S.A.” se desarrollará únicamente para los productos producidos en la empresa AGRIFRESH S.A. con destino de exportación en las presentaciones de empaque que el diagrama de Pareto priorice por volumen, según lo descrito en el primer punto de la metodología de este proyecto y con los operarios que hayan estado laborando desde la semana 32 del año 2022 en la compañía y tengan datos suficientes de rendimiento en los productos y presentaciones seleccionados, además de que sigan laborando en la empresa al acabar la fase de toma de datos.

1.5.2. Alcance cronológico

Este proyecto utilizará datos obtenidos desde la semana 32 del año 2022 (que inicia el lunes 8 de agosto del 2022) y durante un periodo de un semestre que finaliza en la semana 6 del 2023 (que termina el sábado 11 de febrero del 2023) y se desarrollara durante los dos meses siguientes a la finalización de la toma de datos que equivalen a la segunda semana del mes de abril del 2023.

1.5.3. Alcance metodológico

Teniendo en cuenta el presente alcance este proyecto tendrá como finalidad realizar el modelo de PL más acorde, preciso, desarrollable y aplicable para dar solución a la planeación y programación de trabajo en el proceso de selección de hierbas aromáticas en la empresa AGRIFRESH S.A. teniendo como variable de estudio el costo de mano de obra minimizando la generación de horas extras sin incumplir en cantidad, calidad y oportunidad con la demanda generada por sus clientes.

2. Marco de Referencia

Teniendo en cuenta que los procesos realizados son tareas netamente manuales e inherentes a las características del producto y las aptitudes personales de cada operario, lo que hace que actualmente esta asignación se haga de manera perceptiva y bajo parámetros cualitativos basados en la experiencia adquirida, se hace necesario buscar dentro de la ingeniería diversas teorías, técnicas y modelos para la programación de la producción y la asignación del trabajo, así como la secuenciación del mismo que permitan realizar dicha asignación de manera cuantitativa.

Entre ellas se encuentran la teoría de las restricciones (TOC), teoría de colas, simulación, programación lineal, método húngaro, entre otras, las cuales se pueden implementar en la empresa con el fin de mejorar y agilizar el proceso de toma de decisiones respecto a la formación de grupos de trabajo (células de trabajo), la secuencia de las operaciones, el tiempo oportuno de inicio y fin de las actividades para el cumplimiento en cantidad, calidad y oportunidad de los pedidos, a su vez reducir los costos de mano de obra representada en horas de trabajo que incluyen las horas extras.

Lo anterior se realiza dentro de un horizonte de planeación de una semana, dado que dentro del sector agroindustrial la planeación de las cosechas que determinan la disponibilidad de la materia prima se realiza semanalmente y a su vez los clientes realizan las órdenes de compra semana a semana.

2.1. Antecedentes

El artículo de Investigación “Plan de producción farmacéutica de soluciones parentales con programación lineal” Guevara (2021), presenta un plan de producción óptimo en una farmacéutica, concretamente en el área de soluciones parentales (sueros). En el modelo diseñado se identificaron las restricciones del sistema productivo para el desarrollo del modelo matemático, utilizando para ello la investigación de operaciones. La presentación del modelo matemático posibilita determinar la producción ideal de un producto acompañado con la presentación de su planeación agregada con relación a sus costos, así como permite planificar, de una manera sistémica, cada uno de los elementos que intervienen en la fabricación de los productos, logrando realizar dicho trabajo desde una perspectiva cuantitativa óptima en lugar de producir con base en la experiencia y en datos históricos. El modelo matemático diseñado para este caso de estudio logra obtener la producción óptima, mediante la utilización eficiente de los recursos empleados en el proceso. El resultado final arrojó un modelo que puede aplicarse a cualquier producto de soluciones parentales que se desee producir, además, permite la identificación de escenarios y oportunidades mediante la explotación de la restricción de la demanda, logrando, de esta manera el aprovechamiento óptimo de materiales, materia prima, mano de obra e insumos en general, la herramienta puede utilizarse en cualquier período.

Por lo anterior, el modelo matemático planteado por Guevara (2021), para este caso de estudio refleja la importancia de la investigación de operaciones aplicado en una empresa real, cuyo objetivo fundamental es proveer una herramienta de continua aplicación sin importar el tiempo en el cual es utilizado. La metodología aplicada en conjunto con la teoría de las restricciones (TOC) posibilita que el modelo sea de continua aplicación, aprovechando que la TOC es un proceso que puede aplicarse en conjunto con la metodología de la programación lineal, fundamentalmente en la generación de las restricciones del modelo.

En el trabajo de grado “Propuesta de un sistema de planeación, programación y control de la producción para una fábrica de vendas” Córdoba & González (2019), la problemática es muy similar a la que se está tratando en este proyecto teniendo en cuenta la cantidad de productos (20 en total) y presentaciones que manejan en esta fábrica y que todo el proceso de la compañía desde

que se pide la materia prima, hasta que se hace el enrollado y empackado, no tiene ninguna planeación, programación ni control de alguna de las actividades; no tienen ningún indicador que evalúe el desempeño de la fábrica, por lo tanto, no hay ninguna retroalimentación del proceso. La programación de máquinas, asignación de cargas o asignación de trabajos se realiza empíricamente por el jefe, no se realiza ningún estudio, ni tienen algún criterio propio de ingeniería para poder mantener funcionando la fábrica de la mejor manera posible. La manera en la que abordan esta problemática con tres grandes pasos como lo son la realización de un pronóstico de la demanda teniendo en cuenta los métodos de series de tiempo, y los respectivos cálculos del error, la combinación del pronóstico anterior con un modelo de reposición de inventarios de lote económico de pedido (EOQ), tanto para producto terminado, como para materia prima y en cuanto al control de la producción se proponen una serie indicadores que miden algunos desempeños y logran hacer una retroalimentación del sistema adecuada, son una guía de cómo se puede tratar la problemática objetivo de este proyecto.

En el trabajo titulado “Desarrollo de una herramienta para la programación y estimación de la ejecución del programa de producción en el área de laminados (producción) de la empresa Escobar y Martinez.” Gacha, Hernández, & Rubiano,(2020), por medio de un diagrama de árbol se hallaron las causas que de alguna forma generaban incumplimientos en el programa, tomando registros de los pedidos se realizó un Pareto donde se evidencio que la principal causa se presentaba por la deficiente estimación de la ejecución del programa para cada mes, posterior a ello se diagnosticó la madurez del proceso en las áreas relacionadas a producción, concluyendo que la deficiente estimación del programa se debía a la falta de herramientas o software que permitiera simular la ejecución del programa, de forma rápida y precisa, y no de forma manual. Luego se diseñó una herramienta para la simulación de la ejecución del programa de producción, basándose en modelos matemáticos determinísticos, para lo cual se siguió el modelo de creación compuesto por siete pasos, el resultado de la herramienta son cuatro matrices, las cuales indican un cronograma de ejecución del programa de producción, tanto de las referencias de productos a fabricar como el proceso de las materias primas, y la asignación de turnos en los puestos de trabajo en cada zona. Lo anterior es una referencia para seguir en el método de determinación y solución de la problemática tratada por este trabajo.

El artículo de investigación “Diseño de un modelo de programación lineal para la planeación de producción en un cultivo de fresa, según factores costo/beneficio y capacidades productivas en un periodo temporal definido” Sanchez & Ramírez(2017) utilizan programación lineal con el objetivo de identificar capacidades productivas respecto a las etapas de cultivo y su relación con la sostenibilidad esperada, evidenciando que el modelo a nivel teórico es funcional, permitiendo establecer un sistema de verificación de capacidades productivas, de acuerdo a parámetros de entrada para el mismo.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Historia de las técnicas de programación matemática

Machuca (1995) realiza una lista de técnicas de programación matemática que han sido aplicadas para la planeación de la producción a través de la historia hasta la publicación del libro, las cuales se presentan en la tabla 4.

Tabla 4: Técnicas de programación matemática

Autores	Año	Tipo
Holt, Modigliani, Muth y Simon	1955	Programación cuadrática

Holt, Modigliani, Muth y Simon	1955	Reglas de decisión Lineal
Bowman	1956	Programación lineal. Transporte
Manne	1958	Programación Lineal
Bowman	1963	Management Coefficient Model
Dzielinsky-Gomory	1964	Lineal y simulación
Jones	1967	Paramétrica
Shwimer	1972	Programación lineal
Lasdon-Terjung	1974	Heurístico
Goodman	1974	Programación por objetivos
Gelders-Keleindorfer	1974	Branch & Bound
Goldvin	1975	Programación lineal
Bitran-Hax	1977	Programación lineal
Candea	1977	Programación lineal
Millichamp y Love	1978	Heurístico (P.S.H)
Axsater	1979-1984	Varios modelos basados en programación matemática
Baker y Collins	1976	Programación lineal
Roundy y Otros	1988	Programación por objetivos
Lin-Moodie	1989	Programación por objetivos

Fuente: Elaboración propia a partir de Chase, Jacobs & Aquilano (2009).

2.2.2. Programación Lineal

Para Muñoz (2023) la programación lineal es una de las principales ramas de la investigación operativa los cuales se consideran todos los modelos de optimización. Los modelos PL son frecuentemente usados para abordar una gran variedad de naturaleza tanto en ingeniería como en las ciencias sociales, permitiendo beneficios y ahorros asociados a su utilización.

Para Vargas (2011) la programación lineal es fundamental en la economía y planificación de cada uno los sistemas de producción, se utiliza para asignar de la mejor manera, una serie de recursos a unas actividades que se requiera realizar.

En un Modelo PL las funciones que lo componen son las siguientes:

- Función Objetivo: El objetivo a alcanzar, teniendo en cuenta que es la función para maximizar ya sea en costos, beneficios o rendimientos
- Restricciones: Condiciones en la que al momento de optimizar uno se encuentra ya sea por escasez de recursos, baja utilidad, etc.
- Linealidad: Toda la ecuación debe ser lineales.

2.2.3. Sectores de la economía

Según Vargas (2011) la Economía está conformada por tres sectores que son:

- El sector Primario: Está constituido por la agricultura, el sector pecuario y el minero
- El sector Secundario: Se basa en la producción de bienes, o la transformación de los mismos, que pueden ser de origen vegetal, animal o mineral (llamados materias primas), los cuales, mediante un proceso industrial, dan como resultado, un producto nuevo

En estos dos sectores, sólo se producen y utilizan bienes físicos o tangibles, razón por la cual se le denominan bienes productivos. Ejemplos de estos productos están los alimentos, las bebidas, los textiles, las confecciones, el papel, los bienes metalmeccánicos, entre muchos otros.

- El sector Terciario: Se refiere a todas las actividades, que no producen mercancías o bienes tangibles, pero que son necesarias para el normal funcionamiento de la economía. Entre estas actividades está el comercio, los restaurantes, los hoteles, el transporte, los servicios financieros, las comunicaciones, los servicios de educación, los servicios profesionales, las actividades del Gobierno, entre otras. Aunque este sector se considera no productivo, porque no produce bienes

tangibles, sí contribuyen a la generación de empleo y a la formación del producto e ingresos nacionales.

La empresa AGRIFRESH S.A. se ubica en el sector secundario de la economía, dado que transforma las materias primas, que en este caso son las hierbas aromáticas, seleccionándolas y empacándolas en diferentes pesos y presentaciones.

2.2.4. *Sistemas de Producción*

Cada empresa adopta un sistema de producción para realizar sus operaciones y producir sus productos o servicios de la mejor manera posible, para así garantizar su eficiencia y eficacia. El sistema de producción es la manera por la cual la empresa ordena sus organismos y realiza sus operaciones de producción para lograr una interdependencia lógica entre las etapas del proceso productivo, desde el momento en que los materiales y las materias primas salen de la bodega hasta llegar al almacén como producto terminado.

En realidad, para que esto suceda, las entradas e insumos que vienen de los proveedores ingresan en el sistema de producción a través de la bodega de materiales y materias primas, y allí se guardan hasta su eventual utilización para la producción. La producción procesa y transforma los materiales y materias primas en productos acabados, los que son guardados en el almacén de productos terminados hasta su entrega a los clientes y consumidores. La interdependencia entre la bodega, la producción y el almacén genera una alteración en uno de ellos y produce modificaciones sobre los demás. Éstos son los tres subsistemas del sistema de producción íntimamente interrelacionados e interdependientes. Lo que significa que los tres subsistemas del sistema de producción bodega, producción y almacén deben trabajar balanceados y ajustados entre sí.

Existen tres tipos de sistemas de producción: la producción por encargo, por lotes y continua:

Sistema de producción por encargo o pedido

Según tecnología e informática (2023). Este sistema de producción utilizado por las empresas solamente produce después de haber recibido el pedido o encargo de sus productos. Sólo después del contrato o del encargo de un determinado producto es que la empresa lo produce para el cliente. En primer lugar, la empresa ofrece el producto o servicio al mercado y cuando recibe el pedido o el contrato de compra, se prepara para producir. Ahí, el plan ofrecido para la cotización del cliente (como el presupuesto preliminar o la cotización para la competencia pública o particular) pasa a ser utilizado para planear el trabajo a ser realizado con el fin de atender al cliente. Esa planeación en el trabajo generalmente implica los siguientes aspectos:

1. Relación de las materias primas necesarias: una lista o relación de los materiales y materias primas necesarias para hacer el trabajo encomendado
2. Relación de la mano de obra especializada: una relación completa del trabajo a realizar, dividido en número de horas para cada operario especializado.

Proceso de producción: un plan detallado de la secuencia cronológica, en el cual se indica cuándo cada tipo de mano de obra o de máquina deberá trabajar y cuándo cada tipo de material o materia prima deberá estar disponible para ser utilizado en el trabajo. El ejemplo más simple de producción por encargo es el del taller o de la producción unitaria. Es el sistema en cual la producción se hace por unidades o por pequeñas cantidades, cada producto a su tiempo, el cual se modifica en la medida en que el trabajo se realiza. El proceso de producción es poco estandarizado y automatizado. Los operarios usan una variedad de herramientas e instrumentos. La producción

unitaria requiere habilidades manuales de los trabajadores y de lo que se llama operación de mano de obra intensiva, esto es mucha mano de obra y actividad artesanal.

Es el caso de la producción de navíos, generadores y motores de gran tamaño, aviones, locomotoras, construcción civil e industrial, confecciones a medida, etc... La empresa solamente produce después de haber efectuado un contrato o pedido de ventas de sus productos. Es el encargo o el pedido lo que definirá cómo se deberá planear y controlar la producción.

Sistema de producción por lote

Es el sistema utilizado por empresas que producen una cantidad limitada de un tipo de producto cada vez. Esa cantidad limitada se denomina lote de producción. Cada lote de producción se calcula para atender a un determinado volumen de ventas previstos para un cierto periodo. Terminado un lote de producción, la empresa inicia inmediatamente la producción de otro lote, y así sucesivamente. Cada lote recibe una identificación, como número o código. Además, cada lote exige un plan de producción específico. Al contrario de lo que ocurre en el sistema de producción por encargo, en el cual el plan de producción se hace después de recibir el pedido o el encargo, en la producción por lotes el plan de producción se hace anticipadamente y la empresa puede aprovechar mejor sus recursos con mayor grado de libertad. En algunas industrias son procesados simultánea y paralelamente varios lotes de producción, algunos en el inicio, otros en el medio, mientras otros se concluyen. Los operarios trabajan generalmente en líneas de montaje u operan máquinas que pueden desempeñar una o más operaciones sobre el producto. Es el caso de la producción que requiere máquinas operadas por el hombre y líneas de producción o de montaje estandarizadas. El sistema de producción por lotes se utiliza por una infinidad de industrias como las textiles, cerámica, de electrodomésticos, de motores eléctricos, de juguetes, etc.

Sistema de producción continua.

El sistema de producción continua es utilizado por empresas que elaboran determinado producto que no sufre modificaciones durante un largo periodo. El ritmo de producción es acelerado y las operaciones se ejecutan sin interrupción o cambios. Como el producto es siempre el mismo a lo largo del tiempo y el proceso productivo no cambia, el sistema puede ser perfeccionado continuamente. Es el caso de las industrias fabricantes de automóviles, papel y celulosa, cemento, electrodomésticos de la línea blanca (como refrigeradores, máquinas lavadoras, secadoras, etcétera), en fin, productos que se mantienen en línea durante mucho tiempo y sin modificaciones.

La producción continua es posible cuando el número de máquinas necesarias para producir el artículo final en el límite de tiempo exigido excede el número de operaciones detalladas para la producción de cada producto. El plan de producción coloca cada proceso producido en secuencia lineal para que el material de producción se mueva de una máquina a otra continuamente y para que cuando esté finalizado se transporte al punto donde sea necesario para el montaje del producto final. El plan de producción se hace anticipadamente y puede cubrir cada ejercicio anual, explotando al máximo las posibilidades de los recursos de la empresa, para lograr condiciones ideales de eficiencia y eficacia.

2.2.5. Pronóstico de la Demanda

Según Chase, Jacobs, & Aquilano (2009) el pronóstico de la demanda es el punto de partida para la planeación de los recursos empresariales que incluyen el *marketing* y ventas, el diseño de los procesos, la evaluación de la capacidad, la distribución de planta y para la planeación de la producción, programación e inventarios. Existen diversos métodos de pronóstico con sus respectivas técnicas, las cuales las describe la Tabla 5.

Tabla 5: Técnicas de Pronóstico de la demanda

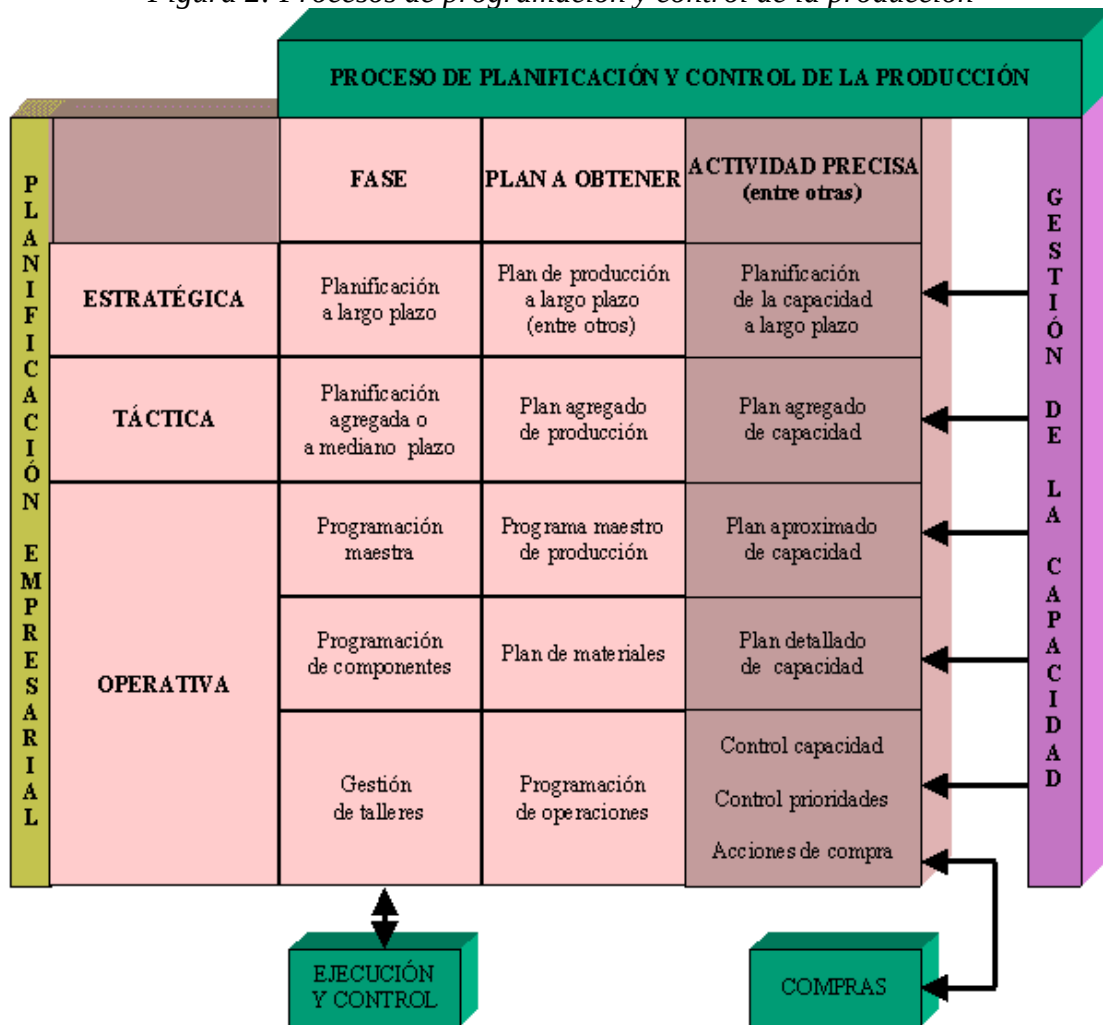
Métodos	Técnica	Descripción
Cualitativo	Técnicas acumulativas	Consiste en crear el pronóstico sumando sucesivamente desde el nivel más bajo y a su vez más cercano al cliente
	Investigación de mercados	Esta técnica pretende identificar las preferencias por ciertos productos y las características de los consumidores.
	Grupos de Consenso	Mediante reuniones grupales se llega a un consenso sobre los niveles de ventas de un producto llegando a un pronóstico más confiable.
	Analogía Histórica	Pretende pronosticar la demanda de un producto de acuerdo con los datos históricos de la demanda de un producto similar.
	Método Delphi	Se realiza un cuestionario a un grupo de expertos de los cuales se recopila los resultados para de acuerdo con ellos realizar un nuevo cuestionario que se aplica nuevamente.
Causales	Regresión Lineal simple	Es una técnica de análisis de datos que predice el valor de datos desconocidos mediante el uso de otro valor de datos relacionado y conocido.
	Modelos Econométricos	Son modelos estadísticos y matemáticos que busca relacionar diversas variables y como están inciden en la demanda.
	Modelos de Entrada/Salida	Determina la demanda de un producto de acuerdo con los cambios en las compras de otra industria o del gobierno.
	Principales Indicadores	Se basan en estadísticas o indicadores económicos que se mueven en la misma dirección de la demanda.
Series de Tiempo	Promedio Móvil Simple	Suaviza los datos históricos calculando el promedio de los últimos periodos y proyectando el último valor promedio hacia delante.
	Promedio Móvil Ponderado	Se emplea para darle mayor ponderación
	Suavización Exponencial	Donde los datos recientes tienen un mayor peso y la ponderación de los datos se reduce a medida que los datos son más antiguos.
Modelos de Simulación	Modelos de Simulación	Mediante técnicas de dinámica de sistemas se modela el sistema productivo

Fuente: Elaboración propia a partir de Chase, Jacobs, & Aquilano (2009).

2.2.6. Planeación de recursos empresariales

La planeación de los recursos empresariales (ERP) es un sistema integrado (software) con una serie de módulos funcionales en logística, finanzas, recursos humanos, ventas, producción etc. Según Souza (2021), esto permite o ayuda a que producción conozca los nuevos pedidos ingresados en el sistema, que ventas conozca el estado o avance de los pedidos de un cliente, compras por su parte conozca los materiales e insumos necesarios por producción. Por lo tanto, un ERP integra el plan maestro de producción (MPS) y el plan de requerimiento de materiales (MRP). La figura 2 muestra un esquema que sintetiza el proceso de planeación y programación de la producción, desde la parte operativa hasta la estratégica, teniendo como punto de partida una ejecución de la producción y una programación de insumos y repuestos.

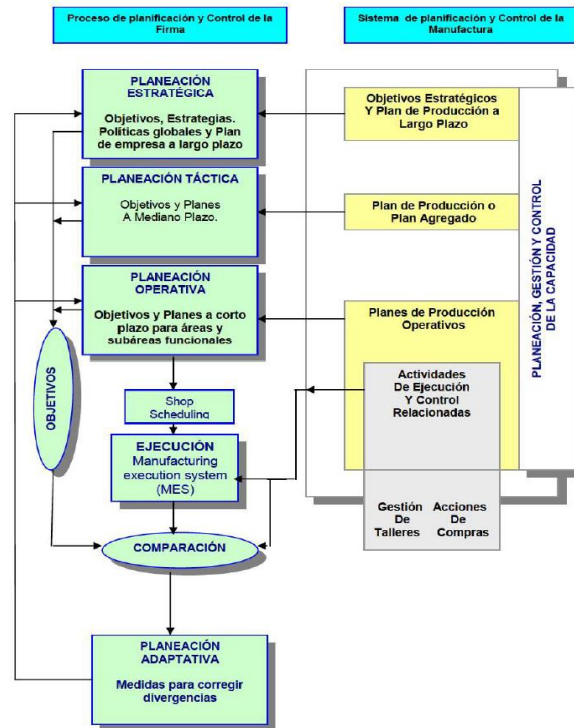
Figura 2: Procesos de programación y control de la producción



Fuente: Machuca (1995).

Con respecto de la planificación de la empresa Vs el control de la capacidad, la figura 3 Machuca (1995) indica que los objetivos van encaminados al control de la producción a partir de una planeación, comparándolo con las actividades de control de la ejecución que se tiene al momento de realizarlas.

Figura 3: Planificación de la empresa versus planificación y control de la capacidad

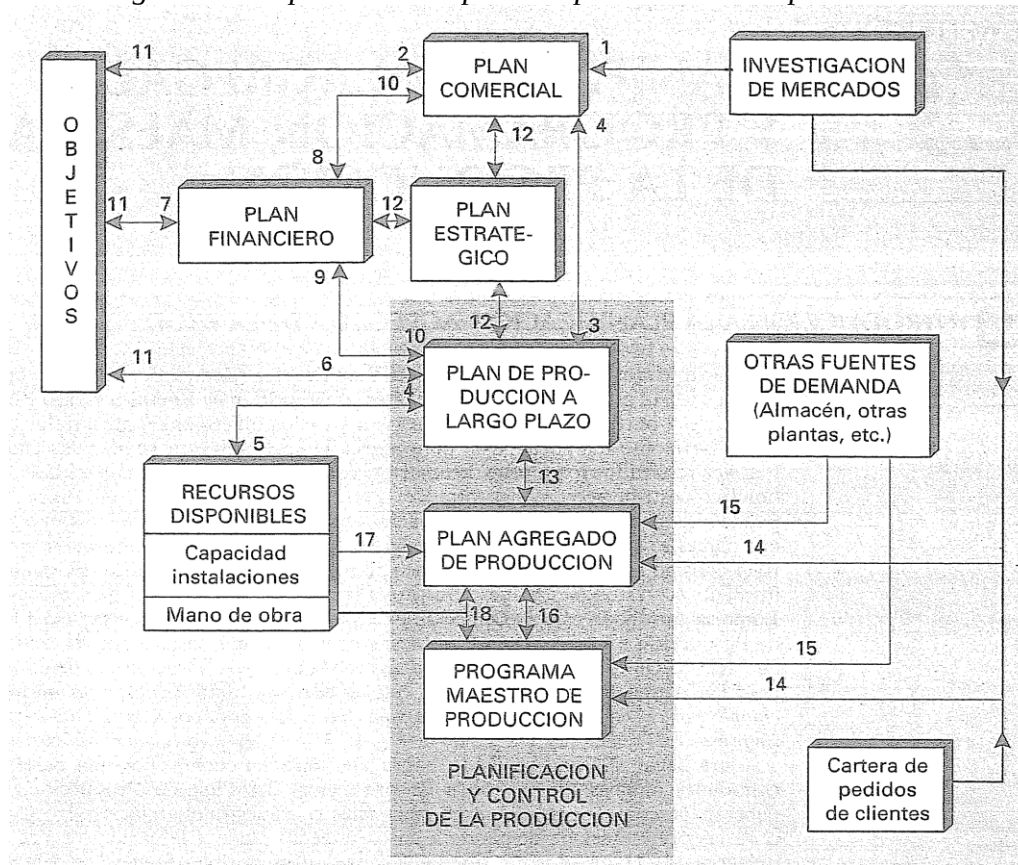


Fuente: Machuca (1995).

2.2.7. Planeación agregada de la producción

La planeación estratégica se descompone en tres planes principales: plan de Ventas, plan financiero y plan de producción, todos a largo plazo. Este último podrá modificar el plan de ventas inicialmente planteado. El plan de producción a largo plazo deberá desplegarse a un nivel táctico y desarrollar a mediano plazo a través de un Plan Maestro de Producción con el fin de concretar el Plan de la Empresa. Esto lo muestra la figura 4. Machuca (1995)

Figura 4: Del plan de la empresa al plan maestro de producción



Fuente: Machuca (1995).

2.2.8. Plan maestro de Producción

Una vez elaborado el plan agregado de producción el siguiente paso para la ejecución de la planificación y control de la producción es la elaboración del Programa maestro de producción (PMP) el cual es un plan detallado de las cantidades de producto terminado a ser producidas y en qué periodo de tiempo. Por lo tanto, las cantidades agregadas se deberá descomponer en las unidades de los ítems o referencias de producto final y a su vez se pasa del mediano plazo a detallar las cantidades a producir en periodos más cortos (semanas o incluso días). Machuca (1995).

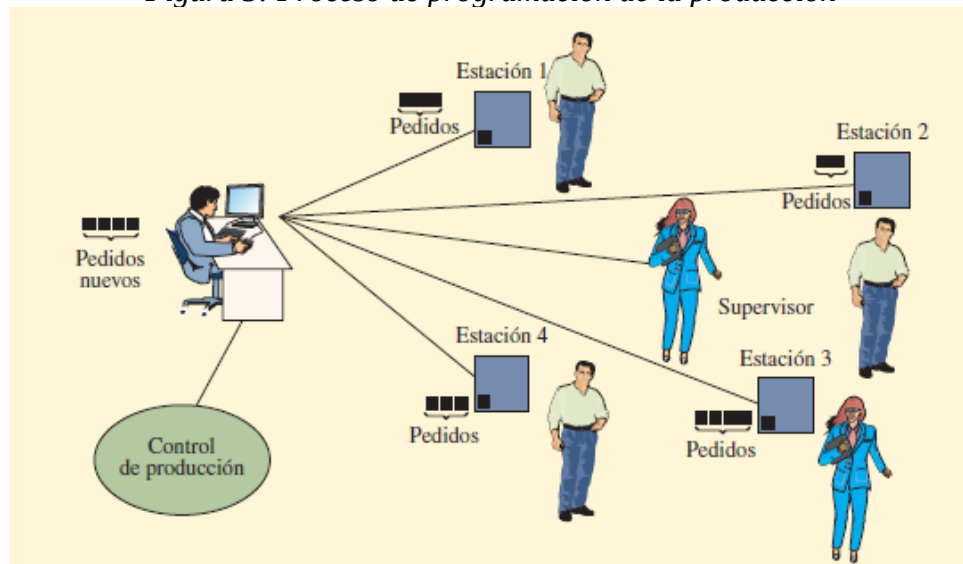
2.2.9. Programación y control de la producción

En la actualidad, según Chase, Jacobs & Aquilano (2009) la programación de las operaciones está inmerso en lo que se denomina sistema de ejecución de manufactura, el cual es encargado de programar, despachar, realizar seguimiento y controlar la producción de la planta de producción. Este sistema debe cumplir las siguientes funciones:

- Asignación de pedidos, equipos y personal a centros de trabajo (planeación de la capacidad a corto plazo)
- Establecer la secuencia de las ordenes de producción
- Inicio de las actividades
- Controlar el taller lo que implica conocer el status de los pedidos u órdenes de compra

La figura 5, describe el proceso de control de producción estándar para una compañía.

Figura 5: Proceso de programación de la producción



Fuente: Chase, Jacob & Aquilano (2009).

Por otro lado, Chase, Jacobs, & Aquilano (2018) también definen una serie de reglas de priorización para el orden o secuencia de los trabajos u órdenes de producción:

- FCFS (*first-come, first-served*, primero en entrar, primero en trabajarse) Los pedidos se ejecutan en el orden en que llegan al departamento de producción.
- SOT (*shortest operating time*, tiempo de operación más breve) o SPT (*shortest processing time*, tiempo de procesamiento más breve). En este los trabajos con tiempo de proceso más corto se ejecutan primero, luego el siguiente más corto, y se repite hasta completar los pedidos. Sin embargo, para evitar que los trabajos con tiempos de proceso más prolongados se retrasen demasiado, esta regla se combina con una regla de retardo.
- EDD (*earliest due date first*, primero el plazo más próximo) Se ejecuta primero el trabajo con fecha de vencimiento próxima.
- STR (*slack time remaining*, tiempo ocioso restante) Se calcula como el tiempo que queda antes de que se venza el plazo menos el tiempo restante de procesamiento. Los pedidos con menor tiempo ocioso restante (STR) se ejecutan primero.
- CR (proporción crítica) Se calcula como la diferencia entre la fecha de vencimiento y la fecha actual, dividida entre el número de días hábiles que quedan. Se ejecutan primero los pedidos con la menor CR.
- LCFS (*last-come, first-served*, último en llegar, primero en trabajarse). Esta regla se aplica a menudo automáticamente. Cuando llegan los pedidos, de ordinario se colocan arriba de la pila; el operador toma primero el que esté más alto.
- Orden aleatorio o a capricho. Los supervisores u operadores escogen el trabajo que quieran ejecutar.

2.2.10. Sistema de manufactura celular

Un sistema de manufactura celular es cuando la producción está orientada en torno a una célula o grupo de manufactura o ensamble. Esta célula de manufactura ensambla una familia de partes o productos que tiene procesos similares Socconini (2019). Para el caso de aplicación a las hierbas

aromáticas se procesan en mesas compuestas por dos (2) y hasta cuatro (4) operarios las cuales pasan por el mismo proceso de selección y empaque, y el mismo producto (especie) es empacado en diversas presentaciones.

2.2.11. Investigación de operaciones y Programación línea

Una de las herramientas principales de la investigación de operaciones es el modelado matemático, que, aunque establecen la base para la toma de decisiones es necesario considerar factores intangibles y no cuantificables. Estos modelos contienen tres elementos: alternativas de decisión, restricciones y el criterio objetivo para evaluar dichas alternativas, esto lo dice Taha (2012).

“La programación lineal se aplica a modelos de optimización en los que las funciones objetivo y restricción son estrictamente lineales. La técnica se aplica en una amplia variedad de casos, en los campos de agricultura, industria, transporte, economía, salud, ciencias sociales y de la conducta, y militar” Taha (2012).

De acuerdo con Ruiz (2021) y Taha (2012) un modelo de programación lineal se puede emplear bajo las siguientes condiciones:

- Recursos limitados o restricciones: como la mano de obra, maquinaria, equipos, materia prima, recursos financieros, etc.
- Objetivos específicos o función objetivo: maximizar las utilidades o minimizar el costo
- Variables de decisión que se tratan de establecer
- Proporcionalidad: contribución de cada variable contenida en la función objetivo y las restricciones deben ser proporcionales al valor de la variable
- Aditividad: Las magnitudes físicas deben tener las mismas dimensiones.

Función Objetivo

La función objetivo se puede plantear de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} &\text{Ecuación 1: Ecuación Función Objetivo} \\ &\text{Minimizar (Maximizar) } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \\ &\text{o } Z = \sum C_iX_i \end{aligned}$$

Dónde:

Z: Función Objetivo

C: La contribución de la variable a la función objetivo

Restricciones:

Las restricciones están dadas de la siguiente manera:

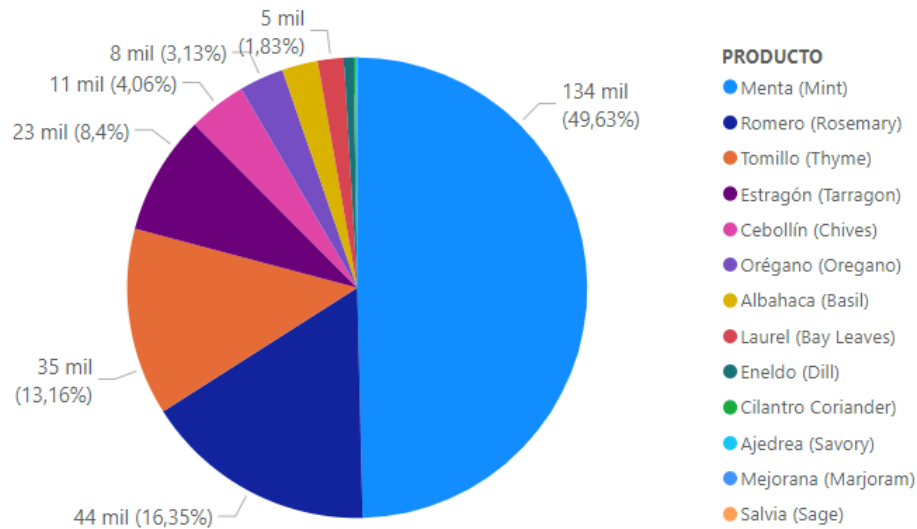
$$\begin{aligned} &\text{Ecuación 2: Función de restricciones} \\ &A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{1n}X_n (\leq = \geq) B_1 \\ &A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + \dots + A_{2n}X_n (\leq = \geq) B_2 \\ &A_{m1}X_1 + A_{m2}X_2 + \dots + A_{mn}X_n (\leq = \geq) B_m \\ &X_1, X_2, \dots, X_n \geq 0 \end{aligned}$$

3. Diagnóstico de la empresa

3.1.Generalidades del Proceso

Para iniciar a relacionar los tipos de hierbas que se van a usar en el proyecto, se muestra la cantidad en kilogramos y en porcentaje de los productos o materias primas procesadas del segundo semestre de 2022, en donde se observa que los cinco productos que representan el mayor volumen son la Producto B (49,63%), producto C (16,35%), producto A (13,16%), producto F (8,4%) y el producto G (4,06%), según lo indica la gráfica 6.

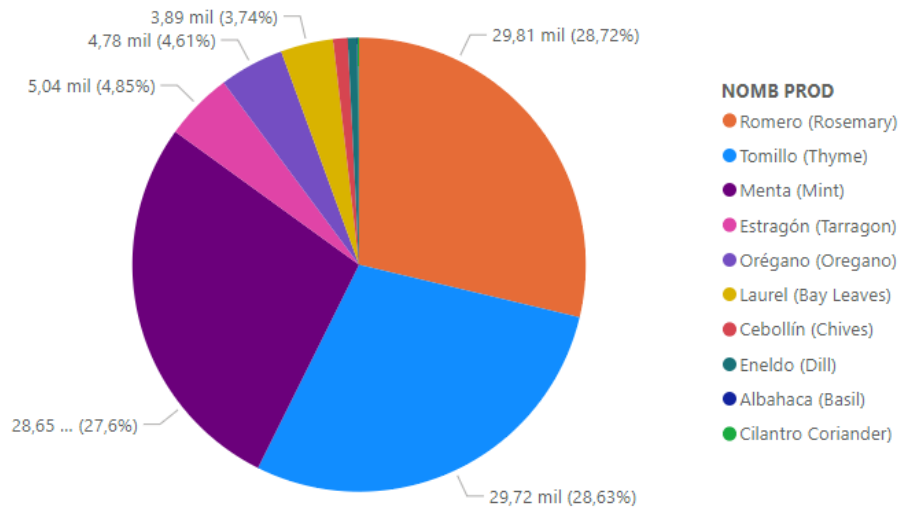
Gráfica 6: Distribución Productos AGRIFRESG SA



Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, mucho del producto ya viene empacado y procesado, listo para ser embalado y despachado, por lo tanto, es necesario analizar los volúmenes de cada producto que pasan por la sala de proceso y por las mesas de selección y empaque.

Gráfica 7: Productos que no pasan por la sala de proceso



Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 7 se puede observar que los productos que pasan por el proceso de selección y empaque en la planta de Agrifresh S.A. son: producto C (29,81%), producto A (28,63%), producto B (27,6%), producto F (4,86%) y producto D (4,61%) los cuales suman un total de 90,9%. Estos productos serán la variable de estudio para poder realizar el modelo pertinente.

Por otro lado, cada uno de esos productos puede ser empacados en diferentes pesos y a su vez estos empaques pueden tener diversas presentaciones, lo cual hace referencia a si va suelto (Loose) dentro del empaque o dividido en pequeños ramos o bonches que están sujetos con un caucho. A continuación, en la tabla 6, se puede ver esta combinación de empaques.

Tabla 6: Combinación de empaques

Empaque	Presentación	Unidad en Presentación
4Oz	Loose	N/A
8Oz	Loose	N/A
16Oz	3/4	Oz
16Oz	8/9	Oz
16Oz	1	Oz
16Oz	1-1/3	Oz
16Oz	Loose	N/A
18Oz	3/4	Oz
20Oz	1 2/3	Oz
20Oz	2 1/2	Oz
24Oz	2	Oz
32Oz	2 2/3	Oz
500gr	42	Gr
500gr	Loose	N/A
1000gr	84	Gr
1000gr	Loose	N/A

Fuente: Elaboración propia.

Para los clientes en Estados Unidos, en la mayoría de los casos la cantidad en peso de empaques y presentaciones se maneja en onzas, para los clientes en Canadá se manejan en gramos. Por lo cual, en las tablas 7 y 8 se presenta a continuación sus equivalencias, considerando el exceso con el cual se deja el peso del empaque o la presentación para compensar la merma por deshidratación que tiene el producto durante su transporte al destino.

Tabla 7: Empaque en Onzas Vs gramos

Empaque en OZ	Empaque en gr
4	115
8	230
16	460
18	518
20	575
24	690
32	920

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: *Empaque en Onzas y equivalencia en gramos*

Empaque en Oz	Empaque en gr
3/4	22
1	29
1-1/3	38
1-2/3	48
2	58
2-1/2	72
2-2/3	76

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Estudio de tiempos

En el momento del inicio del estudio no se contaba con información, ni bases de datos, ni se estaban midiendo los rendimientos de los operarios y por tanto de los tiempos tipo o estándar en ninguna de las referencias de productos. Por lo cual se definió como prioritario la determinación de los estándares de producción para cada referencia de producto si se quería realizar cualquier proceso de planificación y programación de la producción.

Para lo anterior se desarrolló una aplicación en VBA que permite registrar los rendimientos de cada uno de los operarios ubicados en cada una de las células de trabajo

Figura 6: Interfaz Gráfica de aplicación de Registro de Rendimientos

Agri fresh

REGISTRO DE RENDIMIENTOS [IR A MENU](#)

¿QUÉ MESA QUIERES REGISTRAR? 🤔

1 2 3 4 5 6

MESA No. 5

CODIGO	4			CODIGO	2
NOMBRE	YONELDA BENITEZ			NOMBRE	ANA MARIA PULIDO

CODIGO	14			CODIGO	
NOMBRE	GABRIELA MONTOYA			NOMBRE	

ENTRADA	TRAZ. PRODUCTO	3401081	
	CLIENTE	JC	
	EMPAQUE	500gr	
	PRESENTACIÓN	42	
	HORA INICIO	03	20 p. m.
	HORA FINAL	04	30 a. m.
	CANTIDAD	39	

Almuerzo

Refrigerio

Turno

No. O

[INICIO](#)

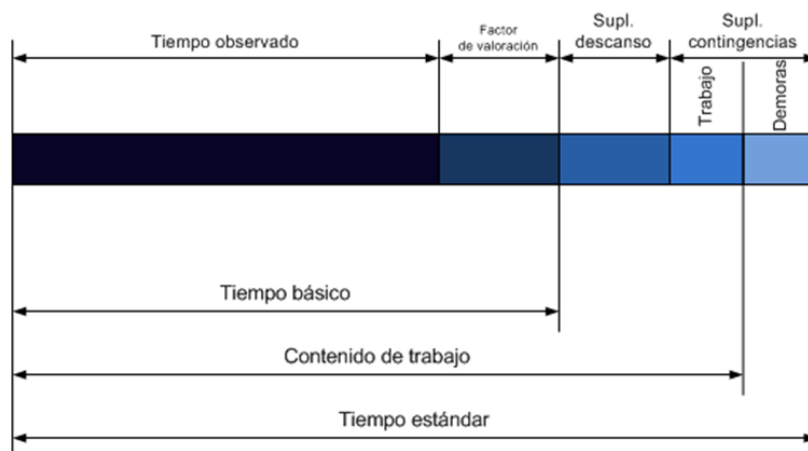
Fuente: Elaboración propia.

En esta aplicación se registra la fecha, se selecciona la mesa de trabajo, luego se colocan los códigos de los operarios luego la trazabilidad del producto, con la trazabilidad se determina el producto la finca de origen, la semana y el día de entrada del producto, así mismo se registra el empaque y presentación del producto y finalmente el rango de tiempo en el que se realizó la tarea (Duración) y la cantidad de bolsas empacadas. Esto se almacena en una base de datos, donde se realizan los respectivos cálculos de los kilogramos por hora y por operario.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Kg}}{h * \text{operario}} = \text{No. Bolsas} * \frac{\text{Equivalencia en Kg}}{\text{Duración en horas}} * \frac{1}{\text{No Operarios}}$$

En la figura 7, se puede observar la composición del tiempo estándar, donde a un tiempo de trabajo total se resta las suplencias de contingencias, las suplencias de descansos y un factor de valoración da como resultado el tiempo observado o también tiempo neto de trabajo.

Figura 7: Composición de tiempo estándar



Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, de esta recolección digital de datos se determinan los tiempos básicos, tipo o normal al cual hay que agregarle los tiempos suplementarios para determinar los tiempos estándar. Del ANEXO X. Tiempos suplementarios se determinan los porcentajes del tiempo básico que aplican para el proceso de selección y empaque de Agrifresh S.A. y que aplican a las mujeres dado que todas las personas en este proceso son mujeres.

Tabla 9: Tiempos suplementarios que aplican al proceso de Selección y Empaque de Agrifresh S.A.

Suplemento	%Tiempo suplementario
Suplemento por necesidades básicas	7
Suplemento base por fatiga	4
Suplemento por trabajar de pie	4
Suplemento por trabajo bastante monótono	1
TOTAL	16

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo suplementario será el 16% del tiempo básico y el tiempo estándar será el producto del tiempo básico y uno más el porcentaje del tiempo suplementario, como indica la siguiente formula:

Ecuación 4: Formula del tiempo estándar

$$\text{Tiempo Estandar} = \text{Tiempo basico} * (1 + \%\text{tiempo suplementario})$$

El resumen de los datos recolectados de acuerdo al estado de entrada (empacado, granel y seleccionado) de cada uno de los productos en su respectivo empaque y presentación (Referencia de producto).

3.3. Estado inicial de la planeación, programación y control de la producción

Inicialmente se aplicó un formulario para diagnosticar el estado actual de la empresa respecto a los procesos de planificación, programación y control de la producción evaluando aspectos como el

pronóstico de la demanda, el análisis de capacidad, programación de la producción y secuenciación de las actividades. Esto se puede evidenciar en la Tabla 10.

Tabla 10: Diagnóstico de planeación de programación y control de la producción

DIAGNOSTICO PLANEACIÓN PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN					
No.	ASPECTOS	SI	PARCIAL	NO	N.A.
1	PRONOSTICO DE LA DEMANDA				
1.1.	Posee información histórica de la demanda de los clientes	X			Se cuenta con la información sin embargo no esta estructurada en forma de Bases de datos
1.2.	Se realiza un análisis de dicha información			X	
1.3.	Se conocen cuales son los productos mas demandados	X			Empíricamente se conocen los productos mas demandados
1.4.	Se realiza un pronostico de la demanda de cada uno de los productos por cada uno de los clientes			X	
2	ANALISIS DE CAPACIDAD				
2.1.	Conoce la capacidad Disponible de la planta			X	
2.2.	Conoce la capacidad máxima de la planta			X	
2.3.	Conoce la utilización de la planta			X	
2.3.	Conoce la eficiencia del proceso			X	
2.5.	Conoce los tiempos estándar de producción de los diferentes productos			X	
2.6.	Se utilizan los tiempos estándar de producción para determinar la capacidad necesaria			X	
2.7.	Las contrataciones y despidos se basan en el análisis de capacidad			X	
2.8.	La programación de horas extras se basan en el análisis de capacidad			X	
2.9.	La subcontratación se basa en análisis de capacidad			X	
2.10.	La variación del volumen de inventario se basa en un análisis de capacidad			X	No es viable en la empresa ya que son productos perecederos
3	PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN				
3.1.	Se cuenta con un programa maestro de la producción			X	
3.2.	El programa de producción tiene en consideración el análisis de la capacidad			X	
3.3.	El programa de producción es comunicado y actualizado oportunamente	X			
3.4.	El programa de producción obtiene un plan aproximado de la Capacidad y permite establecer su viabilidad			X	
3.5.	Se tiene una metodología para definir la secuencia de las actividades			X	
3.6.	Se genera un plan de requerimiento de materiales (MRP) a partir de un programa Maestro de Producción			X	
3.7.	Existe algún método de reprogramación de en el MRP (Actualización)	X			
3.7.	Existe un ERP en la empresa que realice la planificación, programación y control de la producción así como el plan de requerido de materiales.			X	
RESULTADOS		0	4	17	1
		0%	18%	77%	5%
		22			
		100%			

Fuente: Elaboración propia.

De este formulario se evidenció un nulo cumplimiento en los aspectos que respecta a la planeación, programación y control de la producción, apenas un cumplimiento parcial del 18% y un incumplimiento del 77%.

Respecto al pronóstico de la demanda, se cuenta con la información histórica de la demanda de los clientes sin embargo esta información no está estructurada en forma de base de datos y adicionalmente no es analizada con el fin de determinar su estadística descriptiva e inferencial, así como la estacionalidad y la ciclicidad de la demanda, lo anterior como base para la planeación de la producción.

En cuanto al análisis de la capacidad, no se conoce la capacidad disponible, la capacidad máxima, la utilización ni la eficiencia de la planta así mismo no se conocen los rendimientos o

tiempos estándar por producto, por lo tanto, no se calcula la capacidad necesaria y los procesos de contratación y despidos, programación de horas extras y la subcontratación se realiza de manera intuitiva.

Dado lo anterior, no se cuenta con un programa maestro de producción y este no considera el análisis de la capacidad, por consiguiente, no se genera un plan aproximado de la capacidad para evaluar la viabilidad del programa de producción. Por otro lado, no se tiene un método, ni unas políticas de producción para definir la secuencia de actividades y tareas y en dicha secuencia no se trabaja sobre familia de productos. Adicionalmente el programa de producción no está relacionado a un plan de requerimiento de materiales (MRP) por lo que es común que no se cuente con los materiales para desarrollar el programa de producción o se tenga que realizar cambios en las especificaciones del producto.

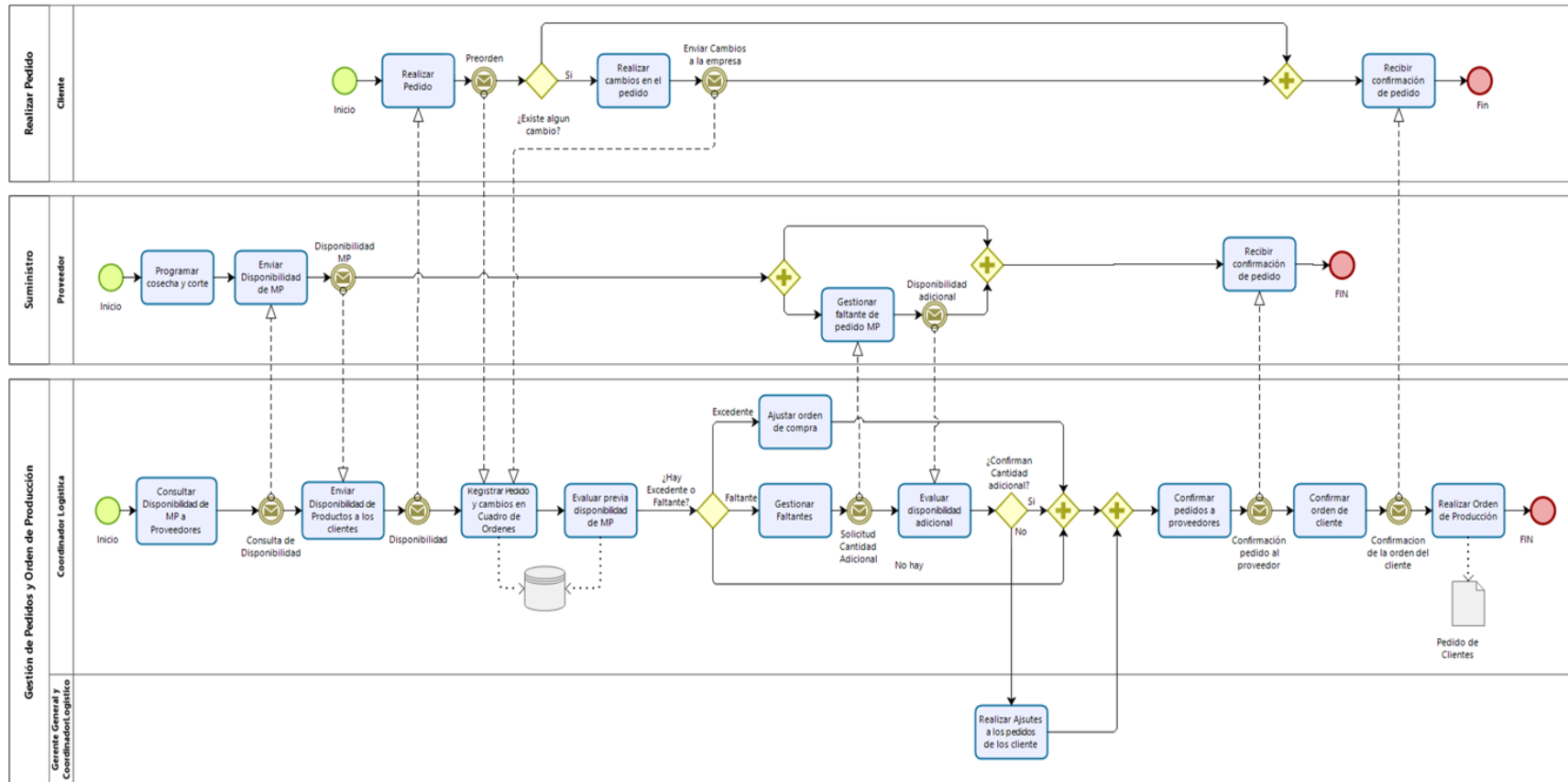
Finalmente, y para concluir sobre los resultados de este formulario diagnóstico, la empresa no cuenta con un sistema ERP que permita realizar la planeación, programación y control de la producción, así como planificar los requerimientos de materiales necesarios para la producción.

Posterior al formulario diagnóstico se desarrolló el diagrama de flujo del proceso de gestión de los pedidos y de las ordenes de producción actual.

De este diagrama de flujo se detectó que para realizar las ordenes de producción y por tanto iniciar el proceso de producción tenían que surtirse todas las actividades anteriores, desde la evaluación de la disponibilidad de materias primas hasta la confirmación por parte de los proveedores, así como de la confirmación de los pedidos por parte de los clientes. Con lo cual en campo se observó que generalmente en las primeras tres (3) horas de trabajo (de un total de 7,5 horas de trabajo diarias totales) no se realizaban actividades propias al empaque, ni se trabajaba en los pedidos hasta tanto no se tuviera la orden de producción.

Lo anterior provocaba que todo el trabajo se acumulara para las horas de la tarde y finalmente se tuvieran que programarse horas extras, no se cumpliera con los pedidos de los clientes o el proceso de selección no se realizara de manera rigurosa y por tanto se redujera la calidad los productos y aumentarían los reclamos de los clientes.

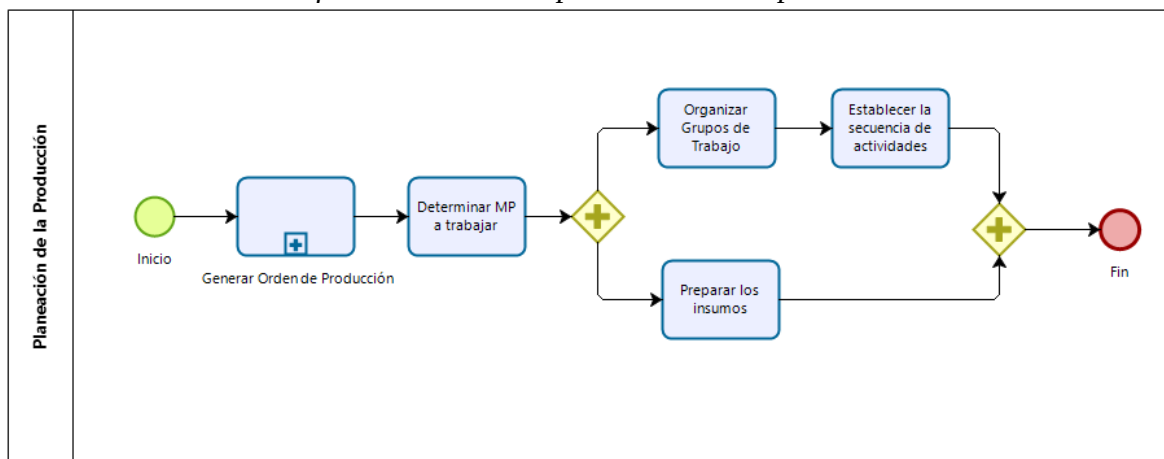
Gráfica 8: Flujo de Proceso, Agrifres SAS



Fuente: Elaboración propia.

Abordando el proceso de planeación de la producción se observó que no era un proceso muy complejo, simplemente se recibían las ordenes de producción, se determinaba las materias primas a trabajar, se organizaban los grupos de trabajo y se definían las secuencias de trabajo, todo a criterio del jefe de bodega en un proceso intuitivo. Como se representa en el diagrama de flujo.

Gráfica 9: Proceso de planeación de la producción



Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 9, no se evidencia ningún proceso de análisis de la capacidad, ningún criterio para la definición de la secuencia de actividades, ni que se tengan en cuenta los tiempos estándar para cada producto con el fin de realizar el control de la producción y el seguimiento al procesamiento de los pedidos, su avance y su tiempo estimado producción.

3.4. Estimación de los tiempos estándar

Como ya se describió en el numeral 3.2. Estudio de Tiempos como primera medida para poder realizar la planeación, programación y control de la producción era necesario realizar las estimaciones de los tiempos estándar por producto, por empaque y por presentación, es decir, por referencia de producto. Una vez se va trabajando cada referencia de producto se va teniendo un registro histórico que incluye las referencias nuevas de producto, con lo cual se determina el tiempo estándar. Esta estimación permitió empezar a realizar el análisis de la capacidad.

3.5. Análisis de la Capacidad

El análisis de capacidad permite determinar si se cuenta con el número de personas o las horas hombres necesarias para cumplir con las cantidades solicitadas por los clientes de cada referencia de producto. Para ello y al no contar con un ERP y específicamente de un módulo de producción se desarrolló un archivo Excel “Programación de la Producción” al cual se ingresan los pedidos con la siguiente información:

- Fecha de despacho.
- Fecha y día de proceso.
- Cliente.

- Especie o producto.
- Empaque.
- Presentación.
- Cantidad Ordenada.
- Cantidad Pedida.
- Número de Piezas (Cantidad en su unidad de Embalaje).

Este archivo tiene un vínculo a través de una tabla dinámica con la Aplicación de VBA de rendimientos y con la información suministrada anteriormente mencionada, este calcula los kilogramos a procesar y su vez las horas hombre necesarias para cada referencia de producto de cada cliente. Con las horas hombre necesarias se convierte a Número de personas dividiendo esta cantidad en el Número de horas por jornada de trabajo que pueden ir de 8 a 10 horas. A este número de horas por jornada se le descuentan los tiempos de pausas activas (dos de 5 minutos) y dos descansos (15 minutos de trabajo) que son reconocidos por la empresa dentro de su jornada laboral.

Ecuación 5: Cálculo de la capacidad de Selección y Empaque en Agrifresh SAS

$$\text{Numero de Personas} = \frac{\text{Horas hombre necesarias}}{\text{Horas por Jornada de Trabajo}}$$

Seguido a esto, se consolida la información, y para una cantidad determinada de un producto en un empaque y presentación específico se estima cuanto tiempo tardaría en procesarse esa cantidad si lo realizara una, dos, tres y hasta ocho personas, esto último es muy útil pues sirve para establecer los grupos de trabajo y la cantidad de unidades de trabajo (mesas de trabajo) asignar para una actividad y de esta manera asignar la secuencia de actividades. Por otro lado, el cuadro totaliza el número de personas que se requieren si la jornada es de 8, 9 (1 hora extra) o 10 horas (2 horas extras), con lo cual se establece si será necesario programar al personal horas extras o su horario ordinario. Tanto para el tiempo de acuerdo con el número de personas asignadas y el número de personas que se emplearía en una jornada completa o con horas extras adicionales hay un subtotal para cada especie de producto (familia de productos) con sus diferentes empaques y presentaciones o referencia de producto.

Con lo anterior se logran dos objetivos, primero dar solución al hallazgo No.19 de la evaluación de productividad, es decir, “programación deficiente”, al no agrupar en familias de productos y realizar muchos cambios de producto que generan tiempos inactivos de los operarios y en segundo lugar dar solución al hallazgo No 32. “Horas extras no controladas”, dado que se programan únicamente horas extras cuando es requerido. Esto se puede observar en la tabla 15:

Tabla 11: Estimación de tiempos de procesamiento de un Pedido y Numero de Personas Necesarias.

Etiquetas de fila	Suma de Cantidad	Suma de Cantidad Bolsas	Suma de Piezas	1P	2P	3P	4P	5P	6P	7P	8P	No Per	NoP 1HE	NoP 2H
Estragón (Tarragon)	832	412	46	6.32	3.16	2.11	1.58	1.26	1.05	0.90	0.79	0.90	0.79	0.70
Menta (Mint)	4386	956	318	24.55	12.27	8.18	6.14	4.91	4.09	3.51	3.07	3.51	3.07	2.73
Orégano (Oregano)	364	364	26	7.45	3.72	2.48	1.86	1.49	1.24	1.06	0.93	1.06	0.93	0.83
Romero (Rosemary)	1246	1102	79	32.67	16.34	10.89	8.17	6.53	5.45	4.67	4.08	4.67	4.08	3.63
1000 gr Loose	105	105	7	3.02	1.51	1.01	0.75	0.60	0.50	0.43	0.38	0.43	0.38	0.34
16 oz 1 1/3	96	96	6	3.51	1.75	1.17	0.88	0.70	0.58	0.50	0.44	0.50	0.44	0.39
16 oz Loose	582	438	43	6.29	3.14	2.10	1.57	1.26	1.05	0.90	0.79	0.90	0.79	0.70
20 oz 1 2/3	208	208	16	10.78	5.39	3.59	2.69	2.16	1.80	1.54	1.35	1.54	1.35	1.20
4 oz Loose	216	216	4	2.33	1.17	0.78	0.58	0.47	0.39	0.33	0.29	0.33	0.29	0.26
18 oz 3/4	39	39	3	6.76	3.38	2.25	1.69	1.35	1.13	0.97	0.84	0.97	0.84	0.75
Tomillo (Thyme)	2621	2411	170	56.20	28.10	18.73	14.05	11.24	9.37	8.03	7.03	8.03	7.03	6.24
16 oz 1 1/3	240	240	16	10.13	5.06	3.38	2.53	2.03	1.69	1.45	1.27	1.45	1.27	1.13
16 oz Loose	1725	1515	115	22.44	11.22	7.48	5.61	4.49	3.74	3.21	2.81	3.21	2.81	2.49
4 oz Loose	360	360	7	3.72	1.86	1.24	0.93	0.74	0.62	0.53	0.46	0.53	0.46	0.41
1000 gr 84	70	70	10	3.75	1.87	1.25	0.94	0.75	0.62	0.54	0.47	0.54	0.47	0.42
18 oz 3/4	26	26	2	2.88	1.44	0.96	0.72	0.58	0.48	0.41	0.36	0.41	0.36	0.32
24 oz 2	200	200	20	13.29	6.65	4.43	3.32	2.66	2.22	1.90	1.66	1.90	1.66	1.48
Cebollín (Chives)	420	75	29	1.06	0.53	0.35	0.26	0.21	0.18	0.15	0.13	0.15	0.13	0.12
Mejorana (Marjoram)	28	28	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cilantro (Coriander)	1011	1011	54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total general	10908	6359	724	128.24	64.12	42.75	32.06	25.65	21.37	18.32	16.03	18.32	16.03	14.25

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Políticas de Producción

A continuación, se exponen las políticas implementadas en orden jerárquico y para definir la secuencia de actividades en la planta.

3.6.1. *Producir con el primero en entrar*

Se produce con la materia prima primero en entrar cumpliendo con el sistema PEPS (primeros en entrar primeros en salir), con el fin de evitar las pérdidas de las materias primas, la calidad e inocuidad del producto final. Esto dado por las características del producto ya que es perecedero y lo importante es no dejar inventario en el almacén ya que hay una alta probabilidad de perder la Materia Prima.

3.6.2. *Producir por familia de Productos*

Se toma en cuenta esta política ya que, al trabajar por grupos de familia, seguido por empaque y por último la presentación de cada uno de las hierbas aromáticas se trata de reducir tiempos de alistamiento en cambios de insumos para realizar la actividad.

Es por esto que, para dar cumplimiento a esta política y lograr producir por familias de “Programación de la Producción” se presenta visualmente agrupado por familias de productos, empaques y presentaciones, para que a la hora de ejecutar el programa de producción o las ordenes de producción se realice de esta manera.

Adicional a esto, también dentro de las familias de productos a procesar, se producen los pedidos con plazos o tiempos de despacho más próximos con el fin de evitar retrasos de la logística y tiempos de entrega.

3.7. Hallazgos

Uno de los principales hallazgos que se encontraron es que la empresa no contaba con herramientas para medir su desempeño e indicadores que permitirán la gestión de la producción, no se realizaba la medición de los rendimientos de los operarios en cada uno de los productos, ni los rendimientos de los productos ni las perdidas por mantener el inventario. En segundo lugar y como resultado del primero no se realizaba un análisis de la capacidad de la planta para conocer si se tenía o no la capacidad para responder a la demanda, también imposibilita realizar la planeación de la producción, la programación de horas extras, la contratación y los despidos medidas muy importantes para gestionar la producción así mismo tomar las medidas para que estas medidas se incrementaran.

En tercer lugar, se encontró que el flujo de información concerniente a los pedidos (clientes, cantidades, empaques y presentaciones) tomaba mucho tiempo para llegar al área de producción, lo cual generaba tiempos muertos, producir productos que no correspondían a los pedidos, o en cantidades erróneas. Además, las actualizaciones y cambios en los pedidos no eran oportunas. Por tanto, no había un Plan de producción que se comunicara oportunamente y permitiera su ejecución de manera organizada.

Por último se halló no existían unas políticas de producción definidas que orientaran y dieran las directrices al director de producción y a los líderes de proceso la secuencia de actividades del área de producción.

4. DESARROLLO DEL MODELO

4.1. Procedimiento de planeación y programación de la Producción

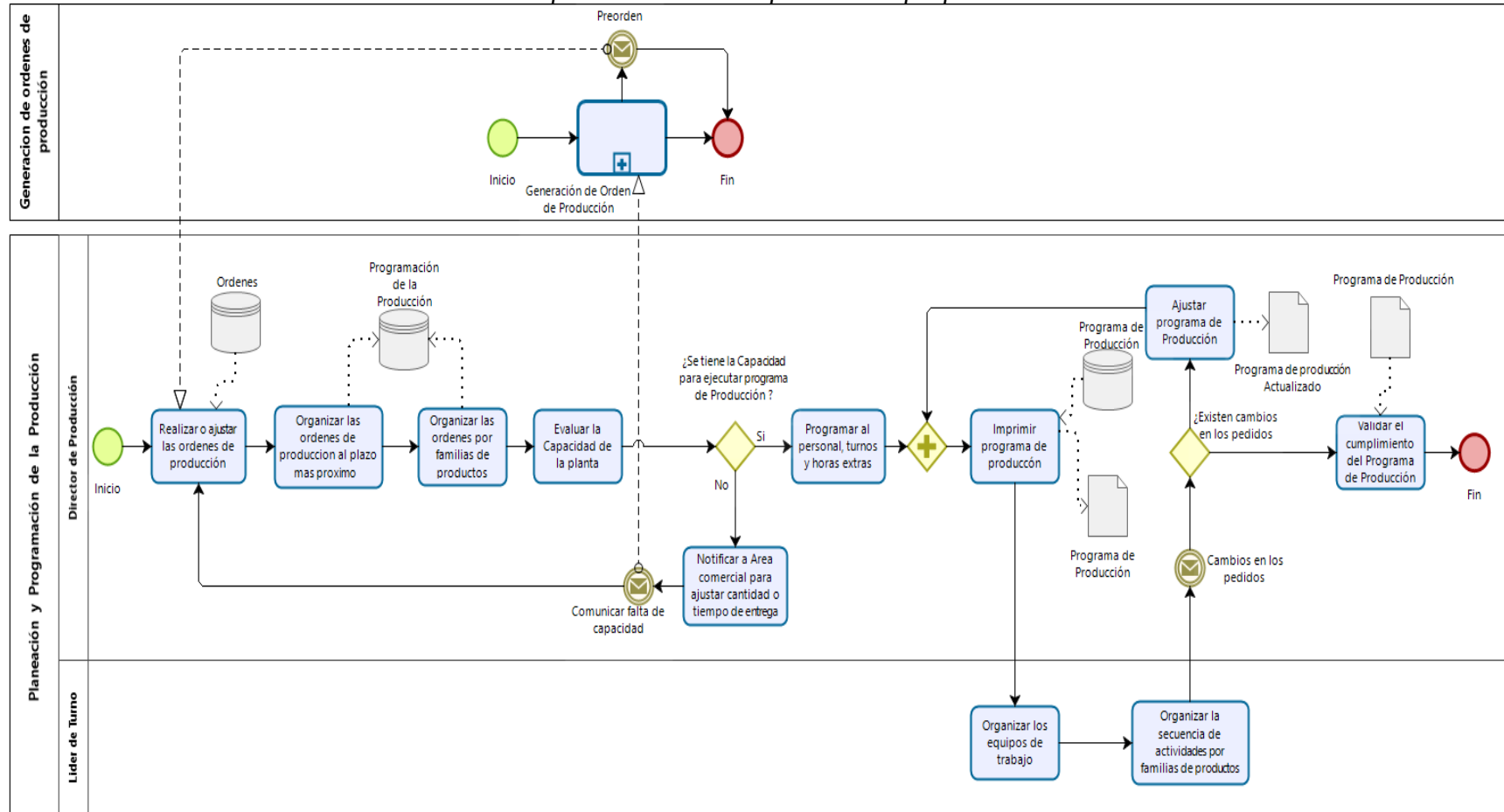
Como se abordó anteriormente, uno de los problemas que más se evidenció eran las demoras al inicio del turno mientras se asignaban las tareas del día, resultado de esperar tanto la confirmación de los proveedores (disponibilidad de materia prima) y la confirmación de los pedidos por parte de los clientes. En el procedimiento propuesto se reciben unas pre-órdenes de producción que resuelven este problema, ya que el área de producción puede ir produciendo los pedidos sin esperar a que se surtan todas las actividades de la generación de órdenes de producción y desde el inicio de la jornada o incluso desde días anteriores se pueden ir trabajando sobre estas pre-órdenes de producción teniendo en cuenta la experiencia en cuanto a los posibles cambios.

Por otro lado, este nuevo procedimiento da cumplimiento a las políticas de producción organizar las ordenes al plazo más próximo; 2) Organizar las ordenes de producción por familias de productos (especie, empaque y presentación).

Posterior a esta organización de prioridades en la secuencia de actividades se evalúa la capacidad de la planta para ejecutar el programa de producción resultante. Si no se tiene la capacidad, se le comunica al área comercial el cual ajusta la cantidad o los tiempos de entrega. Si se cuenta con la capacidad se hace la programación del personal, los turnos y las horas extras.

Se imprime el programa de producción, con ello se organizan los equipos de trabajo y se les asigna la secuencia de actividades por familias de productos. Una vez son confirmados los pedidos por parte del cliente se evalúan los cambios, se realiza la actualización del programa de producción. Si aumentan los pedidos se reorganizan los equipos de trabajo y la secuencia de actividades para dar cumplimiento a estos cambios programa de producción. Si las cantidades disminuyen se reasignan lo ya producido a otros clientes o a pedidos no procesados.

Gráfica 10: Modelo de producción propuesto

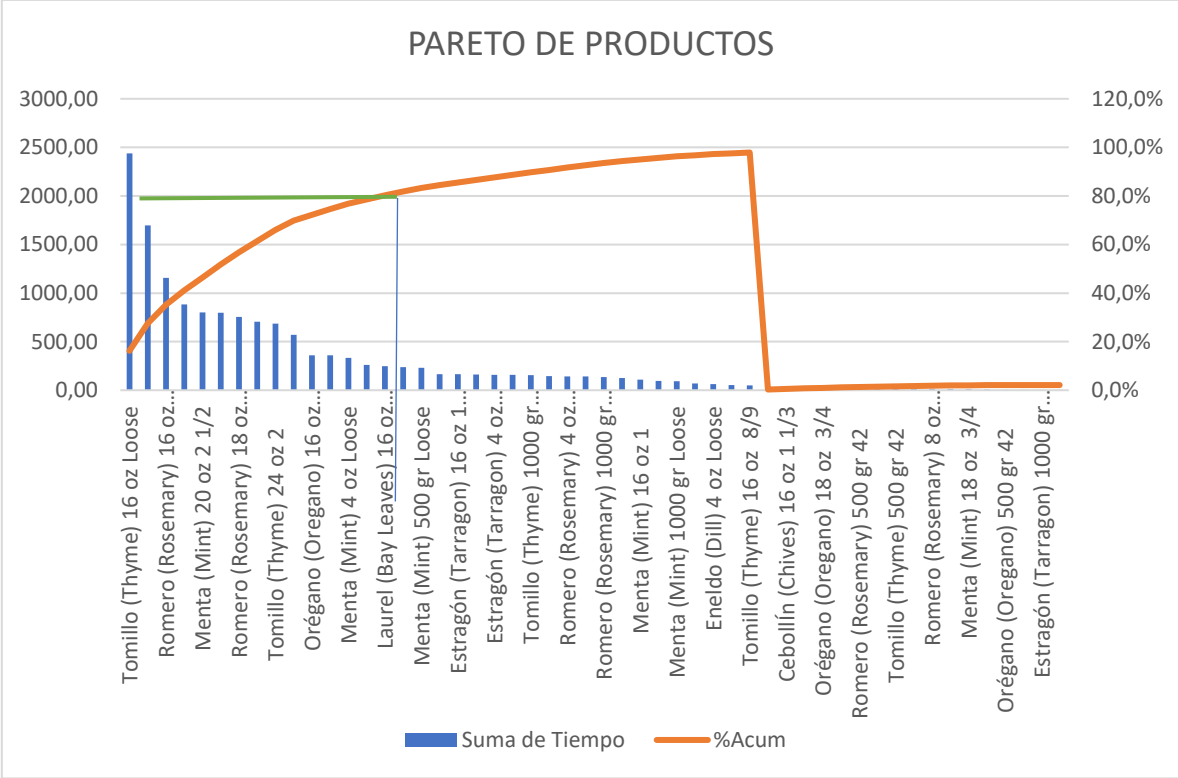


Fuente: Elaboración propia.

4.2. Proyección de demanda

Para la proyección de la demanda se utilizará el Pareto de productos que se muestra en la gráfica 11:

Gráfica 11: Pareto de Productos a estudiar



Fuente: Elaboración propia.

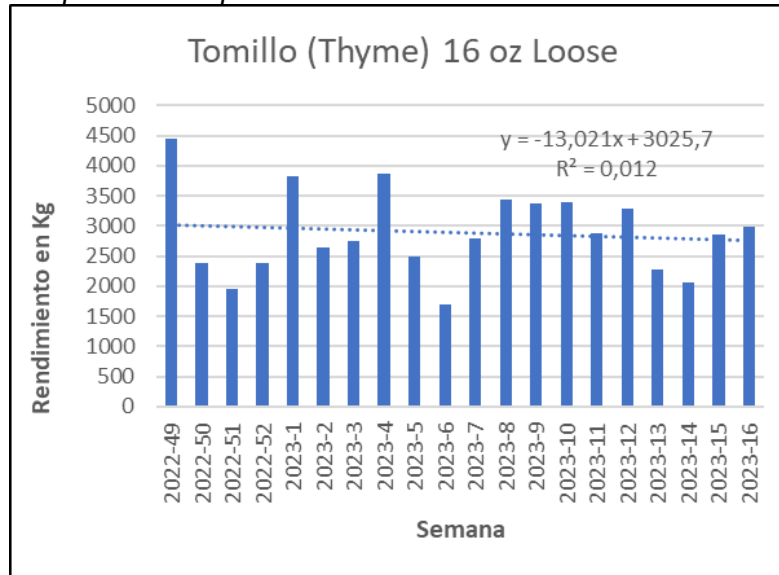
En el Pareto se tomaron datos de 57 referencias con las que se contaban con datos en las semanas que se definieron como objetivo de este proyecto, semana 37 del 2022 (2022-37) hasta la semana 16 del 2023 (2023-16), adicional a eso, se tomó como valor para este estudio el 80-20 del Pareto arrojando un total de 15 presentaciones que eran la masa significativa de los datos, estas referencias utilizadas que tenían datos significativos se utilizaron para la proyección de la demanda la cual se tomara como la semana 19 del 2023 (2023-19P).

Teniendo en cuenta lo anterior se tomaron los datos representativos de estas 15 referencias, se realizó una regresión lineal de la gráfica de semana versus demanda arrojando la ecuación de la gráfica y remplazando el valor x como el numero de la semana a proyectar arrojando así el numero en Kg de la demanda estimada para esta semana (2023-19P).

4.2.1. Producto A 16 oz Loose

Para esta referencia se tomaron los datos desde la semana 49 del 2022 (2022-49) hasta la semana 16 del 2023 (2023-16) que es el intervalo de tiempo más representativo ya que es un momento en el que aumento la demanda y se mantuvo en unos valores aparentemente constantes desde este tiempo y superiores a las semanas anteriores a este intervalo de tiempo, obteniendo como resultado una demanda de 2726 Kg para la semana 19 proyectada (2023-19P).

Gráfica 12: Gráfica de Demanda de Producto A 16 oz Loose

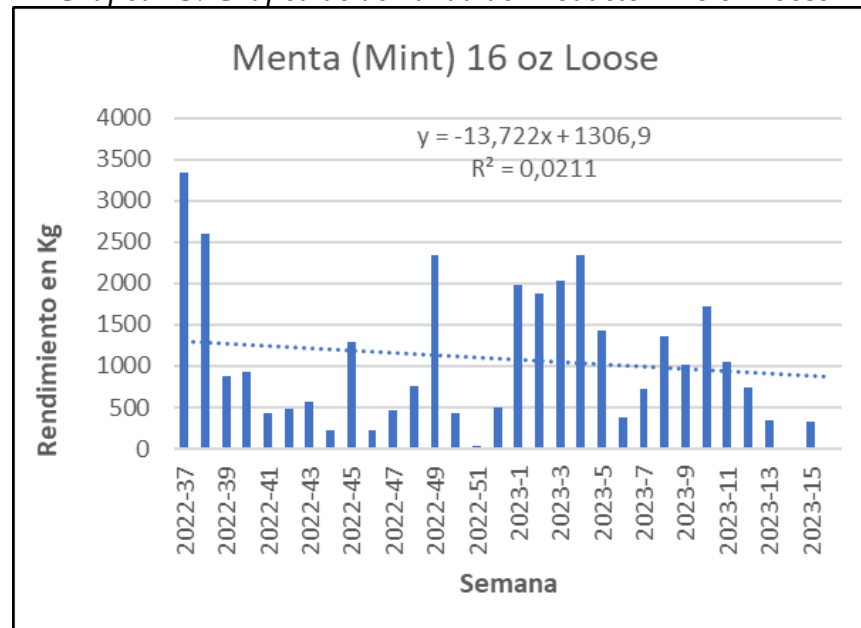


Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Producto B 16 oz Loose

Para esta referencia se tomaron todos los datos desde la semana 37 del 2022 (2022-37) hasta la semana 16 del 2023 (2023-16) ya que para esta referencia no hay temporalidad y se comporta de manera inestable durante el tiempo, aunque se observa que siempre hay demanda de esta referencia lo que hace proyectar una cantidad de 827 Kg para la semana 19 proyectada (2023-19P).

Gráfica 13: Gráfica de demanda de Producto B 16 oz Loose

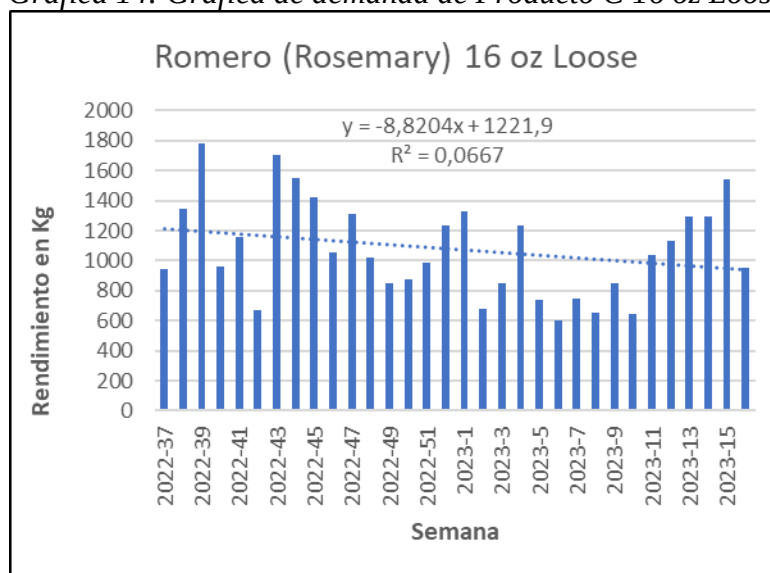


Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Producto C 16 oz Loose

Para esta referencia se tomaron todos los datos desde la semana 37 del 2022 (2022-37) hasta la semana 16 del 2023 (2023-16) ya que es una referencia con una demanda muy constante y solicitada a lo largo del tiempo lo que hace proyectar una cantidad de 904 Kg para la semana 19 proyectada (2023-19P).

Gráfica 14: Gráfica de demanda de Producto C 16 oz Loose

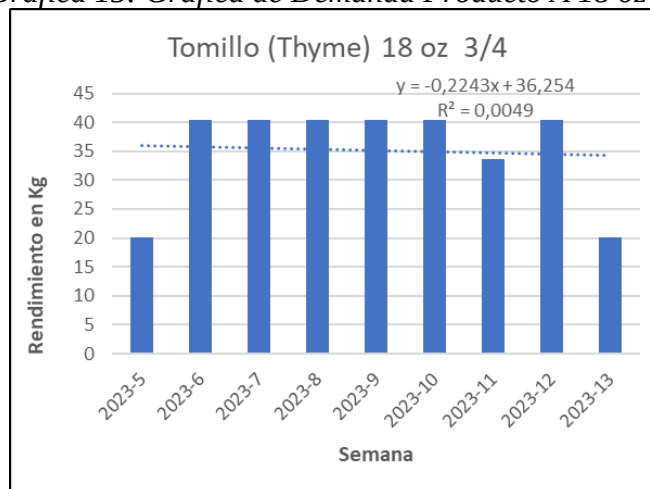


Elaboración propia.

4.2.4. Producto A 18 oz ¾

Para esta referencia se tomaron los datos de la semana 5 del 2023 (2023-5) hasta la semana 13 del 2023 (2023-13) ya que es el tiempo más cercano en donde hay un comportamiento más realista de lo que puede pasar a futuro con la demanda de esta referencia y es donde sufre una caída la demanda con respecto a antes de esta semana y se mantiene en valores similares lo que hace proyectar una cantidad de 37 Kg para la semana 19 proyectada (2023-19P).

Gráfica 15: Gráfica de Demanda Producto A 18 oz ¾

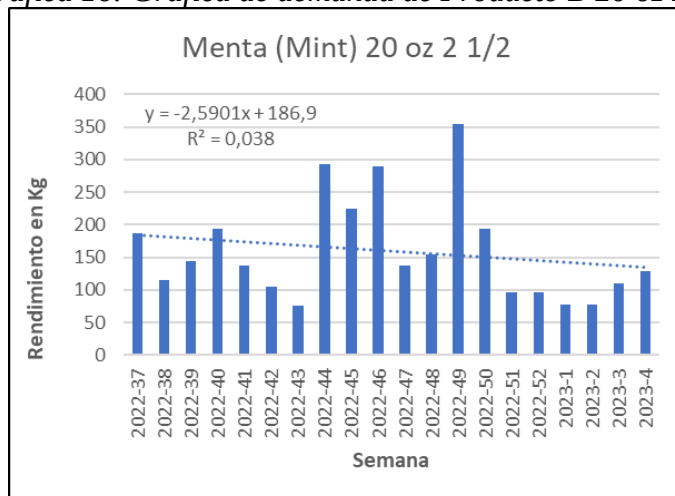


Fuente: Elaboración propia.

4.2.5. **Producto B 20 oz 2 ½**

Para esta referencia se tomaron todos los datos desde la semana 37 del 2022 (2022-37) hasta la semana 4 del 2023 (2023-4) ya que solo se cuenta con estos datos debido a un desabastecimiento desde inicios de este año en un material que se requiere para acondicionar esta referencia el cual se estima conseguir para el segundo trimestre del 2023 y poder continuar con el suministro de esta referencia al mercado lo que hace proyectar una cantidad de 160 Kg para la semana 19 proyectada (2023-19P).

Gráfica 16: Gráfica de demanda de Producto B 20 oz 2 ½

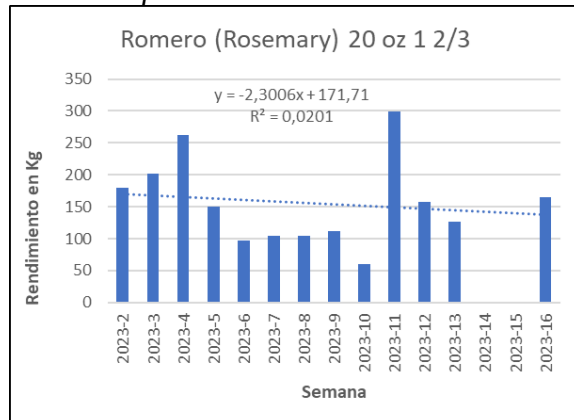


Fuente: Elaboración propia.

4.2.6. **Producto C 20 oz 1 2/3**

Para esta referencia se tomaron los datos desde la semana 2 del 2023 (2023-2) hasta la semana 16 del 2023 (2023-16) teniendo en cuenta que para este año esta referencia tuvo una ligera caída en la demanda a excepción de la primera semana del año que tiene un dato atípico por causa de algún pedido extraordinario y se mantiene más estable en este transcurso de tiempo lo que hace proyectar una cantidad de 133 Kg para la semana 19 proyectada (2023-19P).

Gráfica 17: Gráfica de demanda Producto C 20 oz 1 2/3

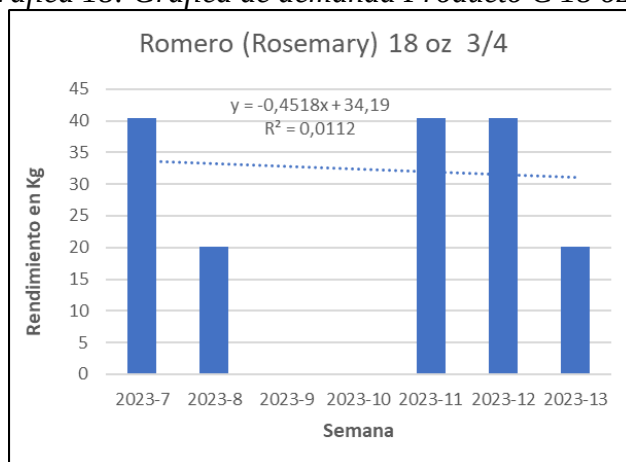


Fuente: Elaboración propia

4.2.7. **Producto C 18 oz $\frac{3}{4}$**

Para esta referencia se tomaron los datos desde la semana 7 del 2023 (2023-7) hasta la semana 13 del 2023 (2023-13) ya que es durante este periodo de este año donde hay una demanda más realista a la actualidad dejando la demanda del año anterior que era mucho más alta pero lejos de la realidad actual de esta lo que hace proyectar una cantidad de 28 Kg para la semana 19 proyectada (2023-19P).

Gráfica 18: Gráfica de demanda Producto C 18 oz $\frac{3}{4}$

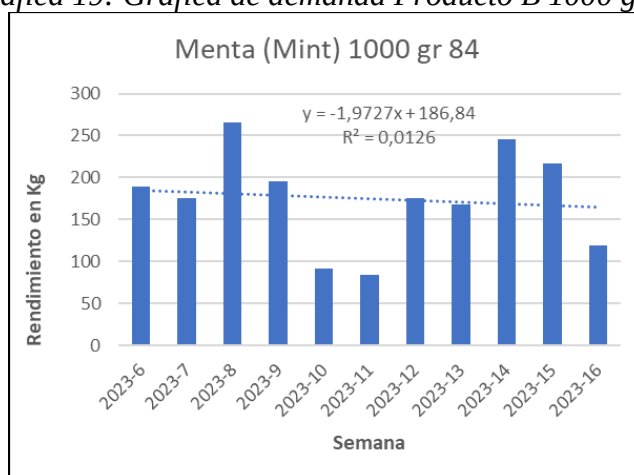


Fuente: Elaboración propia.

4.2.8. **Producto B 1000 gr 84**

Para esta referencia se tomaron los datos desde la semana 6 del 2023 (2023-6) hasta la semana 16 del 2023 (2023-16) ya que es el periodo de tiempo más actual del que se tienen datos y hay un bache de varias semanas sin datos en esta referencia el año anterior lo que causa incertidumbre en la demanda de los datos del año pasado y hace proyectar una cantidad de 157 Kg para la semana 19 proyectada (2023-19P).

Gráfica 19: Gráfica de demanda Producto B 1000 gr 84

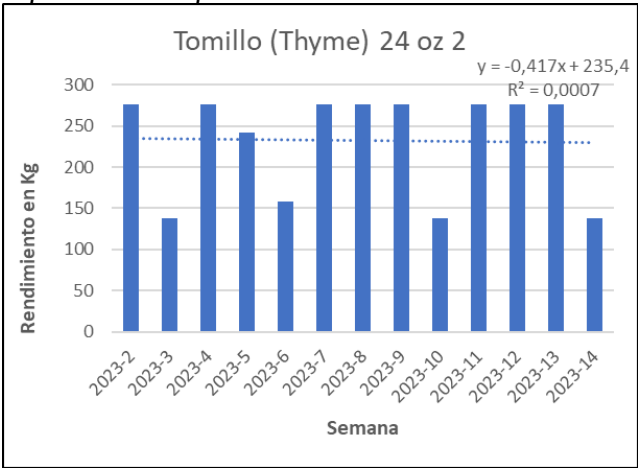


Fuente: Elaboración propia.

4.2.9. **Producto A 24 oz 2**

Para esta referencia se tomaron los datos desde la semana 2 del 2023 (2023-2) hasta la semana 14 del 2023 (2023-14) ya que es el periodo de tiempo más actual del que se tienen datos y es un periodo en el que los datos son estables durante este año sacando la primera semana del año que es una semana atípica en términos de demanda de producto lo que hace proyectar una cantidad de 227 Kg para la semana 19 proyectada (2023-19P).

Gráfica 20: Gráfica de demanda Producto A 24 oz 2

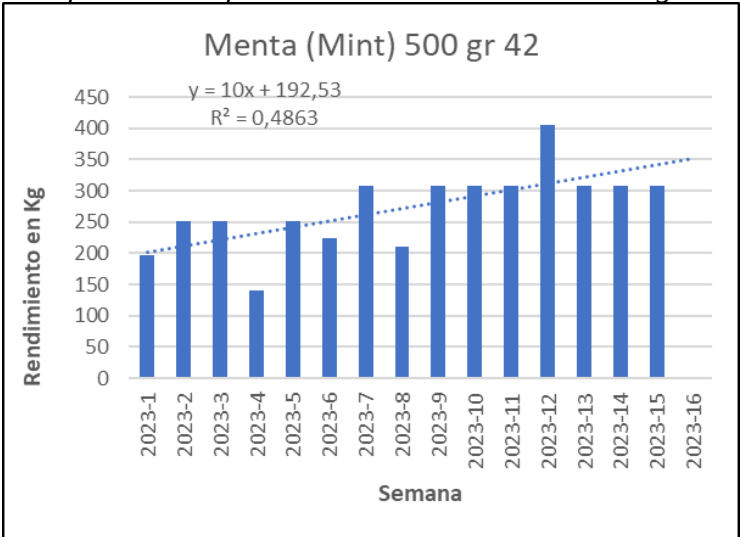


Fuente: Elaboración propia.

4.2.10. **Producto B 500 gr 42**

Para esta referencia se tomaron todos los datos de este año desde la semana 1 del 2023 (2023-1) hasta la semana 15 del 2023 (2023-15) ya que es el periodo de tiempo más actual del que se tienen datos y es un periodo en el que los datos son estables durante el año lo que hace proyectar una cantidad de 383 Kg para la semana 19 proyectada (2023-19P).

Gráfica 21: Gráfica de demanda Producto B 500 gr 42

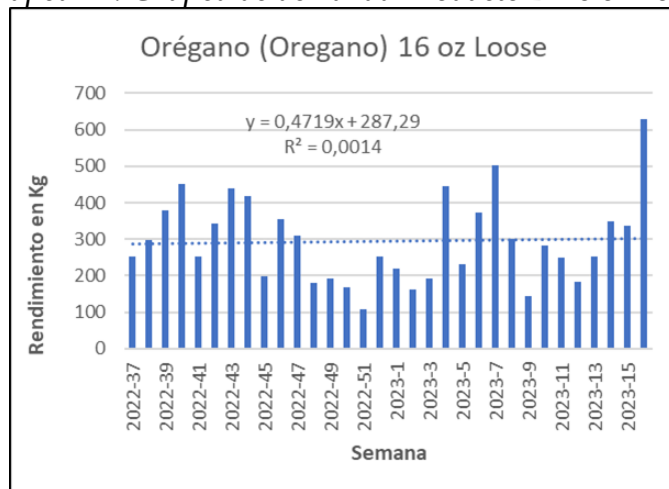


Fuente: Elaboración propia.

4.2.11. Producto D 16 oz Loose

Para esta referencia se tomaron todos los datos desde la semana 37 del 2022 (2022-37) hasta la semana 16 del 2023 (2023-16) ya que para esta referencia no hay temporalidad y se comporta de manera algo inestable durante el tiempo, aunque se observa que siempre hay demanda de esta referencia lo que hace proyectar una cantidad de 304 Kg para la semana 19 proyectada (2023-19P).

Gráfica 22: Gráfica de demanda Producto D 16 oz Loose

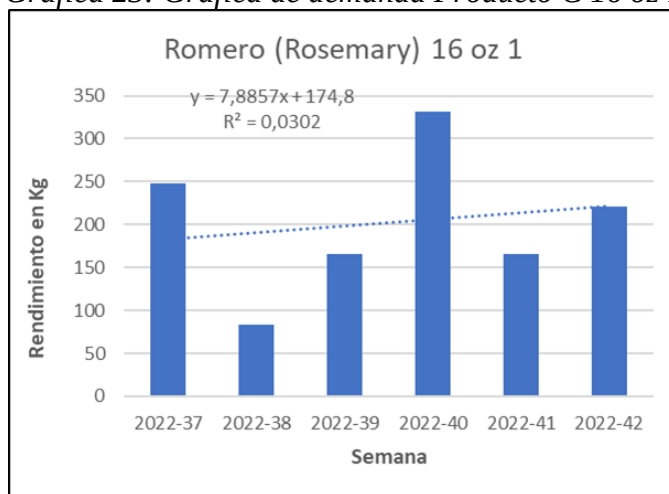


Fuente: Elaboración propia.

4.2.12. Producto C 16 oz 1

Para esta referencia se tomaron los datos desde la semana 37 del 2022 (2022-37) hasta la semana 42 del 2022 (2022-42) ya que es el periodo más estable del que se tienen datos debido al desabastecimiento constante de un material que se requiere para acondicionar esta referencia y poder continuar con el suministro de esta referencia al mercado lo que hace proyectar una cantidad de 230 Kg para la semana 19 proyectada (2023-19P) de contar con el material.

Gráfica 23: Gráfica de demanda Producto C 16 oz 1

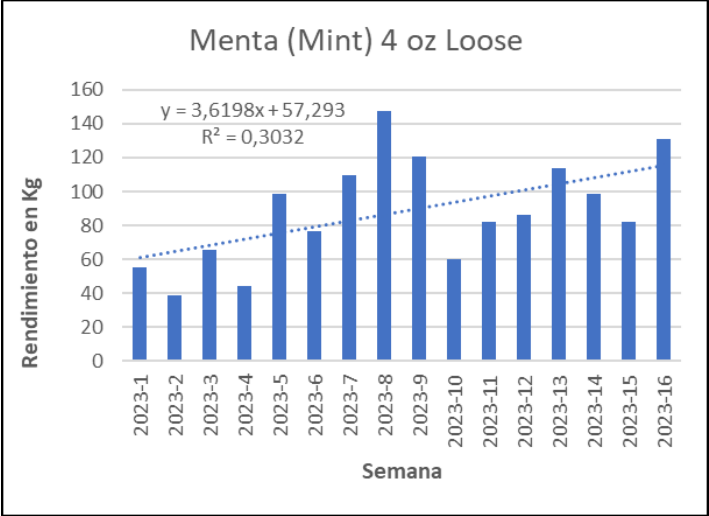


Fuente: Elaboración propia.

4.2.13. **Producto B 4 oz Loose**

Para esta referencia se tomaron todos los datos de este año desde la semana 1 del 2023 (2023-1) hasta la semana 16 del 2023 (2023-16) ya que es el periodo de tiempo más actual del que se tienen datos y es un periodo en el que los datos son estables durante el año lo que hace proyectar una cantidad de 130 Kg para la semana 19 proyectada (2023-19P).

Gráfica 24: *Producto B 4 oz Loose*

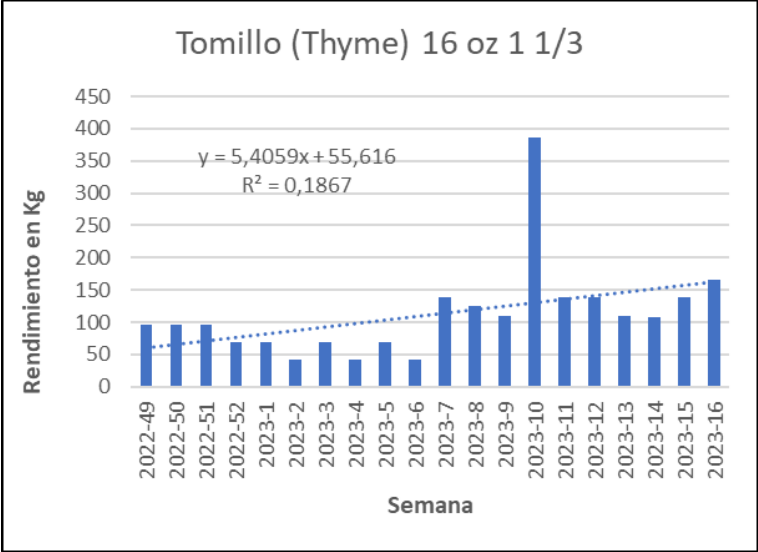


Fuente: Elaboración propia.

4.2.14. **Producto A 16 oz 1 1/3**

Para esta referencia se tomaron los datos desde la semana 49 del 2022 (2022-49) hasta la semana 16 del 2023 (2023-16) ya que es el periodo de tiempo más actual y estable del que se tienen datos y hay un bache de tres semanas sin datos en esta referencia que causan un viraje brusco y al alza en la demanda de esta referencia que hace proyectar una cantidad de 185 Kg para la semana 19 proyectada (2023-19P).

Gráfica 25: *Gráfica de demanda Producto A 16 oz 1 1/3*

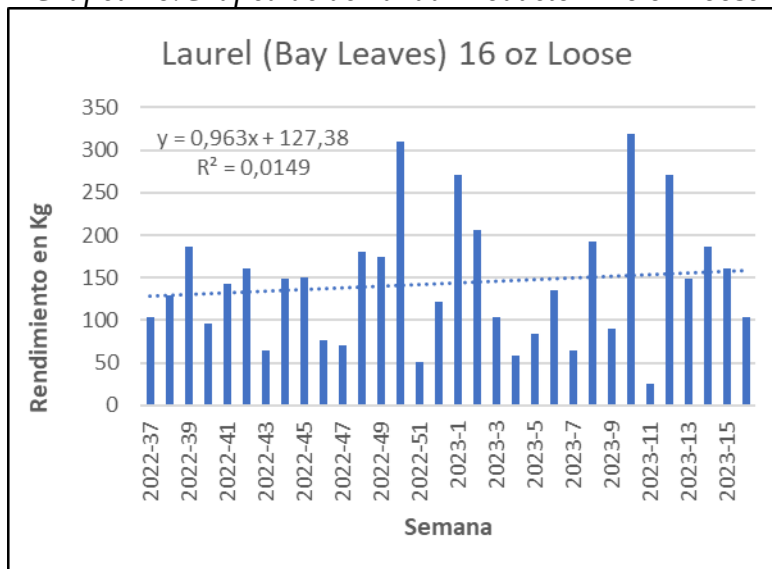


Fuente: Elaboración propia.

4.2.15. Producto E 16 oz Loose

Para esta referencia se tomaron todos los datos desde la semana 37 del 2022 (2022-37) hasta la semana 16 del 2023 (2023-16) ya que para esta referencia no hay temporalidad y se comporta de manera inestable durante el tiempo, aunque se observa que siempre hay demanda de esta referencia lo que hace proyectar una cantidad de 162 Kg para la semana 19 proyectada (2023-19P).

Gráfica 26: Gráfica de demanda Producto E 16 oz Loose



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Desagregación de la Demanda

Se revisó el histórico de los pedidos de cada producto y se determinó la distribución en cada uno de los días de la semana de las cantidades proyectadas de cada producto, de lunes a sábado obteniendo como resultado la tabla 12:

Tomando los resultados del pronóstico que son las cantidades semanales proyectadas que hay de cada producto y se distribuye en las proporciones de la tabla 12 se obtiene la siguiente tabla 13 lo que resulta en la desagregación de la demanda.

Esta será la matriz de la demanda de cada producto en cada uno de los días de la semana y será uno de los parámetros vectoriales del modelo. Cabe resaltar que lo demandado el domingo se suma al sábado por que no se programa la planta para los días domingo, por tanto, los pedidos realizados para el día domingo se deben procesar y dejar listos el día sábado.

Tabla 12. Distribución de la Demanda en los Días de la Semana.

Etiquetas de fila	1	2	3	4	5	6	7	Total general
Producto A_16oz Loose	26,00%	16,35%	19,45%	23,90%	10,23%	3,68%	0,40%	100,00%
Producto B_16oz Loose	23,98%	16,08%	22,70%	21,87%	12,84%	2,29%	0,23%	100,00%
Producto C_16oz Loose	23,88%	18,27%	20,80%	19,07%	14,08%	3,54%	0,36%	100,00%
Producto A_18oz 3/4	28,68%	3,14%	24,67%	13,46%	20,63%	5,53%	3,89%	100,00%
Producto B_20oz 1 2/3	77,78%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	22,22%	0,00%	100,00%
Producto C_20oz 1 2/3	23,06%	14,22%	25,32%	11,58%	22,62%	3,19%	0,00%	100,00%

Producto C_18oz 3/4	32,69%	0,55%	27,20%	15,11%	16,48%	7,97%	0,00%	100,00%
Producto B_1000gr 84	24,96%	21,23%	2,97%	6,76%	36,97%	7,11%	0,00%	100,00%
Producto A_24oz 2	18,35%	24,02%	15,37%	24,76%	15,09%	2,41%	0,00%	100,00%
Producto B_500gr 42	0,00%	18,65%	20,74%	20,32%	16,07%	24,22%	0,00%	100,00%
Producto D_16oz Loose	31,36%	16,98%	21,38%	20,97%	7,51%	1,59%	0,22%	100,00%
Producto C_16oz 1	38,73%	0,00%	12,18%	30,46%	15,58%	3,05%	0,00%	100,00%
Producto B_4oz Loose	19,86%	27,60%	13,15%	24,26%	11,86%	3,28%	0,00%	100,00%
Producto A_16oz 1 1/3	61,81%	11,69%	17,58%	6,93%	1,98%	0,00%	0,00%	100,00%
Producto E_16oz Loose	18,69%	9,90%	39,69%	21,25%	7,94%	1,98%	0,54%	100,00%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Desagregación de la demanda pronosticada.

Etiquetas de fila	Forcast	1	2	3	4	5	6
Producto A_16oz Loose	2726,00	708,67	445,75	530,13	651,57	278,77	111,11
Producto B_16oz Loose	826,63	198,26	132,93	187,68	180,76	106,15	20,85
Producto C_16oz Loose	904,37	216,00	165,19	188,08	172,43	127,33	35,33
Producto A_18oz 3/4	36,59	10,50	1,15	9,03	4,92	7,55	3,45
Producto B_20oz 1 2/3	96,25	74,86	0,00	0,00	0,00	0,00	21,39
Producto C_20oz 1 2/3	132,60	30,58	18,86	33,57	15,36	30,00	4,23
Producto C_18oz 3/4	28,32	9,26	0,16	7,70	4,28	4,67	2,26
Producto B_1000gr 84	157,25	39,25	33,38	4,66	10,64	58,14	11,19
Producto A_24oz 2	227,48	41,74	54,64	34,96	56,32	34,32	5,49
Producto B_500gr 42	382,53	0,00	71,35	79,34	77,74	61,46	92,65
Producto D_16oz Loose	304,28	95,42	51,66	65,04	63,82	22,84	5,51
Producto C_16oz 1	230,00	89,08	0,00	28,02	70,06	35,83	7,01
Producto B_4oz Loose	129,69	25,75	35,80	17,05	31,47	15,38	4,25
Producto A_16oz 1 1/3	185,36	114,58	21,67	32,59	12,85	3,67	0,00
Producto E_16oz Loose	162,05	30,29	16,04	64,32	34,44	12,87	4,08

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Cuadro de mando integral de Producción

Para la gestión de la producción se desarrolló un cuadro de mando integral en Power BI, en donde se encuentran los siguientes parámetros

- Ingresos: Los ingresos de cada producto y la cantidad por cada proveedor, así como la presentación de entrada (granel, seleccionado y empackado), facilitando el conocimiento de materia prima disponible para los despachos.
- Rendimiento de proveedores: El porcentaje de producto conforme, de exportación y el producto no conforme (desecho) de cada uno de los ingresos de la totalidad de los proveedores.
- Clientes: Información de los pedidos despachados a cada uno de los clientes en los diferentes empaques y presentaciones.

- Reclamos: Cantidad reclamada por cada uno de los clientes en los diferentes productos relacionado con los proveedores, así como el tipo de reclamo, permitiendo tomar decisiones de producción con esto
- Rendimiento de los operarios: Rendimiento de cada uno de los operarios en cada una de las referencias de producto y su desempeño por semana, con el fin de realizar análisis de capacidad de planta y la planificación y control de producción.

4.5. Gestión de Inventarios de materiales

En cuanto a la gestión de inventarios, se establecieron una serie de materiales los cuales tienen un lead time mayor, con los cuales no es posible producir y están directamente ligados al empaque y embalaje del producto y no hay material sustituto que pueda remplazarlo cambiando su especificación bajo concesión del cliente. En la tabla 14 se pueden evidenciar estos productos:

Tabla 14: Lista de materiales críticos
LISTA DE MATERIALES CRITICOS

CATEGORÍA	Material	LT (semanas)
CARTÓN	Bases	2
	Tapa Tipo 1	2
	Tapa Tipo 2	2
	Caja 6 Kg	4
	Caja 1Kg C	3
	Caja 1Kg F	3
	Bandeja para Caja 1 Kg C	3
	Bandeja para Caja 1 Kg F	3
EMPAQUE	Bolsa 54x50	3
	Bolsa 34x45	3
	Bolsa Especial Cliente	4
	Bolsa 9x14	3

Fuente: Elaboración propia.

Una vez se establecieron cuáles son los materiales críticos del proceso de empaque y embalaje del producto se estableció un punto de reorden, el cual está determinado por la suma del stock de seguridad y el producto entre la demanda promedio semanal y el lead time en semanas.

Esta gestión de inventarios y el establecimiento de los puntos de reorden para cada producto tiene como finalidad garantizar el suministro de materiales y evitar el no cumplimiento de los pedidos de los clientes. Evidenciando esto en la tabla 15.

Tabla 15: Puntos de Reorden para cada producto según inventarios

MATERIAL	MEDIA	DESVIACIÓN	L T	SS	PUNTO REORDEN	PACHA SO BULTOS
BASES	1946	228	2	646	4537	154

TAPA TIPO 1	1563	177	2	502	3628	124
TAPA TIPO 2	388	85	2	240	1016	37
CAJA 6 KG	139	38	4	151	709	27
CAJA 1KG C	449	115	3	397	1743	60
CAJA 1KG F	247	103	3	355	1097	37
BANDEJA PARA CAJA 1 KG C	55	9	3	32	196	7
BANDEJA PARA CAJA 1 KG F	36	3	3	10	117	7
BOLSA 54X50	942	167	2	474	2357	1
BOLSA 34X45	11922	2911	3	1008	45851	16
				4		
BOLSA ESPECIAL CLIENTE	1683	529	4	2117	8849	3
BOLSA 9X14	2820	601	3	2083	10544	2

Fuente: Elaboración propia.

4.6. Modelo de Programación Lineal

4.6.1. Objetivo

El objetivo de una empresa es maximizar sus beneficios o utilidades para garantizar su sostenibilidad a largo plazo, por lo tanto, el objetivo del modelo se plantea como **“Maximizar la Utilidad”**.

4.6.2. Subíndices

Los subíndices son los productos, los operarios, las células de trabajo y días de la semana dado que los operarios trabajan los diferentes productos en las mesas de clasificación que son las células de trabajo los cuales son conformadas por uno y hasta cuatro personas. Estos trabajan seis días a la semana, por tanto, los subíndices se establecen de la siguiente manera:

i: Producto

j: Operario

l: Células de trabajo

k: Día de la semana

4.6.3. Parámetros

Existen dos tipos de parámetros, los parámetros escalares y los parámetros vectoriales. A continuación, se presentan estos dos tipos de parámetros para el modelo de programación de la producción para Agrifresh S.A

4.6.3.1. Parámetros escalares

Los parámetros escalares con sus respectivas unidades son los siguientes:

HTD=8 Horas de trabajo diarias (Horas)

HEM=2 Horas Extras Máximas (Horas)

CHO=\$4833 Costo Hora Ordinaria (\$)

HE=\$6041 Costo Hora Extra (\$)

TRM=\$4531 Tasa Representativa del mercado del día 17 de mayo 2023 (\$COP/USD)

De acuerdo con el reglamento interno de trabajo se estableció un horario de trabajo de 8 horas diarias, por 6 días a la semana, esto en concordancia con el código sustantivo del trabajo que en su totalidad representan 48 horas semanales.

De acuerdo con el Código Sustantivo del Trabajo en cuanto al Límite del trabajo suplementario. Establece:

“En ningún caso las horas extras de trabajo, diurnas o nocturnas, podrán exceder de dos (2) horas diarias y doce (12) semanales. Cuando la jornada de trabajo se amplíe por acuerdos entre empleadores y trabajadores a diez (10) horas diarias. De acuerdo al código sustantivo del trabajo” Republica de Colombia (1992).

4.6.3.2. Parámetros vectoriales

Los siguientes son los parámetros vectoriales que se declaran para el modelo:

r_{ij} : Rendimiento en el producto i por el operario j [(und Tiempo)/(Kg de Producto)]

PE_i : Porcentaje de exportación de la materia prima para el producto i [%]

d_{mk} : Disponibilidad de la materia prima m en el día k [kg]

d_{ik} : Demanda del producto i en el día k [kg]

$pimp_m$: Perdida del inventario por deshidratación y calidad de la materia prima m [%]

Cmp_m : Costo de la materia prima m [\$]

PV_i : Precio de venta del producto i [USD/kg]

$Iipt_i$: Inventario inicial del producto i [kg]

$Iimp_m$: Inventario inicial de la materia prima m [kg]

$BomMp_{im}$: Explosión de materiales (materias primas) m que tiene el producto i

4.5.4. Variables

Las siguientes son las variables definidas para el modelo:

x_{ilk} : Cantidad de producto i procesado en la célula de trabajo l en el día k de la semana

v_{ijlk} : Cantidad de producto i procesado por el operario j en la célula de trabajo l el día k

a_{jl} : Variable binaria de asignación del operario j en la célula de trabajo l.

y_{ik} : Cantidad de producto i despachado para lo demandado en el día k

HE_{jk} : Horas extras realizadas por el operario j el día k

imp_i : Inventario final de la materia prima final para el producto i

ipt_i : Inventario final del producto i.

4.6.5. Función Objetivo

La función objetivo tiene los siguientes componentes:

- Costos de mano de obra

Ecuación 6: Ecuación de costo de mano de obra

$$CostosMO = \sum_i \sum_j \sum_l \sum_k [CHO r_{ij} x_{ilk} + CHE HE_j]$$

- Costos de Materia Prima

Ecuación 7: Ecuación costo de Materia Prima

$$CostoMP = \sum_m \sum_i \sum_l \sum_k BomMp_{im} Cmp_m \frac{x_{ilk}}{PE_m} TRM$$

- Costo por pérdida de Materia Prima

Ecuación 8: Costo por pérdida de materia prima

$$\text{CostoPérdidaMP} = \sum_m \sum_k C_{mp_m} p_{imp_m} imp_{mk} TRM$$

- Ventas

Ecuación 9: Ecuación de ventas

$$\text{Ventas} = \sum_i \sum_j \sum_k [PV_i * x_{ilk} * TRM]$$

- Utilidad

Z=Utilidad

Ecuación 10: Ecuación maximización de utilizad

$$\text{Max } Z = \text{Ventas} - \text{CostosMO} - \text{CostoMP} - \text{CostoPerdidaMP}$$

El producto del rendimiento y la cantidad producida de los diferentes productos por cada uno de los operarios da como resultado tiempo de ocupación de estos último, el cual no podrá superar las 8 horas más las horas extras realizadas. Las horas extras por ley y por las certificaciones sociales con las que cuenta la empresa no pueden ser superiores a dos (2) horas diarias.

4.6.6. Asociación de Producción Operarios con Producción de la Célula

En esta restricción asociamos lo producido por cada operario que compone la célula de trabajo con el total producido por la célula de trabajo mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 11: Ecuación de asociación de producto a operarios

$$x_{ilk} = \sum_j v_{ijlk} \quad \forall i, l, k$$

4.6.7. Asignación de operarios a células de trabajo

La asignación de los operarios se realiza por medio de una variable binaria a_{jl} que tomará el valor de 1 si el operario produce cualquier cantidad mayor a 0 en una célula de trabajo un día determinado. Esta cantidad producida por el operario se divide entre un valor muy grande (1'000.000) para que el lado derecho de la ecuación tenga un valor menor a 1. La variable de asignación va a tomar el valor de 0 cuando el operario no produce en una célula de trabajo específica y tomara el valor de 1 cuando sí.

Ecuación 12: Ecuación de asignación de operarios

$$a_{jl} \geq \sum_i \frac{v_{ijlk}}{1000000} \quad \forall j, l, k$$

Por otro lado, cada célula de trabajo no podrá estar conformada por más de cuatro (4) trabajadores. Por tanto, para cada célula de trabajo la suma de la variable de asignación no puede ser mayor a 4.

Ecuación 13: Ecuación de asignación de Operarios

$$a_{jl} \leq 4 \quad \forall l$$

Adicionalmente no se puede asignar un operario a más de una célula de trabajo, porque no es posible que una persona opere simultáneamente en más de una célula de trabajo, por lo tanto, la suma en todas las células de trabajo de la variable de asignación no podrá tomar un valor diferente de 1 y todos los operarios deberán ser asignados al menos a una célula de trabajo.

Ecuación 14: Ecuación de asignación de operarios

$$\sum_l a_{jl} = 1 \quad \forall j$$

4.6.8. Disponibilidad de Inventarios y materia prima

La cantidad producida dividida entre el porcentaje de exportación de esa materia prima empleada para producir ese producto menos la cantidad que quedo en inventario el cual tuvo una perdida por deshidratación y por calidad al tratarse de materias primas y productos perecederos.

Ecuación 15: Ecuación de disponibilidad de inventarios

Cantidad Requerida – Inventario Final del día anterior

** Factor de Perdida del Inventario ≤ Disponible*

$$\sum_j \frac{x_{ilk}}{PE_m} - imp_{m,k-1} [1 - p_{imp_m}] \leq d_{mk} \quad \forall i, k$$

A continuación, se define la ecuación para realizar el balanceo de los inventarios. Donde se define que el inventario final en el día k es igual a lo disponible, es decir, las cantidades que entran de esa materia prima a la planta, más el inventario final del día anterior el cual sufrió una perdida por deshidratación y por calidad, por lo tanto, se multiplica por un factor de perdida y todo lo anterior se le resta lo que necesito para producir ese día (Cantidad requerida) para cada producto.

Ecuación 16: Ecuación de balanceo de los inventarios

$$imp_{mk} = d_{mk} + imp_{m,k-1} [1 - p_{imp_m}] - \sum_i \sum_l BomMp_{im} * \frac{x_{ilk}}{PE_m} \quad \forall m, k$$

$$imp_{m,0} = I_{imp_m} \quad \forall m$$

4.6.9. Despacho e inventarios de producto terminado

Ecuación 17: Despacho de inventarios de producto terminado

$$imp_{mk} = d_{mk} + imp_{m,k-1} [1 - p_{imp_m}] - \sum_i \sum_l BomMp_{im} * \frac{x_{ilk}}{PE_m} \quad \forall m, k$$

$$imp_{m,0} = I_{imp_m} \quad \forall m$$

4.6.10. Demanda

Ecuación 18: Ecuación de demanda

$$y_{ik} \geq D_{ik} \quad \forall i, k$$

4.6.11. No negatividad

Ecuación 19: Ecuación de no negatividad

$$x_{ijk}, y_{ik}, HE_j, ipt_i, imp_i \geq 0 \quad \forall i, j, k$$

4.7. Resultados del modelo

4.7.1. Células de trabajo Versus Producción

La tabla 16 muestra, cómo debería ser el modelo de trabajo y de producción en las distintas células de trabajo por grupos de familias, permitiendo así tener la mayor productividad dentro de las células de trabajo, pudiendo observar que se están procesando la mayor cantidad de productos o de familia de productos en una semana de seis días laborables, esto a diferencia de lo diagnosticado presenta un aumento de producción significativo ya que se puede empezar procesar más de 10ton en una semana, aumentando el 40% de producción según lo desarrollado también en la vida real.

Tabla 16: Distribución de la producción según modelo en kg

Célula de trabajo	Familias de productos														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	265,781	0	0	0	39,9	0	0	0	0	0	0	43,2	0	56,59	128,2
2	543,559	0	0	0	0	0	0	0	152,96	0	0	0	0	0	201,5
3	436,675	0	0	0	0	0	0	0	203,93	0	0	0	0	0	201,5
4	11,6939	172,8	0	0	0	0	0	15,79	285,41	0	0	0	0	0	148,1
5	0	0	0	43,93	0	0	0	58,2	285,41	0	0	0	0	0	37,48
6	0	0	0	92,24	21,4	0	20,3	0	152,96	0	0	0	0	0	28,09
1	149,06	91,8	242,5	0	0	0	0	0	0	0	77,71	64,76	29,7	0	0
2	405,552	150,1	98,74	0	0	0	0	0	0	0	49,37	0	0	0	180,1
3	486,429	147,4	224,7	0	0	0	0	0	0	0	65,04	0	0	0	39,45
4	0	116,7	298,5	0	0	0	0	0	95,238	0	92,17	49,2	0	0	0
5	0	0	0	105,6	0	0	0	0	0	0	0	35,83	0	100,9	0
6	0	0	0	177	0	0	0	0	0	0	0	7,01	0	0	0
1	223,829	79,53	0	0	0	65,69	0	33,28	1,74	102,2	0	0	0	67,07	0
2	492,28	0	0	0	0	0	0	0	308,68	3,996	0	0	0	12,6	0
3	447,464	0	0	0	0	0	0	0	314,06	0	0	0	0	32,59	0
4	182,629	18,25	0	0	0	12,68	0	0	216,84	72,26	0	0	0	123,1	0
5	0	0	0	25,93	0	34,23	0	0	231,37	61,46	0	0	0	123,1	0
6	0	0	0	41,05	0	0	0	0	189,41	92,65	0	0	0	123,1	0

Fuente: Elaboración propia.

4.7.2. *Tiempo muerto y horas extras*

En la tabla 17 y 18 se puede observar que si se realiza el modelo de asignación propuesto por el software express el tiempo muerto y las horas extras de cada uno de los trabajadores se reduce a cero, obteniendo un mayor beneficio de productividad de la mano de obra y una reducción de costos importantes y que no se generan sobre recargos a las personas ni al producto en costos que n generan ningún valor agregado al producto.

Tabla 17: Tiempos muertos de los operarios según modelo

Operarios	Días a la semana						Total
	1	2	3	4	5	6	
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18: Horas extras de los operarios según modelo

Operarios	Días a la semana						Total
	1	2	3	4	5	6	
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

4.7.3. Despachos

En la tabla 19 se puede observar que cada uno de los productos en los días de la semana está cumpliendo con la demanda generada por parte de los clientes, no teniendo pérdidas en el proceso y así generando mayor rentabilidad dentro de la cadena.

Tabla 19: Resultados de despachos de producto según modelo

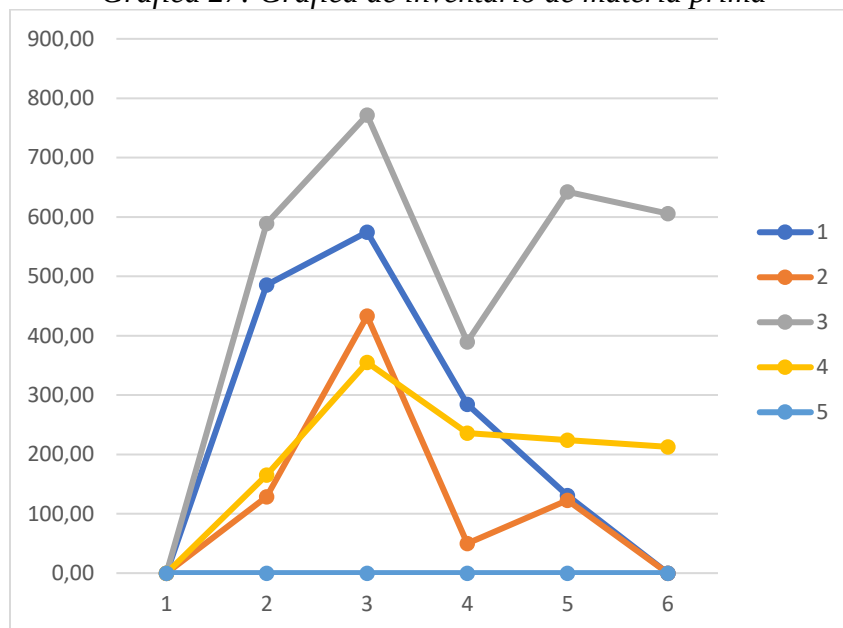
Productos	Días de la semana						Total, general
	1	2	3	4	5	6	
1	708,67	445,75	530,13	651,57	278,77	111,11	2726
2	198,26	132,93	187,68	180,76	106,15	20,85	826,63
3	216	165,19	188,08	172,43	127,33	35,33	904,36
4	10,5	1,15	9,03	4,92	7,55	3,45	36,6
5	74,86	0	0	0	0	21,39	96,25
6	30,58	18,86	33,57	15,36	30	4,23	132,6
7	9,26	0,16	7,7	4,28	4,67	2,26	28,33
8	39,25	33,38	4,66	10,64	58,14	11,19	157,26
9	41,74	54,64	34,96	56,32	34,32	5,49	227,47
10	0	71,35	79,34	77,74	61,46	92,65	382,54
11	95,42	51,66	65,04	63,82	22,84	5,51	304,29
12	89,08	0	28,02	70,06	35,83	7,01	230
13	25,75	35,8	17,05	31,47	15,38	4,25	129,7
14	114,58	21,67	32,59	12,85	3,67	0	185,36
15	30,29	16,04	64,32	34,44	12,87	4,08	162,04

Fuente: Elaboración propia.

4.7.4. Inventario de materia prima

El modelo de programación construido determina las cantidades de inventarios de materias primas más adecuadas con el fin de maximizar las utilidades al reducir los costos por estas pérdidas, dando prioridad a los productos con factores de perdidas mayores, según lo evidencia en la gráfica 27.

Gráfica 27: Gráfica de inventario de materia prima

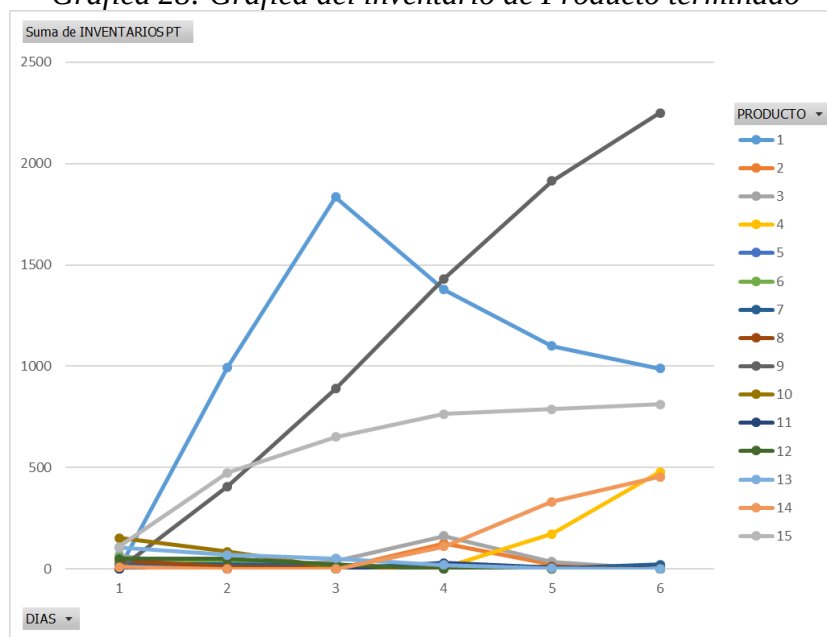


Fuente: Elaboración propia.

En la configuración planteada en el modelo se debe gestionar y coordinar con el proceso de suministro, la reducción del abastecimiento de las materias primas 3 y 4. las demás materias primas al final de la semana terminan en cero (0).

4.7.5. Inventario de producto terminado

Gráfica 28: Gráfica del inventario de Producto terminado



Fuente: Elaboración propia.

La anterior grafica muestra el comportamiento de los inventarios en los seis (6) días laborales, vemos como el producto 1 (Producto A 16 oz) aumenta hasta el día 3 previendo la demanda de los 3 y 4, así mismo disminuye con la disminución en la disponibilidad de su materia prima. por otro lado, es de notar el producto 9 que su inventario se eleva hasta llegar hasta 2250, esto se debe a que es un producto en los que los operarios tienen un alto rendimiento y es un producto rentable. En general los inventarios varían de acuerdo a la disponibilidad de la materia prima y la rentabilidad que genere cada producto. Se obtiene como resultado en la tabla 20

Tabla 20: Variación de los inventarios

Producto	1	2	3	4	5	6	Total general
1	0.00	995.64	1836.08	1378.83	1100.06	988.95	6299.56
2	23.07	40.28	0.00	127.00	20.85	0.00	211.20
3	66.45	0.00	36.58	162.66	35.33	0.00	301.02
4	19.50	18.35	9.32	4.40	172.32	479.11	703.01
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	55.11	36.25	2.68	0.00	4.23	0.00	98.26
7	20.74	20.58	12.88	8.60	3.93	21.96	88.69
8	44.03	10.65	5.99	11.13	11.19	0.00	82.99
9	0.00	407.01	890.03	1431.20	1913.67	2250.55	6892.45
10	152.17	84.82	5.48	0.00	0.00	0.00	242.46
11	2.29	0.00	0.00	28.35	5.51	0.00	36.15
12	48.88	48.88	20.86	0.00	0.00	0.00	118.62
13	103.95	68.15	51.10	19.63	4.25	0.00	247.08
14	9.08	0.00	0.00	110.23	330.52	453.59	903.41
15	107.96	473.50	650.14	763.85	788.46	812.46	3596.36
Total general	653.23	2204.10	3521.13	4045.88	4390.31	5006.63	19821.28

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente el modelo tendra a clasificar las materias primas y convertirlas en productos terminados con el fin de evitar las perdidas por deshidratación y calidad, como se observó en el comportamiento de los inventarios de materias primas. Esto se puede observar en la tabla 21.

4.5.6. Asignación de Operarios a las Células de Trabajo

El modelo da como resultado que la mejor configuración de las células para lograr cumplir con todos los pedidos y generar el menor costo de mano de obra es asignando al operario 5,6,7 y 11 en la célula número 1, a los operarios 2,4,9 y 12 en la célula número 2 y a los operarios 1, 3, 8, 10 en la célula número 3. Con lo cual se tiene un criterio cuantitativo para configurar los equipos y las células de trabajo.

Tabla 21: asignación de operarios y configuración de las células de trabajo

Célula	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total general
1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	4
2	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	4
3	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	4
Total general	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12

Fuente: Elaboración propia.

4.7.6. Resultado función objetivo

Los resultados obtenidos en el modelo con la demanda proyectada, la mejor configuración de los equipos (células de trabajo) de acuerdo al modelo y los rendimientos de cada uno de los operarios, la disponibilidad de materias primas produce las siguientes ventas, costos de materia prima, costos por perdidas de materias primas y la utilidad bruta son las siguientes:

Tabla 22: Resultado de utilidad bruta según modelo

VENTAS	\$237'670.000
COSTO DE MANO DE OBRA	2'782.000
COSTO DE MATERIA PRIMA	\$152'062.000
COSTO PERDIDA MATERIA PRIMA	\$4'687.000
UTILIDAD BRUTA	\$78'144.000

Fuente: Elaboración propia.

5. COSTOS Y BENEFICIOS DE LA PROPUESTA

5.1. Costos de implementación de la Propuesta

En los costos de la implementación de la propuesta se incluyen el costo del computador para el desarrollo de la aplicación de VBA de rendimientos las licencias de los softwares Power BI® y Fico® Xpress, los costos de las horas de desarrollo y el modelado.

Tabla 23. Costos de la Implementación de la Propuesta

Concepto	Cant.	Unidad	Costo Unitario	Total
Computador Latitude 3420 Dell i5	1	Und	\$ 4.999.900	\$4.999.900
Desarrollo y programación de aplicativo VBA de Rendimientos	40	Horas	\$ 17.000	\$ 680.000
Desarrollo y programación del Programa de producción	24	Horas	\$ 17.000	\$ 408.000
Desarrollo y cálculo de los Puntos de reorden	4	Horas	\$ 17.000	\$ 68.000
Desarrollo de Dashboard en Power BI®	4	Horas	\$ 17.000	\$ 68.000
Licencia Power BI®	12	Meses	\$ 30.000	\$ 360.000
Proceso de modelado en Fico® Xpress	32	Horas	\$ 17.000	\$ 544.000
Software Fico® Xpress versión gratuita	1	Und	\$0	\$ 0
TOTAL				\$7.127.900

Fuente: Elaboración propia.

El costo total de la propuesta es de \$7'127.900 los cuales la gerencia esta dispuestos a invertir dados los beneficios que se abordan a continuación.

5.2. Pronóstico de la demanda

Al realizar el modelo propuesto de asignación y de programación de la producción, se organizó la documentación en estructura de base de datos, permitiendo realizar un pronóstico de la demanda, la distribución de la demanda en todos los días de la semana y observar tendencias para lograr una estabilización en los turnos de trabajo del personal pudiéndolo visualizar en un cuadro de mando integral y de cómo va a ser el comportamiento de la demanda hierbas aromáticas en el futuro de Agrifresh. Por tanto, la empresa con el análisis de esta información puede aprovechar las oportunidades que brinde el mercado y las tendencias.

Esto permite poder realizar un Plan Maestro de producción, conociendo como primera medida la distribución del producto al momento de ser empacado y cómo sería la distribución de mano de obra.

5.3. Análisis de capacidad

Al momento de realizar el modelo y teniendo el pronóstico de la demanda, se reconoce la capacidad disponible de la planta, la capacidad máxima de la planta, la capacidad de utilización de la planta, eficiencias en el proceso y mediante la aplicación de VBA el conocimiento de tiempos y movimientos de cada uno de los operarios, permitiendo realizar pronósticos de horas de trabajo formales, traducidos en costos de producción, si se requieren o no se requieren realizar horas extras los operarios y adicional a eso, permite tomar

decisiones acerca de las contrataciones o despidos del personal involucrado en la planta proporcionando no tener ni falta ni un exceso de personal dependiendo la demanda del producto.

5.4. Plan maestro de Producción

A partir del desarrollo del modelo, se cuenta con un plan maestro de producción dentro de la compañía, calculando las horas requeridas para procesar los pedidos y el número necesario de Horas Hombre para poder despachar cada uno de los pedidos, adicional a eso se inicia a trabajar por grupos de familias de hierbas aromáticas, disminuyendo tiempos de cambios de referencia, teniendo en cuenta el orden secuencial de trabajo y que siempre se debe informar al grupo acerca del programa.

Adicional a eso, el desarrollo del plan Maestro de Producción determina los puntos de reorden para los diferentes insumos y repuestos que se necesitan para realizar la operación de selección y empaque, el tiempo de compra y el Lead time de cada uno de ellos lo que permite reducir inventarios innecesarios dentro de la planta.

Finalmente, teniendo el programa de producción y desarrollando el modelo realizado se obtuvo el siguiente resultado de rendimiento para la planta en los meses de diciembre y enero comparándolo con septiembre a diciembre, mostrándolos en la tabla 14:

Tabla 24: Indicadores de rendimiento después de aplicado el modelo

MES	HO Requeridas	HO Total Empleada	Indicador de Productividad	Meta	Variación Porcentual
Agosto	1.083,60	3.676,50	0,29	1,00	
Septiembre	1.805,52	4.221,50	0,43	1,00	0,0%
Octubre	1.914,92	4.418,00	0,43	1,00	1,3%
Noviembre	2.081,14	4.133,50	0,50	1,00	17,7%
Diciembre	2.261,59	3.722,00	0,61	1,00	42,1%
Enero	2.233,36	3.601,50	0,62	1,00	45,0%

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 14, al momento de desarrollar el modelo, se aumenta la productividad en un 45%, esto con el plan maestro de producción, pudiendo realizar otros pedidos en el menor tiempo de lo que se realizaba anteriormente.

Adicional a eso, se comparó los resultados en dinero teniendo un ahorro entre septiembre del año 2022 y enero del presente año de alrededor 30 Millones de pesos, equilibrando el número de personas con la demanda realizada, como se muestra en la tabla 15:

Tabla 25: Ahorro en costo de mano de obra

Mes	No Personas	Salario Mínimo	Total, Costo MO	Ahorro
Septiembre	24	\$1000000	\$24000000	0
Octubre	27	\$1000000	\$27000000	\$362291,587
Noviembre	26	\$1000000	\$26000000	\$4607070,646
Diciembre	26	\$1000000	\$26000000	\$10938189,75
Enero	26	\$1160000	\$30160000	\$13569183,89

Fuente: Elaboración propia.

El aumento en la productividad es resultado de los siguientes factores:

1. Comunicar el plan maestro de producción oportunamente.
2. Implementar la política de producción por familias de productos.
3. Conocer los puntos de reorden o inventarios mínimos para no quedar desabastecidos de los materiales críticos para la producción.
4. Hacer la planificación de la producción y de las horas extras requeridas.
5. Conformación de células de trabajo según datos de rendimiento obtenidos que generen mejor.

5.5. Condiciones de Trabajo

Los resultados que respecta a las condiciones laborales es realizar una programación de la producción que reduzca las horas extras, el modelo de programación de la producción lo realiza mediante la maximización de las utilidades la cual minimiza el componente de la función objetivo de los costos de mano de obra. Lo anterior con el objetivo no solo de minimizar los costos de mano de obra si no con el fin de reducir la sobrecarga laboral de los trabajadores principalmente del personal operativo de la planta.

5.6. Evaluación Final del estado de la Planeación, Programación y control de la Producción

Finalmente se aplicó la misma evaluación realizada en la etapa del diagnóstico

Tabla 26. Evaluación final del estado de la planeación, programación y control de la producción.

EVALUACION FINAL DE PLANEACIÓN PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN POSTERIOR A IMPLEMENTACION					
No.	ASPECTOS	SI	PARCIAL	NO	N/A.
1. PRONOSTICO DE LA DEMANDA					
1.1.	Posee información histórica de la demanda de los clientes	X			Se organizó la información en estructura de base de datos, que permite realizar pronóstico, distribución de la demandada en los días de la semana, se establece el pareto de los productos mas demandados
1.2.	Se realiza un análisis de dicha información	X			Se conocen las preferencias de los clientes y las cantidades. Se pueden observar tendencias, cambios en la demanda y ademas se ueden visualizar en un cuadro de mando integral
1.3.	Se conocen cuales son los productos mas demandados	X			Mediante el dashboard o cuadro de mando se pueden observar las proporciones y cantidades de estos productos
1.4.	Se realiza un pronostico de la demanda de cada uno de los productos por cada uno de los clientes	X			Es posible observar la demanda de los productos
2. ANALISIS DE CAPACIDAD					
2.1.	Conoce la capacidad Disponible de la planta	X			expresado en horas hombre y en unidades equivalentes de un pedido de los diferentes productos en todos sus presentaciones
2.2.	Conoce la capacidad máxima de la planta	X			Las horas hombre totales de los operarios y es necesario la suma de las horas extras que se pueden realizar con los mismos
2.3.	Conoce la utilización de la planta	X			En terminos del indicador de productividad que expresa las horas hombre requeridas versus las horas hombre disponibles
2.3.	Conoce la eficiencia del proceso	X			expresado en el indicador de productividad que resulta de dividir las horas hombre requeridas versus las horas hombre empleadas
2.5.	Conoce los tiempos estándar de producción de los diferentes productos	X			Mediante la aplicación en VBA se van llevando los rendimientos de los operarios días tras día y estos estandares se van actualizando en tiempo real, así mismo se va alimentando con los tiempos empleados en las nuevas referencias de producto
2.6.	Se utilizan los tiempos estándar de producción para determinar la capacidad necesaria	X			la aplicación en VBA y la base de datos de la misma van alimentando en tiempo real al programa de producción que a su vez va evaluando la capacidad de la planta y el personal requerido
2.7.	Las contrataciones y despidos se basan en el análisis de capacidad	X			Cuando se carga el programa de producción indica el numero de personas requeridas día a día
2.8.	La programación de horas extras se basan en el análisis de capacidad	X			Cuando se cargan las ordenes de producción al plan maestro de producción nos indica si es necesario realiza una o dos horas extras
2.9.	La subcontratación se basa en análisis de capacidad		X		
2.10.	La variación del volumen de inventario se basa en un análisis de capacidad			X	No es viable en la empresa ya que son productos perecederos
3. PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN					
3.1.	Se cuenta con un programa maestro de la producción	X			Se tiene en digital y en físico para su ejecución
3.2.	El programa de producción tiene en consideración el análisis de la capacidad	X			El programa calcula las horas requeridas para procesar los pedidos y el numero de personas necesar, así como las horas extras de ser necesarias
3.3.	El programa de producción es comunicado y actualizado oportunamente	X			Se comunica física y electronicamente agrupados por familias de productos y en el orden secuencial que se deben trabajar
3.4.	El programa de producción obtiene un plan aproximado de la Capacidad y permite establecer su viabilidad	X			El programa calcula si la capacidad requerida es inferior o superior a la capacidad disponible de la planta
3.5.	Se tiene una metodología para definir la secuencia de las actividades	X			los pedidos estan agrupados por familias de productos y se presentan a los líderes de turno en el orden que deben ser procesados de acuerdo a la fecha y hora de vencimiento mas proximo
3.6.	Se genera un plan de requerimiento de materiales (MRP) a partir de un programa Maestro de Producción	X			Se determinan los puntos de reorden para los diferentes materiales para que no hayan faltantes de los mismos y con esto no pare la producción
3.7.	Existe algún método de reprogramación del MRP (Actualización)	X			Se a definido una metodología
3.7.	Existe un ERP en la empresa que realice la planificación, programación y control de la producción así como el plan de requerido de materiales.	X			Se cuentan con algunas herramientas de excel que permiten realizar la planificación, programación y control de la producción, así como el calculo de los consumos de los materiales y su puntos de reorden que cubran la demandada en el tiempo de abastecimiento
RESULTADOS		17	3	1	22
		77%	14%	5%	5%
		100%			

Fuente: Elaboración propia.

En esta evaluación se evidencio una mejora significativa en los aspectos de pronóstico de la demanda, Análisis de Capacidad y Programación de la producción. Como resultado de cumplimiento total y un cumplimiento parcial del 0% y 18% respectivamente se pasó a un cumplimiento total y un cumplimiento parcial de 77% y 14%.

Conclusiones

Al introducir herramientas de ingeniería en procesos diseñados de manera empírica como lo es un modelo de programación lineal se obtuvo múltiples beneficios como facilitar la asignación de personal a células de trabajo, reducir las horas extras, reducir los tiempos muertos, utilizar el número de personas necesarias para cumplir la demanda y con ello aumentar la productividad de la mano de obra.

En el diagnóstico realizado se pudo evaluar el estado inicial de la empresa en cuanto a sus procesos de planeación, programación y control de la producción y como este proceso impacta en la productividad de mano de obra respecto a las horas hombre empleadas frente a las horas hombre requeridas. En este diagnóstico se encontró que la empresa no mide su desempeño en el área de producción, no realiza una adecuada planeación de la producción por lo que se incurre en horas extras y se contrata personal para cumplir con la demanda, lo anterior, sin tener en cuenta un análisis de capacidad. Adicionalmente se observó que el área de producción debe seguir unas políticas claras de producción y debe contar con información oportuna sobre los pedidos realizados por los clientes para poder ejecutar una adecuada planeación, secuenciación y agrupación de actividades. Es necesario partir de una medición de tiempo de sus procesos críticos para poder realizar procesos de planeación que incluye el análisis de capacidad, con ello realizar un plan maestro de producción, su desagregación en un programa de producción para su ejecución y para su control con el fin de evaluar el cumplimiento de ese programa que determina el cumplimiento a los clientes y garantiza la sostenibilidad del negocio.

El modelo de programación lineal para la programación de la producción logró obtener como resultado la asignación del personal en tres células de trabajo conformadas por cuatro personas cumpliendo con la totalidad de la demanda planteada de quince (15) referencias de producto en el horizonte de planeación de una semana de seis días hábiles sin generar horas extras, ni tiempos muertos, de esta manera, se incrementó la productividad de la mano de obra. Para ello se tuvo en cuenta como parámetros las horas de trabajo diarias, las horas extras máximas que puede realizar un operario y el costo asociado a las mismas, los rendimientos de cada operario en cada referencia de producto, la disponibilidad de materia prima y sus precios de compra, la demanda de cada referencia de producto y sus precios de venta. Por otro lado, como variables se plantearon la cantidad producida por operario que se asoció a la cantidad producida por cada célula de trabajo, la variable de asignación de los operarios a las células de trabajo (en donde un operario no podía ser asignado a más de una célula de trabajo y no se podía asignar a más de cuatro operarios a una célula de trabajo), las horas extras realizadas por cada operario y finalmente los inventarios tanto de materia prima como de producto terminado. Con la combinación de estos parámetros y estas variables se plantearon las restricciones de capacidad, las restricciones de descarga de los inventarios, las restricciones de cumplimiento de la demanda. Lo anterior con el fin de modelar las condiciones reales del sistema. Alrededor del desarrollo de un modelo de programación de la producción y de la determinación de sus parámetros y variables se puede encontrar muchas otras mejoras en términos de flujo de información; de los procesos de planeación y programación; de la asignación y secuenciación de tareas. El proceso de modelado ayuda a comprender y mejorar el sistema productivo real y las interrelaciones con los otros procesos de la compañía como lo son el proceso comercial y el proceso de suministro.

Al aplicar el modelo propuesto se obtuvieron los valores de ventas totales, costos de mano de obra, costo de materia prima, costo de pérdida de materia prima obteniendo una utilidad bruta de COP \$78'144.000 lo cual es una mejora en la utilidad con respecto al

diagnóstico desarrollado en el primer objetivo de este trabajo, también se pudo observar una mejoría mes a mes entre los meses de agosto del 2022 a enero del 2023 en cuanto al indicador de productividad de la mano de obra calculado como las horas hombre requeridas para una tarea asignada según los tiempos estándar que arrojan las mediciones de rendimiento sobre las horas hombre empleadas para la realización de dicha tarea hasta obtener un incremento de hasta el 45% en el mes de enero del 2023 comenzando con un valor de 0,29 sobre 1 en el primer mes y de un 0,62 para el último mes. Este aumento en la productividad significó un ahorro acumulado en mano de obra de COP \$30'000.000.

Recomendaciones

Para futuros modelos es importante evaluar la complejidad del productivo real y lo que se pretende modelar y eso lo determina puesto que esto dependerá el software a emplear y la capacidad de este, así mismo la complejidad de la interpretación de los resultados.

En una nueva etapa de modelado se pueden incluir diferentes parámetros que representen otras habilidades de los operarios aparte de los rendimientos por producto, como, por ejemplo, la calidad del proceso de selección y empaque de cada uno de ellos, los cuales pueden alimenten el modelo para realizar una mejor asignación de los operarios a las células de trabajo y no solo redunde en el costo de mano de obra si no en los costos de no calidad.

Referencias

- Bernal, C. (2016). *Metodología de la Investigación* (Cuarta ed.). Bogotá: Person.
- Chase, R. (2018). *Administración de Operaciones Producción y Cadena de Suministros* (15va ed.). México D.F.: McGraw-Hill.
- Córdoba, M., & González, A. (Noviembre de 2019). *Propuesta de un sistema de planeación, programación y control de la producción para una fábrica de vendas*. Bogotá D.C, Bogotá D.C, Colombia: Universidad El Bosque.
- Gacha, L., Hernández, J., & Rubiano, C. (Junio de 2020). *Desarrollo de una herramienta para la programación y estimación de la ejecución del programa de producción en el área de laminados (producción) de la empresa escobar y martinez*. Bogotá D.C, Bogotá D.C, Colombia: Universidad El Bosque.
- Guevara, H. (2021). *Plan de producción farmacéutica de soluciones parentales con programación lineal*. Estudios de la Gestion Revista Internacional de administración, 24.
- Machuca, J. A. (2003). *Dirección de Operaciones*. McGraw-Hill.
- Herrera, D. (2018). *La modelación como método del conocimiento científico en las ciencias sociales*. Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales, vol. 9, núm. 1.
- Ruiz Vicarromero, R. (2021). *Administración de la Producción*. Callao.
- Sanchez, D., & Ramírez, N. (2017). *Diseño de un modelo de programación lineal para la planeación de producción en un cultivo de fresa, según factores costo/beneficio y capacidades productivas en un periodo temporal definido*. Ingenierías USBMed, Vol. 8, No. 1, 11.
- Socconini, L. (2019). *Lean Manufacturing*. Bogotá: Alfaomega.
- Souza, J. A. (2021). *Sistema de planificación de recursos empresariales (ERP) y su influencia en los procesos de negocio de empresas distribuidoras de productos de consumo masivo en Lima Metropolitana en el 2019*. Revista Industrial Data 24.
- Taha, H. (2017). *Investigación de Operaciones*. Mexico D.F.: Person.

Anexo No. 1

En este anexo se presenta la estructura del modelo de programación de la producción en Fico® Xpress

Se hace apertura del modelo y la declaración del parámetro para exportar los resultados, así mismo se declaran los subíndices.

Figura 8. Parámetro para reexportar resultados y Subíndices.

```
!@encoding CP1252
model ModelName
uses "mumxprs";

parameters
    RESULTFILE1 ="Resultados14052023.csv"
end-parameters

declarations
    !Subíndices
    Productos=1..15
    Mprimas=1..5
    Operarios=1..12
    Celulas=1..3
    Dias=1..6
```

Fuente: Tomado de Fico® Xpress

Seguido a esto se realizan las declaraciones de los parámetros escalares, parámetros vectoriales y de las variables.

Figura 9. Declaración de Parámetros y Variables del Modelo

```
!Parámetros escalares
HTD=8      !Horas de trabajo diarias (Horas)
HEM=2      !Horas Extras Maximias (Horas)
CHO=4833   !Costo Hora Ordinaria ($)
CHE=6041   !Costo Hora Extra ($)
TRM=4600   !Tasa Representativa del mercado ($COP/USD)

!Parámetros vectoriales
x: array (Productos,Operarios) of real    !Rendimiento en el producto i, por el operario j (h/kg)
PE: array (Productos) of real             !Porcentaje de exportación del producto i (%)
d: array (Mprimas,Dias) of real           !Disponibilidad de la materia prima m en el día k (kg)
D: array (Productos,Dias) of real          !Demanda del producto i en el día k (kg)
pimp: array (Mprimas) of real              !Pérdida del inventario de materia prima para el producto i
Cmp: array (Mprimas) of real              !Costo de la materia prima m
PV: array (Productos) of real              !Precio de venta del producto i
IIpt: array (Productos) of real            !Inventario Inicial producto terminado i
IImp: array (Mprimas) of real              !Inventario Inicial de materia prima para el producto i
BomMp: array (Productos,Mprimas) of real  !Matriz de la explosión de las materias primas m de los productos i

!Variables
x: array (Productos,Celulas,Dias) of mpvar !Cantidad producida del producto i en la célula l en el día k
v: array (Productos,Operarios,Celulas,Dias) of mpvar !Cantidad producida del producto i por el operario j el día k
a: array (Operarios, Celulas) of mpvar      !Variable binaria de asignación de equipos del operario j en la Célula k
y: array (Productos, Dias) of mpvar         !Cantidad despachada del producto i en el día k
HE: array (Operarios, Dias) of mpvar        !Horas extras realizadas por el operario j en el día k
imp: array (Mprimas, Dias) of mpvar         !Inventario Final de la materia primas del producto i en el día k
ipt: array (Productos, Dias) of mpvar       !Inventario Final del producto i en el día k
```

Fuente: Tomado de Fico® Xpress

Se realiza el llenado de los vectores figura 10, 11, 12, 13.

Figura 10. Llenado de los vectores con los parámetros de rendimientos, porcentajes de exportación y disponibilidad de materia prima.

!Operario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
r::	[0.029, 0.0301, 0.0299, 0.03, 0.0301, 0.0288, 0.0301, 0.0317, 0.0325, 0.0327, 0.0318, 0.0348, 0.0531, 0.0532, 0.0424, 0.0424, 0.0463, 0.0508, 0.0527, 0.0518, 0.0508, 0.0513, 0.0477, 0.0524, 0.0316, 0.0294, 0.0326, 0.0297, 0.0318, 0.028, 0.0308, 0.0304, 0.0268, 0.0334, 0.0288, 0.0346, 0.2045, 0.1689, 0.1748, 0.1835, 0.1821, 0.1656, 0.1938, 0.2188, 0.1639, 0.1949, 0.1783, 0.1821, 0.1876, 0.2315, 0.2158, 0.2158, 0.2158, 0.1802, 0.1832, 0.2158, 0.2257, 0.2874, 0.1931, 0.3311, 0.0901, 0.0758, 0.0952, 0.0993, 0.1028, 0.0886, 0.0867, 0.0949, 0.0895, 0.0861, 0.089, 0.1028, 0.3344, 0.346, 0.2494, 0.2671, 0.2865, 0.3484, 0.1462, 0.5051, 0.277, 0.3289, 0.2915, 0.1832, 0.1094, 0.1548, 0.1435, 0.1364, 0.1724, 0.135, 0.1119, 0.094, 0.1504, 0.1515, 0.11, 0.1786, 0.0866, 0.0834, 0.0453, 0.1052, 0.0957, 0.0604, 0.0891, 0.0582, 0.0914, 0.0868, 0.0523, 0.084, 0.2075, 0.1931, 0.1122, 0.1789, 0.1866, 0.113, 0.1565, 0.0783, 0.173, 0.1563, 0.2208, 0.2278, 0.0375, 0.0416, 0.0471, 0.0331, 0.0493, 0.0479, 0.0374, 0.0436, 0.0429, 0.0467, 0.0435, 0.0544, 0.2941, 0.1626, 0.2841, 0.2841, 0.2841, 0.3185, 0.3077, 0.2841, 0.5263, 0.2841, 0.1852, 0.2841, 0.0674, 0.0774, 0.0835, 0.0517, 0.0644, 0.0876, 0.0962, 0.0813, 0.1103, 0.0924, 0.0978, 0.1027, 0.065, 0.0917, 0.0853, 0.0793, 0.11, 0.065, 0.1005, 0.0965, 0.0808, 0.1042, 0.0883, 0.0981, 0.0442, 0.0426, 0.0634, 0.044, 0.061, 0.053, 0.0397, 0.0521, 0.052, 0.0519, 0.0453, 0.0544]	! PRODUCTO A 16 oz Loose											
													! PRODUCTO B 16 oz Loose
													! PRODUCTO C 16 oz Loose
													! PRODUCTO A 18 oz 3/4
													! PRODUCTO B 20 oz 2 1/2
													! PRODUCTO C 20 oz 1 2/3
													! PRODUCTO C 18 oz 3/4
													! PRODUCTO B 1000 gr 84
													! PRODUCTO 24 oz 2oz
													! PRODUCTO B 500 gr 42
													! PRODUCTO D 16 oz Loose
													! PRODUCTO C 16 oz 1
													! PRODUCTO B 4 oz Loose
													! PRODUCTO A 16 oz 1 1/3
													! PRODUCTO E 16 oz Loose
!MP1	MP2	MP3	MP4	MP5									
FE::	[0.89,	0.67,	0.95,	0.91,	0.93]								
	!Lun	Mart	Mier	Juev	Vier	Sab							
	! 1	2	3	4	5	6							
d::	[808.5,	2637.8,	2286.6,	784,	898.3,	751.3,					!MP1		
	211.7,	358.8,	526.8,	216.5,	252.1,	50.1,					!MP2		
	348,	692.7,	442.9,	28.3,	341.9,	17.7,					!MP3		
	5.4,	219.5,	269.4,	0.0,	0.0,	0.0,					!MP4		
	107.9,	410.3,	259.1,	159.3,	40.3,	30.2]					!MP5		

Fuente: Tomado de Fico® Xpress

Figura 11. Llenado de los vectores con los parámetros de la demanda e inventario inicial de materia prima.

D::	[708.67,	445.75,	530.13,	651.57,	278.77,	111.11,								!PRODUCTO A 16 oz Loose
	198.26,	132.93,	187.68,	180.76,	106.15,	20.85,								!PRODUCTO B 16 oz Loose
	216,	165.19,	188.08,	172.43,	127.33,	35.33,								!PRODUCTO C 16 oz Loose
	10.5,	1.15,	9.03,	4.92,	7.55,	3.45,								!PRODUCTO A 18 oz 3/4
	74.86,	0,	0,	0,	0,	21.39,								!PRODUCTO B 20 oz 2 1/2
	30.58,	18.86,	33.57,	15.36,	30,	4.23,								!PRODUCTO C 20 oz 1 2/3
	9.26,	0.16,	7.7,	4.28,	4.67,	2.26,								!PRODUCTO C 18 oz 3/4
	39.25,	33.38,	4.66,	10.64,	58.14,	11.19,								!PRODUCTO B 1000 gr 84
	41.74,	54.64,	34.96,	56.32,	34.32,	5.49,								!PRODUCTO A 24 oz 2oz
	0,	71.35,	79.34,	77.74,	61.46,	92.65,								!PRODUCTO B 500 gr 42
	95.42,	51.66,	65.04,	63.82,	22.84,	5.51,								!PRODUCTO D 16 oz Loose
	89.08,	0,	28.02,	70.06,	35.83,	7.01,								!PRODUCTO C 16 oz 1
	25.75,	35.8,	17.05,	31.47,	15.38,	4.25,								!PRODUCTO B 4 oz Loose
	114.58,	21.67,	32.59,	12.85,	3.67,	0,								!PRODUCTO A 16 oz 1 1/3
	30.29,	16.04,	64.32,	34.44,	12.87,	4.08]								!PRODUCTO E 16 oz Loose
IImp::	[50,	!MP1												
	350,	!MP2												
	90,	!MP3												
	80,	!MP4												
	30]	!MP5												

Fuente: Tomado de Fico® Xpress

Figura 12. Llenado de los vectores con los parámetros de inventario inicial de producto terminado, perdida de inventario de la materia prima y costo de la materia prima.

Iipt::	[70,	!PRODUCTO A 16 oz Loose
	50,	!PRODUCTO B 16 oz Loose
	40,	!PRODUCTO C 16 oz Loose
	30,	!PRODUCTO A 18 oz 3/4
	35,	!PRODUCTO B 20 oz 2 1/2
	20,	!PRODUCTO C 20 oz 1 2/3
	30,	!PRODUCTO C 18 oz 3/4
	50,	!PRODUCTO B 1000 gr 84
	40,	!PRODUCTO A 24 oz 2oz
	50,	!PRODUCTO B 500 gr 42
	20,	!PRODUCTO D 16 oz Loose
	30,	!PRODUCTO C 16 oz 1
	100,	!PRODUCTO B 4 oz Loose
	0,	!PRODUCTO A 16 oz 1 1/3
	10]	!PRODUCTO E 16 oz Loose
pimp::	[0.08,	!MP1
	0.02,	!MP2
	0.04,	!MP3
	0.05,	!MP4
	0.06]	!MP5
Cmp::	[2.2,	!MP1
	2.8,	!MP2
	4.1,	!MP3
	3.8,	!MP4
	3.3]	!MP5

Fuente: Tomado de Fico® Xpress

Figura 13. Llenado de Vectores de parámetros de precios de Ventas y explosión de materiales de los productos.

FV::	[	3.77,	!PRODUCTO A 16 oz Loose				
		3.72,	!PRODUCTO B 16 oz Loose				
		3.89,	!PRODUCTO C 16 oz Loose				
		6.16,	!PRODUCTO A 18 oz 3/4				
		3.97,	!PRODUCTO B 20 oz 2 1/2				
		4.43,	!PRODUCTO C 20 oz 1 2/3				
		6.02,	!PRODUCTO C 18 oz 3/4				
		4.07,	!PRODUCTO B 1000 gr 84				
		4.65,	!PRODUCTO A 24 oz 2oz				
		3.66,	!PRODUCTO B 500 gr 42				
		3.91,	!PRODUCTO D 16 oz Loose				
		4.52,	!PRODUCTO C 16 oz 1				
		3.96,	!PRODUCTO B 4 oz Loose				
		4.67,	!PRODUCTO A 16 oz 1 1/3				
		10.07]	!PRODUCTO E 16 oz Loose				
			!MP1	MP2	MP3	MP4	MP5
BomMp::	[	1,	0,	0,	0,	0,	!PRODUCTO A 16 oz Loose
		0,	1,	0,	0,	0,	!PRODUCTO B 16 oz Loose
		0,	0,	1,	0,	0,	!PRODUCTO C 16 oz Loose
		1,	0,	0,	0,	0,	!PRODUCTO A 18 oz 3/4
		0,	1,	0,	0,	0,	!PRODUCTO B 20 oz 2 1/2
		0,	0,	1,	0,	0,	!PRODUCTO C 20 oz 1 2/3
		0,	0,	1,	0,	0,	!PRODUCTO C 18 oz 3/4
		0,	1,	0,	0,	0,	!PRODUCTO B 1000 gr 84
		1,	0,	0,	0,	0,	!PRODUCTO A 24 oz 2oz
		0,	1,	0,	0,	0,	!PRODUCTO B 500 gr 42
		0,	0,	0,	1,	0,	!PRODUCTO D 16 oz Loose
		0,	0,	1,	0,	0,	!PRODUCTO C 16 oz 1
		0,	1,	0,	0,	0,	!PRODUCTO B 4 oz Loose
		1,	0,	0,	0,	0,	!PRODUCTO A 16 oz 1 1/3
		0,	0,	0,	0,	1]	!PRODUCTO E 16 oz Loose

Fuente: Tomado de Fico® Xpress

Se registran las ecuaciones para definir la función objetivo y las restricciones:

Figura 14. Función objetivo y restricciones de capacidad, producción por célula y asignación de operarios a célula de trabajo.

```

!Funcion Objetivo

CostoMO := sum (i in Productos, j in Operarios, l in Celulas, k in Dias) (v(i,j,l,k)*r(i,j)*CHO+HE(j,k)*CHE)
CostoMP := sum (m in Mprimas,i in Productos, l in Celulas, k in Dias) (BomMp(i,m)*Cmp(m)*TRM*x(i,l,k)/PE(m))
CPerdidaMp:= sum (m in Mprimas,k in Dias) imp(m,k)*pimp(m)*Cmp(m)*TRM
Ventas := sum (i in Productos,l in Celulas,k in Dias) FV(i)*x(i,l,k)*TRM
Utilidad:= Ventas-CostoMO-CostoMP-CPerdidaMp

!Restricción de Capacidad y maximo de horas extras

forall (j in Operarios, k in Dias) do

    sum (i in Productos,l in Celulas) r(i,j)*v(i,j,l,k)<=HTD+HE(j,k)
    HE(j,k)<=HEM

    Cap(j,k)=HTD-(sum (i in Productos, l in Celulas)r(i,j)*v(i,j,l,k))

end-do
!Restriccion de produccion de la celula respecto a la producción de los operarios que la componen

forall(i in Productos,l in Celulas, k in Dias)

    x(i,l,k)= sum (j in Operarios) v(i,j,l,k)

!Restricción de Asignacion de operario a celula de trabajo
forall (j in Operarios, l in Celulas, k in Dias) do

    a(j,l)>= sum (i in Productos) (v(i,j,l,k)/1000000)

end-do

```

Fuente: Tomado de Fico® Xpress

Figura 15. Restricción de tamaño de la célula de trabajo, disponibilidad e inventario de materias primas.

```

!Asignacion de Equipos o Celulas de trabajo menor a 4 personas por mesa
forall (l in Celulas)

    sum (j in Operarios) a(j,l)<=4

!Asignacion del Operario a un unico equipo de trabajo
forall (j in Operarios)

    sum (l in Celulas) a(j,l)=1

!Restricciones de disponibilidad e inventarios de Materias Primas con perdida por mantener inventario
forall (m in Mprimas, k in Dias)do

    sum (i in Productos,l in Celulas) (BomMp(i,m)*x(i,l,k)/PE(m))- if(k=1,IImp(m),imp(m,k-1)*(1-pimp(m)))<=d(m,k)

    imp (m,k)= d(m,k)+if(k=1,IImp(m),imp(m,k-1)*(1-pimp(m)))-sum(i in Productos, l in Celulas) (BomMp(i,m)*x(i,l,k)/PE(m))

end-do
!Despachos e inventarios de Producto Terminado
forall (i in Productos, k in Dias)do

    sum (l in Celulas) (x(i,l,k))+ if(k=1,IIPt(k),ipt(i,k-1))>= y(i,k)
    ipt(i,k)= if(k=1,IIPt(i),ipt(i,k-1))+ sum (l in Celulas) x(i,l,k)- y(i,k)

!Cumplimiento de la demanda
y(i,k)>=D(i,k)

end-do
forall (j in Operarios, l in Celulas)

    a(j,l) is_binary

```

Fuente: Tomado de Fico® Xpress

Finalmente se realiza las declaraciones de vectores para exportar los resultados.

Figura 16. Declaraciones de vectores para la exportación de resultados.

```
declarations
solucionx:    array (Productos, Celulas, Dias)      of real
solucionyv:   array (Productos, Operarios, Celulas, Dias) of real
soluciony:    array (Productos, Dias)              of real
solucionCap:  array (Operarios, Dias)              of real
solucionHE:   array (Operarios, Dias)              of real
solucionimp:  array (Productos, Dias)              of real
solucionipt:  array (Productos, Dias)              of real
soluciona:    array (Operarios, Celulas)           of real

end-declarations

forall (i in Productos, l in Celulas, k in Dias) solucionx (i,l,k):=getsol (x(i,l,k))
initializations to "mmsheet.csv:"+RESULTFILE1
solucionx as "grow;[A2:D2]"
end-initializations

forall (i in Productos, j in Operarios, l in Celulas, k in Dias) solucionv (i,j,l,k):=getsol (v(i,j,l,k))
initializations to "mmsheet.csv:"+RESULTFILE1
solucionv as "grow;[F2:J2]"
end-initializations

forall (j in Operarios, k in Dias) solucionCap (j,k):=getsol (Cap(j,k))
initializations to "mmsheet.csv:"+RESULTFILE1
solucionCap as "grow;[L2:N2]"
end-initializations

forall (j in Operarios, k in Dias) solucionHE (j,k):=getsol (HE(j,k))
initializations to "mmsheet.csv:"+RESULTFILE1
solucionHE as "grow;[P2:R2]"
end-initializations

forall (i in Productos, k in Dias) soluciony (i,k):=getsol (y(i,k))
initializations to "mmsheet.csv:"+RESULTFILE1
soluciony as "grow;[T2:V2]"
```

Fuente: Tomado de Fico® Xpress