

**DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA PLANEACIÓN
AGREGADA DE UNA EMPRESA DEL SECTOR LÁCTEO MEDIANTE UN
MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL**

CRISTIAN DAVID CORREDOR PINILLA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
OPCIÓN DE GRADO
BOGOTÁ
2021**

**DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA PLANEACIÓN
AGREGADA DE UNA EMPRESA DEL SECTOR LÁCTEO MEDIANTE UN
MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL**

CRISTIAN DAVID CORREDOR PINLLA

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

**TUTOR
GERARDO AVENDAÑO PRIETO
INGENIERO QUIMICO**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
OPCIÓN DE GRADO
BOGOTÁ
2021**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
2.PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	16
3.JUSTIFICACIÓN	17
4.OBJETIVOS.....	19
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
5. MARCO REFERENCIAL.....	20
5.1 MARCO CONCEPTUAL.....	20
5.1.1 Pronóstico de la demanda	20
5.1.3 Modelo matemático	20
5.1.4 Inventario.....	21
5.1.5 Planeación agregada	21
5.1.5 Almacén	21
5.1.6 Capacidad de producción.....	21
5.2 MARCO TEÓRICO	22
5.2.1 Planeación agregada de producción.....	22
5.2.2 Estrategias de gestión y planificación	24
5.2.3 Investigación de operaciones en la industria.....	25
5.1.3 Pronósticos.....	30
5.1.3.1 Predicción de series temporales.....	31
• Promedio Móvil Simple:.....	33
• Promedio Móvil Ponderado:.....	34
• Suavización Exponencial Simple:	34
• Suavización Exponencial Doble:.....	35
5.1.3.2 Modelo asociativo.....	35
6. MARCO METODOLÓGICO	36
6.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	36

6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	36
6.3 POBLACIÓN	37
6.4 MUESTRA	37
6.5 VARIABLES.....	37
6.6 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	40
7. CRONOGRAMA.	41
8. CASO DE ESTUDIO	42
9. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.	45
9.1 REALIZAR EL DIAGNOSTICO ACTUAL DE LA EMPRESA DETERMINADO CADA OPERACIÓN DEL SISTEMA INTEGRAL PRODUCTIVO	45
9.1.1 Portafolio de Productos	51
9.1.1.1 Queso	51
9.2. ESTABLECER LOS MODELOS DE PRONÓSTICOS DE SERIES DE TIEMPO PRECISOS Y AFINADOS QUE MEJOR SE AJUSTEN A LA DEMANDA DE PRODUCTOS QUE MANEJA LA EMPRESA.....	54
9.3. REALIZAR EL MODELO DEL PLAN DE PRODUCCIÓN UTILIZANDO PROGRAMACIÓN LINEAL BASADO EN LA RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD Y LÍMITE DE RECURSOS DISPONIBLES.	60
9.3.1 Modelización del problema	60
9.3.2. Resultado del problema	66
10. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.	70
11. CONCLUSIONES	71
BIBLIOGRAFÍA.....	72

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama exportaciones e importaciones lácteas	12
Ilustración 2 Planeación agregada.....	23
Ilustración 3 Metodología investigación de operaciones.....	27
Ilustración 4. Pronostico de la demanda de productos perecederos.....	32
Ilustración 5. Pronostico del volumen de ingresos y egresos semanal.....	33
Ilustración 6. Diagrama de Gantt.	41
Ilustración 7 Mapa de acopio	42
Ilustración 8 Producción anual de leche	44
Ilustración 9 Producción anual de leche	44
Ilustración 10 Distribución de planta	49
Ilustración 11 Diagrama de flujo de operaciones	50
Ilustración 12 Acopio según departamento	52
Ilustración 13 Histórico de ventas	54
Ilustración 14 Demanda vs pronóstico promedio móvil.....	55
Ilustración 15 Demanda vs Pronóstico móvil ponderado	56
Ilustración 16 Demanda VS pronóstico suavización exponencial	57
Ilustración 17 Demanda VS Pronóstico regresión lineal	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 18 Demanda VS Pronóstico suavización doble Holt.....	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Compañías exitosas aplicando IO	28
Tabla 2. Metodos, variables y técnicas de datos	40
Tabla 3 Producto lácteo	43
Tabla 4 Familia de productos.....	45
Tabla 5 Entradas y salidas.....	46
Tabla 6 Pronóstico promedio móvil.....	55
Tabla 7 Pronóstico móvil ponderado.....	56
Tabla 8 Pronóstico suavización exponencial	57
Tabla 9 Pronóstico regresión lineal.....	58
Tabla 10 Pronóstico suavización doble Holt	59
Tabla 11 Tabla resumen pronósticos.....	60
Tabla 12 Resumen capacidad	61
Tabla 13 Costos FO.....	62
Tabla 14 Planeación agregada	69

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Función objetivo PL.....	29
Ecuación 2 Restricciones estructurales	29
Ecuación 3 Restricciones formales de rango	30
Ecuación 4 Recursos	30
Ecuación 5 Promedio móvil simple	33
Ecuación 6 Promedio móvil ponderado	34
Ecuación 7 Suavización exponencial.....	34
Ecuación 8 Intervalo suavización exponencial.....	34
Ecuación 9 Suavización exponencial doble serie exponencial	35
Ecuación 10 Aproximación de la tendencia	35
Ecuación 11 Pronóstico periodos en el futuro.....	35
Ecuación 12 Modelo asociativo.....	36

ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
MRP.	Planificación de los requerimientos de material
ERP.	Sistema de planificación de recursos empresariales
IO.	Investigación de Operaciones
MPS.	Plan maestro de producción
ARIMA.	Modelo autorregresivo de media móvil
PL	Programación lineal

INTRODUCCIÓN

La industria láctea se enfrenta a un entorno competitivo, esto ha llevado a los productores a enfrentarse a una reestructuración lógica en sus operaciones, presionando a mejorar su planeación de producción para afrontar la dinámica de la demanda en el mercado, el incesante surgimiento de nuevos actores en el mercado lleva a las empresas a crear unidades de inteligencia para conocer los mercados, de tal manera que debe evolucionar la forma como se realizan sus procesos sacándole su máximo rendimiento a los recursos, normalmente, el plan de producción y la manufactura se guía por la planificación de marketing, el plan de producción determina cómo utilizar y asignar eficientemente los recursos, por eso las empresas tienen que desarrollar estrategias que se enmarquen con lo que viven los consumidores y con la realidad que los rodea, y una de estas estrategias es encontrar la mejor forma de hacer las cosas internamente, planeando y programando los medios que se necesitan para fabricar, utilizando los recursos humanos, sistemas tecnológicos, maquinas que permitan estratégicamente alcanzar las metas gerenciales. (Yaghin, 2020)

La tecnología de la información en la industria se ha convertido en una estrategia competitiva que respalda los procesos operacionales brindando interconexión y globalización, tanto a la vez alterando las reglas de la competencia, por tanto, es un factor determinante como apoyo estratégico y operacional soportando la toma de decisiones inmediatas y adaptaciones propias de los mercados disruptivos. Es por esto que se presenta un nuevo reto en el que se debe replantear la manera en la que se han venido haciendo las cosas, en otras palabras; analizar y modificar el proceso de la planeación y programación de la producción logrando que este sea

más óptimo, para así día a día lograr ser más competitivo. (Hernandez, Lora Freyre, Moreno Garcia, Parra Perez, & Fajardo Alcolea, 2017)

La presente investigación diseña el plan agregado de producción en una industria del sector lácteo realizando modelos de programación lineal basada en la limitación de recursos que restringen el modelo, con la finalidad de darle solución a la problemática de sobreproducción con la que la empresa cuenta. El caso de estudio es la empresa la Villa del Queso dedicada a la producción de derivados lácteos la investigación se realizará en el entorno como se ha venido desarrollando la cadena de producción con el fin de presentar una propuesta de mejora en su plan de producción.

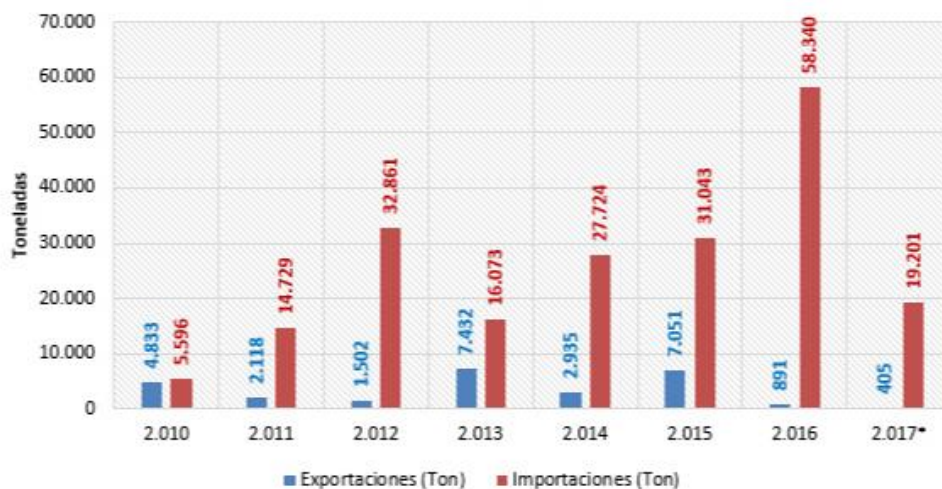
Para poder diseñar el plan de producción se iniciará realizando un diagnóstico de la situación, analizando cómo se desenvuelve su procesos productivo y sus actividades productivas, ya que han generado un excedente de producto teniendo en cuenta que ya cuenta con un plan estructurado que no cumple metas gerenciales, seguido a esto se determinará cuál es el pronóstico de la serie de tiempo que mejor se adapte a la capacidad productiva y a la demanda que ha registrado el histórico de sus ventas, luego se procederá a establecer el plan de producción teniendo en cuenta a la información histórica de los periodos de producción, luego se determinará la capacidad de inventario que puede tener la empresa con la comprensión de lo anterior se utilizan modelos de programación lineal con la meta de minimizar los costos bajo las limitaciones de la organización.

De acuerdo con esto se busca comprender cual es el proceso productivo más acorde a la producción de los derivados lácteos y también se establece cual modelo responde mejor a las fluctuaciones de la demanda por tanto en esta investigación se emplearán formulismos matemáticos lo cual serán optimizados con una herramienta de alto nivel como lo es el software General Algebraic Modeling System.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos 10 años el sector de la industria láctea colombiana se ha enfrenta a situaciones desfavorables debido acuerdos comerciales con diversos países del mundo, a esto sumarle los cambios climáticos, en 2016 se obtuvo un registro histórico en los niveles de importación lácteas de 58.340 toneladas comparada con el año 2010 que tan solo eran de 5.596 toneladas, también se refleja el decrecimiento de las exportaciones que tan solo en el año 2010 era de 4.833 y en 2016 llego a 891 toneladas. (Palacios, 2017). El siguiente diagrama muestra las exportaciones e importaciones lácteas en toneladas ilustración 1.

Ilustración 1. Diagrama exportaciones e importaciones lácteas



Fuente: Unidad de seguimiento de precios. Cálculos ASOLECHE

La ganadería colombiana equivale a 3 veces el sector cafetero y 8 veces el sector palmicultor llegando a producir anualmente 7.300 millones de litros donde se generan 810 mil empleos, empleos que se ven asechados por masivas importaciones de leche y derivados lácteos provenientes de Estados Unidos y

Europa pactados por tratados de libre comercio. (Fedegan, 2019). Los gremios lecheros estimaron importaciones por alrededor de 74.000 toneladas en el año 2020, superando las 61.000 toneladas del año 2019 donde los más afectados son los pequeños productores y más aún en el año 2021 la ganadería colombiana se ve asechada por la importación y por la circunstancia de la pandemia producida por el Covid-19 donde se disminuyó el consumo de leche y derivados lácteos en plazas como instituciones educativas y restaurantes, a lo que el gremio del ecosistema lácteo lo cataloga como una sobreoferta.

Por otro lado en las políticas pactadas en los TLC se aventajan de aranceles del 0% a importaciones de leche en polvo provenientes de EEUU que ya para la primera semana del año 2021 se importaban 13.000 toneladas de leche en polvo, algo desbordante que no se tenía previsto por los gremios lecheros, debido a que el año 2020 termino con reservas de 17.000 toneladas a lo que no se necesitarían para el primer mes del 2021 y esto sumarle las tasas de cambio bajas lo que permitirá al menos importar 80.000 toneladas en el año 2021, y por otro lado no olvidar la emergencia sanitaria, cambios climáticos y políticas gubernamentales que no favorecen el campo Colombiano. (Dinero, 2021)

Según el presidente de la Federación Colombiana de Ganaderos las importaciones dejan por fuera a los pequeños productores de competir en la dinámica del mercado ya que es un factor que impacta drásticamente en la economía de familias que dependen netamente de la ganadería y que no están acogidos por el gobierno, y donde las Multinacionales prefieren importar cientos de toneladas de leche a dejar de recolectarla a los campesinos, por lo que el Ministerio de Agricultura analiza la posibilidad de tener pasteurizadoras para almacenar la leche ya que grandes compañías se argumentan que deben importar por lo inestable que es contar con leche en temporadas de sequía; el Ministerio de Agricultura le apunta a tres ítems en pro de favorecer los productores nacionales dirigidos a: buscar mejores formas de almacenamiento, incursionar en nuevos mercados en otros países e incentivar a estratos más bajos a consumir lácteos ya

que al menos una persona consume 150 litros al año de los cuales 7% son importados, estas estrategias permitirán incentivar la producción nacional de leche y derivados lácteos.

Esto refleja la situación por la que está pasando la industria láctea colombiana y muestra la carencia de competitividad, por tanto, los productores expresan los altos costos de producción, esto induce a determinar la desventaja comercial que tiene la industria láctea y este factor de costo elevado de producción lo aleja a competir por precio. (Palacios, 2017). Las empresas de este sector se deben enfocar en minimizar los costos de producción que están ligados con no contar con un plan de producción riguroso que posiblemente incurre en mayores costos a aquellas que no la tengan y con una operación efectiva de la planeación, una empresa es capaz de explotar su potencial de producir ya que mejora la fluidez de cada actividad. (Peña, 2017)

Debido a los factores y desafíos que se enfrentan las industrias es pertinente dar valor a una acertada gestión de recursos, estructurada en establecer su óptimo nivel de desempeño y también en implementar sistemas de producción siempre enfocados en satisfacer a los clientes, una inadecuada planeación conlleva a desperdicios como lo es la sobreproducción por eso es pertinente planear para alcanzar la ventaja competitiva. (Monsalve, 2018)

Los excesos de producción representan producir más de lo que se necesita, producir en fechas no planeadas y conlleva acumulación de inventario, lo que genera un costo adicional de almacenamiento y movimiento de inventario; por tanto, lo que se busca en una metodología de Lean Manufacturing es producir lo que el cliente necesite antes de que él lo pida, en las cantidades oportunas, a esto se le conoce como *Just Time*. (Payseo Díaz, 2018)

Es determinante diseñar un plan y programa de producción que permita controlar los niveles de inventario para satisfacer la demanda cambiante, ya que tiende a ser personalizadas y se deben establecer estrategias que optimicen el inventario,

por eso la planeación establece metas claras, adaptabilidad, flexibilidad, coordinación y asignación de recursos adecuados para realizar las actividades en tiempos óptimos en el ciclo de producción. (Zhang, 2017)

En la empresa La Villa del Queso estos acuerdos comerciales impactan directamente, actualmente la compañía está afrontado sobreproducción y mano de obra ociosa que impactan drásticamente en los costos y por ende no se puede ofrecer productos a precios bajos ya que esto acarrea perdidas porque no se obtiene una utilidad, esta empresa genera producto antes de que un consumidor lo requiera lo cual implica mantener inventario almacenado lo que eleva el costo y por otro lado se tiene personal de operarios con tiempo improductivo, se puede deducir la importancia de tener un plan de producción optimo con el recurso humano y recurso material ideal para no tener perdidas y también se debe conocer la capacidad de producción pronosticando la demanda.

Este estudio permite identificar si los niveles de producción, inventario y mano de obra pueden satisfacer la demanda aplicando modelos de programación lineal. Es un método matemático mediante el cual se logra asignar cantidades fijas de recursos con el fin de satisfacer las demandas, no sólo optimizando algún objetivo sino otras condiciones agregadas. (Valencia Nuñez, 2017)

Esta compañía cuenta con un plan de producción que no es óptimo ante sus procesos operacionales debido a que es fundamental establecer un equilibrio entre la capacidad de la empresa y la demanda del mercado con la que se busca establecer un uso óptimo de los recursos productivos del sistema para minimizar los costos.

Recientemente el tema ha recibido un nuevo impulso a medida que las compañías quieren sacar el mayor potencial de la cadena de suministro en particular a la presión competitiva en el comercio alrededor del mundo por tanto el foco principal de la planificación en la producción es determinar los niveles de la fabricación e

inventario para poder cumplir con la demanda a un costo mínimo. (M. Kopanos & Puigjaner, 2019)

2.PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo diseñar una propuesta de mejora de la planeación agregada de producción en una empresa de la industria láctea mediante un modelo de programación lineal?

3.JUSTIFICACIÓN

Contar con un plan de producción en una organización productiva es de indispensable importancia ya que plan de producción determina cómo utilizar y destinar eficientemente los recursos productivos, un plan de producción da respuesta a establecer ciclos de producción y cantidades adecuadas a producir ya que una rigurosa planificación da garantía de los niveles de inventario adecuados y también de la capacidad de producción, el objetivo principal es minimizar los costos de producción con base a limitaciones de recursos. (Ghiyazsinasab, Lehoux, Menard, & Cloutier, 2020)

De acuerdo con (Ramírez Torres & Sánchez Pineda , 2017), presenta un problema de planificación de la producción a través de modelos de programación lineal con factores de reducir costos de material, operativos y de mantenimiento con enfoque a maximizar utilidades determinando la capacidad productiva. En todas las operaciones que maneja un plan de producción se estable los recursos necesarios para responder a la demanda esperada. En algunos estudios como los de (Pedraza Regalado & Zúñiga Vásquez Illarek del Rosario, 2017) se encontró que las empresas buscan mejorar su desempeño, la dinámica se centra en asignar los recursos necesario y reducir costos, por tanto, las empresas requieren de un plan de producción para maximizar los beneficios empresariales estableciendo un ritmo continuo de producción.

(Campo, Jose Alejandro Cano, & Rodrigo Gómez, 2018) propone un modelo de programación de lineal con miras a minimizar los costos asociados con la disposición de mano de obra e inventario con un pronóstico de demanda imprecisa.

Esta investigación tiene como finalidad proponer una solución a la sobreproducción que tiene la empresa del sector lácteo. Esto a través del diseño de la planeación agregada de producción mediante modelos de programación lineal, debido a que ayuda a plantear una herramienta alternativa como ventaja competitiva.

La investigación planteada contribuirá a generar un modelo que permita a la compañía establecer la importancia de utilizar estrategias adecuadas implementando un plan de producción preciso para que pueda determinar los niveles adecuados de producción apoyado por modelos de programación lineal el cual permitirán lograr la competencia con las empresas importadoras de los derivados lácteos, tal modelo sugerido se examina a través de métodos analíticos avanzados para probar la aplicabilidad y la eficiencia.

El estudio realizado permite aumentar la competitividad de la empresa en el sector lácteo frente a pymes ya que da una visión integral en los eslabones de la cadena de valor desde su recolección esta la comercialización del producto final con el reto de incrementar la productividad, acciones para combatir la crisis que vive el sector lateo frente a las grandes importaciones que imposibilitan competir con bajos costos y desgravación de aranceles a la leche en polvo importada afecta la producción local.

Los resultados de este estudio ayudarán a la empresa a lograr el éxito empresarial, esto demuestra la viabilidad de aplicar modelos matemáticos mediante la recopilación y análisis de datos históricos de la demanda en la empresa y así se pueda demostrar una solución óptima en el plan de producción, en la investigación se realizaran modelos matemáticos en el contexto de la organización pero con aplicaciones a otras industrias ya que todos estos modelos tienen restricciones que son únicamente los recursos por tanto otras industrias podrán tomarlo para su aplicación interna y lograr explotar el potencial de cada factor de producción.

4.OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una propuesta de mejoramiento de la planeación agregada de producción en una empresa del sector lácteo según las limitaciones que restringen capacidad productiva de la empresa aplicando modelos de programación lineal.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el diagnostico de las operaciones actuales evaluando cada proceso del sistema productivo en la empresa.
- Establecer los modelos de pronósticos de series de tiempo precisos y afinados que mejor se ajusten a la demanda de productos que maneja la empresa.
- Realizar el modelo del plan de producción utilizando programación lineal basado en la restricción de capacidad y límite de recursos disponibles.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se exponen los conceptos que abarca este proyecto de investigación, lo cual permite comprender la estructura de esta investigación, por tanto, es primordial abordarlos.

5.1.1 Pronóstico de la demanda

Para diferentes autores el pronosticar en un arte para predecir acontecimientos futuros, para esto se puede ver involucrado el manejo de datos históricos, y mediante un modelo matemático, lograr aproximarse con el mínimo margen de error a una predicción futura, en este caso es hacer uso de datos históricos de la cantidad de ventas que se han tenido, y predecir a futuro cuántas se venderán. (Diaz, 2016)

5.1.3 Modelo matemático

Mediante fórmulas se logra representar una relación directa entre variables para plantear un problema dado haciendo uso de expresiones matemáticas, con el fin de brindar la solución más optima y que mejor se ajuste al problema planteado. (Ochoa, 2017)

5.1.4 Inventario

Al momento de contar con productos terminados, materias primas, productos en proceso, ya estos forman parte de los activos corrientes de una empresa implicando así un costo para esta, por lo que a estos productos o materias primas existentes se le conoce como stock o inventario. (Trujillo , 2016)

5.1.5 Planeación agregada

Permite a mediano plazo responder a los requerimientos del mercado(demanda) con los recursos disponibles(capacidad) determinado cantidades a producir y tiempos de producción necesarios en que se estipula las fechas de fabricación; con la mano de obra disponible o subcontratada, permite estipular los niveles de inventario; por tanto la finalidad de la planeación agregada es minimizar los costos para el horizonte de tiempo de 3 a 18 meses por lo general. (Gómez Gómez & Brito Aguilar, 2020)

5.1.5 Almacén

Es considerado un almacén, un espacio físico en donde se realizan operaciones tales como, recepción de materias, primas almacenamiento de mercancías terminadas, en proceso o materias primas, y despacho de productos. (Correa, 2018)

5.1.6 Capacidad de producción

Todas las empresas cuentan limitaciones en los recursos que se utilizan, ya sea mano de obra o recursos físicos, estos pueden depender de factores como el tiempo o dinero, por lo que se debe conocer el punto de equilibrio en donde se hace un uso eficiente de los recursos, para conocer así sus capacidades a la hora de producir. (Orquendo, 2016)

5.2 MARCO TEÓRICO

5.2.1 Planeación agregada de producción

El comienzo de la administración científica inicia con las ideas de Frederick Taylor sobre nuevos métodos de trabajo y tenía como objetivo aumentar la productividad, descrita en el libro “los principios de la administración científica”, donde Taylor expone cuatro principios dirigidos para los gerentes y los obreros que con tan solo seguirlos se obtendrían mayores utilidades. (Rodríguez Carrasco, 2015) Taylor determinó la mejor manera de realizar cada tarea donde escogió a las personas indicadas para hacerla y les enseña cómo hacerlo de la mejor manera y pensaba que estaban motivados por el dinero así que impuso planes de incentivos salariales y reafirma que los gerentes son los encargados de planificar y controlar y los obreros de seguir las instrucciones, además Taylor se enfocó en establecer procesos operáticos que fueran comprendidos por cada miembro de la organización para que así se puedan tomar decisiones mayor asertivas e informadas por lo que su análisis científico de los procesos productivos se guiara hacia el estudio de la eficiencia así como Henry Gantt también quería enfatizar en aumentar la productividad de los obreros mediante investigaciones científicas por tanto Taylor y Gantt establecen la gestión científica y las gráficas de programación productiva ante la necesidad de planificar la producción los gráficos de Gantt se convirtieron en herramienta primordial de programación en las empresas. (Martínez Salazar & Vértiz Camarón, 2015)

La gestión de un plan de producción se debe encargar de tener en el momento preciso los insumos y materiales para producir un bien en el momento dado, así como la cantidad necesaria y por tanto los requisitos de personal, plazos estimados y costos presupuestales la fuente principal para poder estimar la cantidad a producir son los pronósticos que utilizan ventas pasadas para estimar la demanda futura. (Correa León, 2018)

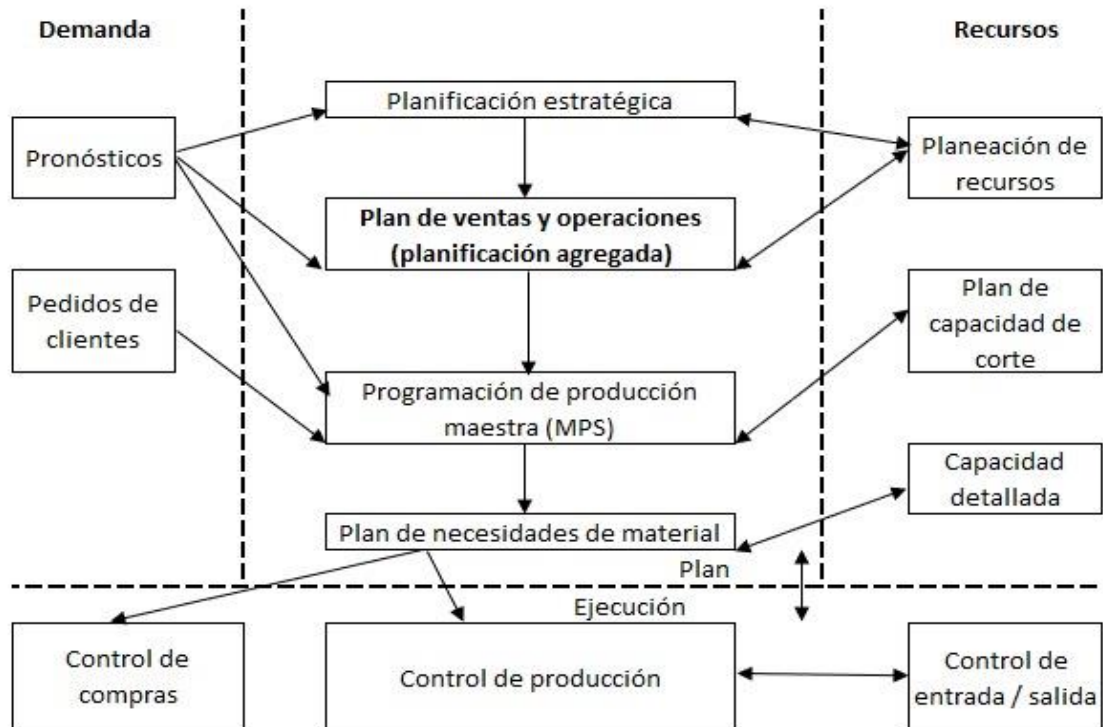


Ilustración 2 Planeación agregada

Hoy en día la planeación agregada es vital y esencial en las compañías, conocer la capacidad que se debe producir de las de los diferentes artículos que se maneja es determinante para satisfacer la demanda, esto es necesario para garantizar que el ciclo de producción sea rentable y también la producción se debe adaptar a los estándares de calidad. Por tanto, en la actualidad las empresas utilizan los sistemas MRP y ERP para planificar la producción por lo que son muy útiles en la gestión de sistemas push, lo que significa que los productos deben estar

terminados y listos antes de que sean demandados y por consecuencia incrementan los niveles de existencias, en la gestión lean manufacturing se emplea MRP que es una herramienta empleada para planificar a largo plazo en empresas donde se basan en datos, ideal para controlar la producción y los niveles de inventario ya que se ha convertido en un asociado para planificar y administrar materiales; en cuestión de calcular la cantidad de materiales el MRP satisface los niveles necesarios y en el tiempo que se requieran. (Arbós, 2012)

5.2.2 Estrategias de gestión y planificación

Estrategia de nivelación: Es un tipo de planificación agregada que se ocupa de tener niveles de producción uniforme durante un periodo a otro la producción es constante, es un tipo de planeación agregada tradicional y fija una filosofía basada en un fuerza de trabajo estable, donde los empleados pueden realizar productos de excelente calidad una mano de obra bien formada no requiere cambio y contrataciones frecuentemente, da mayor compromiso con las metas organizacionales y menores ausentismos, por lo que empleados con mayor experiencia se traduce en menor supervisión, este plan es adecuado cuando los costos de mantenimiento de inventario no son tan elevados y una de sus desventajas es la acumulación de inventario cuando la demanda es baja.

Estrategia de persecución: normalmente conocida como producción justo a tiempo la estrategia es reducir el inventario. Mantiene el ritmo de las variaciones de la demanda cambiando el nivel real de producción o el número de trabajadores. Esta es una metodología que ayuda a minimizar el desperdicio al recibir bienes cuando es necesario. A menudo conduce a empleados estresados. La ventaja de la estrategia de persecución es la alta flexibilidad para satisfacer las fluctuaciones de la demanda y las desventajas relacionadas con la estrategia incluyen los altos costos asociados con la contratación y la capacitación de la fuerza laboral.

Estrategia híbrida: Como su nombre lo indica, la estrategia híbrida es una integración de estrategias de nivel y persecución para obtener un mejor resultado. Mantiene un equilibrio suficiente entre nivel de stock, contratación, terminación y tasa de producción. En la estrategia híbrida de planificación agregada, las organizaciones acumulan inventario antes de las crecientes demandas. Utiliza pedidos atrasados para nivelar con períodos pico altos.

Puede cubrir fácilmente los picos a corto plazo contratando trabajadores temporalmente o subcontratando la producción. La contratación, el despido y la reasignación de trabajadores es una parte normal de la estrategia híbrida.

5.2.3 Investigación de operaciones en la industria

La literatura señala que los inicios de la investigación de operaciones se dan en Inglaterra cuando se veía desarrollando el conflicto militar de 1939 donde militares empezaron a planificar y empezaron a trabajar con científicos y matemáticos que centraron sus esfuerzos en obtener operaciones determinísticas para la toma de decisiones por tanto bajo la opresión de la Alemania nazi a gran breaña el gobierno buscaba un método para defenderse y alcanzar un mayor rendimiento de los radares aéreos y debido a su trabajo en esto se efectuó la ubicación precisa de las antenas y la mejor división de las señales por lo que se obtuvo una efectividad en la defensa aérea ante la opresión nazi. (phpsimplex, 2000)

A finales de la segunda guerra mundial George Joseph Stigler plantea un problema de optimización bajo unos requerimientos nutricionales para el ejército americano al menor costo, el problema se trataba de calcular la cantidad necesaria que debía ingerir un soldado de aproximadamente 150 lbs entre 77 alimentos diferentes por lo cual el matemático lo resuelve a mano bajo un método heurístico donde obtuvo 510 combinaciones posibles, dos años más tarde estados

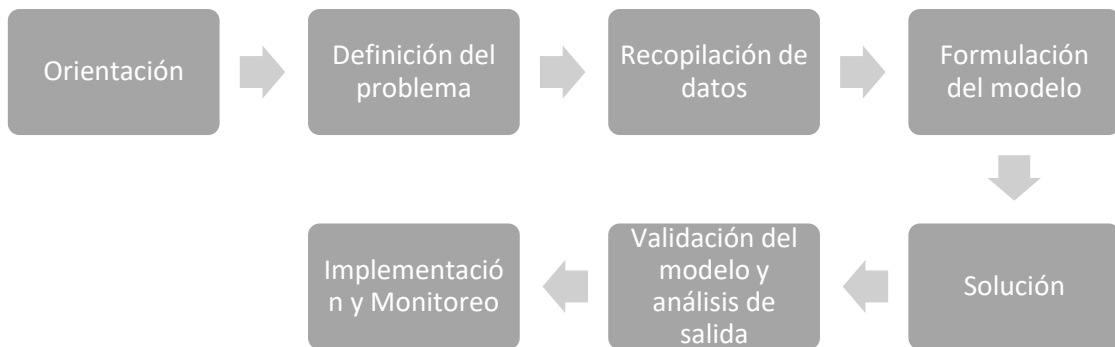
unidos empezó a utilizar técnicas de IO para mejorar los procesos de planificación a gran escala donde se forma el grupo Scientific Computation Of Optimum Programs donde estaba el matemático George Dantzig la persona que le dio el avance al método simplex, por tanto en esta instancia es donde surge las mediciones cuantitativas y es donde la IO coge fuerza para justificar las decisiones en la organización y años siguientes a la segunda guerra mundial las empresas ya estaban implementando IO en las empresas de estados unidos y empresas inglesas. (phpsimplex, 2000)

Los problemas de planificación de la producción se han formulado y resuelto como problemas de optimización desde principios de la década de 1950, y se ha desarrollado una extensa literatura. El aplicativo general de los procedimientos de planificación de recursos empresariales y los desarrollos en tecnología de la información y computación avanzada han abierto el camino para un uso aún más amplio de estas técnicas en la industria, el plan de producción se desencadena del pronóstico de ventas y se desarrolla en una serie temporal para una semana, un mes un trimestre, se desenvuelve a través del tiempo y permite a la empresa organizarse para conocer cuánta materia se necesita para producir, permite estimar cual será la capacidad a producir, también saber qué proceso de producción se debe llevar, cuánta mano de obra se necesita, permite saber qué cantidad de dinero se invertirá, si hay algún tipo de desperdicio y si lo hay como desarrollar una estrategia para mitigar o generar un plan de acción alternativo por tanto un plan de producción está diseñado con anticipación mucho antes de que el ciclo de producción comience. (jablonsky & Skocdopolova, 2017). La IO es un análisis que permite probar y determinar las decisiones y también un sustento para resolver problemas, utilizando un enfoque sistemático y articulado descrito en siete pasos. (Rajgopal, 2014)

La investigación de operaciones utiliza una serie de técnicas que se caracterizan por variables de decisión, restricciones y funciones objetivo para así luego optimizar la función a lo que muchos modelos persiguen esta secuencia, pero no

siempre es así ya que se puede definir un modelo para establecer relaciones entre variables y analizar la incidencia de una variable en otra en donde se encuentran las cadenas de Márkov, arboles de decisión , simulación motearlo, teoría de colas y entre otros métodos avanzados en la toma de decisiones que permiten decisiones precisas, consientes y asertivas. La figura 2 muestra la secuencia que se debe seguir cuando se permite modelar un problema de investigación de operaciones aplicado en problemas reales.

Ilustración 3 Metodología investigación de operaciones



Fuente: El enfoque de investigación de operaciones. Universidad de Pittsburgh

A continuación, se presentan algunas aplicaciones de investigaciones de operaciones a la industria real, algunos aplicado a empresas como Caterpillar; empresa más grande del mundo en fabricación de productos para la construcción y equipos de minería, también Texaco utilizó modelos de optimización para la mezcla de gasolina en las refinerías petroleras, Harris Corporation empresa de tecnología logro pasar de \$ 75 millones en pérdidas a \$ 40 millones en ganancias anuales.

La investigación operativa es una herramienta poderosa en la toma de decisiones ya que permite generar un mejor direccionamiento gerencial y estratégico, con cambios en los sistemas de producción y métodos en la que se permite resolver

problemas en escenarios de incertidumbre y riesgo. Por ejemplo, como lo es poder programar el sistema de rutas con un modelo de transporte donde se optimice el recorrido de cada camino o también poder programar los horarios de la fuerza de trabajo hay que comprender que cada situación puede ser modelada de diferente manera siempre enfocado a la maximización de la utiliza o a la minimización de costos. (Barbosa Correa & Llinás Solano, 2016)

La siguiente tabla muestra las diferentes aplicaciones de modelos matemáticos aplicados a casos de la vida real. (Rajgopal, 2014)

Tabla 1. Compañías exitosas aplicando IO

Compañía	Año	Aporte	Método Matemático
Harris Corporation	1998	“Desarrollo de un sistema de planificación que cubriera las necesidades únicas de Harris: el resultado final fue IMPReSS, un Sistema automatizado de planificación de producción y presupuesto de entrega para toda la red de producción”. (Rajgopal, 2014)	Programación Dinámica
Texaco	1980	“Texaco desarrolló un sistema llamado OMEGA. En el centro de esto se encontraba un modelo de optimización no lineal que soportaba un sistema interactivo de soporte de decisiones para mezclar gasolina de manera óptima; Se estimó que este sistema solo le había ahorrado a Texaco unos \$ 30 millones anuales”. (Rajgopal, 2014)	Modelo de Mezclas
Caterpillar	1995	“Se determinó que un conjunto bastante simple de reglas de programación heurísticas podría producir programas casi óptimos para los cuales las utilidades de la máquina eran casi del 85%”. (Rajgopal, 2014)	Modelo de Simulación

Fuente: El enfoque de investigación de operaciones. Universidad de Pittsburgh

La aplicación de modelos deterministas en ámbitos empresariales se encuentra en casi todas las facetas desde la programación de la fuerza de trabajo hasta la planificación de la producción, programación de rutas entre otro escenario. Todo modelo se debe establecer como mínimo una restricción contemplando la no negatividad de las variables de decisión, por tanto, en modelos muy complejos se puede apoyar a la solución del problema utilizando softwares avanzados en modelado que permiten cálculos complejos donde inicia con una solución factible y continua si no lo es esta continua esta encontrar una solución que se acerque a ser optima siempre y cuando en el modelo que se está analizando exista solución.

El planteamiento que resuelve un problema de programación lineal se expresa de la siguiente manera.

Función Objetivo $Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 \dots \dots \dots C_nX_n$

Ecuación 1 Función objetivo PL

Restricciones (estructurales)

$$\begin{aligned}
 a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 \dots \dots a_{1n}X_n &\geq b_1 \\
 a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + a_{23}X_3 \dots \dots a_{2n}X_n &\geq b_2 \\
 a_{31}X_1 + a_{32}X_2 + a_{33}X_3 \dots \dots a_{3n}X_n &\geq b_3 \\
 a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + a_{m3}X_3 \dots \dots a_{mn}X_n &\geq b_m
 \end{aligned}$$

$$a_{ij} \in \mathbb{R}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$b_i \in \mathbb{R}$$

Ecuación 2 Restricciones estructurales

Restricciones Formales (De rango)

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n \geq 0$$

Ecuación 3 Restricciones formales de rango

Recursos

$$b_1, \dots, b_n$$

Ecuación 4 Recursos

El planteamiento anterior es la forma estándar de un modelo de programación lineal y debido a que en los problemas reales los recursos representan cantidades físicas no deben ser negativas.

5.1.3 Pronósticos

En toda compañía es esencial predecir eventualidades futuras que permiten reducir incertidumbres de las que pueden ser subjetivas o intuitivas como lo son los métodos cualitativos (método Delphi, estudios de mercado, analogía del ciclo de vida, y criterio informado) y métodos cuantitativos (modelos de series de tiempo y modelo asociativo) en algunos casos una combinación donde todo depende del juicio del administrador, los pronósticos tienen como entradas los datos históricos y actuales que permiten realizar análisis de estimaciones o comportamiento de una tendencia. Además, los pronósticos se limitan a errores, a pesar de las estimaciones calculadas la mayoría de las veces suelen ser completamente erróneas, a pesar de esto ninguna compañía suele no realizar las predicciones y andar a la deriva corriendo riesgos; los pronósticos y los presupuestos suelen estar vinculados entre si porque permite asignar los presupuestos o asignar los gastos en un periodo de tiempo. Esta los mejores pronósticos cuentan con errores y no siempre la demanda y las ventas la misma ya que la demanda está limitada por la capacidad (mano de obra, subcontratación, inventario, contratación,

despidos niveles de producción, curvas de aprendizaje, tiempos y términos de entrega, horas de tiempo regular y tiempo extra y cualquier limitado por políticas de la empresa)

5.1.3.1 Predicción de series temporales

Los datos registrados a través del tiempo son una fuente principal de explotación y análisis que proporcionan información valiosa para los ciclos de producción, los análisis de series de tiempo normalmente permiten identificar la estacionalidad, periodicidad y predicciones de valores y demandas futuras, los modelos más utilizados son la el ARIMA y representa una actuación en varios campos de acción desde las finanzas para conocer los futuros índices en las acciones. (Sheremetov, 2016)

Las series de tiempo realizan una recopilación de datos a través de una semana, de días, de meses o de años y muestra las ventas totales que realiza una organización, aunque un modelo no se ajusta a todos valores de la serie se debe encontrar el que mejor lo haga para no tener fluctuaciones en la cantidad de unidades que se debe producir. (Ponomarev, 2014)

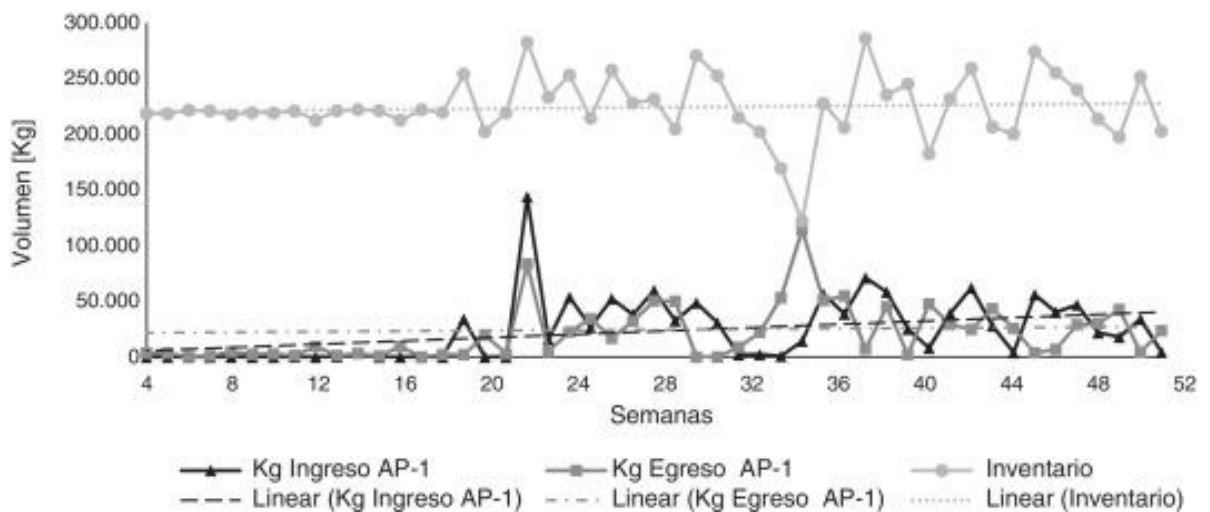
La Metodología Box Jenkins es una metodología que se le atribuye al británico George Edward Pelham Box y permite modelar el registro de datos en el tiempo y encontrar un modelo matemático que muestre cómo se comportan los datos, bajo la premisa que genera la serie de tiempo se puede aproximar el modelo si es estacionario con una autoagresión ARMA y si e modelo no es estacionario con un modelo ARIMA; hoy en día la industria está optando por nuevos modelos como las redes bayesianas que permiten modelar y predecir, es un modelo potente en la estadística probabilística. (Cornelius T, 2018)

En estudios como los de (Atzir, 2016) muestran un estudio en el cual analizan el crecimiento en el almacenamiento de productos en cámaras frigoríficas, con miras

a predecir qué cantidad debe ser almacenada para anticiparse a conocer cuantas personas requieren, materiales necesarios e instalaciones adicionales. En la investigación planteada se recolecta información de 52 semanas y con un modelo de promedio simple, promedio móvil ponderado y una suavización exponencial se realiza con la premisa de cual modelo se adecua mejor al registro de los datos, se calcula la demanda para las próximas semanas, se utilizan los datos más recientes para reducir el riesgo de que los datos fluctúen.

La siguiente Ilustración evidencia el comportamiento de los datos en los 52 días.

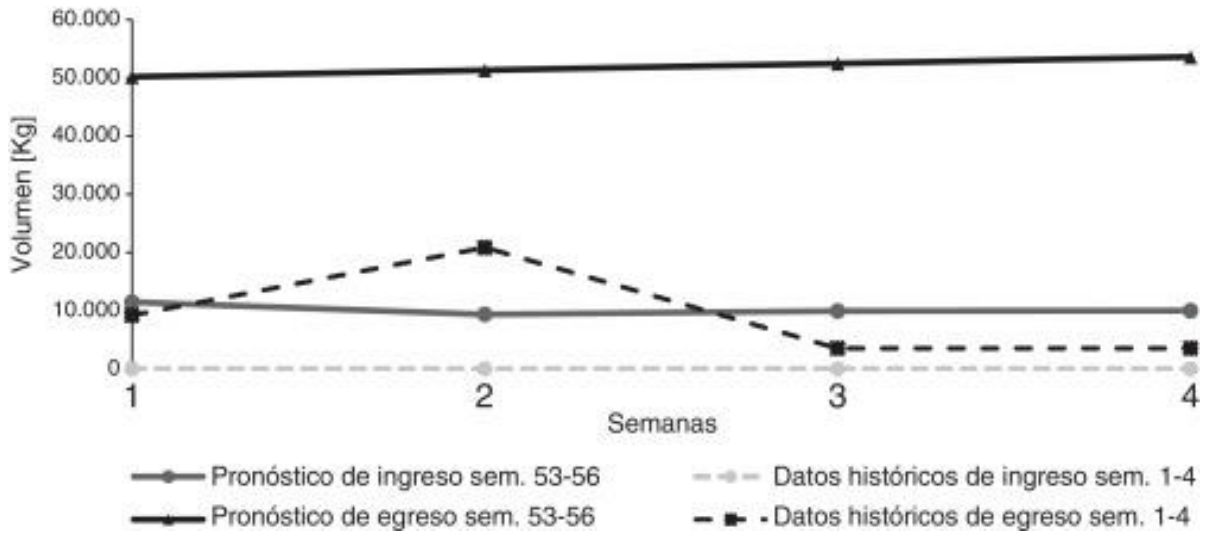
Ilustración 4. Pronostico de la demanda de productos perecederos



Fuente: Estudios Gerenciales, Icesi.

Las técnicas mencionadas de series de tiempo son aplicadas y se verifica la que mejor se ajuste y la que menor error arroje. La siguiente grafica 4 ilustra los pronósticos para la semana 53 a la semana 56 lo que determinante para conocer el nivel de inventario que se debe tener. (Atziry, 2016)

Ilustración 5. Pronóstico del volumen de ingresos y egresos semanal.



Fuente: Estudios Gerenciales, Icesi.

- Promedio Móvil Simple:** Se utilizan los datos más recientes de la demanda real de una serie de datos por lo que permite anular las fluctuaciones al azar, esté método es más aconsejable cuando los datos no son estacionarios y no tienen influencias pronunciadas, el hecho de calcular el promedio de la demanda para n periodos permite representar la demanda del próximo periodo, por consiguiente la demanda más antigua con el promedio se sustituye por la demanda más reciente para así poder volver a calcular el promedio lo que implica que el promedio se desplace de periodo a periodo en las n demandas más recientes. (Hernandez, Lora Freyre, Moreno Garcia, Parra Perez, & Fajardo Alcolea, 2017)

$$F_t = \frac{A_{t-n} + A_{t-n+1} + \dots + A_{t-1}}{n}$$

Ecuación 5 Promedio móvil simple

- **Promedio Móvil Ponderado:** Permite hacer suavizaciones a cada una de las demandas históricas que están en el promedio ya que pueden llegar a tener su única ponderación permitiendo así hacer énfasis en la demanda reciente, siempre más arriba de la demanda anterior y cada coeficiente de la ponderación debe ser $1/N$ ya que la suma de cada punto de dato debe ser menor a 1 por tanto.

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$$

$$F_1 = W_1A_{t-1} + W_2A_{t-2} + W_3A_{t-3} + W_4A_{t-4} \dots \dots \dots + W_nA_{t-n}$$

Ecuación 6 Promedio móvil ponderado

- **Suavización Exponencial Simple:** Es la refinación de un modelo de promedio móvil ponderado de una serie de tiempo que le permite a las demandas más cercanas una mayor ponderación comparada con las demandas anteriores donde se utiliza un parámetro para suavizar α valor comprendido entre el rango de 0 a 1, los valores grandes significan que el modelo presta atención principalmente a las observaciones pasadas más recientes, mientras que los valores más pequeños significan que se tiene en cuenta una mayor parte del historial al hacer una predicción. (Cruz Fernández, 2018)

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \text{ o } F_t = \alpha A_{t-1} + (1 - \alpha)F_{t-1}$$

Ecuación 7 Suavización exponencial

donde

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

Ecuación 8 Intervalo suavización exponencial

- **Suavización Exponencial Doble:** También conocido como modelo de Holt que intenta encontrar la función lineal que mejor se aproxime al conjunto de datos con mayor relevancia en los últimos datos y con menos importancia en los datos más antiguos, el modelo de Holt cuenta con dos formulismos donde la primera ecuación intenta encontrar la intersección de la línea de tendencia y la otra ecuación calcula la pendiente y cada ecuación tiene un coeficiente de suavización, por lo tanto, permite que la tendencia y la pendiente se suavicen con las constantes.

Para una serie exponencial suavizada

$$A_t = Y_t + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1})$$

Ecuación 9 Suavización exponencial doble serie exponencial

Para la aproximación de la tendencia

$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

Ecuación 10 Aproximación de la tendencia

Y para el pronóstico de p periodos en el futuro

$$F_{t+p} = A_t + pT_t$$

Ecuación 11 Pronóstico periodos en el futuro

5.1.3.2 Modelo asociativo

Es una técnica que adapta una línea de tendencia a una serie de datos lo que permite poder proyectar la recta en periodos posteriores por lo que se realiza con una regresión lineal, ecuaciones exponenciales o cuadráticas.

$$y = a + bx$$

Ecuación 12 Modelo asociativo

6. MARCO METODOLÓGICO

6.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La estrategia metodológica en la investigación es un estudio de dominio no experimental, ya que se observó la situación en la empresa caso de estudio en su contexto actual y como ha venido desarrollando sus operaciones sin realizar ninguna alteración en las variables, la investigación es de diseño transversal ya que se recolectaron los datos en un solo momento en el tiempo por medio de la observación, este diseño se establece como estrategia para recolectar la información y así poder responder al planteamiento del problema, por lo que se realiza la observación del proceso y la toma de tiempos desde la llegada de la materia prima está el almacenamiento del producto terminado y se construye una gráfica del proceso operativo o diagrama de proceso de operaciones, que ilustra de una manera más cómoda la comprensión del proceso productivo.

6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es transversal descriptivo por lo que se pretende identificar el mejor plan de producción que se adapte a la empresa y el mejor método cuantitativo para pronosticar la demanda, se justificara mediante un estudio analítico.

6.3 POBLACIÓN

La población objetivo de este estudio es la empresa caso de estudio. donde se identifica los sistemas y recursos que incurren en la producción el cual se desarrolla mediante una acción coordinada y guiada por la planeación agregada, en la misma instancia se optimizan los recursos del ciclo de producción.

6.4 MUESTRA

Dado que las operaciones de productivas de una organización son una secuencia lógica de acciones y su plan de producción es una estrategia previa para satisfacer la demanda del cliente, se opta por elegir el subconjunto de la población como una muestra no probabilística se selecciona de esta manera por criterios de la investigación y conveniencia, por tanto, la muestra de este estudio son los recursos y sistemas que se invierten para la producción de bienes en la empresa caso de estudio.

6.5 VARIABLES

Variables de decisión

R_i = Cantidad de unidades a producir en tiempo regular en el periodo i

RN_i

= Cantidad de unidades a producir por empleados nuevos en tiempo regular en el periodo i

E_i = Cantidad de unidades a producir en tiempo extra en el periodo i

EN_i

= Cantidad de unidades a producir por empleados nuevos en tiempo extra en el periodo i

S_i = Cantidad de unidades a subcontratar en el periodo i

H_i = Número de empleados a contratar en el periodo i

F_i = Número de operarios a despedir en el periodo i

T_i = Número total de empleados en el periodo i

A_i = Número total de empleados antiguos en el periodo i

I_i = Cantidad de unidades en inventario al final del periodo i

Cálculos Adicionales

Q_i = Cantidad de unidades que puede producir un empleado en el periodo i

$$Q_i = \frac{\text{jornada laboral x días por periodo}}{\text{tiempo de elaboración por unidad}}$$

QN_i = Cantidad de unidades que puede producir un empleado nuevo en el periodo i

$$QN_i = Q_i \times \beta$$

β = Eficiencia de un empleado nuevo en el periodo i

X_i

= Cantidad de unidades que puede producir un empleado en el periodo i en tiempo extra

$$KP_i = \frac{\text{maximo tiempo extra por empleado en el periodo}}{\text{tiempo de elaboración por unidad}}$$

XE_i

= Cantidad de unidades que puede producir un empleado nuevo en tiempo extra en el periodo i

$$XE_i = X_i \times \beta$$

β = Eficiencia de un empleado nuevo en el periodo i

ST_i = Cantidad maxima de unidades que pueden subcontratar en el periodo i

D_i = Cantidad de unidades requeridas en el periodo i

Costos asociados al proceso

$CR =$ Costo de tiempo regular por unidad de tiempo

$CE =$ Costo de tiempo extra por unidad de tiempo

$CI =$ Costo de mantener una unidad en inventario

$CS =$ Costo adicional de subcontratar por unidad

$CH =$ Costo de contratar un empleado

$CF =$ Costo de despedir un empleado

$CTR_i =$ Costo por unidad producida en tiempo regular en el periodo i

$CTRN_i$

$=$ Costo de una unidad producida en tiempo normal por un operario nuevo en el periodo i

$CTE_i =$ Costo de una unidad producida en tiempo extra en el periodo i

$CTEN_i$

$=$ Costo de una unidad producida en tiempo extra por un operario nuevo en el periodo i

Cálculos costos totales

$Kn_i = CR \times$ Tiempo de procesamiento por unidad

$Knc_i = CR \times \frac{\text{Tiempo de procesamiento por unidad}}{Ef_i}$

$Kh = CR \times$ Tiempo de procesamiento por unidad

$Khc_i = CE \times \frac{\text{Tiempo de procesamiento por unidad}}{Ef_i}$

6.6 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

Tabla 2. Metodos, variables y técnicas de datos

Objetivos Específicos	Métodos de recolección de información	Variables	Técnicas de análisis de datos
Realizar el diagnostico actual de la empresa en las operaciones productivas para determinar la ejecución de los sistemas del proceso productivo.	Observación	Cantidad de unidades producidas en tiempo normal y tiempo extra. Cantidad de capacidad instalada	Diagrama de flujo de operaciones
Establecer los modelos de pronósticos de series de tiempo precisos y afinados que mejor se ajusten a la demanda de productos que maneja la empresa.	Entrevista	Cantidad de unidades vendidas por productos a través del tiempo	Métodos de series de tiempo, técnicas de suavizado y método de mínimos cuadrados para la regresión lineal.
Realizar el modelo del plan de producción utilizando programación lineal basado en la restricción de capacidad y límite de recursos disponibles.	Entrevista	Costos de mano de obra en tiempo regular y extra, costo de despedir, costos de contratar, número total de empleados, cantidad de unidades producidas en tiempo normal, cantidad de unidades en inventario.	Programación y optimización matemática

7. CRONOGRAMA.

Ilustración 6. Diagrama de Gantt.

ACTIVIDADES	MESES				1				2				3				4				5			
	SEMANAS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
REVISIÓN Y AJUSTES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	■																							
DESPLAZAMIENTO, MEDICION Y TOMA DE TIEMPOS		■	■																					
RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PARA EL DIAGNOSTICO DE LA EMPRESA			■	■																				
ANALISIS Y DIAGNOSTICO DE LAS OPERACIONES ACTULES EN LA EMPRESA				■	■																			
DESPLAZAMIENTO Y ENTREVISTA DETERMINANDO EL HISTORICO DE VENTAS					■																			
APLICACIÓN DE ENCUESTA						■																		
REGISTRO Y TABULACION DE DATOS						■	■																	
DESPLAZAMIENTO Y ENCUESTA PARA ESTABLECER LA CANTIDAD DE RECURSOS							■	■	■															
REGISTRO Y TABULACION DE DATOS								■	■															
IDENTIFICAR NIVELES DE PRODUCCION									■	■														
IDENTIFICACION DE COSTOS ASOCIADOS A LA PRODUCCION										■	■													
DETERMINAR LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO											■	■												
REGISTRO DE DATOS DE LA SERIE DE TIEMPO												■	■											
OBSERVACION Y MEDICION DEL AREA DE ALMACENAMIENTO													■	■	■									
CREACION DEL PRONOSTICO DE LA DEMANDA														■	■	■	■							
CREACION DEL MODELO DEL PLANTEAMIENTO DE PRODUCCIÓN															■	■	■	■						
EVALUACION DE OPTIMALIDAD DEL MODELO																■	■	■	■					
ELABORACION DEL PLAN DE PRODUCCION																	■	■	■	■				
AJUSTES FINALES																				■	■	■		

8. CASO DE ESTUDIO

La fábrica Villa del Queso es una pequeña empresa productora y comercializadora de derivados lácteos constituida como una Sociedad por Acciones Simplificada (SAS) desde el 2006, la cual cuenta con un centro de distribución en la ciudad de Bogotá y su fábrica se encuentra ubicada en el municipio de Simijaca Cundinamarca donde la principal estructura económica del pueblo es la actividad agrícola y la ganadería, siendo esta ultima una con mayor participación en terreno ocupado con una distribución del uso del suelo del 71% ocupada por pastos en una área total del 9.927 hectáreas. Simijaca es un municipio que pertenece a la cuenca lechera del Valle de Ubaté siendo el mismo una gran fuente de producción y competitiva a nivel nacional por estar próximo a una de las ciudades de mayor consumo como lo es el Distrito Capital, esta región cuenta con 14 municipios y tiene una capacidad diaria de producir 850.000 litros de los cuales Simijaca capta el 40%.

Ilustración 7 Mapa de acopio



El municipio se caracteriza por ser el que mayor cantidad de leche capta al día con una estimación alrededor de 406.000 litros al día captada por asociaciones de productores y agentes compradores comparada con el municipio de Ubaté que tan solo capta 130 litros diarios. (PROPAIS, 2018) Simijaca es un lugar donde se encuentran centros de acopio y procesadoras nacionales donde podemos encontrar empresas como Alquería, Alpina, Santo Domingo, Gloria-Lechensa y Alival S.A. En la región el procesamiento de la leche se emplea para realización de diferentes productos como se muestra a continuación.

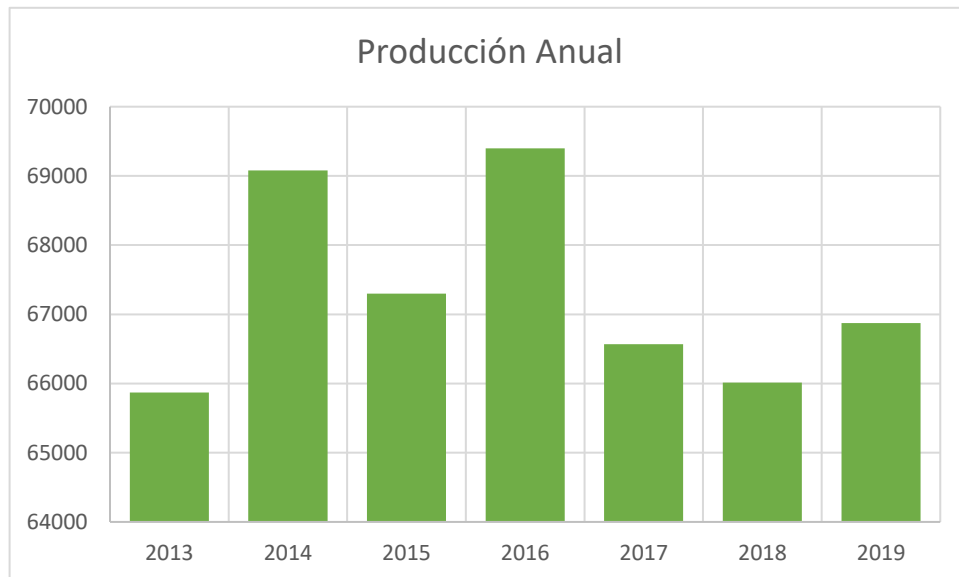
Tabla 3 Producto lácteo

Producto lácteo	Unidad de medida	Cantidad	Participación (%)
Leche pasteurizada o UHT	Litros	555.070	62,4%
Leches fermentadas	Litros	221.700	24,9%
Quesos	Kilos	69.101	7,8%
Bebidas lácteas	Litros	38.760	4,4%
Mantequillas y cremas	Kilos	3.040	0,3%
Otros	Kilos	1.330	0,1%
Arequipes	Kilos	871	0,1%

Los derivados lácteos integran alrededor del 25% y e.30% de la dieta de un individuo donde la leche y los productos lácteos son alimentos que contienen numerosos nutrientes esenciales como, ácidos grasos omega-3, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos como los antioxidantes que permiten efectos saludables que se centran en la prevención de las enfermedades no trasmisibles.

La problemática de la empresa radica en la sobreproducción ya que no se toman decisiones tácticas a mediano plazo ya que no se ajusta la producción con la demanda incurriendo en costos elevados por se requiere utilizar modelos de optimización para tomar decisiones más precisas.

Ilustración 8 Producción anual de leche



Se identifica los niveles de producción desde el año 2013- hasta el año 2019 y se evidencia una fuerte caída de las ventas en los últimos 3 años, eso debido a las políticas gubernamentales y tratados de libre comercio que incentivan la importación de quesos, además la sobreoferta en este año se incrementó elevando los inventarios y también como factor negativo el consumo nacional ha bajado

9. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.

9.1 REALIZAR EL DIAGNOSTICO ACTUAL DE LA EMPRESA DETERMINADO CADA OPERACIÓN DEL SISTEMA INTEGRAL PRODUCTIVO

El proceso de elaboración de los diferentes quesos, se efectúa de la misma manera, a diferencia que las temperaturas, y cantidades de ingredientes a agregar varían dependiendo del producto a realizar. En este caso la villa del queso gestiona su proceso de producción en un ciclo de dieciséis horas diarias, dentro de los productos que se encuentran en este proceso se ven reflejados diferentes quesos lo cuáles se clasifican en las siguientes subfamilias, esta clasificación se realizó teniendo en cuenta su acides.

Tabla 4 Familia de productos

Familia de productos		
Familia	Subfamilia	Producto
Quesos	Ácidos	Queso doble crema
		Mozzarella
		Siete cueros
	No ácidos	Campesino

Este proceso de producción de los diferentes quesos comprende de 5 etapas por lo que en la siguiente tabla se presenta de manera resumida la información del proceso, teniendo en cuenta las entradas y salidas de cada etapa.

Tabla 5 Entradas y salidas

Proceso	Flujo	Procedimiento
Recepción de materia prima.	Entrada: Camiones cisternas con tanques de leche	Recolección de muestras de materia prima
	Salida: Leche apta para su tratamiento	Análisis de muestras
Tratamiento de materia Prima.	Entrada: Leche almacenada	Se agregan a la materia prima productos y químicos para tratamiento de la leche
	Salida: Cuajada separada	Se ubican en diferentes espacios el suero y la cuajada obtenida del tratamiento
Procesamiento de cuajada	Entrada: Cuajada en estado sólido.	Se transporta la cuajada a ollas hiladoras
	Salida: Cuajada transformada en masa.	Mediante ollas hiladoras se alcanza el punto de hilación
Moldeado de queso	Entrada: Masa lista para cortar y armar	Se pesó y cortó la masa del queso según la necesidad del producto

	Salida: Queso en moldes almacenados	Se ubican los quesos en los moldes de las presentaciones requeridas
Empaque de queso.	Entrada: Queso en moldes	Se verifica la consistencia deseada para el queso ubicado en los moldes.
	Salida: Queso apto para su distribución	Se empacan y se etiquetan los quesos debidamente

A continuación, se describe de manera más detallada cada etapa del proceso de producción de los quesos.

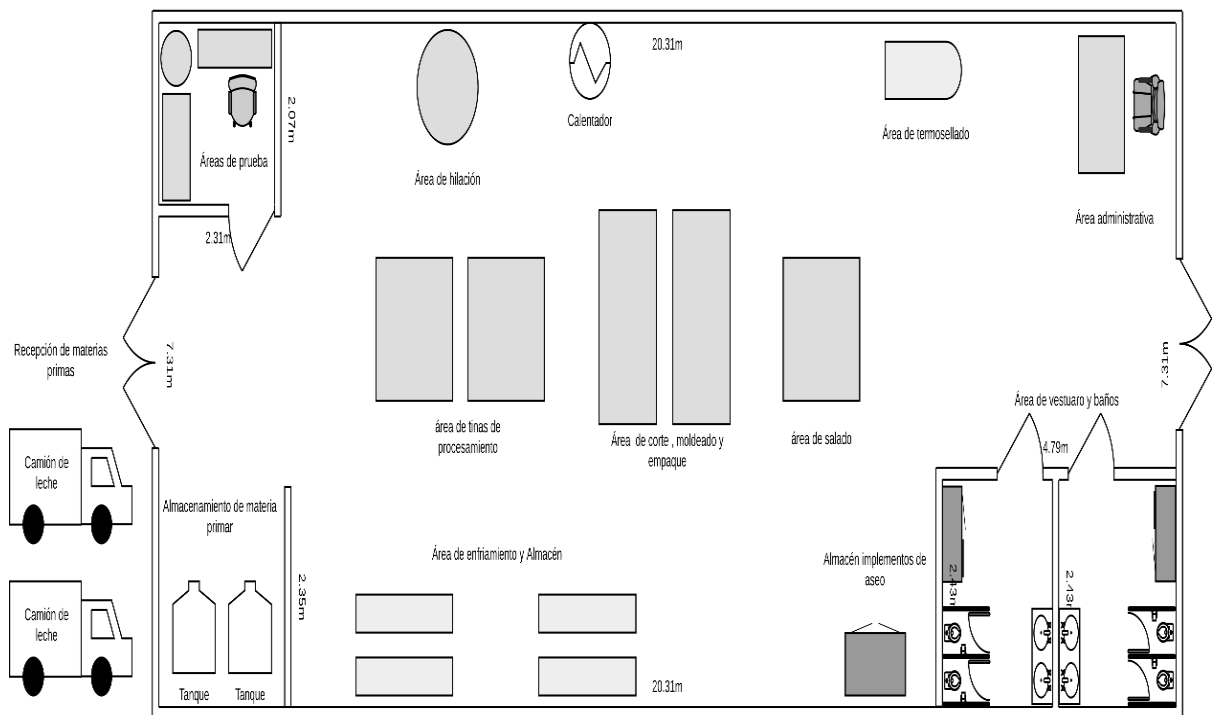
- Recepción de materia prima: Con esta etapa se da inicio al proceso de producción siendo esta una de las más importantes a lo largo de la elaboración de los quesos dado que en esta etapa se verifica si la materia prima cumple con los estándares requeridos para usarla en la fabricación de los diferentes productos. Al momento de llegar la materia prima el ingeniero de alimentos agita los diferentes tanques y toma distintas muestras para posteriormente llevarlas al laboratorio y analizarlas con el fin de verificar que estas cumplan con los estándares establecidos, dentro de los estándares que deben cumplir estas muestras se encuentran una estabilidad proteica en presencia del alcohol de un 75%, la evidencia en la muestra de residuos de antibióticos y se verifica los niveles de grasa, densidad y proteína, una vez estas muestras hayan dado un resultado apto para hacer uso de la materia prima recibida se procede a filtrar la leche y almacenarla en tanques, cabe resaltar que el proceso de filtrado se realiza con el fin de eliminar residuos externos como pasto, pelos y otros factores que contaminen la leche.

- Tratamiento de materia prima: En esta etapa se logra separar el principal componente del queso, la cuajada, para esto se transporta la leche anteriormente almacenada a las tinas de procesamiento, la cual debe cumplir con una acidez y para lograrla se hace uso de ácido cítrico, una vez cumplido el estándar de acidez se calienta la leche a una temperatura aproximada de 32°, mientras la leche se calienta se debe integrar el cuajo, para esto se agrega 2cm de cuajo por cada 40 litros de leche y para lograr la perfecta separación de la cuajada y el suero se debe agitar constantemente la materia prima hasta que sea visible la separación, finalizando así esta etapa con la correcta verificación de la separación de estos dos factores.
- Procesamiento de la cuajada: Para obtener la cuajada es necesario separar en distintos espacios la cuajada y el suero, por lo que con ayuda de mangueras se procede a retirar el suero a otra tina y una vez completado este proceso, se ubica la cuajada en canastas para transportarla a las ollas hiladoras, este paso es muy importante que el factor humano realice un trabajo constante para alcanzar el punto exacto de hilación el cual se alcanza aproximadamente treinta minutos después de agitar la cuajada en la olla, una vez alcanzado este punto se ubica la masa en canastas para ser transportada.
- Moldeado de queso: Con el fin de que la masa pueda ser mejor manejada al momento del corte, en esta etapa el operario debe amasar en un rango aproximado de 5 a 10 minutos hasta alcanzar la consistencia deseada, una vez obtenida la consistencia necesaria, con ayuda de una pesa y un cuchillo se corta y pesa la masa dependiendo del tamaño de la presentación del queso que se está fabricando, para darle la forma indicada al producto este se ubica en moldes y se deja enfriar el producto.

- **Empaque del queso:** En esta etapa una vez verificado el correcto enfriamiento de producto, se saca de los moldes y se pone en el respectivo empaque de plástico, una vez todo el lote de producción este puesto en su respectivo empaque se lleva al área de sellado en donde se sellan los empaques y con este proceso se da por terminada la etapa final del proceso de producción de la elaboración del queso.

La elaboración de los diferentes productos se da una planta con la siguiente distribución.

Ilustración 10 Distribución de planta



Mediante observación, toma de tiempo de recorridos se realizó el diagrama de flujo de operaciones el cual se presenta a continuación.

Ilustración 11 Diagrama de flujo de operaciones

Ubicación: Simijaca						Resumen		
Empresa: La villa del queso						Operación	19	
Actividad: Elaboración de quesos ácidos						Transporte	5	
Fecha: 15/10/2020						Demora	1	
Analista: Cristian David Corredor						Inspección	6	
Metodo: Actual						Almacenamiento	1	
Nº	Descripción de la actividad	Símbolo					Tiempo (Seg)	Distancia (m)
		Ope	Tran	Dem	Insp	Alma		
1	Agitar leche de compartimientos del camión	●	⇨	D	□	▽	80	
2	Tomar muestras de leche	●	⇨	D	□	▽	7	
3	Transportar muestras a laboratorio	○	⇨	D	□	▽	306	8,8
4	Verificar que la muestra cumpla con los parametros	○	⇨	D	■	▽	366	
5	Filtrar la leche	●	⇨	D	□	▽	1500	
6	Almacenar leche	○	⇨	D	□	▽	486	
7	Transportar leche de almacén a tinas de procesamiento	○	⇨	D	□	▽	720	6
8	Agregar ácido cítrico	●	⇨	D	□	▽	180	
9	Mezclar ingredientes	●	⇨	D	□	▽	340	
10	Verificar acides	○	⇨	D	■	▽	420	
11	Calentar leche a 32°	●	⇨	D	□	▽	2400	
12	Adicionar cuajo a la mezcla	●	⇨	D	□	▽	150	
13	Mezclar ingredientes	●	⇨	D	□	▽	1680	
14	Verificar separación de suero y cuajada	○	⇨	D	■	▽	140	
15	Filtrar cuajada	●	⇨	D	□	▽	378	
16	Verificar que cuajada esté seca	○	⇨	D	■	▽	210	
16	Agregar cuajada a canastas	●	⇨	D	□	▽	749	
17	Transportar cuajada a olla hiladora	○	⇨	D	□	▽	408	4,2
18	Agitar cuajada en olla hiladora	●	⇨	D	□	▽	1800	
19	Verificar punto de hilación	○	⇨	D	■	▽	54	
20	Agregar cuajada a una canasta	●	⇨	D	□	▽	846	
21	Transportar canasta a mesón	○	⇨	D	□	▽	192	6,1
22	Verter cuajada en el mesón	●	⇨	D	□	▽	487	
23	Amasar cuajada	●	⇨	D	□	▽	880	
24	Cortar y pesar cuajada	●	⇨	D	□	▽	2500	
25	Amasar cuajada	●	⇨	D	□	▽	560	
26	Agregar queso al molde y amasar	○	⇨	D	□	▽	1240	
27	Dejar reposar queso a temperatura ambiente	○	⇨	D	■	▽	12886	
28	Inspeccionar correcto enfriamiento	○	⇨	D	■	▽	300	
29	Prensar	●	⇨	D	□	□	8967	
30	Sacar queso de molde	●	⇨	D	□	▽	1350	
31	Remover Exedente	●	⇨	D	□	▽	4851	
32	Empacar	●	⇨	D	□	▽	1890	
33	Transportar quesos a área de sellado	○	⇨	D	□	▽	246	2,6
34	Termosellar	●	⇨	D	□	▽	1680	
35	Almacenar Cava	○	⇨	D	□	▽	2540	
	total						53789	27,7

El diagrama de análisis del procesos operacional de este estudio permitió entender el comportamiento del proceso y condescendió identificar la etapa ineficiente del ciclo ya que tiene una relación directa con el Tack Time del proceso en donde se encontró que este cuello de botella tomaba una cantidad de tiempo de **3.57** horas dejar reposar queso a temperatura ambiente lo que inestabiliza la secuencia y genera demoras en el proceso; un flujo de secuencia que no está en sincronía puede ser sinónimo de tener una sobreproducción ya que no se está fabricando lo que la demanda necesita si no se está produciendo en función del tiempo y empeorando la situación lo que conlleva a tiempos de inactividad y sobreproducción.

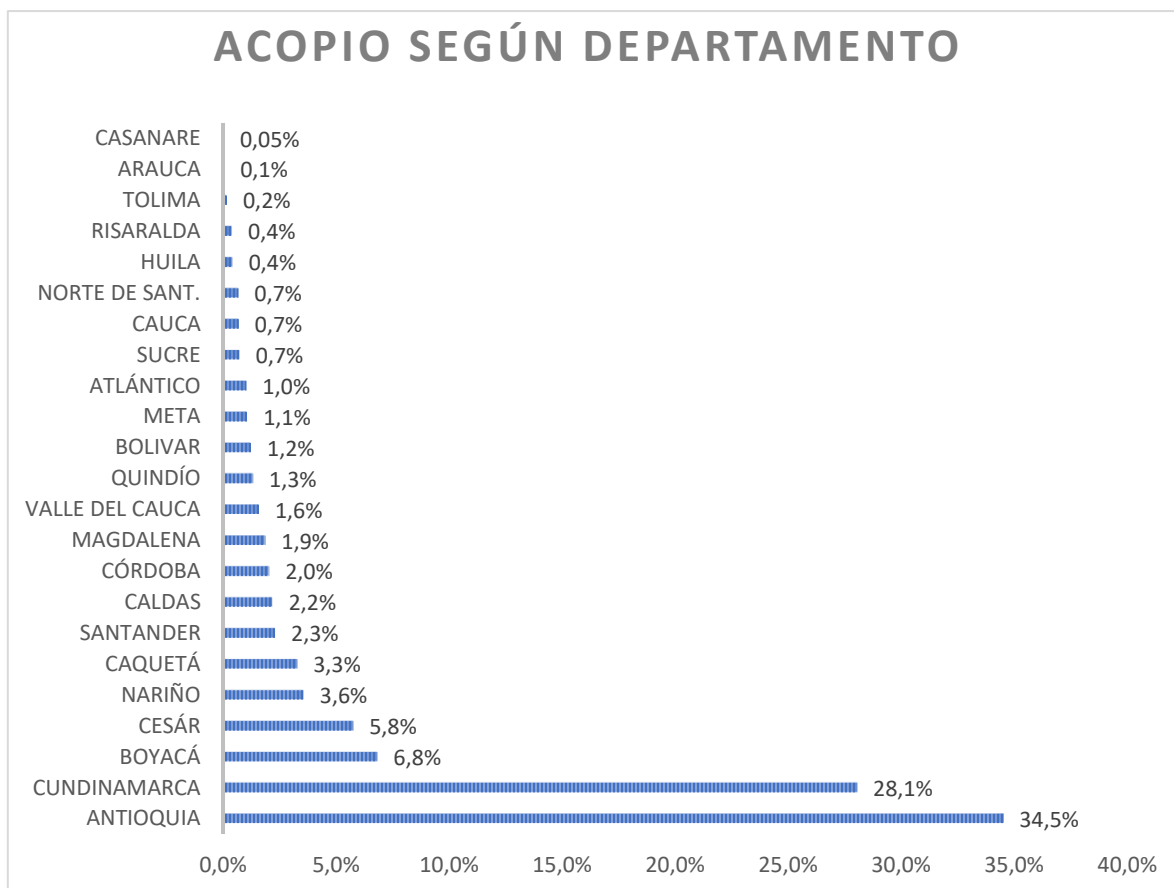
9.1.1 Portafolio de Productos

La producción de derivados lácteos en las microempresas de Colombia se desenvuelve en la fabricación en dos grandes familias que son los quesos y yogurts que se subdividen en quesos frescos ácidos y queso frescos no ácidos, los quesos frescos ácidos deben someter sen a un tratamiento térmico con el fin de fundir las proteínas y alinear las fibras del producto con una consistencia elástica, proceso llamado hilado y en este se encuentra el queso doble crema, queso mozzarella, queso siete cueros y en los quesos frescos no ácidos se encuentra el campesino.

9.1.1.1 Queso

La elaboración de queso con leche proveniente de ganado vacuno es una gran fuente de calcio, grasas y proteínas. También contiene altas cantidades de vitaminas A, C, B-6, B-12, D, E y vitamina K. Junto con zinc, fósforo, hierro, potasio, riboflavina y calcio. Según el Gremio del ecosistema lácteo (Asoleche) la comercialización de quesos desde el año 2011-2016 incremento el 21.6%.

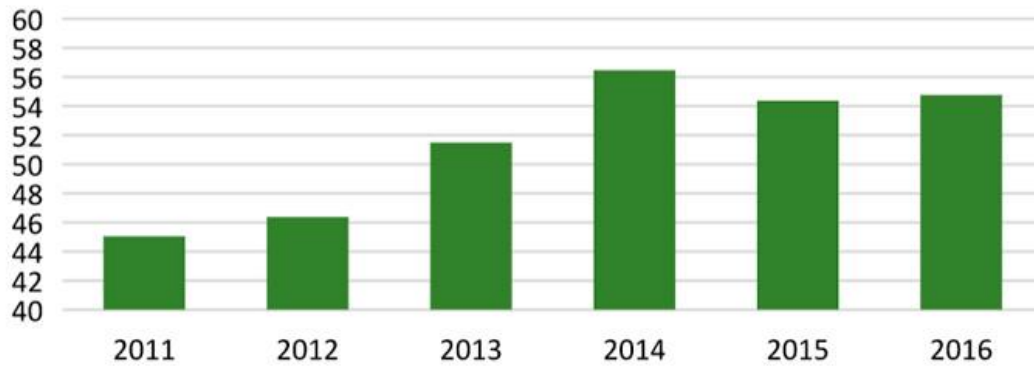
Ilustración 12 Acopio según departamento



Según la federación colombiana de ganaderos (FEDEGAN) el indicador per cápita el consumo de quesos a nivel nacional evidencia un promedio de 1.3 Kilogramos por personas cada año, con gran potencial ya que países como Francia alcanza los 24kg o Chile 9.7kg en la región.

Regiones como Antioquia y Cundinamarca lideran la lista de departamentos donde se capta la leche directamente de los productores y se transporta directamente a las plantas.

Ilustración 13 Nivel de Captación de Leche.



Fuente: USP – Minagricultura.

De acuerdo con Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en un Estudio Técnico desarrollado en el departamento de Cundinamarca evidencia que el municipio de Simijaca capta 40% de la leche directamente de los productores en la cuenca del valle de Ubaté, lo que demuestra un inventario suficiente para asumir la producción y tener un flujo continuo de pedidos en las empresas productoras de derivados lácteos.

9.2. ESTABLECER LOS MODELOS DE PRONÓSTICOS DE SERIES DE TIEMPO PRECISOS Y AFINADOS QUE MEJOR SE AJUSTEN A LA DEMANDA DE PRODUCTOS QUE MANEJA LA EMPRESA.

Las ventas de los últimos tres años desde el 2017 se muestran en la siguiente gráfica.

Ilustración 13 Histórico de ventas



En base al histórico de ventas de quesos de los últimos tres años se calcula con cada uno de los métodos el pronóstico que mejor se adapte a la demanda para los próximos seis meses; el método elegido representa la mayor presión para no entrar en rangos de incertidumbre inciertos.

Los datos recopilados a lo largo del tiempo son de naturaleza compleja e incluyen componentes de tendencias y patrones en datos de ventas, lo que implica que para un producto un método de pronóstico puede ser adecuado y para otro no, es importante seleccionar el método de pronóstico correcto para manejar la creciente variedad y complejidad de los datos para pronosticar correctamente.

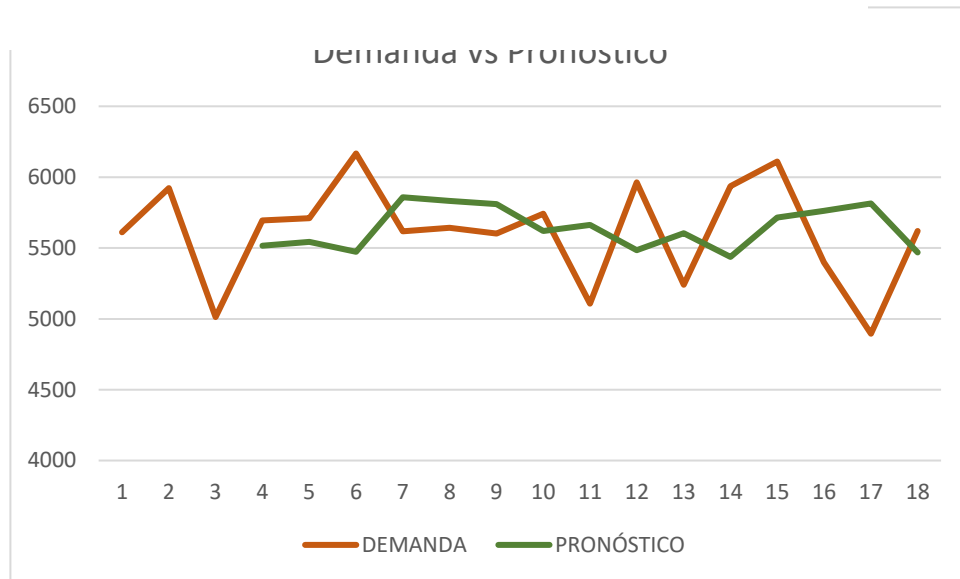
Por tanto algunos métodos de pronóstico funcionan mejor que otros para un conjunto de datos históricos dado. Es posible que un método de pronóstico que proporciona buenos resultados en una etapa del ciclo de vida de un producto sigue siendo apropiado durante todo el ciclo de vida.

Pronostico promedio móvil

Tabla 6 Pronóstico promedio móvil

Periodo	Demanda	Pronóstico	Error de Pronóstico	Error Acumulado	Error Absoluto	Absoluto Acumulado	Absoluta Media (MAD)	Señal de Rastreo	Limite inferior	limite superior
1	5610									
2	5922									
3	5012									
4	5695	5515	180	180	180	180	45	4,00	-4	4
5	5710	5543	167	347	347	527	105	3,29	-4	4
6	6167	5473	694	1041	1041	1568	261	3,98	-4	4
7	5617	5858	-241	800	800	2368	338	2,36	-4	4
8	5643	5832	-189	611	611	2979	372	1,64	-4	4
9	5601	5809	-208	403	403	3382	376	1,07	-4	4
10	5743	5621	122	525	525	3907	391	1,34	-4	4
11	5107	5663	-556	-31	31	3938	358	-0,09	-4	4
12	5963	5484	479	448	448	4386	366	1,23	-4	4
13	5241	5605	-364	84	84	4470	344	0,24	-4	4
14	5936	5437	499	583	583	5053	361	1,62	-4	4
15	6110	5714	396	979	979	6032	402	2,43	-4	4
16	5398	5763	-365	614	614	6646	415	1,48	-4	4
17	4895	5815	-920	-306	306	6952	409	-0,75	-4	4
18	5620	5468	152	-154	154	7106	395	-0,39	-4	4

Ilustración 14 Demanda vs pronóstico promedio móvil



Para examinar el conjunto de datos se estiman cada una de las métricas para evaluar el pronóstico que mejor se adecue a la demanda por lo que se calcula el error del pronóstico denominado CFE el cual da a conocer que tanto se subestima

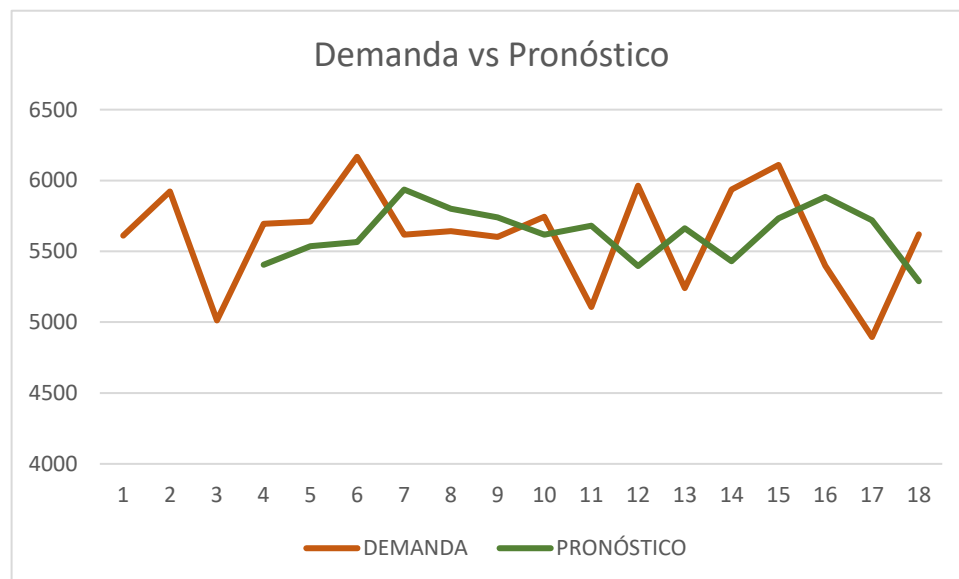
o sobreestima el pronóstico sobre la demanda; en análisis del pronóstico promedio móvil se evidencia que el pronóstico subestima la demanda real lo que acuñaría un exceso de suministro como un error sistemático; en los caculos también se estimó la desviación absoluta media (MAD) con un error en unidades de 307y el MAPE evidencia un error de 5.5% en comparación con la demanda

Pronostico promedio móvil ponderado

Tabla 7 Pronóstico móvil ponderado

Periodo	Demanda	Pronóstico	Error de Pronóstico	Error Acumulado	Error Absoluto	Error Absoluto Acumulado	Desviación Absoluta Media (MAD)	Señal de Rastreo	Limite inferior	limite superior
1	5610									
2	5922									
3	5012									
4	5695	5405	290	290	290	290	73	4,00	-4	4
5	5710	5536	174	464	464	754	151	3,08	-4	4
6	6167	5566	601	1065	1065	1819	303	3,51	-4	4
7	5617	5936	-319	746	746	2565	366	2,04	-4	4
8	5643	5801	-158	588	588	3153	394	1,49	-4	4
9	5601	5740	-139	449	449	3602	400	1,12	-4	4
10	5743	5617	126	575	575	4177	418	1,38	-4	4
11	5107	5681	-574	1	1	4178	380	0,00	-4	4
12	5963	5397	566	567	567	4745	395	1,43	-4	4
13	5241	5663	-422	145	145	4890	376	0,39	-4	4
14	5936	5431	505	650	650	5540	396	1,64	-4	4
15	6110	5733	377	1027	1027	6567	438	2,35	-4	4
16	5398	5884	-486	541	541	7108	444	1,22	-4	4
17	4895	5720	-825	-284	284	7392	435	-0,65	-4	4
18	5620	5289	331	47	47	7439	413	0,11	-4	4

Ilustración 15 Demanda vs Pronóstico móvil ponderado



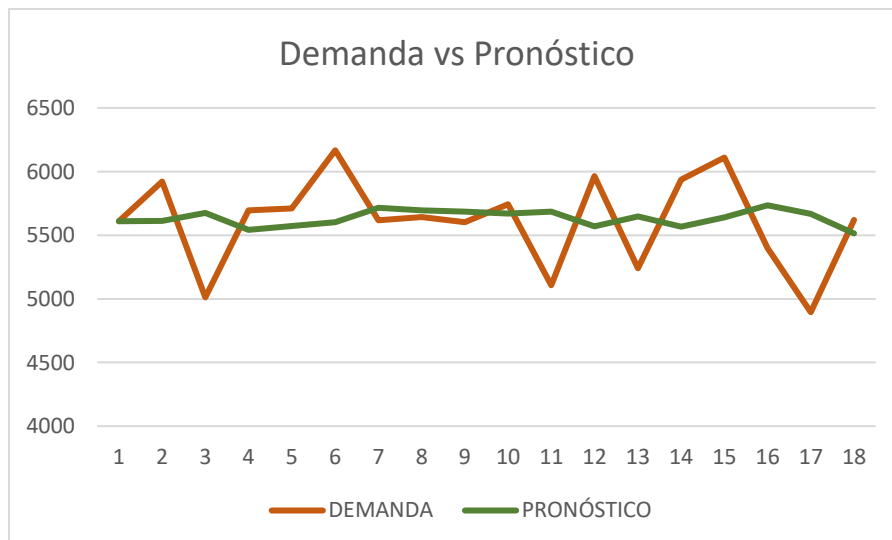
A este pronóstico se le da una ponderación de 50% de peso a los datos más antiguos, a los datos intermedios 30% y a los más recientes una ponderación de 20% por lo que este pronóstico representa una de las mayores desviaciones contra la demanda 5.9% y una desviación media absoluta elevada de 327 lo que no representa como elección de pronóstico es el menos considerado para el modelo.

Suavización exponencial

Tabla 8 Pronóstico suavización exponencial

Periodo	Demanda	Pronóstico	Error de Pronóstico	Error Acumulado	Error Absoluto	Error Absoluto Acumulado	Desviación Absoluta Media (MAD)	Señal de Rastreo	Limite inferior	limite superior
1	5610	5611								
2	5922	5611	311	311	311	311	311	311	-4	4
3	5012	5674	-662	-351	-40	271	582	893	-4	4
4	5695	5542	153	-198	198	469	117	-1,69	-4	4
5	5710	5573	137	-61	61	530	106	-0,58	-4	4
6	6167	5601	566	505	505	1035	173	2,93	-4	4
7	5617	5715	-98	407	407	1442	206	1,98	-4	4
8	5643	5696	-53	354	354	1796	225	1,58	-4	4
9	5601	5686	-85	269	269	2065	229	1,17	-4	4
10	5743	5669	74	343	343	2408	241	1,42	-4	4
11	5107	5684	-577	-234	234	2642	240	-0,97	-4	4
12	5963	5569	394	160	160	2802	234	0,69	-4	4
13	5241	5648	-407	-247	247	3049	235	-1,05	-4	4
14	5936	5567	369	122	122	3171	227	0,54	-4	4
15	6110	5641	469	591	591	3762	251	2,36	-4	4
16	5398	5735	-337	254	254	4016	251	1,01	-4	4
17	4895	5668	-773	-519	519	4535	267	-1,95	-4	4
18	5620	5514	106	-413	413	4948	275	-1,50	-4	4

Ilustración 16 Demanda VS pronóstico suavización exponencial



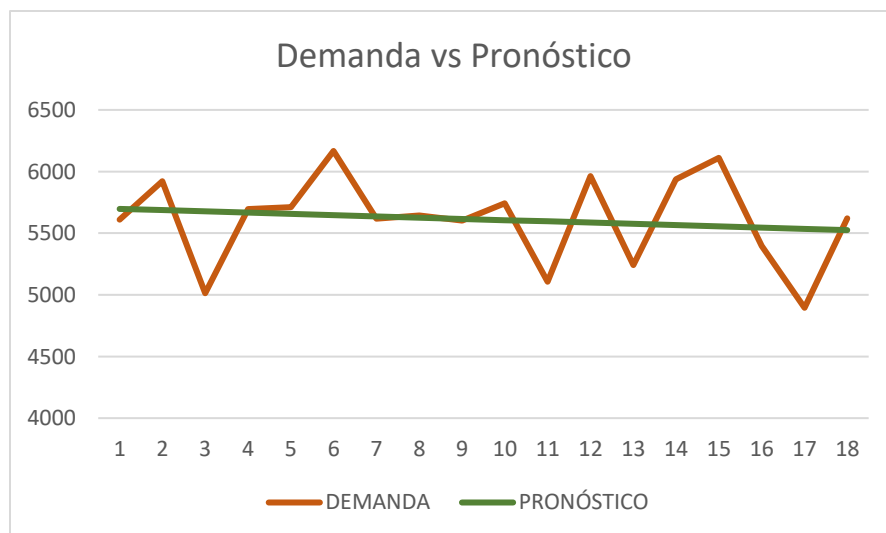
La ventaja de este método radica en su funcionamiento con pocos datos en comparación a otros métodos como el ARIMA, en la gráfica podemos observar que no tiene una tendencia hacia la demanda. sino que se mantiene en una media estacionaria, sin embargo, este pronóstico subestima la demanda en lo mínimo lo que informa su aceptación como modelo de pronóstico del horizonte de tiempo, pero con un error absoluto medio (MAPE) elevado de 4.6%.

Regresión lineal

Tabla 9 Pronóstico regresión lineal

Periodo	Demanda	Pronóstico	Error de Pronóstico	Error Acumulado	Error Absoluto	Error Absoluto Acumulado	Desviación Absoluta Media (MAD)	Señal de Rastreo	Limite inferior	limite superior
1	5610	5697								
2	5922	5687	235	235	235	235	235	1,00	-4	4
3	5012	5677	-665	-430	-195	40	275	-1,56	-4	4
4	5695	5667	28	-402	402	442	111	-3,64	-4	4
5	5710	5657	53	-349	349	791	158	-2,21	-4	4
6	6167	5647	520	171	171	962	160	1,07	-4	4
7	5617	5636	-19	152	152	1114	159	0,96	-4	4
8	5643	5626	17	169	169	1283	160	1,05	-4	4
9	5601	5616	-15	154	154	1437	160	0,96	-4	4
10	5743	5606	137	291	291	1728	173	1,68	-4	4
11	5107	5596	-489	-198	198	1926	175	-1,13	-4	4
12	5963	5586	377	179	179	2105	175	1,02	-4	4
13	5241	5576	-335	-156	156	2261	174	-0,90	-4	4
14	5936	5565	371	215	215	2476	177	1,22	-4	4
15	6110	5555	555	770	770	3246	216	3,56	-4	4
16	5398	5545	-147	623	623	3869	242	2,58	-4	4
17	4895	5535	-640	-17	17	3886	229	-0,07	-4	4
18	5620	5525	95	78	78	3964	220	0,35	-4	4

Ilustración 17 Demanda VS Pronóstico regresión lineal



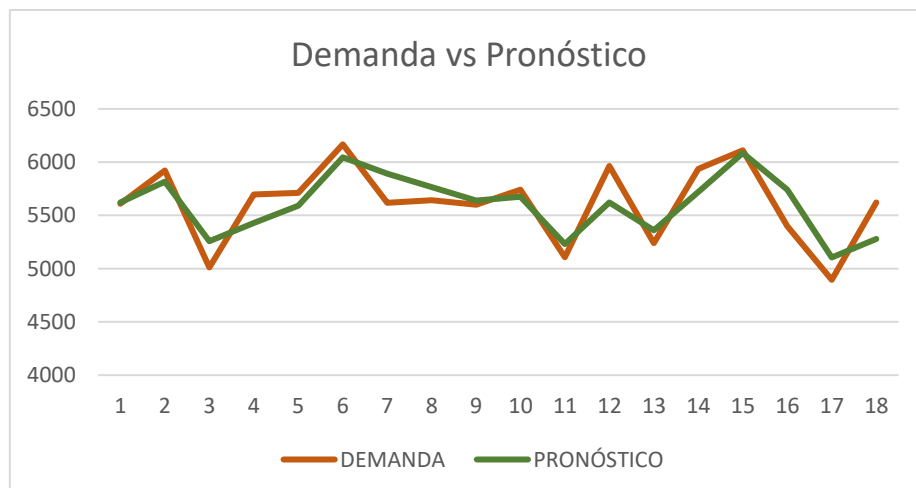
El método de mínimos cuadrados evidencia una pendiente negativa por lo que proyecta ventas decrecientes $y = -10,141x + 5707,4$ representado una desviación de 3.7% y un error del pronóstico positivo lo que da un sesgo de sobre estimar la demanda en 508 unidades.

Suavización doble holt

Tabla 10 Pronóstico suavización doble Holt

Periodo	Demanda	Pronóstico	Error de Pronóstico	Error Acumulado	Error Absoluto	Error Absoluto Acumulado	Desviación Absoluta Media (MAD)	Señal de Rastreo	Limite inferior	limite superior
1	5610	5622								
2	5922	5816	106	106	106	106	106	106	-4	4
3	5012	5257	-245	-139	-33	73	179	285	-4	4
4	5695	5428	267	128	128	201	50	2,55	-4	4
5	5710	5592	118	246	246	447	89	2,75	-4	4
6	6167	6046	121	367	367	814	136	2,71	-4	4
7	5617	5891	-274	93	93	907	130	0,72	-4	4
8	5643	5765	-122	-29	29	936	117	-0,25	-4	4
9	5601	5640	-39	-68	68	1004	112	-0,61	-4	4
10	5743	5674	69	1	1	1005	101	0,01	-4	4
11	5107	5232	-125	-124	124	1129	103	-1,21	-4	4
12	5963	5621	342	218	218	1347	112	1,94	-4	4
13	5241	5360	-119	99	99	1446	111	0,89	-4	4
14	5936	5721	215	314	314	1760	126	2,50	-4	4
15	6110	6086	24	338	338	2098	140	2,42	-4	4
16	5398	5741	-343	-5	5	2103	131	-0,04	-4	4
17	4895	5105	-210	-215	215	2318	136	-1,58	-4	4
18	5620	5279	341	126	126	2444	136	0,93	-4	4

Ilustración 18 Demanda VS Pronóstico suavización doble Holt



Se puede observar en la gráfica que el mejor método que se ajusta a la demanda real con un MAPE de 2.7% un MAP de 151 y un CFE positivo de 265; por tanto, en el modelo de planeación agregada se selecciona este método por presentar en comparación con los otros métodos los errores menores, generando mayor asertividad y menor incertidumbre en el horizonte de tiempo de 6 meses

A continuación, se presenta una tabla resumen con los datos más relevantes encontrados en los pronósticos.

Tabla 11 Tabla resumen pronósticos

	PROMEDIO MÓVIL	PROMEDIO MÓVIL PONDERADO	SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL	REGRESIÓN LINEAL	SUAVIZACIÓN DOBLE HOLT
CFE	-154	47	-62	508	265
MAD	307	327	255	211	152
MSE	154083	160497	117773	92945	37093
MAPE	5,5%	5,9%	4,6%	3,8%	2,7%

9.3. REALIZAR EL MODELO DEL PLAN DE PRODUCCIÓN UTILIZANDO PROGRAMACIÓN LINEAL BASADO EN LA RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD Y LÍMITE DE RECURSOS DISPONIBLES.

9.3.1 Modelización del problema

La planeación agregada es una ventaja competitiva y una estrategia que se realiza con un horizonte de 6 meses a 18 meses en la que se determina la cantidad de niveles de producción, niveles de inventario, capacidad de subcontratación y niveles de mano de obra necesarios para cumplir con la demanda de los próximos 6 meses. Por tanto, el problema de programación lineal será resuelto con el software GAMS (General Algebraic Modeling Sistem) y la estrategia de la planeación agregada será una estrategia mixta donde se permite la variación de la fuerza de trabajo por medio de contrataciones y despidos, las unidades faltantes se apoyarán con subcontratación y realización de horas extras, asimismo se

calcula los niveles de inventario para los meses siguientes para así responder a la demanda de los próximos 6 meses.

Capacidad

La empresa cuenta para la elaboración de quesos con una fuerza de trabajo inicial de 18 empleados que desarrollan sus actividades en 3 turnos rotativos con jornales laborales de 8 horas diarias a un ritmo de producción de 0.8 unidades por hora. Cada empleado puede como máximo realizar 10 horas al mes en tiempo extra, ya que la empresa cuenta con una empresa aliada para la subcontratación se apoya en ella cuando la capacidad de producción no es lo suficiente, además en el modelo se contempla la cantidad de unidades a producir en tiempo extra y normal con una reducción en la producción por parte de operarios nuevos a lo que se considera una eficiencia de producción de operarios de nuevos de 86% comparado con los empleados antiguos, la empresa busca que los niveles de inventario sean lo mínimo en caso de algunas fluctuaciones en la demanda y pueda responder con ello o poder aprovecharse para suplir la demanda siguiente.

La capacidad se expresa como el número total de unidades por período de tiempo que se pueden producir en tiempo regular y extra, por lo que en el siguiente cuadro se resume la capacidad con la que se cuenta.

Tabla 12 Resumen capacidad

Mes	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Días laborales	23	24	26	24	24	24
Pronostico (ud/mes)	5360	5721	6086	5741	5105	5279
Horas laborales (h/día)	8	8	8	8	8	8
Ritmo de producción regular (ud/h)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Cantidad máxima de horas extras por operario (h/mes)	10	10	10	10	10	10
Capacidad producción regular (ud/mes)	230	240	260	240	240	240
Capacidad de producción tiempo extra (ud/mes)	13	13	13	13	13	13
Capacidad máxima de subcontratación (ud/mes)	300	300	300	300	300	300
Capacidad de producción tiempo regular operario nuevo	198	206	224	206	206	206
Capacidad de producción tiempo extra operario nuevo	11	11	11	11	11	11

La empresa necesita desarrollar una buena estrategia para obtener una ventaja competitiva para generar diferenciación en el mercado. Si embargo, tienen limitación en la capacidad de producción y limitaciones en los costos de mano de obra, costos de despedir y contratar, costos de producir en tiempo normal y en costos de producir una unidad en tiempo extra, por lo que conviene al modelo establecer cada uno de estos costos.

Se considera que el costo de despedir un empleado es de \$ 2.674.942 bajo el supuesto de no tener que indemnizar en ningún momento a cualquier empleado, como la empresa puede subcontratar unidades en otra fábrica láctea cada unidad incurre en un costo de \$2.200 por unidad producida, colocando en la planta externa el camión con la leche, el costo de almacenar una unidad en inventario por periodo es de \$2.500.

Función objetivo y restricciones del modelo de planeación agregada

Tabla 12 Costos FO

Item	Concepto	Costo
1	Costo de tiempo normal por unidad de tiempo	\$ 6.611
2	Costo de tiempo extra por unidad de tiempo	\$ 4.732
3	Costo de inventario por unidad agregada por periodo	\$ 2.500
4	Costo de subcontratar por unidad agregada	\$ 2.200
5	Costo de contratar un empleado	\$ 2.674.942
6	Costo de despedir un empleado	\$ 1.546.089
7	Costo de una unidad producida en tiempo normal en el periodo i	\$ 417
8	Costo por unidad producida en tiempo normal por un operario nuevo e	\$ 486
9	Costo de una unidad producida en tiempo extra en el periodo i	\$ 299
10	Costo de una unidad producida en tiempo extra por un operario nuevo	\$ 348

FUNCIÓN OBJETIVO

$$\begin{aligned} \min z = & 417 * \sum_{i=1}^6 R_i + 486 * \sum_{i=1}^6 RN_i + 299 * \sum_{i=1}^6 E_i + 348 * \sum_{i=1}^6 EN_i + 2.200 * \sum_{i=1}^6 S_i \\ & + 1.586.617 * \sum_{i=1}^6 H_i + 2.674.942 * \sum_{i=1}^6 F_i + 2.500 * \sum_{i=1}^6 I_i \end{aligned}$$

Restricciones de tiempo normal

$$R_i = Q_i \times T_i$$

$$R_1 = 230 \cdot T_1$$

$$R_2 = 240 \cdot T_2$$

$$R_3 = 260 \cdot T_3$$

$$R_4 = 240 \cdot T_4$$

$$R_5 = 240 \cdot T_5$$

$$R_6 = 240 \cdot T_6$$

Restricciones de tiempo normal para operarios nuevos

$$RN_i = QN_i \times H_i$$

$$RN_1 = 198 \cdot H_1$$

$$RN_2 = 206 \cdot H_2$$

$$RN_3 = 224 \cdot H_3$$

$$RN_4 = 206 \cdot H_4$$

$$RN_5 = 206 \cdot H_5$$

$$RN_6 = 206 \cdot H_6$$

Restricciones de empleados antiguos

$$A_i = T_i - H_i$$

$$A_1 = T_1 - H_1$$

$$A_2 = T_2 - H_2$$

$$A_3 = T_3 - H_3$$

$$A_4 = T_4 - H_4$$

$$A_5 = T_5 - H_5$$

$$A_6 = T_6 - H_6$$

Restricciones de empleados totales

$$T_i = T_{i-1} + H_i - F_i$$

$$T_1 = 18 + H_1 - F_1$$

$$T_2 = T_1 + H_2 - F_2$$

$$T_3 = T_2 + H_3 - F_3$$

$$T_4 = T_3 + H_4 - F_4$$

$$T_5 = T_4 + H_5 - F_5$$

$$T_6 = T_5 + H_6 - F_6$$

Restricciones de la capacidad de horas extras empleados antiguos

$$E_i \leq X_i \cdot A_i$$

$$E_1 \leq 13 \cdot A_1$$

$$E_2 \leq 13 \cdot A_2$$

$$E_3 \leq 13 \cdot A_3$$

$$E_4 \leq 13 \cdot A_4$$

$$E_5 \leq 13 \cdot A_5$$

$$E_6 \leq 13 \cdot A_6$$

Restricciones de la capacidad de horas extras empleados nuevos

$$EN_i \leq XE_i \cdot H_i$$

$$EN_1 \leq 11 \cdot H_1$$

$$EN_2 \leq 11 \cdot H_2$$

$$EN_3 \leq 11 \cdot H_3$$

$$EN_4 \leq 11 \cdot H_4$$

$$EN_5 \leq 11 \cdot H_5$$

$$EN_6 \leq 11 \cdot H_6$$

Restricciones de la capacidad de subcontratación

$$S_i \leq ST_i$$

$$S_1 \leq 300$$

$$S_2 \leq 300$$

$$S_3 \leq 300$$

$$S_4 \leq 300$$

$$S_5 \leq 300$$

$$S_6 \leq 300$$

Restricciones del balance de inventarios

$$I_i = I_{i-1} + R_i + RN_i + E_i + EN_i + S_i - D_i$$

$$I_1 = R_1 + RN_1 + E_1 + EN_1 + S_1 - 5360$$

$$I_2 = I_1 + R_2 + RN_2 + E_2 + EN_2 + S_2 - 5721$$

$$I_3 = I_2 + R_3 + RN_3 + E_3 + EN_3 + S_3 - 6086$$

$$I_4 = I_3 + R_4 + RN_4 + E_4 + EN_4 + S_4 - 5741$$

$$I_5 = I_4 + R_5 + RN_5 + E_5 + EN_5 + S_5 - 5105$$

$$I_6 = I_5 + R_6 + RN_6 + E_6 + EN_6 + S_6 - 5279$$

Restricciones del balance de inventarios

$$R_i + RN_i + E_i + EN_i + S_i + I_{i-1} \geq D_i$$

$$R_1 + RN_1 + E_1 + EN_1 + S_1 \geq 5360$$

$$R_2 + RN_2 + E_2 + EN_2 + S_2 + I_1 \geq 5721$$

$$R_3 + RN_3 + E_3 + EN_3 + S_3 + I_2 \geq 6086$$

$$R_4 + RN_4 + E_4 + EN_4 + S_4 + I_3 \geq 5741$$

$$R_5 + RN_5 + E_5 + EN_5 + S_5 + I_4 \geq 5105$$

$$R_6 + RN_6 + E_6 + EN_6 + S_6 + I_5 \geq 5279$$

9.3.2. Resultado del problema

El modelo se ingresa al software GAMS (General Algebraic Modeling System) como un modelo de programación de enteros mixtos ya que las variables deben tomar soluciones enteras, no es conveniente o lógico decir que se deben contratar 1.6 empleados; MIP debe arrojar una variable entera para función del ejercicio. El modelo de 60 variables y 54 restricciones arrojó el siguiente resultado siendo solución óptima.

```
--- MIP status (101): integer optimal solution.
--- Cplex Time: 0.06sec (det. 1.54 ticks)

--- Fixing integer variables and solving final LP...

--- Fixed MIP status (1): optimal.
--- Cplex Time: 0.00sec (det. 0.04 ticks)

Proven optimal solution
MIP Solution:      21457103.000000      (42 iterations, 3 nodes)
Final Solve:      21457103.000000      (0 iterations)

Best possible:    21457103.000000
Absolute gap:     0.000000
Relative gap:     0.000000
```

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR R_1	.	4600.0000	+INF	417.0000
---- VAR R_2	.	5040.0000	+INF	417.0000
---- VAR R_3	.	5460.0000	+INF	417.0000
---- VAR R_4	.	5040.0000	+INF	417.0000
---- VAR R_5	.	5040.0000	+INF	417.0000
---- VAR R_6	.	5040.0000	+INF	417.0000
---- VAR T_1	.	20.0000	+INF	EPS
---- VAR T_2	.	21.0000	+INF	EPS
---- VAR T_3	.	21.0000	+INF	EPS
---- VAR T_4	.	21.0000	+INF	EPS
---- VAR T_5	.	21.0000	+INF	EPS
---- VAR T_6	.	21.0000	+INF	EPS
---- VAR RN_1	.	396.0000	+INF	486.0000
---- VAR RN_2	.	206.0000	+INF	486.0000
---- VAR RN_3	.	.	+INF	486.0000
---- VAR RN_4	.	.	+INF	486.0000
---- VAR RN_5	.	.	+INF	486.0000
---- VAR RN_6	.	.	+INF	486.0000
---- VAR H_1	.	2.0000	+INF	1586617.0000
---- VAR H_2	.	1.0000	+INF	1586617.0000
---- VAR H_3	.	.	+INF	1586617.0000
---- VAR H_4	.	.	+INF	1586617.0000
---- VAR H_5	.	.	+INF	1586617.0000
---- VAR H_6	.	.	+INF	1586617.0000
---- VAR A_1	.	18.0000	+INF	EPS
---- VAR A_2	.	20.0000	+INF	EPS
---- VAR A_3	.	21.0000	+INF	EPS
---- VAR A_4	.	21.0000	+INF	EPS
---- VAR A_5	.	21.0000	+INF	EPS
---- VAR A_6	.	21.0000	+INF	EPS
---- VAR F_1	.	.	+INF	2674942.0000
---- VAR F_2	.	.	+INF	2674942.0000
---- VAR F_3	.	.	+INF	2674942.0000
---- VAR F_4	.	.	+INF	2674942.0000
---- VAR F_5	.	.	+INF	2674942.0000
---- VAR F_6	.	.	+INF	2674942.0000
---- VAR E_1	.	234.0000	+INF	299.0000
---- VAR E_2	.	260.0000	+INF	299.0000
---- VAR E_3	.	273.0000	+INF	299.0000
---- VAR E_4	.	273.0000	+INF	299.0000
---- VAR E_5	.	65.0000	+INF	299.0000
---- VAR E_6	.	239.0000	+INF	299.0000
---- VAR EN_1	.	22.0000	+INF	348.0000
---- VAR EN_2	.	11.0000	+INF	348.0000
---- VAR EN_3	.	.	+INF	348.0000
---- VAR EN_4	.	.	+INF	348.0000
---- VAR EN_5	.	.	+INF	348.0000
---- VAR EN_6	.	.	+INF	348.0000
---- VAR S_1	.	193.0000	+INF	2200.0000
---- VAR S_2	.	300.0000	+INF	2200.0000
---- VAR S_3	.	300.0000	+INF	2200.0000
---- VAR S_4	.	300.0000	+INF	2200.0000
---- VAR S_5	.	.	+INF	2200.0000
---- VAR S_6	.	.	+INF	2200.0000
---- VAR I_1	.	85.0000	+INF	2500.0000
---- VAR I_2	.	181.0000	+INF	2500.0000
---- VAR I_3	.	128.0000	+INF	2500.0000
---- VAR I_4	.	.	+INF	2500.0000
---- VAR I_5	.	.	+INF	2500.0000
---- VAR I_6	.	.	+INF	2500.0000
---- VAR u	-INF	2.1457103E+7	+INF	.

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU obj	.	.	.	1.0000
---- EQU eq1	.	.	.	.
---- EQU eq2	.	.	.	.
---- EQU eq3	.	.	.	.
---- EQU eq4	.	.	.	.
---- EQU eq5	.	.	.	.
---- EQU eq6	.	.	.	.
---- EQU eq7	.	.	.	.
---- EQU eq8	.	.	.	.
---- EQU eq9	.	.	.	.
---- EQU eq10	.	.	.	.
---- EQU eq11	.	.	.	.
---- EQU eq12	.	.	.	.
---- EQU eq13	.	.	.	.
---- EQU eq14	.	.	.	.
---- EQU eq15	.	.	.	.
---- EQU eq16	.	.	.	.
---- EQU eq17	.	.	.	.
---- EQU eq18	.	.	.	.
---- EQU eq19	18.0000	18.0000	18.0000	.
---- EQU eq20	.	.	.	.
---- EQU eq21	.	.	.	.
---- EQU eq22	.	.	.	.
---- EQU eq23	.	.	.	.
---- EQU eq24	.	.	.	.
---- EQU eq25	-INF	.	.	.
---- EQU eq26	-INF	.	.	.
---- EQU eq27	-INF	.	.	.
---- EQU eq28	-INF	.	.	.
---- EQU eq29	-INF	-208.0000	.	.
---- EQU eq30	-INF	-34.0000	.	.
---- EQU eq31	-INF	.	.	.
---- EQU eq32	-INF	.	.	.
---- EQU eq33	-INF	.	.	.
---- EQU eq34	-INF	.	.	.
---- EQU eq35	-INF	.	.	.
---- EQU eq36	-INF	.	.	.
---- EQU eq37	-INF	193.0000	300.0000	.
---- EQU eq38	-INF	300.0000	300.0000	.
---- EQU eq39	-INF	300.0000	300.0000	.
---- EQU eq40	-INF	300.0000	300.0000	.
---- EQU eq41	-INF	.	300.0000	.
---- EQU eq42	-INF	.	300.0000	.
---- EQU eq44	-5360.0000	-5360.0000	-5360.0000	.
---- EQU eq45	-5721.0000	-5721.0000	-5721.0000	.
---- EQU eq46	-6086.0000	-6086.0000	-6086.0000	.
---- EQU eq47	-5741.0000	-5741.0000	-5741.0000	.
---- EQU eq48	-5105.0000	-5105.0000	-5105.0000	.
---- EQU eq49	-5279.0000	-5279.0000	-5279.0000	.
---- EQU eq51	5360.0000	5445.0000	+INF	.
---- EQU eq52	5721.0000	5902.0000	+INF	.
---- EQU eq53	6086.0000	6214.0000	+INF	.
---- EQU eq54	5741.0000	5741.0000	+INF	.
---- EQU eq55	5105.0000	5105.0000	+INF	.
---- EQU eq56	5279.0000	5279.0000	+INF	.

En la solución arrojada por el software en la tabla anterior podemos ver que la solución es óptima con un valor de la función objetivo de \$21.457.103

Tabla 13 Planeación agregada

PLANEACIÓN AGREGADA						
MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
DIAS LABORALES	23	24	26	24	24	24
PRONOSTICO	5360	5721	6086	5741	5105	5279
CANTIDAD DE EMPLEADOS A CONTRATAR	2	1	0	0	0	0
CANTIDAD DE EMPLEADOS A DESPEDIR	0	0	0	0	0	0
CANTIDAD DE EMPLEADOS TOTALES	20	21	21	21	21	21
CANTIDAD DE EMPLEADOS ANTIGUOS	18	20	21	21	21	21
CANTIDAD DE UNIDADES A PRODUCIR EN TIEMPO REGULAR	4600	5040	5460	5040	5040	5040
CANTIDAD DE UNIDADES A PRODUCIR EN TIEMPO REGULAR EMPLEADOS NUEVOS	396	206	0	0	0	0
CANTIDAD DE UNIDADES A PRODUCIR EN TIEMPO EXTRA	234	260	273	273	65	239
CANTIDAD DE UNIDADES A PRODUCIR EN TIEMPO EXTRA EMPLEADOS NUEVOS	22	11	0	0	0	0
CANTIDAD DE UNIDADES A SUBCONTRATAR	193	300	300	300	0	0
CANTIDAD DE UNIDADES EN INVENTARIO AL FINAL DEL MES	85	181	128	0	0	0
COSTOS PLANEACIÓN AGREGADA						
COSTO POR UNIDAD PRODUCIDAD EN TIEMPO REGULAR	\$ 417	\$ 417	\$ 417	\$ 417	\$ 417	\$ 417
COSTO POR UNIDAD PRODUCIDAD EN TIEMPO REGULAR OPERARIO NUEVO	\$ 486	\$ 486	\$ 486	\$ 486	\$ 486	\$ 486
COSTO DE UNIDAD PRODUCIDAD EN TIEMPO EXTRA	\$ 299	\$ 299	\$ 299	\$ 299	\$ 299	\$ 299
COSTO DE UNIDAD PRODUCIDAD EN TIEMPO EXTRA OPERARIO NUEVO	\$ 348	\$ 348	\$ 348	\$ 348	\$ 348	\$ 348
COSTO DE UNIDAD A SUBCONTRATAR	\$ 2.200	\$ 2.200	\$ 2.200	\$ 2.200	\$ 2.200	\$ 2.200
COSTO DE CONTRATAR UN OPERARIO	\$1.586.617	\$1.586.617	\$1.586.617	\$1.586.617	\$1.586.617	\$1.586.617
COSTO DE DESPEDIR UN OPERARIO	\$2.674.942	\$2.674.942	\$2.674.942	\$2.674.942	\$2.674.942	\$2.674.942
COSTO DE MANTENER UNA UNIDAD EN INVENTARIO	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500
COSTO TOTAL POR MES	\$5.573.612	\$4.289.981	\$3.150.947	\$3.163.307	\$2.121.115	\$2.173.141
COSTO TOTAL DE LA OPERACIÓN						\$21.457.103

10. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

El plan agregado para el horizonte de 6 meses con estrategia mixta resulta como un problema de programación lineal evidencia que para el primer mes se debe contratar a 2 nuevos empleados esto con la necesidad de poder suplir la demanda, adicional la cantidad de unidades que se tienen que fabricar en tiempo regular es de 4600 unidades, en tiempo regular por empleados nuevos 396 unidades, en tiempo extra 234 unidades, cantidad de unidades a producir por empleados nuevos en el primer mes 22 unidades, cantidad de unidades a tercerizar o subcontratar 193 y como inventario final se tiene en almacenamiento 85 unidades; posteriormente se aplica lo mismo para los meses siguientes en el horizonte de tiempo, además en el mes de febrero se debe contratar a una persona, ya para el mes 3 al 6 la capacidad de fuerza se mantiene constante con 21 empleados sin tener que nunca despedir a cualquier empleado y ya para los últimos tres meses el inventario es 0 una ventaja porque no tendrá nada que posiblemente se llegue a dañar. Adherirse a un modelo de planificación agregada puede ayudar fácilmente a que las instalaciones de producción operen de una manera mucho más eficiente, en la planeación agregada propuesta se evidencia un costo de \$21.457.103 ya que la optimización del modelo lo hace a un costo mínimo.

11. CONCLUSIONES

- El modelo de programación lineal propuesto para analizar la planeación agregada de la empresa permitió cuantificar el ahorro de costo de producción causada por la disminución de inventarios y mano de obra, en la aplicación al caso de estudio da un acercamiento al benéfico de tener el mayor rendimiento de cada recurso dando una asignación eficiente.
- El modelo se adecua a las necesidades propias de la planeación agregada, pero puede incurrirse en gastos adicionales cuando la contratación sea elevada debido a que en la demanda no se presente una tendencia estable.
- El problema de planeación agregada abarca la mayoría de áreas de la empresa y por consiguiente las decisiones tomadas son estrategias que reflejan los intereses organizacionales, por tanto, dan una perspectiva financiera actual y en un horizonte de tiempo futuro de ahí la importancia de aplicar métodos de optimización que permitan decidir el mejor procesamiento para cumplir con la demanda futura.
- El desarrollo del plan agregado con programación lineal bajo estrategia híbrida permitió a la organización una minimización en sus costos de \$21.457.103 permitiendo cumplir con la demanda en el horizonte de tiempo de 6 meses lo que demuestra la ventaja de aplicar modelos limitados por restricciones utilizando eficazmente los recursos.
- Los datos históricos de la demanda permitieron realizar los métodos de series de tiempo que se ajustaban mejor al comportamiento de la demanda, por lo que se selecciona el método de suavización exponencial doble y la elección de este método arrojó un Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE) de 2.7% por tanto es un valor que se ajusta frente a los demás errores de los diferentes métodos, por lo que este método se ajusta a el comportamiento de la demanda.

BIBLIOGRAFÍA

- Ramírez Torres, N., & Sánchez Pineda, D. (06 de 07 de 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. Bogotá, Colombia.
- Arbós, L. C. (2012). *Planificación de la producción. Gestión de materiales: Organización de la producción y dirección de operaciones*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Atzir, C. (2016). Analysis of time-series on the forecast of the demand of storage of perishable products. Análise de séries temporais na previsão da procura para o armazenamento de mercadorias perecíveis. *Estudios Gerenciales, Icesi*.
- Barbosa Correa, R., & Llinás Solano, H. (2016). *Procesos Estocásticos con Aplicaciones*. Área metropolitana de Barranquilla (Colombia): LA IMPRENTA EDITORES.
- Campo, E. A., Jose Alejandro Cano, J. A., & Rodrigo Gómez, A. (2018). Linear Programming for Aggregate Production Planning in a Textile Company. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*.
- Cornelius T, L. (2018). *Intelligent Systems: Technology and Applications, Six Volume Set*. Washington, D.C: CRC Press.
- Correa León, S. (2018). *Sistema analítico para la contabilidad, los costos y la finanzas: con alto contenido de valor agregado a la funcionalidad del sistema*. Ciudad de México: Editorial Ciudad Educativa.
- Correa, R. (2018). *Gestión de almacenes*. Madrid.
- Cruz Fernández, A. (2018). *Planificación y gestión de la demanda. COMLO210*. Málaga - España: IC EDITORIAL.
- Díaz, D. (2016). *Instituto aeronáutico universitario*.
- Dinero. (07 de Enero de 2021). *Gremios colombianos piden frenar la importación de leche desde EE.UU*. Obtenido de Dinero: <https://www.dinero.com>
- Fedegan. (27 de Octubre de 2019). *Cifras de referencia del sector ganadero*. Obtenido de Federación Colombiana de Ganaderos: www.fedegan.org.co
- Ghiyazsinasab, M., Lehoux, N., Menard, S., & Cloutier, C. (2020). *Production planning and project scheduling for engineer-to-order systems- case study for engineered wood production*. Quebec, Canada: Taylor&Francis.
- Gómez Gómez, I., & Brito Aguilar, J. G. (2020). *ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES*. GUAYAQUIL ECUADOR: Britto Consulting & Teaching.

- Hernandez, N. R., Lora Freyre, R. J., Moreno Garcia, R. R., Parra Perez, K. M., & Fajardo Alcolea, E. (2017). *Planificación de la producción industrial con enfoque integrador asistido por las tecnologías de la información. Retos de la Dirección*. Obtenido de Scielo.: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-91552017000100004
- jablonsky , J., & Skocdopolova, V. (2017). Analysis and Optimization of the Production Process in a Milk Processing Company. *The serene, Technological Infromation*.
- Kiran, D. (2019). *Production Planning and Control: A Comprehensive Approach*. Chennai,India: Butterworth-Heinemann.
- M. Kopanos, G., & Puigjaner, L. (2019). *Solving Large-Scale Production Scheduling and Planning in the Process Industries*. Basilea, Suiza: Springer Nature Switzerland.
- Martínez Salazar, I. A., & Vértiz Camarón, G. (2015). *Investigaciones de operaciones*. México: Grupo Editorial Patria.
- Monsalve, F. G. (2018). *Planificación de Operaciones de Manufactura y servicios*. Medellín: Editorial ITM.
- Ochoa, A. (2017). *Modelos y modelización*.
- Orquendo, F. (2016). *Cálculo de capacidades de producción iniciales Óptimas considerando elementos de incertidumbre*.
- Palacios, A. (22 de 08 de 2017). *Asoleche*. Obtenido de <https://asoleche.org/>
- Payseo Díaz, F. J. (2018). *Lean Manufacturing*.
- Pedraza Regalado , C. M., & Zúñiga Vásquez Illarek del Rosario, I. (2017). Planeación y control de la producción aplicando el plan maestro, plan agregado y MPR para incrementar la productividad en la empresa RENISAL.
- Peña, C. (2017). *Planificación de ventas y operaciones. S&OP en 14 claves*. Barcelona, España: marge books.
- phpsimplex. (2000). *PHPSimplex Optimizando recursos con Programación Lineal*. Obtenido de http://www.phpsimplex.com/casos_reales.htm
- Ponomarev, A. V. (2014). Predicción de series temporales: aplicaciones a la cadena de suministro de petróleo y gas aguas arriba. *ELSELVIER*.
- PROPAIS. (2018). *Caracterización del Segundo Eslabón de la Cadena Láctea Valle de Ubaté y Chiquinquirá*. Bogotá.
- Rajgopal, J. (30 de abril de 2014). *PRINCIPLES AND APPLICATIONS OF OPERATIONS RESEARCH*. Obtenido de <https://www.pitt.edu/~jrclass/or/or-intro.html>
- Rodríguez Carrazco, J. M. (2015). *Taylorismo, La revolución mental que llega a Europa*. Madrid: UNED. UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACION A DISTANCIA.

- Santiago, M. D. (2008). Factores determinantes en la gestión de recursos humanos en empresas de servicios que incorporan de manera sistemática nuevas tecnologías Un estudio de caso en la comunidad valenciana. *Pensamiento y Gestión, Scielo*.
- Sheremetov, L. B. (2016). *Econometría: modelos econométricos y series temporales. Vol. II*. Córdoba, España: Editorial Reverté; 1er edición .
- Trujillo , N. (2016). *Admisnitración de los inventarios, un marco de administración a corto plazo*. Valencia Nuñez, E. R. (2017). *Investigación operativa*. UTA.
- Yaghin, R. G. (2020). *Enhancing supply chain production-marketing planning with geometric multivariate demand function (a case study of textile industry)*. Tehran, Iran: ELSEVIER.
- Zhang, J. (2017). *Multi-Agent-Based Production Planning and Control*. Hoboken, Nueva Jersey United States: John Wiley & Sons.
- Socconini, L. (2008). *Lean Manufacturing. Paso a Paso*. Barcelona, España: ICG Marge, SL.
- Yaghin, R. G. (2020). *Enhancing supply chain production-marketing planning with geometric multivariate demand function (a case study of textile industry)*. Tehran, Iran: ELSEVIER.
- Zhang, J. (2017). *Multi-Agent-Based Production Planning and Control*. Hoboken, Nueva Jersey United States: John Wiley & Sons.