



Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Industrial

Planificación de producción en modelo de optimización lineal con pronósticos de venta

Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial

Elías Enrique Catalán Ibarra

Profesor guía:
Patricio Conca Kehl

Profesor co-guía:
Ricardo San Martín Zurita

Comisión:
Alfredo Lucas Guzmán

Santiago de Chile
2023

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO
DE: Ingeniero Civil Industrial
POR: Elías Enrique Catalán Ibarra
FECHA: 2023
PROFESOR GUÍA: Patricio Conca

PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN EN MODELO DE OPTIMIZACIÓN LINEAL CON PRONÓSTICOS DE VENTA

En el siguiente documento se mostrará como abordar el problema de la planificación de la producción en la empresa Traverso S.A. Traverso pertenece al rubro manufacturero de alimentos y bebidas, sus principales categorías de productos son Vinagres, Sucedáneos de limón, Salsas y Jugos concentrados. Posee ventas anuales cercanas a los \$31.200.000.000.

Dado que Traverso vende volúmenes cercanos a las 220.000 cajas mensuales es que surge la necesidad de contar con las materias primas necesarias para poder elaborar sus productos, así como también gestionarlos de manera óptima financieramente. Lo anterior requiere saber cuánto y cuando se necesitarán las materias primas y como se asignarán para elaborar cada producto. La oportunidad de mejora que surge es justamente saber cuándo y cuanto se necesitará de cada materia prima a lo largo del año, así como asignar cada una de ellas de manera eficiente con el fin de optimizar las utilidades de la empresa. Traverso en los productos que se elaboran con envases de vidrio e importaciones tuvo quiebres que representan el 32% del total de estos y un 25% de los quiebres con causa en una deficiente planificación de producción. Lo que representan una pérdida de ingresos de aproximadamente \$2.600.000.000 anuales, es decir, casi un mes de venta perdida.

Para dar solución a las principales causas de la oportunidad de mejora, se definió una metodología en 3 partes: Pronóstico de ventas a nivel producto, Modelo de optimización lineal mixta para la planificación de producción y una herramienta de control para evaluar el modelo anterior. De esta forma se puede abordar de forma integral la oportunidad de mejora, dando soluciones concretas a los principales quiebres relacionados a la planificación de producción y abastecimiento de materias primas y productos importados.

Al implementar la metodología se evidenciará un aumento de aproximadamente un 5% en el Fill Rate, lo que se traduce en un aumento de ingresos anuales de aproximadamente \$1.800.000.000. Se deberá seguir un plan de implementación y alinear a todas las áreas involucradas para dar sustento en el tiempo a la metodología expuesta.

En el corto plazo se deberá alimentar constantemente el Forecast con los objetivos y metas de la empresa por parte del Área Comercial, ya que los datos no logran capturar dichas variables. Además, se deberá mejorar el modelo de optimización de la planificación de la producción para que pueda incorporar la disponibilidad de materias primas, de lo cual estará encargada el Área de planificación de producción, específicamente el Subgerente de Planificación.

Tabla de contenido

1.	Antecedentes generales.....	1
1.1	Características generales	1
1.2	Mercado y/o marco regulatorio	8
1.3	Desempeño organizacional	12
2.	Justificación del tema.....	13
2.1	Información del área de la organización/empresa.....	13
2.2	Estructura de KPI's e indicadores.....	14
2.3	Identificar problema u oportunidad y su relevancia, con sus efectos y posibles causas	17
2.4	Identificar hipótesis y posibles alternativas de solución para resolver el problema/oportunidad	23
2.5	Propuesta de valor de posibles soluciones o impacto del cambio propuesto	24
3.	Objetivos.....	25
4.	Marco conceptual.....	26
4.1	Sistema de revisión de inventarios	26
4.2	Pronósticos de demanda	27
5.	Metodología.....	29
5.1	Creación de pronósticos de demanda a nivel línea de producción.....	29
5.2	Modelo de optimización lineal mixta para la planificación de producción ...	39
5.3	Nivel de inventario óptimo como herramienta de control del modelo de optimización	49
6.	Plan de implementación de la metodología.....	51
6.1	Pronóstico de ventas.....	51
6.2	Modelo de optimización lineal mixta para la planificación de la producción	52
6.3	Nivel de inventario óptimo como herramienta de control del modelo de planificación de producción	53
7.	Discusión y resultados	54
8.	Conclusiones generales	56
9.	Bibliografía	57
10.	Anexos.....	59

Tabla de ilustraciones

Figura 1: Envasado, etiquetado y empaquetado de productos, fotos propias	1
Figura 2: Centro de distribución San Eugenio, foto propia	2
Figura 3: Tiempos entrega SuperTrans, datos de BeeTrack - SuperTrans ^[2]	3
Figura 4: Principales categorías de productos Traverso S.A	4
Figura 5: Distribución de venta según grupo de cliente, elaboración propia.....	5
Figura 6: distribución de venta canal mayorista, elaboración propia.....	5
Figura 7: Distribución mensual de la venta 2021-2022, elaboración propia.....	6
Figura 8: Distribución de la venta según categoría de productos, elaboración propia	7
Figura 9: Distribución de la venta según región del país, elaboración propia.....	7
Figura 10: Elaboración propia a partir de datos del Banco Central ^[6]	10
Figura 11: Market Share Traverso, datos obtenidos del Gerente de Ventas Víctor Velásquez, elaboración propia	10
Figura 12: Evolutivo mensual Fill Rate, datos obtenidos de SAP, elaboración propia	14
Figura 13: Evolutivo diferencia absoluta, fuente tomas de inventario, elaboración propia .	15
Figura 14: Obsoletos, fuente tomas de inventario, elaboración propia.....	16
Figura 15: Evolutivo devoluciones 2022, fuente SAP, elaboración propia.....	17
Figura 16: Devoluciones 2022, fuente SAP, elaboración propia	17
Figura 17: Evolutivo mensual motivo “Producto próximo a su vencimiento”, fuente SAP, elaboración propia	18
Figura 18: Evolutivo mensual quiebres 2022, fuente SAP, elaboración propia	18
Figura 19: Distribución motivos de quiebres acumulado 2022, fuente SAP, elaboración propia	19
Figura 20: Evolutivo causas planificación producción, elaboración propia	19
Figura 21: Distribución de quiebres por planificación de producción, fuente SAP, elaboración propia	20
Figura 22: ADP acumulado año 2022, fuente SAP, elaboración propia.....	21
Figura 23: Distribución productos en liquidación, fuente SAP, elaboración propia.....	22
Figura 24: Resumen de costos planificación de la producción, elaboración propia.....	22
Figura 25: Árbol de problema deficiente planificación de producción	23
Figura 26: Causas problema planificación de producción y escenarios optimizados.....	23
Figura 27: Metodología de trabajo para abordar la oportunidad de mejora, elaboración propia	29
Figura 28: Distribución de venta en cajas y valor según categoría, fuente: elaboración propia a partid datos SAP.....	30
Figura 29: Desagregación líneas de producción según categorías que la componen, fuente datos: SAP	31
Figura 30: Línea de producción para SKU con envases de vidrio, fuente datos: SAP.....	31
Figura 31: Desagregación líneas de producción según venta de cada producto, fuente datos: SAP.....	32
Figura 32: Demanda semanal línea de producción formato vidrio, fuente datos: SAP	32
Figura 33: Estadísticos línea de producción formato vidrio, fuente datos: SAP	32
Figura 34: Pronóstico de demanda producto formato vidrio realizado en Excel, fuente datos: elaboración propia	33
Figura 35: Librería de pronósticos de demanda usando regresiones.....	34
Figura 36: Forecast Línea de producción “DoyPack3, elaboración propia	36

Figura 37: Forecast Ají crema Vintage 10x450, elaboración propia.....	37
Figura 38: Forecast producto Ají pebre Vintage 10x450, elaboración propia.....	37
Figura 39: FA según línea de producción, elaboración propia.....	38
Figura 40: Resultado modelo ají crema Traverso 108x100 Sachet.....	43
Figura 41: Resultado modelo Ketchup Traverso 108x100 Sachet	44
Figura 42: Resultado modelo Mostaza fuerte Vintage Traverso 10x450 Pet.....	45
Figura 43: Resultado modelo Salsa Soya Traverso 24x187,5 Vidrio	46
Figura 44: Evolutivo mensual costos de producción, elaboración propia.....	47
Figura 45: Nivel de inventario óptimo para cada producto, fuente datos: SAP, elaboración propia	49
Figura 46: Herramienta de control, fuente datos SAP y modelo de optimización.....	49

Agradecimientos

Quisiera agradecer en primer lugar a mi familia: mi madre, Regina Ibarra; mi padre, Leonardo Catalán; hermano, Israel Catalán; y sobrino, Diego Catalán. Los cuales han sido pilar fundamental para llegar hasta aquí, dándome ánimo cada día y por sobre todo confiando en mí.

Quisiera agradecer especialmente a mi madre Regina Ibarra por darme todo lo necesario y más para ser lo que soy actualmente, por cada sacrificio del que fui testigo y que nunca podré dejar de agradecer. Por darme un amor incondicional que no es relativo.

También quiero agradecer a mis tías Margarita Ibarra e Inés Ibarra, junto a mi tío Luis Muñoz por ser como han sido conmigo, por demostrarme las ganas y entereza con que se debe enfrentar la vida.

Quisiera agradecer también, a mi polola Sofía Opazo por apoyarme durante toda esta etapa. Por confiar en mí, apoyarme y ayudarme en todo momento. Agradecer su amor y sacrificio hacia mi persona.

Quisiera agradecer a mis amigos Diego González, Alexander Devoto, Bernardo Pardo, Vicente López y Félix Adán por estar en todo momento sea este bueno o malo.

Además, quisiera agradecer a mis profesores de titulación por la calidad de sus consejos, sabiduría y entendimiento de las situaciones. Gracias por las oportunidades que hasta ahora me han dado.

Quisiera recordar y agradecer a mi perro Kaiser (Q.E.P.D) por acompañarme durante toda mi niñez y adolescencia, por enseñarme y transmitirme sentimientos que las palabras no podrían explicar.

Finalmente, le quisiera agradecer a la vida por sólo darme cosas buenas.

1. Antecedentes generales

1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Traverso S.A es una compañía que se encuentra dentro del rubro manufacturero, rubro que se dedica a transformar materias primas a bienes de consumo. Este rubro posee un abanico variado de sectores como: alimentos, bebidas, tabacos, vestuario, maderas, celulosa, refinación de petróleo, química, metal básico, y maquinaria y equipos ^[1]. Traverso S.A se considerará del rubro manufacturero sector alimentos y bebidas.

La cadena de valor de Traverso S.A se compone de diferentes etapas las cuales son: adquirir las materias primas de los proveedores de Traverso, procesar dichas materias primas para elaborar productos terminados y finalmente, mediante terceros dirigidos por Traverso, transportar dichos productos hasta los locales de los clientes finales. Traverso trabaja con una variedad de insumos como vino, insumo esencial para muchos de los productos de Traverso, al cual posteriormente, se le realiza un proceso para extraer el alcohol de este y poder producir el vinagre. En la imagen del *Anexo A: Tanques almacenadores de vinagre*, se pueden observar los tanques donde se almacena el vino, al cual se le extrae el alcohol para la elaboración del vinagre. Dicho insumo se ocupará principalmente en salsas y aderezos que se producen en la planta procesadora ubicada en la comuna de La Cisterna.

Otro de los insumos esenciales para la cadena de valor, es la obtención de los envases donde irán contenidos los productos de Traverso. Dichos envases los produce la empresa Bioplast SPA, la cual también pertenece a Traverso. Una vez se cuenta con todos los insumos, es momento de manufacturarlos para la elaboración de los productos. Cabe destacar, que Traverso S.A posee dos plantas de producción, una ubicada en la comuna de La Cisterna, donde se elaboran principalmente salsas y aderezos como lo son: Ketchup, mayonesa, mostaza y salsa de ají. A continuación, se muestran algunas de las líneas de producción de Traverso:



Figura 1: Envasado, etiquetado y empaquetado de productos, fotos propias

La otra planta de producción se encuentra en la comuna de San Bernardo, junto al centro de distribución, donde se elaboran principalmente vinagres y sucedáneos, se denomina “La Vara” o “Vinagrera”. Una vez elaborados los productos, se envían al centro de distribución ubicado en la comuna de San Bernardo para el posterior despacho, a continuación, se muestra la imagen del centro de distribución:



Figura 2: Centro de distribución San Eugenio, foto propia

Una vez los productos están disponibles en el centro de distribución, estos son despachados a lo largo de Chile, destacar que el servicio de transporte está externalizado. Los transportistas principales son Antillanca, que despacha hacia el extremo norte del país, en específico las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta. Transportes ABCE Logistics, que hace las regiones de Valparaíso y Del Libertador Bernardo O’Higgins, Transportes SuperTrans, que hace todas las demás regiones a excepción de la Región Metropolitana y la región de Magallanes y la Antártica Chilena. El despacho hacia la región de Magallanes y la Antártica Chilena, se hace vía transporte marítimo con la empresa marítima Transmares. Finalmente, en la región Metropolitana de Santiago, existen varios transportistas encargados según el cliente al que se le despache. Si es cliente del retail supermercadista como Walmart, SMU, Cencosud o Tottus, el transportista encargado es Transportes Calderón, si es otro tipo de cliente los transportistas pueden ser: Transportes La Nona, Transportes Valverde o Transportes Vásquez.

Cabe destacar, que se están evaluando otros transportistas debido a los altos tiempos de entrega de algunos transportistas, especialmente Transportes SuperTrans, dichos tiempos de entrega se muestran a continuación:

Tiempos de entrega por región julio 2022 [días]		
Región	Tiempo entrega [días hábiles]	Cajas [%]
Región de Atacama	6,3	3%
Región de los Lagos	5,5	13%
Región Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo	5,5	3%
Región de la Araucanía	5,4	18%
Región de los Ríos	5,2	3%
Región del Biobío	5,2	22%
Región de Coquimbo	4,9	13%
Región de Ñuble	4,8	9%
Región del Maule	4,2	15%
Total general	5,1	100%

Figura 3: Tiempos entrega SuperTrans, datos de BeeTrack - SuperTrans^[2]

Como se puede apreciar en la tabla, los tiempos de entrega van de 4 a 6 días, los cuales se quieren bajar a aproximadamente 4 días para las regiones que se encuentran más al norte. Dicha cotización de otros transportistas viene del deseo de Traverso por tener un mejor servicio al cliente respecto a sus competidores y por ende una mayor participación de mercado, dicho competidor es principalmente ICB en categorías de Encurtidos, Vinagres y Sucedáneos.

Traverso se encuentra en un proceso de transformación desde inicios del año 2022, ya que era una empresa que estaba quedando en el pasado según: sistemas de información, servicio al cliente, pilares estratégicos de la empresa, entre otros. Debido a lo anterior, Traverso actualmente, no posee ni misión ni visión. Sin embargo, esto es algo que actualmente los directores de la empresa han estado trabajando, con el fin de definir estrategias para que toda la empresa pueda estar alineada en un fin común.

Traverso fue fundada en el año 1896 por Don Bartolomé Traverso Gorsiglia, a través de una fábrica de licores ubicada en Viña del Mar en la Región de Valparaíso. En 1980, Traverso se convierte en líder productor del sucedáneo de limón que hasta el día de hoy es reconocido por su calidad y sabor tanto en Chile como en el exterior. En 1996 Traverso empezó a fabricar sus propios envases con el propósito de destacar sus diversos formatos y generar sus propios diseños sin depender de otros proveedores, el resultado de lo anterior favoreció la marca y empresa a través de envases de alta calidad y profundo reconocimiento por parte del mercado^[3]. En el *Anexo B: Organigrama general* se puede evidenciar la estructura jerárquica general de Traverso.

Como se puede evidenciar, en la cabeza del organigrama se encuentra Renato Traverso Marsili, dueño de la empresa Traverso S.A. En el siguiente nivel se encuentra Jorge Vega, Gerente de Planta de la fábrica de envases Bioplast SPA; José Díaz, jefe de planta de “La Vara”; Rodolfo Herrera, Gerente de control de calidad, encargado de que todas las normas legales y sanitarias referentes a la producción de alimentos se cumplan; Juan Pablo Loyola, Gerente Contralor de Traverso, encargado principalmente de los temas legales de Traverso, y finalmente, Jaime Echevarría Gerente General de Traverso S.A. El siguiente nivel le reporta al Gerente General, aquí se puede destacar a Mauricio Sothers, Gerente de Logística; Francisco Matamala, Gerente de Administración y Finanzas; Roberto Valdebenito, Gerente de Abastecimiento; Víctor Velásquez, Gerente de Ventas; Dangelo Figallo subgerente de Procesos y Transformación digital y Suylan del Pilar, subgerenta de recursos humanos entre otros.

Traverso S.A ofrece una gama de productos los cuales ascienden a más de 200 productos agrupados en más de 15 categorías. Dentro de los productos más representativos de Traverso se encuentran el vinagre rosado y blanco de Traverso, sucedáneos de limón y encurtidos como pepinillos, cebollas perlas, pickles, entre otros. Dentro de las categorías más importantes se encuentran Vinagres y Acetos balsámicos, Sucédáneos de limón, Encurtidos y Salsas & Aderezos. A continuación, se pueden apreciar las principales categorías de productos que se elaboran en Traverso:



Figura 4: Principales categorías de productos Traverso S.A

Del total de 216 productos que vende Traverso, 9 de estos son productos importados desde China y Brasil, los cuales son Sopas de camarón, carne, pollo, vegetales y tripack y salsas de soya en los diferentes formatos Kikkoman. Todos los otros productos son elaborados en las plantas de producción de Vespucio y La Vara, en el [Anexo C: Capacidades líneas productivas] se muestra la capacidad productiva de las diferentes plantas de producción (turno = 8 horas por día)

Traverso posee más de 1300 clientes a lo largo de Chile, los cuales se pueden dividir en dos grandes grupos de clientes, mayoristas del retail supermercadista y minoristas. Destacar, que la gran mayoría de datos que se mostrarán en lo que sigue del informe vienen directamente desde SAP, un ERP de gestión de ventas que Traverso implementó desde diciembre del 2021. A continuación, se muestra la distribución de ventas entre estos dos grupos hasta julio 2022:

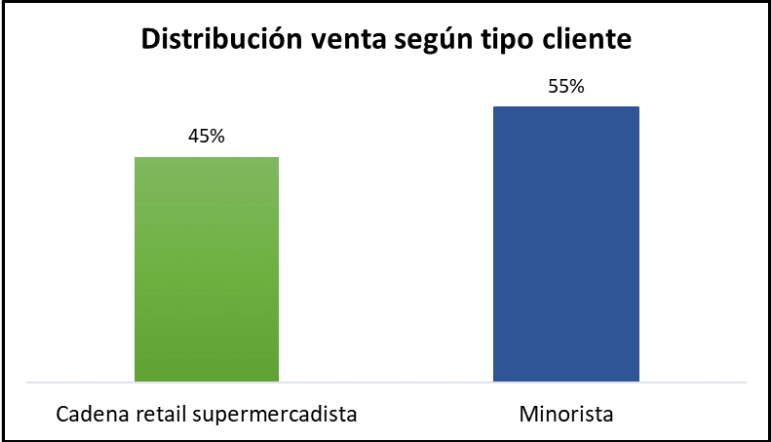


Figura 5: Distribución de venta según grupo de cliente, elaboración propia

Como se puede observar en la gráfica las ventas en el canal minorista supera por 10 puntos porcentuales al canal mayorista, dentro de este último canal se encuentran: Cencosud, Walmart Chile, SMU, Hipermercados Tottus y BidFood S.A. Este último es un distribuidor que se concentra en la venta principalmente al canal HORECA (hotel, restaurant, casino). Además, si se estudia la venta relativa al canal mayorista, se puede evidenciar que lidera Cencosud. Destacar que a pesar de ser Walmart la cadena con mayor cantidad de participación se encuentra en el 3er lugar por detrás de Cencosud y SMU, esto viene dado por la estrategia de congelación de precios por parte de Walmart, por lo que no es viable para Traverso venderle en grandes cantidades a bajos precios, a continuación, la distribución de ventas del canal mayorista:

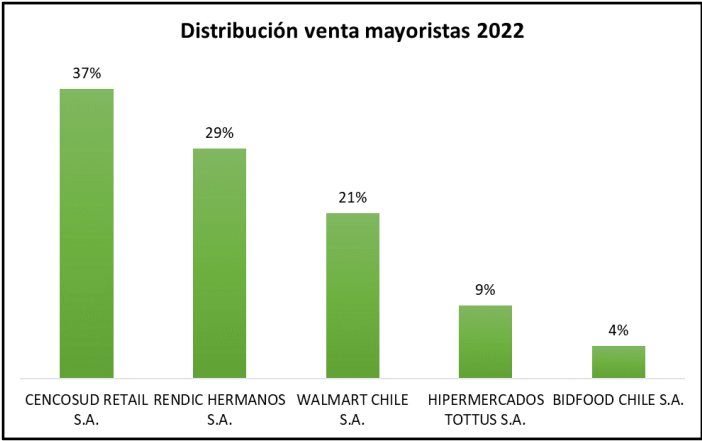


Figura 6: distribución de venta canal mayorista, elaboración propia

Traverso no cuenta con tiendas para la venta física, sino que vende sus productos al usuario final a través de mayoristas, minoristas y e-commerce. Como se mencionó anteriormente, Traverso cuenta con 4 plantas: El Centro de distribución en el cual trabajan aproximadamente 27 colaboradores y 3 plantas de producción, dos para producto final y una planta de fabricación de envases, en las cuales trabajan cerca de 135 colaboradores. Además, Traverso cuenta con 45 vendedores repartidos a lo largo de Chile, destinados a tomar los pedidos en terreno a clientes minoristas. Dado lo anterior, se muestran los niveles de venta tanto de cajas facturadas, como en valor:

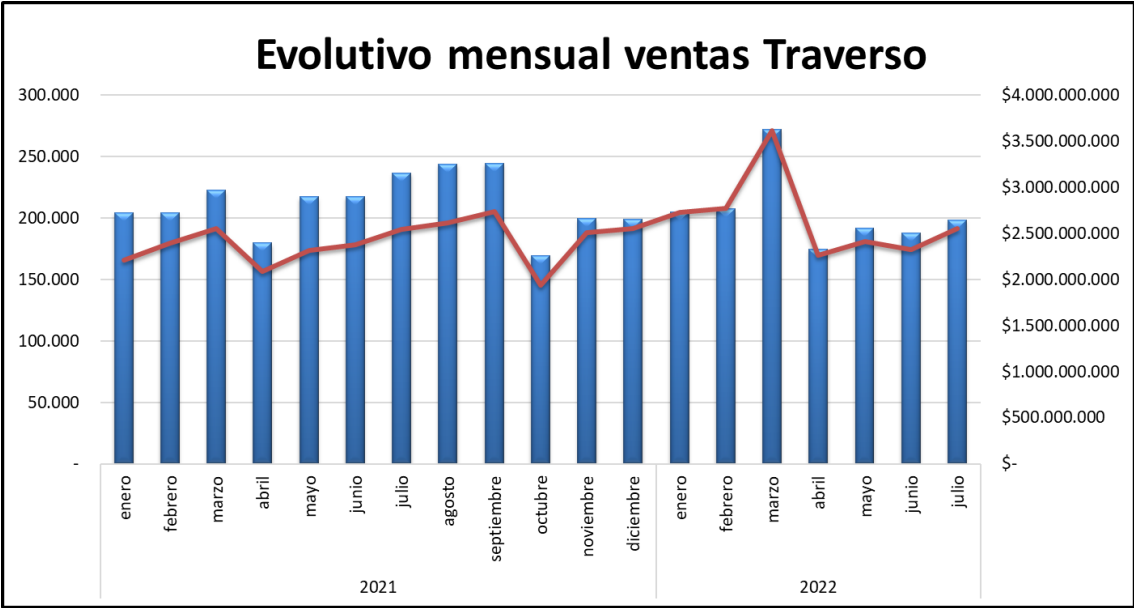


Figura 7: Distribución mensual de la venta 2021-2022, elaboración propia

Como se puede ver en el gráfico, Traverso vende en promedio 200 mil cajas de productos mensualmente, lo que representan \$2500 millones de pesos en valor. Si se estudia a nivel anual, Traverso vende en promedio 2,6 MM de cajas lo que representan \$30.000 MM de pesos. Traverso ha tenido un decrecimiento en las ventas en el año 2022 respecto al 2021, esto viene dado principalmente, a la disponibilidad de recursos de las personas en el año 2021, debido al IFE y retiros de los fondos de pensión. El año 2021 se ha tratado de un año anómalo según las ventas y al comparar con el 2022, se percibe un decrecimiento en las ventas tanto en cantidad como en valor. A continuación, se muestra la venta según categoría de productos:



Figura 8: Distribución de la venta según categoría de productos, elaboración propia.

Como se puede observar en el gráfico, las principales categorías de productos según la venta de cajas como en valor son: Salsas, Sopas, Vinagres y Jugo de limón. Destacar, además, que la categoría Vinagres a pesar de ser la 3era según venta en cajas, es la que posee mayor venta según valor. Añadir también, que estas 4 categorías de productos representan casi el 85% de la venta tanto a nivel de cajas como a nivel valor. A continuación, se muestra la venta tanto en valor como en cajas distribuida según región del país:

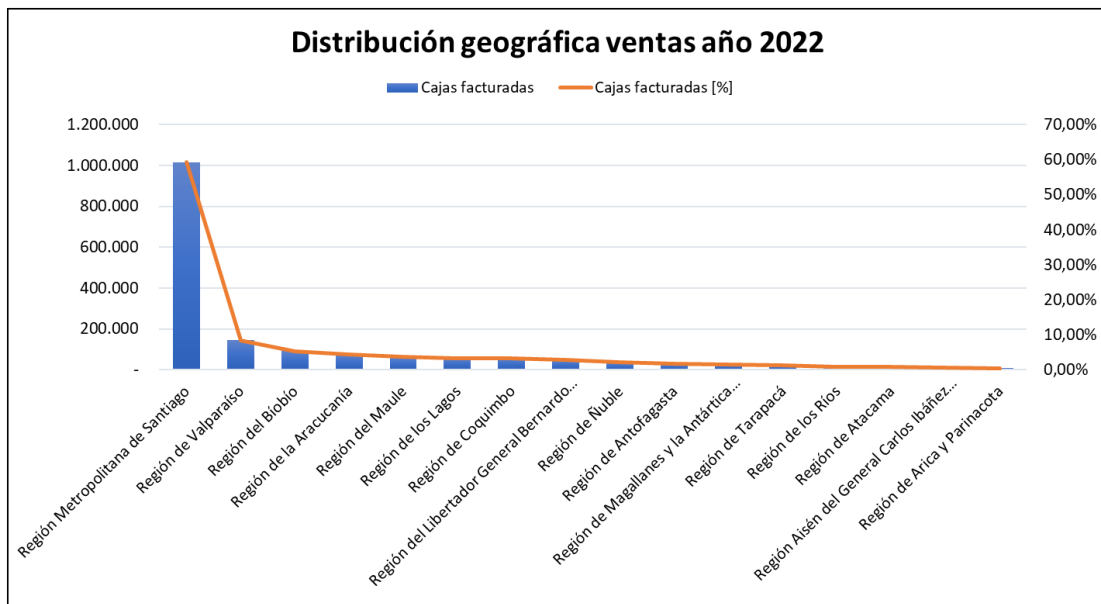


Figura 9: Distribución de la venta según región del país, elaboración propia.

Como se puede evidenciar en la gráfica, la mayor cantidad de ventas se concentran en la Región Metropolitana de Santiago, representando aproximadamente el 60% de la venta a nivel país. Le sigue la región de Valparaíso con un 7%, Biobío con un 5% y La Araucanía con un 4 % de la venta a nivel país.

En conversaciones con el Gerente de Ventas, Víctor Velásquez, señala que la principal ventaja competitiva de Traverso en la integración vertical en la elaboración de sus productos. Es decir, Traverso produce sus propios envases, es dueña de algunas viñas para la producción de vinagre, principal insumo de sus productos. Además de poseer una capacidad productiva que le permite satisfacer la demanda. Todo lo anterior, se traduce en un bajo costo de producción y por lo tanto, un bajo precio de venta tanto a intermediarios como cliente final del producto.

1.2 MERCADO Y/O MARCO REGULATORIO

Se pueden identificar 4 actores principalmente: clientes, proveedores, reguladores y transportistas. En primer lugar, los clientes se refieren a toda la cartera de cliente que posee Traverso, dicho actor se puede dividir en 2 grupos: Mayoristas y minoristas. Los clientes mayoristas como las cadenas del retail supermercadista se entienden con Traverso directamente a través de una plataforma llamada “Comercio Net”. Esta aplicación les permite a las cadenas realizar pedidos automáticos, según requerimientos previamente cargados en el sistema de Comercio Net, o bien realizar pedidos manuales a través de la misma plataforma. Esta aplicación permite tener un lazo directo con los clientes del retail supermercadista, además, Traverso cuenta con trabajadores denominados CPFR (Colaborative Planning, Forecasting and Replenishment) para cada cadena pertenecientes al área de ventas. Esto permite tener una relación aún más fluida con las cadenas, lo que permite levantar cualquier tipo de error en los pedidos anticipadamente antes de despachar, tales como diferencias de precio, descuentos, cantidades, entre otras.

El grupo de clientes minoristas, envían sus pedidos en “terreno” gracias a los vendedores que se encuentran distribuidos a lo largo del país. Cada vendedor posee en sus teléfonos celulares la aplicación llamada “Get Point”, la cual permite recibir los pedidos directamente de los clientes. Ambos sistemas de información, una vez recibidos los pedidos tanto de mayoristas como de minoristas, se enlazan con el ERP SAP Business One, el cual permite procesar los pedidos formalmente para finalmente ser despachados.

Existen un sinnúmero de proveedores que le venden insumos directamente a Traverso, los principales que proveedores de insumos de Traverso son viñas, las cuales le venden directamente a Traverso el vino que posteriormente es transformado en el vinagre. Dichos proveedores poseen una relación estrecha con Traverso gracias a la Gerencia de Abastecimiento la cual posee contratos directamente con las viñas sin intermediarios, lo que le permite a Traverso acceder a excelentes materias primas a bajo costo relativo. Cabe destacar, que existen proveedores internacionales, a través de los cuales se importan productos que Traverso posteriormente comercializa. Dichos proveedores se encuentran principalmente en China, Brasil e Italia, a los cuales se les compran sopas y fideos instantáneos, salsas de soya marca Kikkoman, vinagres orgánicos y aceite vegetal.

Existen también varios reguladores en Traverso, entre los que se destacan principalmente a la seremi de salud. Dicho ente regulador posee una relación estrecha con Traverso ya que de forma periódica visita las instalaciones de Traverso para hacer ejercicios de trazabilidad. La trazabilidad permite identificar los lotes de productos una vez están entregados a los clientes, gracias a la identificación de lotes, permite trazar la producción aguas arriba. Es decir, desde que un producto está en cualquier hogar de algún cliente. Permite identificar que transportistas lo despachó, luego ver en qué línea de producción se elaboró dicho producto, e incluso saber que insumos se ocuparon para la elaboración de estos. Esto permite que ante cualquier problema de salubridad o similar, Traverso sea capaz de retirar todo el lote de producción del mercado o domicilios de clientes.

Además, dado que Traverso importa productos, la Seremi de Salud es el ente encargado de liberar los productos para la distribución en Chile, con el fin de garantizar que dicho producto importado cumpla con todas las normas sanitarias y alimenticias para la comercialización nacional. Otros entes reguladores importantes son las municipalidades en donde se encuentran las instalaciones de Traverso, donde son pagadas las patentes comerciales de Traverso y sin duda el Servicio de Impuestos internos, el cual también de forma periódica visita la Gerencia de Administración y Finanzas para rendir todas las facturas de un periodo de tiempo y verificar que todo esté en regla.

Finalmente, se encuentra otro actor relevante dentro de Traverso los cuales son los transportistas. Como se mencionó anteriormente, Traverso posee el servicio de despacho externalizado con diferentes tipos de transportistas. Dichos transportistas poseen contratos estipulados con Traverso, en el cual se dejan por escrito las tarifas por kilogramo o por viaje según cada región de Chile, la frecuencia de despacho, tiempos de entrega comprometidos, logística inversa como devolución de productos y pallets, frecuencia de rendición de facturas, polinomios de ajuste tarifario y periodos de ajuste tarifario. Un polinomio, a modo de ejemplo, es de la siguiente forma:

$$\Delta Tarifa = \Delta IPC * 40\% + \Delta Diésel * 40\% + \Delta Dólar * 20\%$$

Dicho polinomio permite realizar ajustes de tarifas según la variación entre dos periodos según el índice de precios del consumidor, valor del petróleo y valor del dólar. Estos datos se deben obtener directamente de la Dirección de Planeamiento del Ministerio de Obras Públicas ^[5].

Para el año 2020, el sector industrial de alimentos representó un 3,13% del PIB nacional ^[6] (6.278 \$MMM), aumentando un 1,09% respecto al año 2019 (6.082 \$MMM). El porcentaje del PIB nacional del sector industrial de alimentos se ha mantenido entre el 3,1% y 3,3% los últimos 5 años, es decir, posee variaciones anuales pequeñas de en promedio 2,5 puntos porcentuales. A continuación, se presenta el porcentaje del PIB nacional y las ventas en miles de millones de pesos de la industria de alimentos:

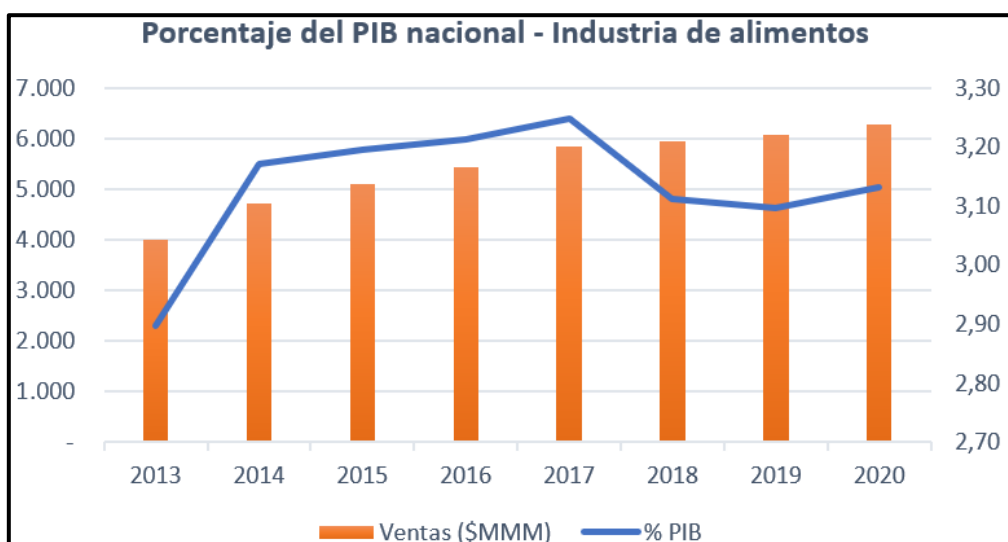


Figura 10: Elaboración propia a partir de datos del Banco Central ^[6]

A continuación, se presentan las participaciones de mercado de Traverso en las principales categorías de productos en la cual participa. Cabe destacar, que dichos datos son obtenidos de una empresa externa, la cual a su vez le compra los datos de Sell Out a las principales cadenas del retail supermercadistas. Además, es importante señalar por qué el Sell Out de cadenas del retail supermercadistas es un dato representativo para identificar la participación de mercado. Esto viene ya que, en Chile aproximadamente el 60% de todos los productos que se encuentran en las casas provienen directamente de las grandes cadenas de supermercados ^[7]. A continuación, se muestran las participaciones de mercado de Traverso en sus principales categorías:

Categoría	Market Share 2022	Variación respecto 2021	Segmento	Market Share 2022
SALSAS	2%	61%	MAYONESA	0%
			KETCHUP	1%
			MOSTAZA	8%
			AJÍ	12%
ACEITES	2%	210%	OLIVA	0%
			VEGETAL	3%
VINAGRES Y LIMON	54%	-3%	VINAGRE	53%
			LIMÓN	57%
JUGOS	1%	18%		
ENCURTIDOS	2%	24%		
Sopas y Fideos Instantáneos	12%	167%		
SALSAS Y ADEREZOS	4%	-3%		
ESENCIAS	1%	-4%		

Figura 11: Market Share Traverso, datos obtenidos del Gerente de Ventas Víctor Velásquez, elaboración propia

Como se puede evidenciar en la tabla, la categoría de productos donde Traverso posee la mayor participación de mercado es Vinagres y Limón. Esto está directamente relacionado con los productos más importantes de Traverso los cuales son el vinagre en sus diferentes formatos, así como el sucedáneo de limón. Es importante señalar que, si bien Traverso posee el 54% de la participación de mercados en Vinagres y Limón, este aumenta hasta casi un 80% si se agregan los productos de marca propia. Traverso también le manufactura productos de marcas propias a las diferentes cadenas del retail supermercadistas, a modo de ejemplo, Traverso le produce marcas propias a SMU los cuales son marca “Nuestra cocina”, a Cencosud con la marca “Cuisine & Co”, a Tottus con la marca “Tottus”. Se destaca, además, el 12% de participación de mercado en la categoría Sopas y Fideos, con un crecimiento respecto al 2021 de un 167%, estos productos recordar son importados por Traverso. En la categoría Salsas si bien es un 2% de participación de mercado, en Ají posee un 12% de participación de mercado, seguido de Mostaza con un 8% de participación de mercado.

Según el marco institucional y regulatorio, Traverso al ser una empresa que se dedica a la fabricación y venta de alimentos y bebidas, se debe regir por una serie de leyes, normas y conductas. En primer lugar, todos los productos de Traverso, al igual que cualquier producto de alimento para personas, debe acatarse a la Ley N° 20.606 o “Ley de etiquetado de alimentos”, la cual busca simplificar la información nutricional de los componentes de los alimentos relacionados con la obesidad y otras enfermedades no transmisibles. Así como proteger a niños, niñas y adolescentes de la publicidad de alimentos “Altos en” nutrientes relacionados con la obesidad y otras enfermedades no transmisibles ^[8]. Junto a lo anterior, otra ley importante que debe respetar Traverso es la Ley N° 20.869 sobre publicidad en los alimentos, la cual indica que, se prohíbe la publicidad que induzca al consumo de alimentos señalados en el inciso primero del artículo 5 de la Ley N° 20.606, que, por su presentación, símbolos y personajes utilizados, se dirija a menores de 14 años, captando preferentemente su atención. Esta ley eliminó a los dibujos animados de los empaques de algunos productos para consumo preferentemente de menores de 14 años ^[9].

Respecto a la producción de alimentos, Traverso debe acatar el Decreto 977 Aprueba reglamento sanitario de los alimentos, el cual establece las condiciones sanitarias a que deberá ceñirse la producción, importación, elaboración, envase, almacenamiento, distribución y venta de alimentos para uso humano, la cual debe ser supervisada por el MINSAL y SAG ^[10]. Finalmente, respecto al marco regulatorio y legal, Traverso al contar con trabajadores debe acatar el Decreto Con Fuerza de Ley 1 (DFL 1) “Fija el texto refundido, coordinado y sistematizado del código del trabajo”, en el cual se explicitan todos los derechos y deberes de un trabajador/a ^[11].

1.3 DESEMPEÑO ORGANIZACIONAL

En el año 2021, hubo un crecimiento del 30% respecto al 2020, debido principalmente a variables externas al mercado, como lo fue el retiro de los fondos de pensión, así como ayudas del Estado, en particular el IFE. Dado lo anterior, en lo que va del 2022, se ha tenido un decrecimiento del 6% aproximadamente respecto al 2021. Dicho aumento de la demanda en el año 2021 estresó la cadena de abastecimiento, aumentando los costos de producción, sumado a la inflación que se vive hoy en día, ha hecho aumentar los precios para los consumidores. Lo anterior se traduce en una menor cantidad de ventas, por lo tanto, habrá menores tasas de utilización de las líneas de producción, lo que se traduce lamentablemente, en reducción de trabajadores.

2. Justificación del tema

2.1 INFORMACIÓN DEL ÁREA DE LA ORGANIZACIÓN/EMPRESA

El área donde se desarrollará el tema la Gerencia de Logística, dentro de las principales funciones está tomar las notas de ventas ya procesadas y liberadas para el despacho, junto a los productos que anteriormente se enviaron desde producción para poder ser entregados finalmente al cliente. En el [*Anexo D: Organigrama Área logística*] se puede ver la estructura jerárquica del área de logística. En el área de logística existen 27 trabajadores los cuales poseen diferentes características, que pueden ser Ingeniero Civil Industrial, Ingeniero Comercial, Técnicos en Logística, Técnicos en manejo de equipos logísticos, entre otros.

Como se puede apreciar en el [*Anexo E y F: Proceso de logística*] el proceso del área logística parte cuando la nota de venta ya ha pasado 3 principales filtros: Información de la orden de venta calce con los datos ingresados en SAP, que no tenga documentos vencidos o protestados y finalmente, evaluar la forma de pago. Una vez ocurre lo anterior, el planificador de rutas hace el corte a las 13.30 horas de cada día, para programar el despacho en 48 horas. Una vez obtenidas todas las notas de pedido que han sido ingresadas hasta esa hora, va asignando las notas de venta a una ruta, principalmente, según la dirección de destino del cliente. Es decir, junta las notas de venta de la zona del extremo norte, luego para Atacama y Coquimbo, Valparaíso y así sucesivamente. Sólo cuando los pedidos son de la Región Metropolitana se usa otro criterio para enrutar como el cliente en sí. Ya que, por ejemplo, existen varios pedidos que van hacia La Vega, Lo Valledor y El Matadero, entre otras.

Una vez las órdenes de venta tienen asociada una ruta, empieza el trabajo de los facturadores, los cuales ingresan la ruta en SAP para obtener el detalle de cada orden de venta asociada. A su vez tiene que entrar al sistema “gerete de picking” el cual permite liberar los productos de cada nota de venta para su posterior *pickeo* (tarea de ir a buscar las cajas solicitadas por las órdenes de venta para escanear su código único y poder facturar). Es en este proceso de liberación donde por cada orden de venta se genera un número de picking, posteriormente se envían las rutas con sus órdenes de venta asociadas y estas a su vez con el número de picking. Aquí empiezan a trabajar los despachadores y operarios de bodega, los cuales deben ingresar el número de picking en las pistolas de *pickeo* [*Ver anexo G: Pistola de picking*]

Como se puede apreciar en la imagen, al ingresar el número de *picking*, esta arroja todos los productos y cantidades que deben ser *pickeados*, todos los productos que están en verde ya han sido *pickeados* y los que están en color blanco están aún pendientes de ser *pickeados*. Una vez se le ha hecho el *picking* a toda la orden de venta, se genera un número de entrega por cada orden de venta, sólo cuando se tienen más de 25 líneas de productos se genera otra entrega para la misma orden de venta. Nuevamente se envía desde bodega las hojas con las rutas con las órdenes de venta y estas ahora con un número de entrega. Los facturadores con este número de entrega pueden crear finalmente las facturas, por cada número de entrega se genera una factura. Se imprimen 3 facturas, 2 facturas originales las cuales una queda de respaldo en Traverso y la otra se la queda cliente, y una factura cedible la cual es la que lleva el transportista para la posterior firma del cliente. Destacar que, esta factura cedible es la que los transportistas deben rendir periódicamente, para confirmar que el producto se haya entregado y también para que estos puedan recibir sus pagos correspondientes por entregar el servicio de transporte.

2.2 ESTRUCTURA DE KPI'S E INDICADORES

A continuación, se presentarán los principales indicadores que se manejan en el área logística. Para empezar, el indicador de desempeño más general que se estudia es el Fill Rate, cuya fórmula y evolutivo se presenta a continuación:

$$\text{Fill Rate} = \frac{\text{Cantidad facturada} - \text{Cantidad rechazada}}{\text{Cantidad solicitada}} * 100$$

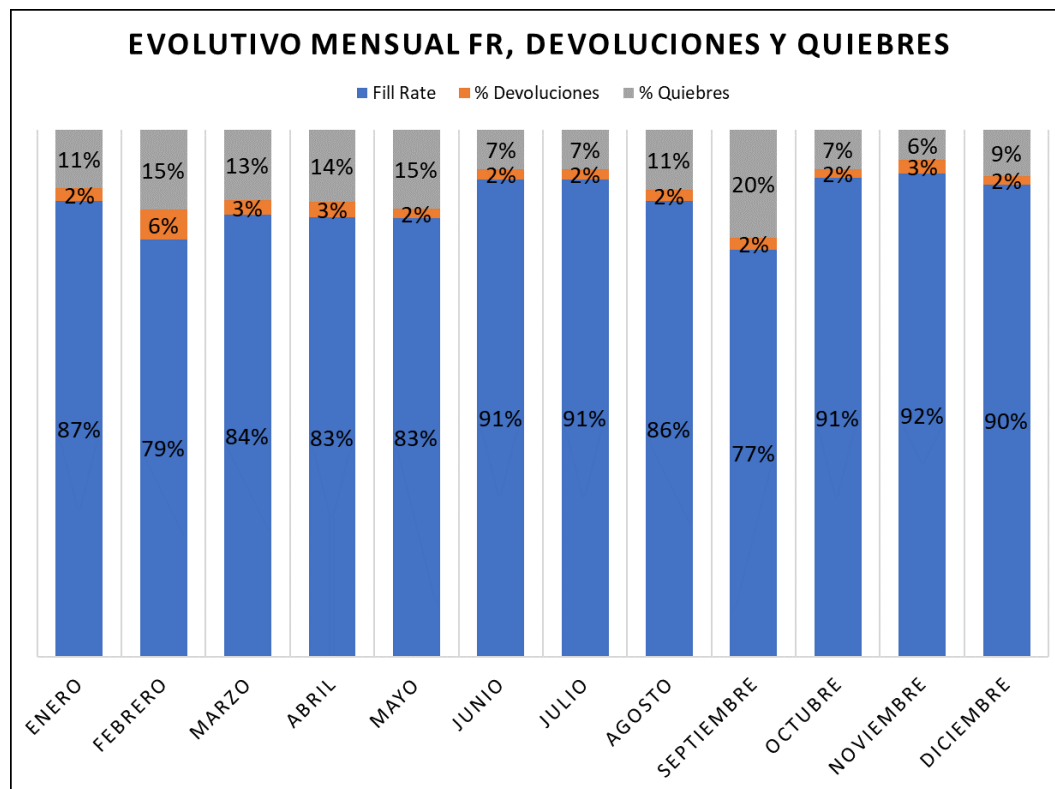


Figura 12: Evolutivo mensual Fill Rate, datos obtenidos de SAP, elaboración propia

Como se aprecia en el gráfico, se ha tenido una importante alza en el Fill Rate lo cual viene dado principalmente por la centralización de los despachos, a excepción de septiembre donde hubo una caída del ERP SAP por lo que se perdió un gran porcentaje de las órdenes de venta. Anteriormente en Traverso se realizaban despachos desde la planta de Vespucio y también desde el Centro de Distribución de San Bernardo, lo que provocaba muchos quiebres ya que los productos debían estar disponibles en ambas partes. Si bien se disminuyeron la cantidad de quiebres, aún sigue siendo una cifra significativa donde se puede trabajar, y es aquí donde la planificación de producción juega un papel vital para tener los productos disponibles, teniendo cuidado en no tener una producción baja y generar quiebres, pero tampoco producir en exceso ya que se generan productos obsoletos los cuales se deben liquidar a menores precios o simplemente desechar.

El siguiente indicador que se está gestionando actualmente, es sobre gestión de inventario, a continuación, se presenta tanto su fórmula como evolutivo mensual:

$$\text{Diferencia absoluta} = \frac{\text{Stock sobre sistema} + \text{Stock bajo sistema}}{\text{Stock sistema}} * 100$$

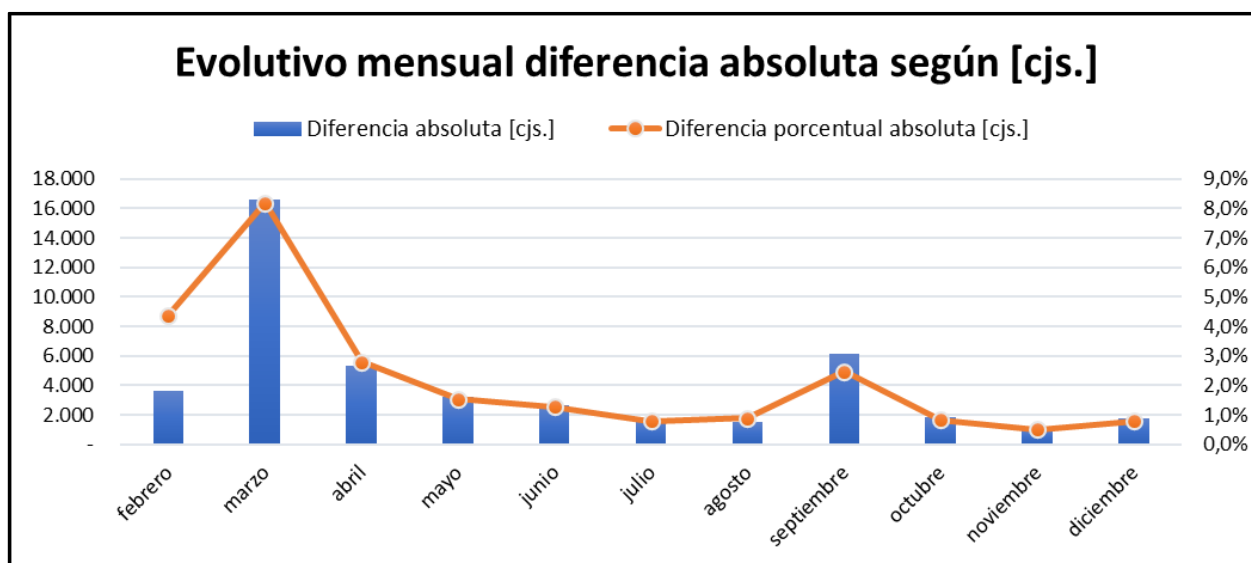


Figura 13: Evolutivo diferencia absoluta, fuente tomas de inventario, elaboración propia

En el gráfico se muestra el evolutivo mensual de la diferencia absoluta de inventarios en cajas, pero también se puede tomar según valor monetario. Destacar, que la disminución de estas diferencias también viene dada por la consolidación de los despachos.

Otro indicador que recién en julio se empezó a medir, es el porcentaje de productos obsoletos (productos ya vencidos) del centro distribución, a continuación, se muestra su fórmula e indicador:

$$\text{Obsolescencia} = \frac{\text{Productos obsoletos}}{\text{Stock sistema}} * 100$$

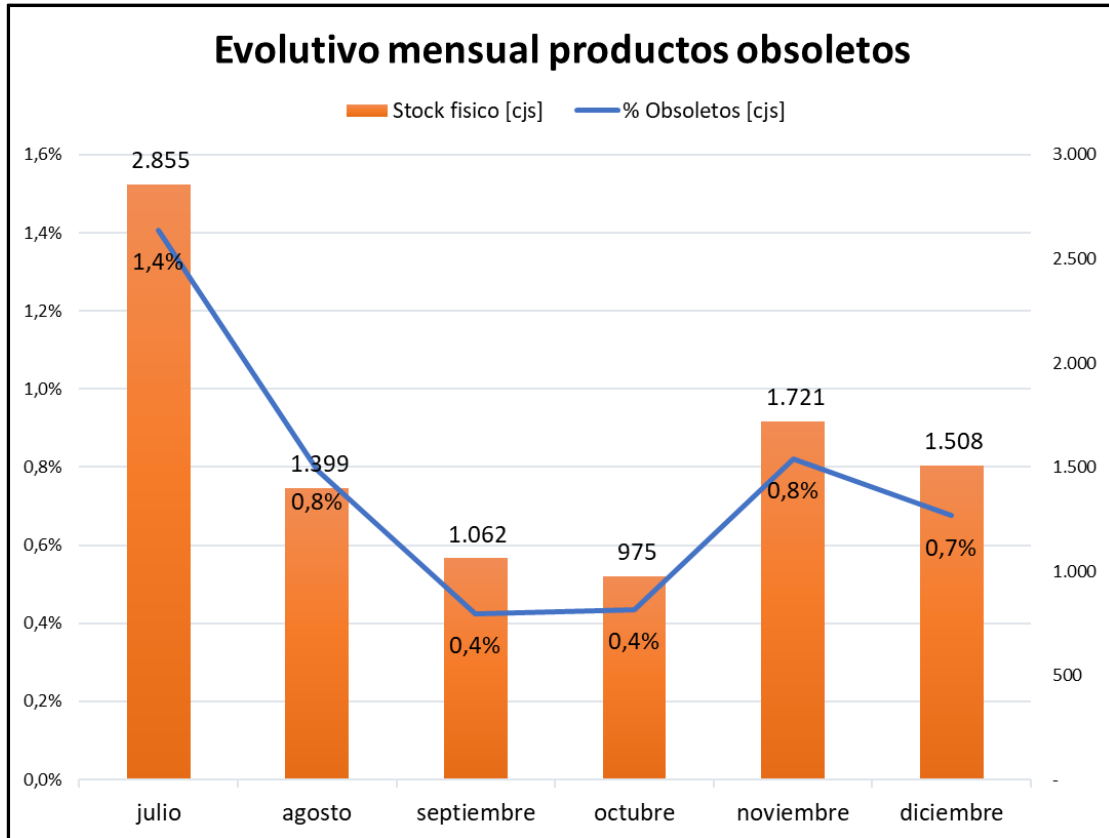


Figura 14: Obsoletos, fuente tomas de inventario, elaboración propia

El solicitante del trabajo de título es el Gerente de Logística Mauricio Sothers y las áreas que se beneficiarán serán principalmente el área logística-producción. El área logística y producción se encuentran dentro de la Gerencia de Logística, dado que ambas áreas deben trabajar en conjunto para tener un buen Fill Rate a nivel de empresa. En el siguiente apartado se estudiará el problema de la planificación de producción, su relevancia y complejidad, así como las causas y efectos de una ineficiente planificación de producción.

2.3 IDENTIFICAR PROBLEMA U OPORTUNIDAD Y SU RELEVANCIA, CON SUS EFECTOS Y POSIBLES CAUSAS

Como se mencionó anteriormente la planificación de la producción es una etapa vital para todo el proceso de logística y posteriores. Dado lo anterior, se presentará información acerca de la planificación de producción actual, y el por qué representa una oportunidad de mejora relevante para Traverso. Cabe destacar que, la mala gestión de la producción se puede evidenciar en 3 indicadores principalmente: devoluciones asociadas a producción como producto con baja vida útil, quiebres asociados a producción y productos obsoletos. A continuación, se empezará estudiando el evolutivo mensual de devoluciones en general, para enfocarse posteriormente en motivo “productos próximos a vencer”, el cual viene dado por tener sobre stock de productos, los cuales quedan con corta vida útil y posteriormente son rechazados por los clientes:

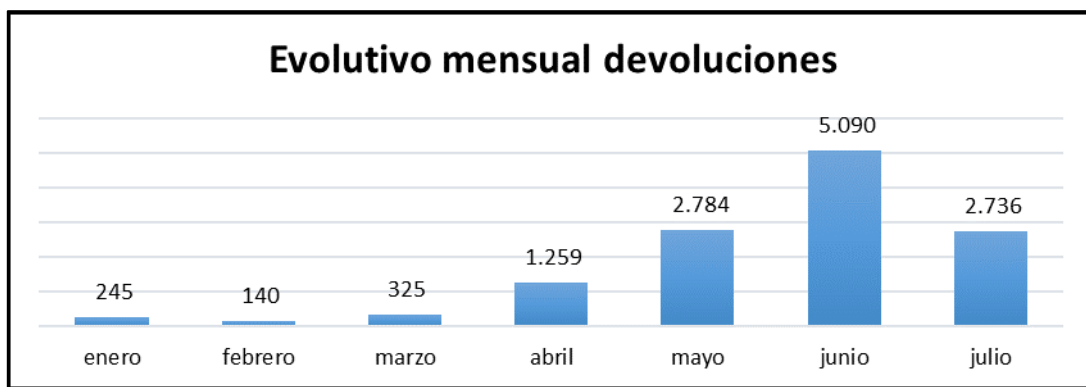


Figura 15: Evolutivo devoluciones 2022, fuente SAP, elaboración propia

Como se puede evidenciar en la gráfica, las devoluciones han ido en alza los últimos 3 meses respecto al inicio de año, teniendo un *peak* de devoluciones en el mes de junio.

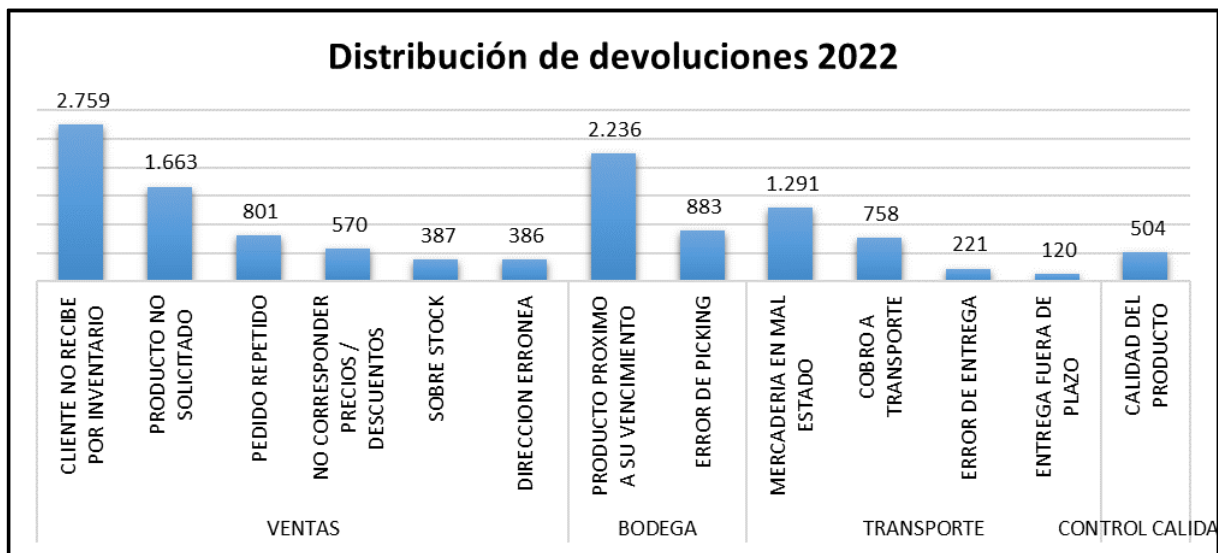


Figura 16: Devoluciones 2022, fuente SAP, elaboración propia

Como se muestra en la gráfica anterior, los productos que se han despachado y han sido devueltos por cliente por motivo “Producto próximo a su vencimiento” han sido 2.236 cajas, lo que representa aproximadamente un 18% de la totalidad de devoluciones. Destacar igualmente que, si bien esta es una causa asociada a una mala planificación de producción por tener productos con corta vida útil, es responsabilidad de Bodega decidir si se envía en esas condiciones o no. Lo importante, es que existe esa cantidad de productos con corta vida útil debido a sobre stock. A continuación, se presenta el evolutivo de motivo de devolución “Producto próximo a su vencimiento”:

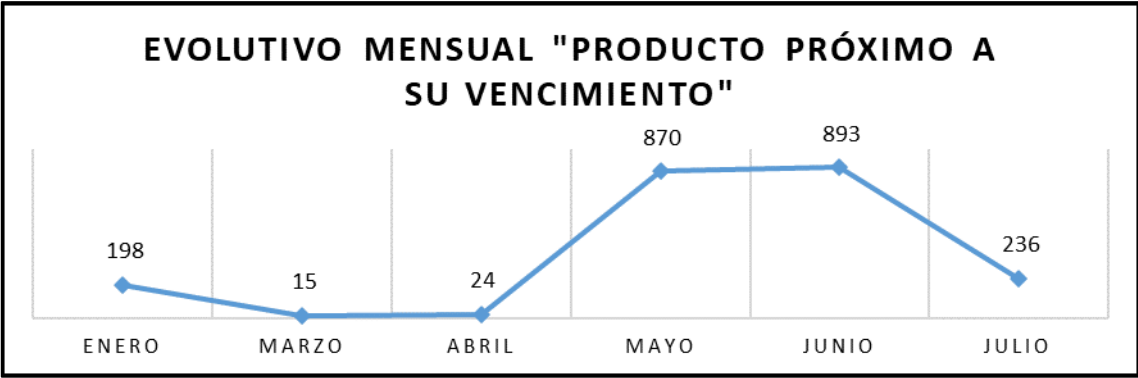


Figura 17: Evolutivo mensual motivo “Producto próximo a su vencimiento”, fuente SAP, elaboración propia

Como se puede ver en la gráfica, el comportamiento de este motivo de devolución es similar al comportamiento de las devoluciones en general, por lo tanto, hay que tener cuidado ya que también va al alza en los últimos 3 meses respecto a inicios de año. A continuación, se empezará por estudiar en primera instancia los quiebres en general, la distribución según motivo de quiebres y finalmente, un evolutivo de los motivos de quiebre asociados a una mala planificación de la producción:

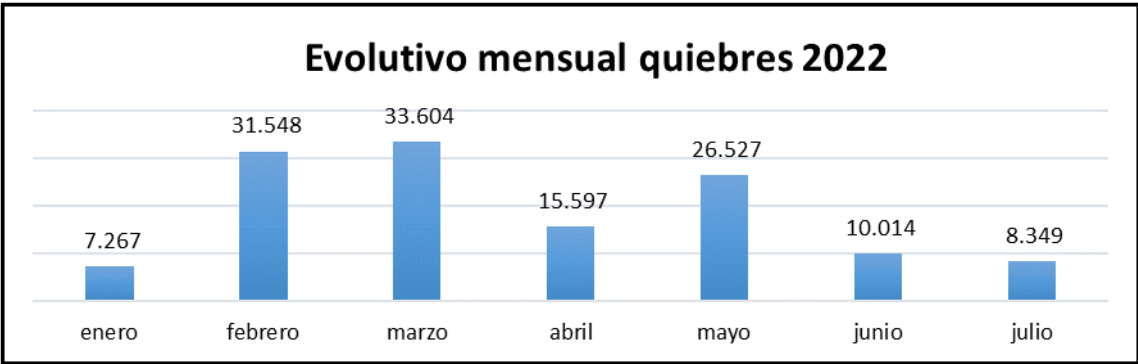


Figura 18: Evolutivo mensual quiebres 2022, fuente SAP, elaboración propia

Si bien, los quiebres han ido disminuyendo en los últimos 2 meses, estos han sido mucho mayores en magnitud que las devoluciones, por lo tanto, representan más costos referidos a la pérdida de ventas. A continuación, se presenta la distribución acumulada a julio 2022, según los motivos de quiebre:

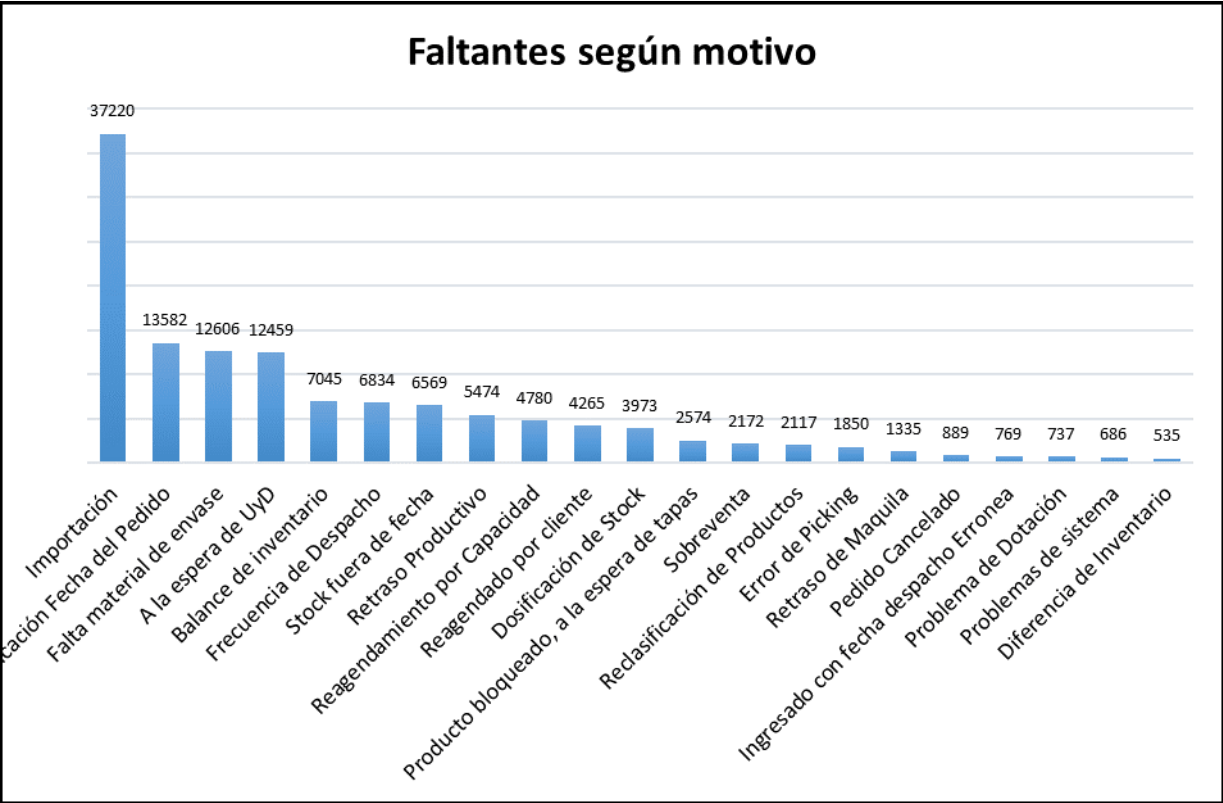


Figura 19: Distribución motivos de quiebres acumulado 2022, fuente SAP, elaboración propia

Los principales motivos asociados a la planificación de la producción son: Falta material de envase, Stock fuera de fecha, retraso productivo, reagendamiento por capacidad, dosificación de stock y sobreventa. Estos motivos en su conjunto son 35.564 cajas lo que representan un 28% aproximadamente de los quiebres totales acumulados a julio 2022. A continuación, se muestra el evolutivo sólo de las causas asociadas a planificación de producción:

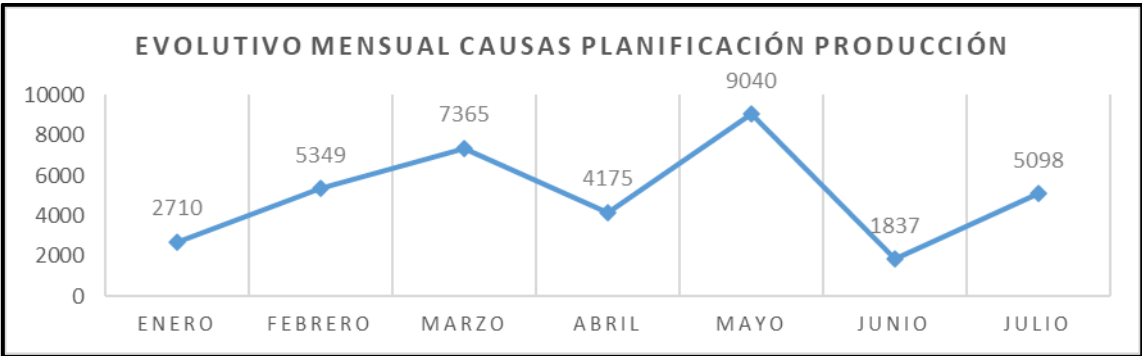


Figura 20: Evolutivo causas planificación producción, elaboración propia

Como se puede evidenciar en la gráfica, el comportamiento de los quiebres por planificación de producción no presenta una tendencia clara, presentando un peak importante en el mes de mayo. Si bien en junio este número disminuyó considerablemente, nuevamente una brusca alza en el mes de julio. A continuación, se presentan las importancias relativas de cada causa de quiebre por planificación de la producción:

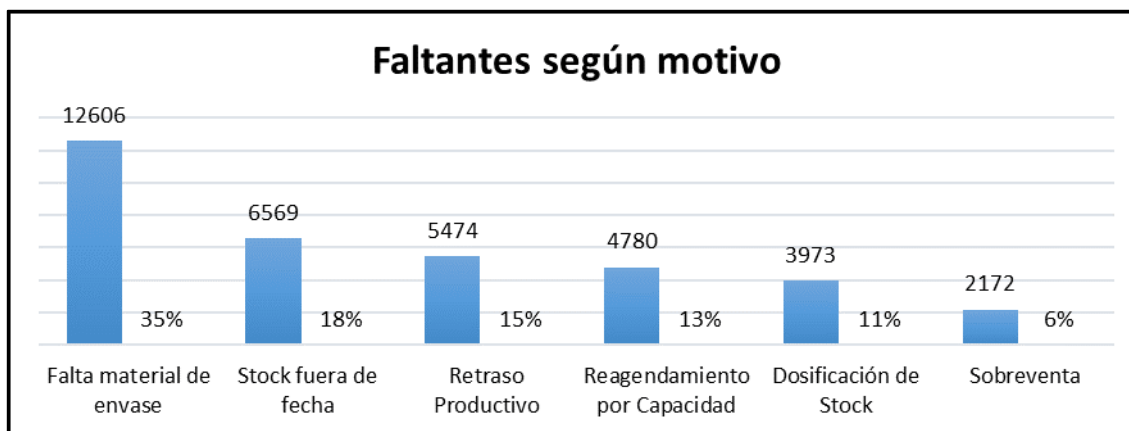


Figura 21: Distribución de quiebres por planificación de producción, fuente SAP, elaboración propia

Según la gráfica, el motivo “Falta de material de envase” representa el 35% de todos los quiebres acumulados al año, le sigue stock fuera de fecha y retraso productivo. Para dar claridad de estos motivos, se presenta a continuación, la descripción de cada motivo:

- **Falta material de envase:** Como se mencionó anteriormente, Traverso puede fabricar por sí mismo sus propios envases, pero existen envases de productos que se deben comprar directamente al proveedor, específicamente envases de vidrio. Por lo tanto, esta falta de material de envase se refiere sólo a la compra. En conversaciones con el subgerente de planificación de producción Sebastián Tapia, señaló que la compra de este tipo de envases se realiza una vez al año, a principios de cada uno. Lo cual define la planificación de envases y por lo tanto la disponibilidad de estos durante todo el año. Lo importante señalar aquí, es que definir una herramienta que permita anticipar la venta que se tendrá durante todo el año es crucial para la planificación de producción y compra de envases.
- **Stock fuera de fecha:** Al querer despachar una nota de venta, el producto físicamente si está, pero con corta vida útil para el cliente, por lo tanto, no se despacha. También sale a la palestra la importancia de saber cuánto se venderá en un determinado periodo de tiempo.
- **Retraso productivo:** Se produce cuando todos los materiales para elaborar un producto están disponibles, pero por causa de que las líneas no están correctamente configuradas, no se puede generar la producción. Señalar que en el caso del ketchup y mostaza comparten la misma línea de producción. Por lo tanto, se produce cada tipo de producto semana por media, es decir, se configura para que una semana produzca ketchup y la siguiente mostaza. Para las otras líneas de producción, el tiempo de configuración es de aproximadamente 1 hora y 40 minutos. Es decir, un 20% del tiempo de un turno (8 horas).

- Reagendamiento por capacidad: Este tipo de quiebre se da principalmente por los cuellos de botellas de las líneas de producción. En específico la envasadora de la categoría salsas (ají, ketchup, mostaza y mayonesa) se comparten para todos los productos, por lo tanto, se debe dar prioridad según demanda.
- Dosificación de stock y sobreventa: ambos quiebres se relacionan entre sí, ya que la dosificación se da cuando hay stock disponible pero no para cubrir la totalidad de la demanda. Mientras que, en la sobreventa, el producto simplemente no tiene stock.

La última causa es el stock en obsolescencia presentado en la *Figura 18*.

A continuación, se realizará la estimación de costos de una deficiente planificación de producción, para demostrar que es una oportunidad relevante para la empresa. En particular, se tienen 4 fuentes de costos directos asociados: Devoluciones y quiebres asociados a una deficiente planificación de producción, productos en estado de liquidación (producto que, debido a su corta vida útil, se liquidan a un precio aproximado del 50% del valor original) y productos obsoletos (*Figura 17*), en resumen, se tiene que los quiebres y devoluciones acumulados 2022 son:

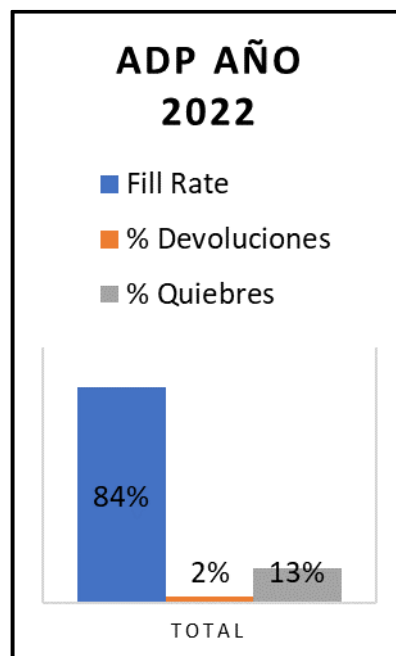


Figura 22: ADP acumulado año 2022, fuente SAP, elaboración propia

Por otro lado, se tienen los productos que se liquidarán, los cuales se diferencian entre productos marca propia (Cuisine & CO, Nuestra cocina, Tottus, etc.), los cuales se liquidan cuando tienen bajo un 75% de vida útil y productos regulares los cuales se liquidan cuando están bajo el 40% de vida útil, a continuación, la distribución de estos:

Tipo Producto	VU restante	Cantidad	Porcentaje
Marca propia	Mayor a 75%	2.674	1%
	Menor a 75%	4.905	2%
Otro	Mayor a 40%	190.973	93%
	Menor a 40%	7.080	3%

Figura 23: Distribución productos en liquidación, fuente SAP, elaboración propia

En resumen, el cálculo de costos es:

- Según la *Figura 10* la venta que representa el Fill Rate de 89% son aproximadamente \$2500 MM, si se corrige por el Fill Rate, la venta del 100% sería de \$2800 MM, representando en promedio 240 mil cajas vendidas mensualmente.
- Devolución representa el 2%, de los cuales el 18% de la totalidad de estas, son por causa directa de planificación de producción, es decir, 0,4%
- Quiebres representan el 13%, de los cuales el 28% son por causa directa de planificación de producción, es decir, 3,7%.
- La totalidad de productos obsoletos son por causa de planificación de producción lo que es un 1,4% de la totalidad del nivel de inventario, representado por 2855 cajas (1,2%).
- 5% de los productos se liquidan mensualmente, los que se venden a mitad de precio, por lo tanto, se tomará como un 2,5% de la venta total representado por 12.000 cajas.

Venta mensual promedio	Causas faltantes	Causa quiebres	Causa obsoletos	Causa liquidaciones	Costo total mensual
\$2.800 MM	3,7%	0,4%	1,2 %	2,5%	
	\$104 MM	\$11 MM	\$33 MM	\$70 MM	\$218 MM

Figura 24: Resumen de costos planificación de la producción, elaboración propia

Por lo tanto, en resumen, se estarían incurriendo en \$218 MM en costos por venta perdida, devoluciones y productos en liquidación. Lo que al año representan \$2.616 MM aproximadamente, es decir, casi un mes entero de venta. Si a esto sumamos que esta oportunidad presenta una variedad de causas y motivos, se tiene una oportunidad compleja y relevante para la empresa Traverso.

2.4 IDENTIFICAR HIPÓTESIS Y POSIBLES ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA RESOLVER EL PROBLEMA/OPORTUNIDAD

A continuación, se mostrarán las causas que se comentaron anteriormente, graficados en un árbol de problemas para su mejor comprensión:

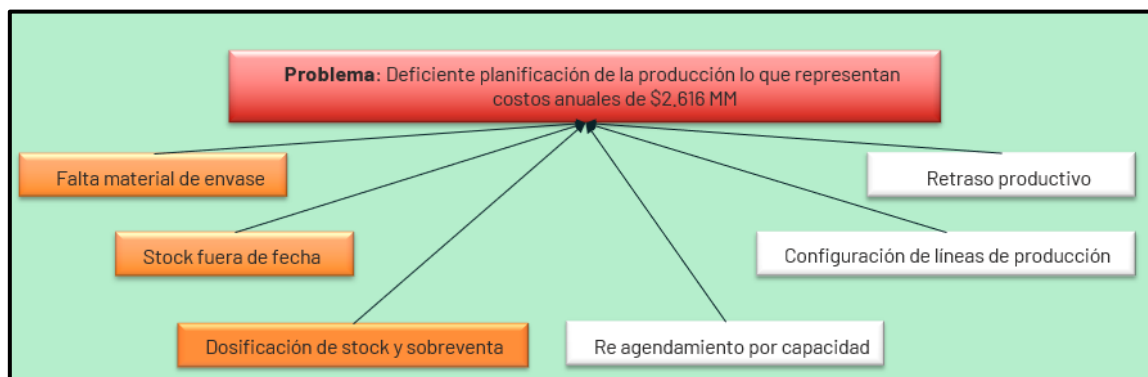


Figura 25: Árbol de problema deficiente planificación de producción

Como se puede ver en el diagrama, las causas se dividen en dos grupos, por una parte, las causas en naranja, que representan causas que van directamente relacionadas a un pronóstico de ventas. Por otro lado, las causas en color blanco, que se refieren a las líneas de producción en sí. A continuación, se presentan las causas actuales y cómo debería ser el escenario optimizado gracias a la implementación de alguna metodología, las cuales se estudiarán en los siguientes puntos:

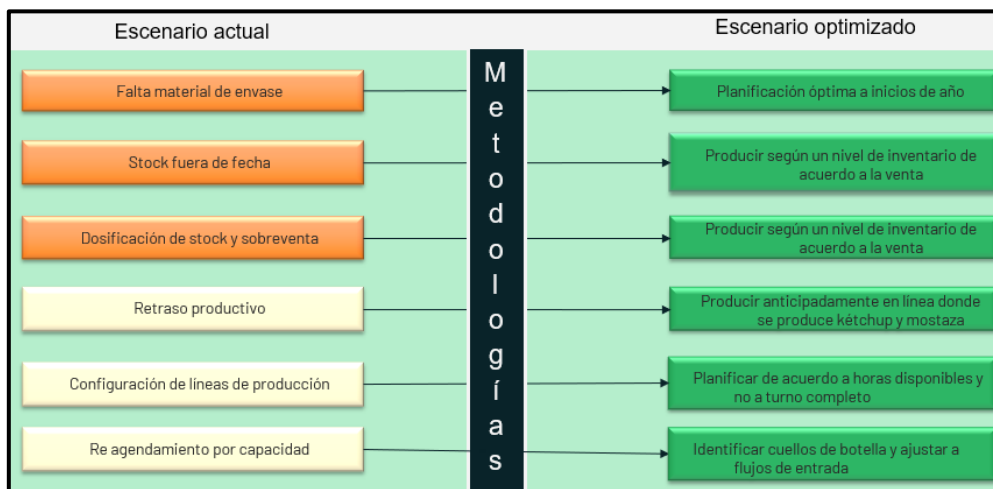


Figura 26: Causas problema planificación de producción y escenarios optimizados

2.5 PROPUESTA DE VALOR DE POSIBLES SOLUCIONES O IMPACTO DEL CAMBIO PROPUESTO

Dado que la propuesta de valor viene dada por la meta del objetivo general, este punto se estudiará en la *sección 3: Objetivos*. Adicionalmente, como principal valor agregado de este proyecto de tesis, será generar un modelo predictivo de la demanda que permitan tomar decisiones operacionales, tácticas e incluso estratégicas. Dado el recurso de un pronóstico de ventas, se pretende realizar en primer lugar la planificación de la producción semana a semana, mediante un modelo de optimización lineal mixta, ya que se deberá decidir en primer lugar que producto se fabricará y la cantidad de cada uno de estos. Este sería el foco principal de este trabajo, sin embargo, este pronóstico servirá para dar recomendaciones/información al área de abastecimientos, encargada de tener disponibles las materias primas para la elaboración de productos. Como se mencionó anteriormente, el 35% de los quiebres por planificación de producción vienen dados por la falta de material de envase, en particular envases de vidrio. Los envases de vidrio se compran mediante una compra abierta al proveedor, el cual también planifica la producción de envases para Traverso, por lo tanto, si está mal estimada la demanda, se producirán quiebres por falta de material de envase. Dado lo anterior, el pronóstico de demanda tendrá un gran valor tanto para la compra de envases de vidrio, como también de materias primas para la elaboración de productos. Otro valor que tiene la creación de esta herramienta será el ajuste de capacidad de las líneas de producción si fuese necesario dependiendo el nivel de venta que se pronostique, siendo esta una decisión táctica-estratégica. Por otra parte, se podrá beneficiar al área de recursos humanos para saber el nivel de personal óptimo destinado a la elaboración de los productos. Finalmente, el área de logística también se podrá beneficiar de este proyecto, ya que, si se sabe el nivel de venta y por ende la producción, se podría ajustar también, la cantidad de flota disponible para el despacho de productos, así como el personal de picking, grueros, entre otras.

Si bien esta oportunidad de mejora tiene un sinnúmero de beneficios para las distintas áreas, en este trabajo de título, se abordará el pronóstico de venta para el área de producción junto con el modelo de optimización línea mixta, con el fin de que se pueda saber que se producirá semana a semana, y con ello, disminuir la cantidad de quiebres.

3. Objetivos

Como objetivo general se tiene:

“Disminuir causas de una mala planificación de producción de un 7,8% a un 5% (reducción de un 35%) mediante pronósticos de demanda y modelos de optimización lineal mixta para la planificación de la producción en un plazo de 4 meses desde el inicio del proyecto”

Como objetivos específicos:

1. Realizar análisis exploratorio de los datos de demanda, principalmente de los productos de envases de vidrio, y las categorías: Salsas, vinagres y sucedáneos.
2. Creación de modelos de pronósticos de demanda en programa R Studio
3. Identificar métricas para evaluar los diferentes modelos y seleccionar aquel modelo que posea el mejor desempeño.
4. Identificar parámetros, variables de decisión y función objetivo del modelo de optimización lineal mixta para la planificación de producción.
5. Estructurar modelo de optimización lineal y codificarlo en el programa Python-Gurobi.
6. Analizar resultados y compararlos con las decisiones actuales.

Dado el objetivo general, se tiene que la propuesta de valor será una disminución en aproximadamente \$940.000.000 en costos referidos a la pérdida de venta por quiebres, devoluciones, productos obsoletos y disminución de productos a liquidar.

4. Marco conceptual

Dadas las causas, se debe planificar la producción para mantener un nivel de inventario óptimo según el nivel de servicio. En primer lugar, se estudiará acerca de la gestión de inventario.

4.1 SISTEMA DE REVISIÓN DE INVENTARIOS

Richard B. Chase y F. Robert Jacobs, en libro “Administración de operaciones” 13ava edición señalan ^[12]:

“Inventario son las existencias de una pieza o recurso utilizado en una organización. Un sistema de inventario es el conjunto de políticas y controles con los cuales se vigilan los niveles del inventario y determinan los que se van a mantener, el momento en que es necesario reabastecerlo y las dimensiones de los pedidos”

Una empresa/organización puede mantener inventario por las siguientes razones:

1. **Para mantener independencia entre operaciones:** El suministro de materiales en el centro de trabajo permite flexibilidad en las operaciones.
2. **Para cubrir la variación de la demanda:** Si se conoce con precisión la demanda del producto, quizás sea posible producirlo en la cantidad exacta para cubrir la demanda. Sin embargo, por lo regular, la demanda no se conoce por completo, y es necesario tener varios inventarios de seguridad o de amortiguación para absorber la variación.
3. **Para permitir flexibilidad en la programación de la producción:** La existencia de un inventario alivia la presión sobre el sistema de producción para tener listos los bienes. Esto provoca tiempos de entrega más extensos, lo que permite una planificación de la producción para tener un flujo más tranquilo y una operación de menor costo en virtud de una producción de lotes más grandes.
4. **Protegerse contra la variación del tiempo de entrega de materias primas:** Al pedir material a un proveedor pueden ocurrir demoras por diferentes razones como faltantes de material por parte del proveedor, pedidos defectuosos o incorrecto entre otras.
5. **Aprovechar los descuentos basados en el tamaño del pedido:** Existen costos relacionados a los pedidos: mano de obra, llamadas telefónicas, captura, entre otras. Por lo que mientras mayor sea el pedido, la necesidad de otros pedidos se reduce.

Para cada una de las razones anteriores, es necesario también, entender que mantener inventarios es costoso, y por lo general, almacenar grandes cantidades no es recomendable. A continuación, se enumeran algunas fuentes de costos de mantener inventarios:

1. **Costos de mantenimiento (o transporte):** Abarca los costos de las instalaciones de almacenamiento, manejo, seguros, desperdicios, daños, obsolescencia, depreciación, impuestos y costos de oportunidad de capital.
2. **Costos de preparación (o cambio de producción):** La fabricación de cada producto comprende la obtención del material necesario, arreglo de configuraciones específicas en el equipo, llenado de papeleo, cobro del tiempo y material, y la salida de existencias anteriores.
3. **Costo de pedidos:** Estos costos se refieren a los administrativos y de oficina por preparar la orden de compra o producción como conteo de piezas, mantenimiento de sistemas de rastreo, entre otros.
4. **Costos de faltantes:** Cuando se agotan las existencias, el pedido debe esperar hasta que haya existencias o bien cancelarlo. Hay un punto medio entre manejar existencias para cubrir la demanda y cubrir costos que resultan por faltantes.

En la *Sección 5: Metodología*, se estudiarán los principales sistemas de inventarios, ventas y desventajas de cada uno y parámetros para decidir cual usar en cada caso.

4.2 PRONÓSTICOS DE DEMANDA

Actualmente, en Traverso se planifica la producción para mantener un nivel de inventario óptimo, el cual está compuesto de una cantidad promedio, más una cantidad de seguridad, que viene dado por el nivel de servicio que se desea ofrecer, sin embargo, se basa en el promedio simple de venta de los últimos 3 meses, perdiendo así la tendencia y estacionalidad de la demanda. No se maneja un pronóstico de demanda para la venta de sus productos, por lo que, sumado a esto, un pronóstico serviría tanto para mantener un nivel de inventario óptimo y con ello planificar la producción, como para usarlo en la compra de insumos de botellas de vidrio, las cuales han sido la causa con mayor peso en una mala planificación de producción (35%) y como input a otras áreas, las cuales fueron mencionadas en la sección 2.4.

Además, otras causas también están ligadas a que no existe un pronóstico de demanda óptimo como lo son “Stock fuera de fecha”, “Dosificación de Stock” y “Sobre venta”, lo que en su conjunto pesan alrededor del 70% de todos los quiebres por planificación de producción. El propósito del manejo de la demanda es coordinar y controlar las fuentes de la demanda, con el fin de usar con eficiencia el sistema productivo y entregar el producto a tiempo^[12]. Los pronósticos de demanda se clasifican en 4 tipos básicos: cualitativo, análisis de series de tiempo, relaciones causales y simulación. Las técnicas cualitativas son subjetivas y se basan principalmente en estimaciones y opiniones. El análisis de series de tiempo se basa en la idea de poder usar información pasada para predecir la demanda futura, puede incluir varios componentes como: tendencias, estacionalidades o cíclicas.

El pronóstico causal se realiza mediante la técnica de regresión lineal, supone que la demanda se relaciona con algún factor subyacente. Finalmente, los modelos de simulación permiten manejar varias suposiciones acerca de la condición de pronóstico. En primera instancia se usará el programa Excel para familiarizarse con los diferentes modelos de pronóstico de demanda, la ventaja del uso de Excel es la facilidad para ir iterando en el modelo, sin embargo, no permite generalizar rápidamente para una cantidad superior de productos que se quieran pronosticar. Debido a lo anterior, de forma paralela se realizarán los modelos de pronósticos de demanda en el programa RStudio para aumentar la cantidad de productos que se quiera pronosticar. En *la Sección 5: Metodología*, se estudiarán algunos de estos modelos de pronóstico de demandas.

5. Metodología

A continuación, se muestra la metodología que se seguirá para alcanzar los objetivos antes propuestos:

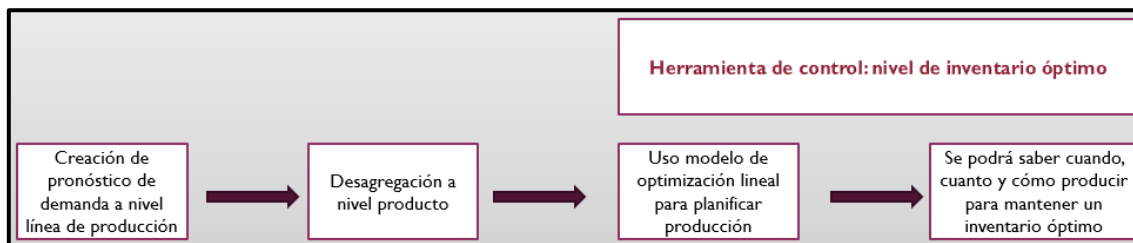


Figura 27: Metodología de trabajo para abordar la oportunidad de mejora, elaboración propia

Como se puede apreciar en el diagrama anterior, en primer lugar, se creará un pronóstico de demanda a nivel línea de producción, el cual será desagregado posteriormente a nivel producto según el nivel de demanda histórica que han tenido. Posteriormente, el pronóstico de ventas se usará como input para crear un modelo de planificación de la producción. De forma paralela se obtendrá el nivel de inventario óptimo de cada producto con el fin de usarlo como herramienta de control para el nivel de inventario que decida el modelo. Finalmente, gracias a esta metodología, se podrá saber qué producir, cuando producir y cuánto producir. A continuación, se explicará en detalle en qué consisten cada una de las etapas antes mencionadas.

5.1 CREACIÓN DE PRONÓSTICOS DE DEMANDA A NIVEL LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Como se mencionó anteriormente la causa “Falta de material de envase” por sí sola representa el 35% de los quiebres totales asociados a planificación de producción. Esta compra de insumos se realiza con una orden de compra abierta, es decir, a principio de año se acuerda con el proveedor la cantidad de envases aproximados que se demandarán en cada mes. Al momento de llegar el mes, se compra la cantidad requerida y se realiza la facturación para el pago requerido. Dado lo anterior, es imprescindible manejar un pronóstico de venta asociados a todos los productos que ocupen como insumo envases de vidrio. Esto con el fin de tener una buena estimación mes a mes y disminuir la cantidad de quiebres por no contar con este producto para su facturación, así como disminuir los costos asociados a una sobredemanda de insumos, tal como el costo de oportunidad y de almacenamiento.

El pronóstico de demanda se hará a nivel línea de producción, para luego desagregarlo a nivel producto. De esta forma el error del pronóstico de demanda de una línea de producción también se desagregará en cada producto, en cambio, si se hiciera el pronóstico de demanda a nivel producto y luego se agrega para obtener la línea de producción, los errores se sumarían. Para definir a qué categorías se les hará el pronóstico de demanda, se deberá estudiar las categorías que representen el mayor aporte tanto a la venta en número como en valor, las cuales se muestran a continuación:

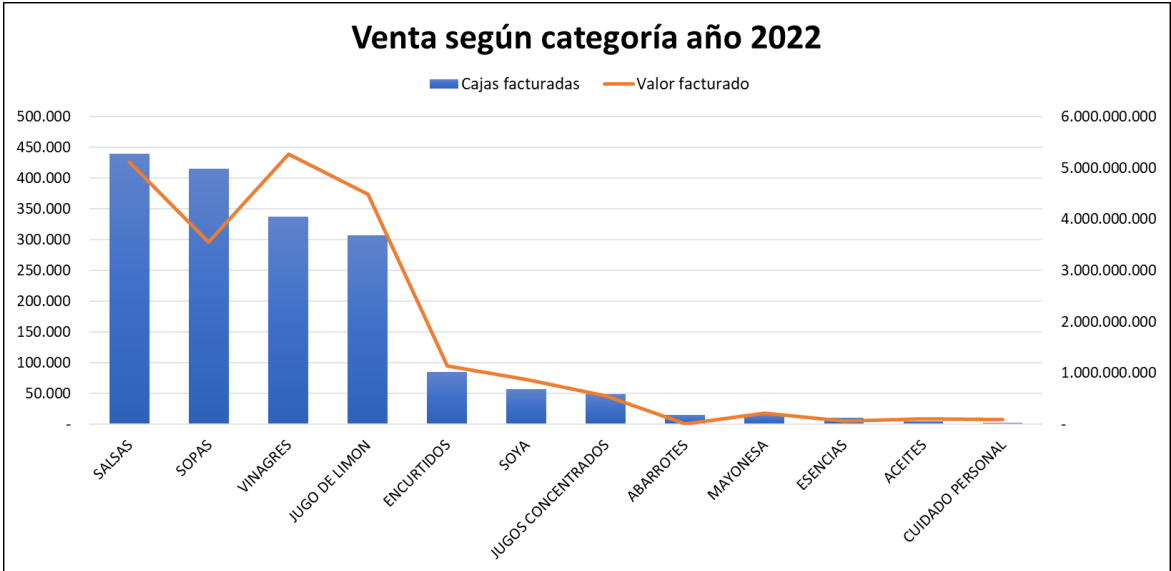


Figura 28: Distribución de venta en cajas y valor según categoría, fuente: elaboración propia a partir de datos SAP

Como se puede ver en la gráfica las categorías que representan aproximadamente el 80% de la venta tanto en valor como en número de cajas vendidas son: Salsas, Sopas, Vinagres y Jugo de limón. Dado que las sopas son un producto importado y, por ende, no se producen en Traverso quedarán fuera del alcance de esta memoria, y por lo tanto, las categorías a las que se les realizará el pronóstico de demanda será: Salsas, Vinagres y Jugo de limón.

Además, dado que la “Falta de material de envase” es la causa con mayor impacto en los quiebres relacionados a una deficiente planificación de producción, representando el 35% del total, es que también será una línea de producción a la cual se le va a realizar un pronóstico de venta. Una vez definido este alcance es que se estudió cuales era las líneas de producción en las cuales se fabrican estas categorías y formatos, quedando finalmente las siguientes líneas de producción:

Línea	Categoría	Demanda [cjs]	Categoría respecto a línea [%]
C3Porrone s	030 - SALSAS	328.591	100%
Cramsa	030 - SALSAS	76.234	100%
Doypack	030 - SALSAS	535.330	100%
Doypack 3	030 - SALSAS	210.771	100%
L1Pet	010 - VINAGRES	327.928	41%
	080 - JUGO DE LIMON	469.812	59%
L1Pet LV	010 - VINAGRES	752.695	55%
	080 - JUGO DE LIMON	627.559	45%
L2Pet	010 - VINAGRES	196.548	49%
	080 - JUGO DE LIMON	205.790	51%
L4Pet	010 - VINAGRES	153.438	57%
	080 - JUGO DE LIMON	116.549	43%
Sachetera	030 - SALSAS	262.265	100%
Sachetera 4	030 - SALSAS	215.710	100%
Sachetera LV	030 - SALSAS	74.580	100%

Figura 29: Desagregación líneas de producción según categorías que la componen, fuente datos: SAP

Como se puede ver en la tabla estas tres categorías se fabrican en 11 líneas de producción, además, hay categorías que comparten una línea productiva. Además, se muestra la línea de producción de envases de vidrio, formato en el cual se han producido este 35% de quiebres acumulados respecto al total de quiebres que se relacionan a una deficiente planificación de producción:

Línea	Línea-Envase-Formato	Demanda [cjs]	Formato respecto a línea [%]
L6Vidrio	L6VidrioVIDRIO187,5	29.469	13%
	L6VidrioVIDRIO200	21.672	9%
	L6VidrioVIDRIO250	24.759	11%
	L6VidrioVIDRIO500	154.071	67%
Total general		229.971	100%

Figura 30: Línea de producción para SKU con envases de vidrio, fuente datos: SAP

Finalmente, se realizará un pronóstico de demanda para un total de 12 líneas de producción. Luego de realizar el Forecast de cada una de las líneas se desagregará según los porcentajes de demanda histórica que han tenido para así obtener el pronóstico de demanda a nivel producto como se muestra en la siguiente tabla:

Línea	Categoría	Descripción SAP	Demanda [cjs]	Categoría respecto a línea [%]
C3Porrones	030 - SALSAS	AJI CREMA TRAVERSO 24x240 PET	17.628	5%
C3Porrones	030 - SALSAS	AJI CREMA TRAVERSO 24x350 PET	52.903	16%
C3Porrones	030 - SALSAS	AJI PEBRE TRAVERSO 24x230 PET	12.992	4%
C3Porrones	030 - SALSAS	AJI PEBRE TRAVERSO 24x350 PET	53.043	16%
C3Porrones	030 - SALSAS	KETCHUP CUISINE &CO 24x240 PET	5.932	2%
C3Porrones	030 - SALSAS	KETCHUP TRAVERSO 24x240 PET	17.692	5%
C3Porrones	030 - SALSAS	KETCHUP TRAVERSO 24x350 PET	24.939	8%
C3Porrones	030 - SALSAS	MOSTAZA CUISINE &CO 24x240 PET	6.458	2%
C3Porrones	030 - SALSAS	MOSTAZA TOTTUS 24x240 PET	8.946	3%
C3Porrones	030 - SALSAS	MOSTAZA TRAVERSO 24x240 PET	22.315	7%
C3Porrones	030 - SALSAS	MOSTAZA TRAVERSO 24x350 PET	105.743	32%

Figura 31: Desagregación líneas de producción según venta de cada producto, fuente datos: SAP

Como ejemplo a continuación se muestra la distribución de la demanda de la línea de producción formato vidrio denominada “L6Vidrio”:

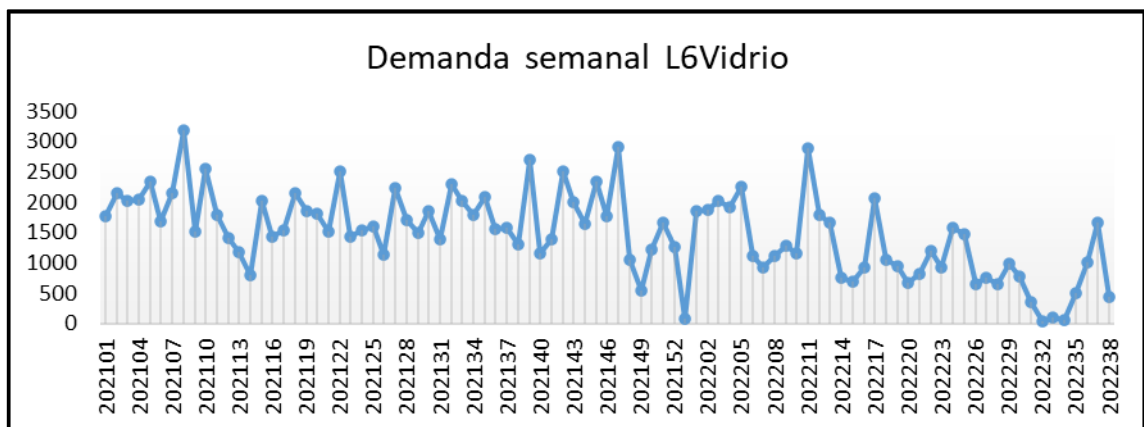


Figura 32: Demanda semanal línea de producción formato vidrio, fuente datos: SAP

En la gráfica se puede evidenciar que la demanda no tiene una tendencia clara al alza, sino más bien posee una tendencia a la baja desde abril del año 2020. Si se puede ver que sigue una estacionalidad la cual se repite cada 5 semanas aproximadamente, también, se muestran algunos estadísticos que describen la demanda del formato vidrio:

Promedio	Desviación estándar	Desviación porcentual	Máximo	Mínimo
1491	674	45%	3192	39

Figura 33: Estadísticos línea de producción formato vidrio, fuente datos: SAP

Dichos estadísticos muestran que tiene un promedio de aproximadamente 1500 cajas demandas a la semana, sin embargo, la desviación estándar representa el 45% del promedio, por lo que se infiera que el pronóstico de demanda de este formato tendrá un error de pronóstico alto.

Las metodologías para abordar esta sección de la propuesta de solución integral se pueden encontrar en el [Anexo H: Pronósticos de demanda]

Bitácora de trabajo

En primer lugar, se quiso realizar el pronóstico de demanda a nivel producto, los cuales son 125, y luego agregarlo a nivel línea de producción. Lo anterior venía en parte, porque el modelo de optimización iba a decidir sólo a nivel línea y no de producto. Luego de recibir feedback de compañeros y profesores, se decidió realizar el pronóstico de demanda a nivel de línea de producción y luego desagregarlo a nivel producto. Esto trae como beneficio en primer lugar realizar 12 pronósticos de demanda en vez de 125, pero principalmente en que el error de pronóstico del Forecast se va a repartir en los productos, en vez de sumar los errores al hacerlo a nivel producto y luego agregarlo a línea de producción. En paralelo se quiso empezar a realizar las series de tiempo para los pronósticos de demanda en la herramienta Excel con el fin de familiarizarse con los diferentes parámetros que componen el modelo y luego poder masificarlo en R Studio. Lo anterior, fue un total fracaso tanto en resultados como en pérdida de tiempo, ya que en particular fue más engorroso que modelarlo directamente en un programa como R o Python. Además, que el resultado no fue el esperado, ya que, al querer hacer el pronóstico para un año hacia adelante, la demanda pronosticada se aplanaba y quedaba completamente constante luego de un par de meses. A continuación, se muestra el pronóstico de un producto:

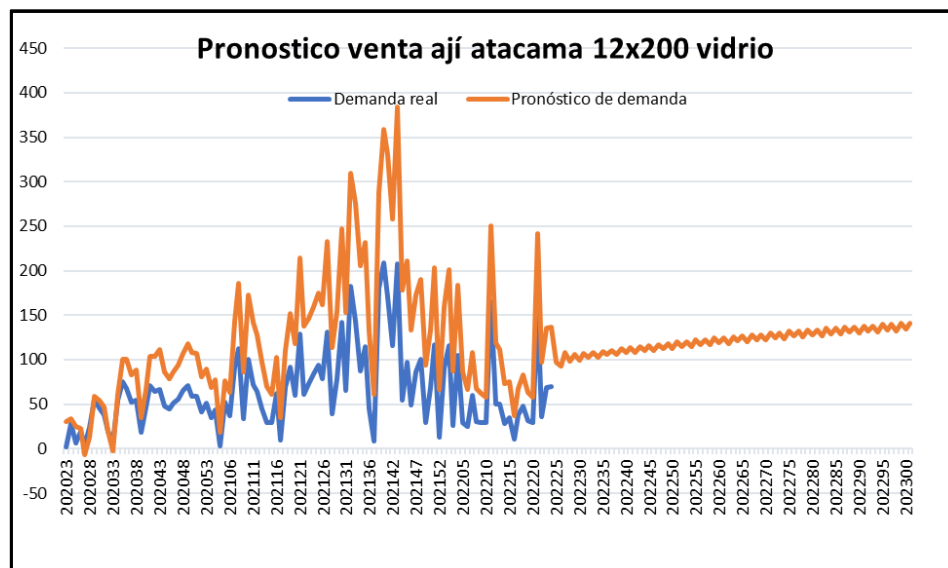


Figura 34: Pronóstico de demanda producto formato vidrio realizado en Excel, fuente datos: elaboración propia

Dado lo anterior, durante esta última semana se decidió crear modelos directamente en Python con librerías que permiten desarrollar este tipo de series de tiempo, el cual uno de ellos se muestra a continuación:

```
from statsmodels.tsa.statespace.sarimax import SARIMAX
```

Figura 35: Librería de pronósticos de demanda usando regresiones.

Destacar que los modelos que se pronosticarán se denominan: ARMA (regresión de promedios móviles), ARIMA (regresión promedios móviles con tendencia) y SARIMA (regresión promedios móviles con tendencia y estacionalidad). Lamentablemente, no se ha podido avanzar a la rapidez deseada debido a las complicaciones antes mencionadas, sin embargo, gracias a estas librerías se podrá realizar el Forecast de forma automática y comparar estos 3 modelos a la vez para cada línea de producción.

Resultados preliminares

Como se mencionó anteriormente se realizaron 13 modelos de Forecast para cada línea de producción, para cada línea de producción se realizaron los 3 tipos de modelos ARMA, ARIMA y SARIMA. Cada uno de estos modelos tiene diferentes parámetros que usan para obtener el Forecast, los cuales se explican a continuación:

ARMA = AR + MA

- AR (Auto regression): La serie de tiempo es regresionada con valores previos de demanda, es decir con $t - 1, t - 2, t - 3, \dots, t - n$. El número de valores previos de demanda se denota como P
- MA (Moving average): La serie de tiempo es regresionada con valores previos de errores residuales del Forecast, es decir, $\epsilon(t - 1), \epsilon(t - 2), \epsilon(t - 3), \dots, \epsilon(t - n)$. El número de errores previos del Forecast se denomina Q
- $d_t = c + \beta_1 d_{t-1} + \beta_2 d_{t-2} + \dots + \beta_p d_{t-p} + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q}$

ARIMA = AR + I + MA

- AR (Auto regression): La serie de tiempo es regresionada con valores previos de demanda, es decir con $t - 1, t - 2, t - 3, \dots, t - n$. El número de valores previos de demanda se denota como P.
- I (Integration): La serie de tiempo usa diferenciación para hacerla estacionaria. El orden de la diferenciación es d.

- MA (Moving average): La serie de tiempo es regresionada con valores previos de errores residuales del Forecast, es decir, $\epsilon(t - 1)$, $\epsilon(t - 2)$, $\epsilon(t - 3)$, ..., $\epsilon(t - n)$. El número de errores previos del Forecast se denomina Q.
- $d_t = c + \beta_1 d_{t-1} + \beta_2 d_{t-2} + \dots + \beta_p d_{t-p} + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q}$

SARIMA = S(AR_e + MA_e) + AR + I + MA

- AR (Auto regression): La serie de tiempo es regresionada con valores previos de demanda, es decir con $t - 1$, $t - 2$, $t - 3$, ..., $t - n$. El número de valores previos de demanda se denota como P.
- I (Integration): La serie de tiempo usa diferenciación para hacerla estacionaria. El orden de la diferenciación es d.
- MA (Moving average): La serie de tiempo es regresionada con valores previos de errores residuales del Forecast, es decir, $\epsilon(t - 1)$, $\epsilon(t - 2)$, $\epsilon(t - 3)$, ..., $\epsilon(t - n)$. El número de errores previos del Forecast se denomina Q.
- (P_e, D_e, Q_e, L): Se agregan términos de AR y MA, pero para identificar los últimos P_e periodos de demanda estacional y últimos Q_e residuos estacionales, respecto a los periodos estacionales de demanda que se repiten cada L periodos.
- $d_t = c + \beta_1 d_{t-1} + \beta_2 d_{t-2} + \dots + \beta_p d_{t-p} + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q} + \mu_{1L} d_{t-2} + \mu_{2L} d_{t-2} + \dots + \mu_{p_e L} d_{t-p_e} + \omega_{1L} \epsilon_{t-1} + \omega_{2L} \epsilon_{t-2} + \dots + \omega_{q_e L} \epsilon_{t-q_e}$

Dadas las diferentes configuraciones que se pueden evaluar, es que para elegir la configuración óptima se utilizó el criterio de información AIC, el cual se define como:

- $AIC = 2k - 2\ln(L)$
- K: número de parámetros
- L: máximo de la función de verosimilitud
- $2\ln(L)$ es la bondad de ajuste del modelo. Es una función creciente, por lo tanto, al estar negativo es decreciente.
- $2k$ es la medida de complejidad del modelo

Como queremos que AIC sea mínimo, entonces $2k$ debe ser el mínimo y $2\ln(L)$ el máximo.

Una vez obtenida la configuración óptima para cada línea de producción se realizó el Forecast de un periodo de 1 año, luego de obtener el Forecast, se ponderó por las importancias relativas de cada producto que compone la línea de producción, tomando como dato la demanda de los productos histórica.

A continuación, se muestran los pronósticos de venta de la línea de producción “DoyPack3”, la cual se compone de 5 productos: Ají crema Vintage Traverso 10x450, Ají Pebre Vintage 10x450, Ketchup Vintage Traverso 10x450, Mostaza Fuerte Vintage Traverso 10x450 y Mostaza Suave Vintage Traverso 10x450. Destacar que esta línea de producción tuvo un Forecast Accuracy de 50%, el cual se define como:

$$FA = 1 - \frac{\sum ||Demanda\ real - Forecast||}{Demanda\ real}$$

Para obtener el Forecast Accuracy se tomó en cuenta el periodo octubre 2022 a diciembre 2022. A continuación, se muestra el Forecast de la línea de producción “DoyPack3”:

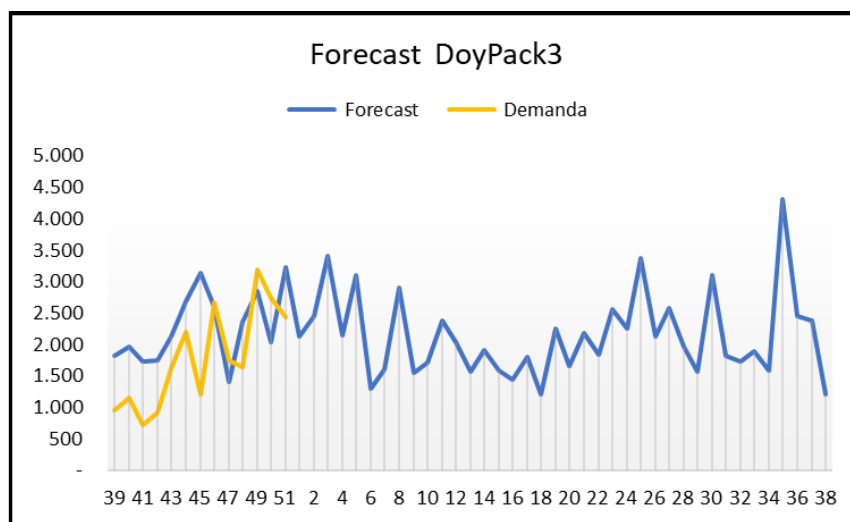


Figura 36: Forecast Línea de producción “DoyPack3, elaboración propia

Luego de obtener el Forecast a nivel línea de producción, se hizo la desagregación para obtener Forecast a nivel producto, a continuación, se muestra el pronóstico de venta del producto “Ají crema Vintage 10x450”, el cual tuvo un Forecast Accuracy de 64%, dicho producto fue el que tuvo el mejor FA, mientras que el que menos tuvo fue Ketchup Vintage Traverso:

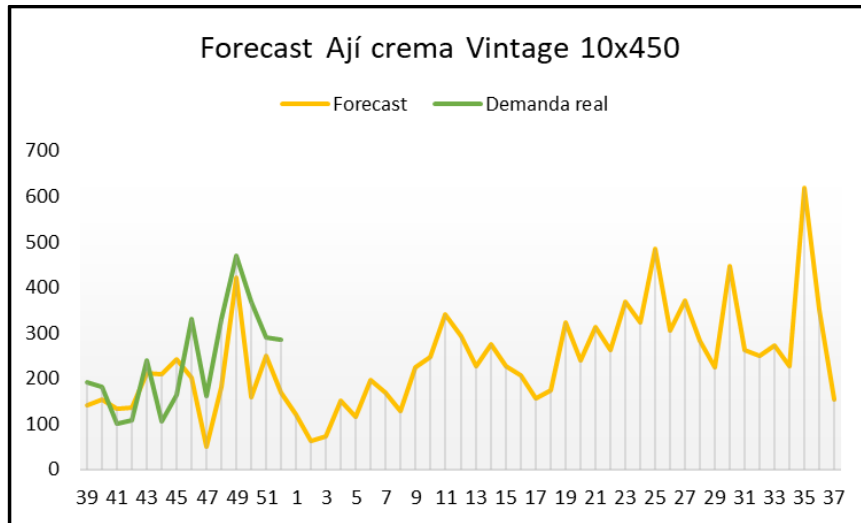


Figura 37: Forecast Ají crema Vintage 10x450, elaboración propia

A continuación, se muestra el Forecast asociado al producto Ají pebre Vintage 10x450, el cual tuvo un FA del 61%:

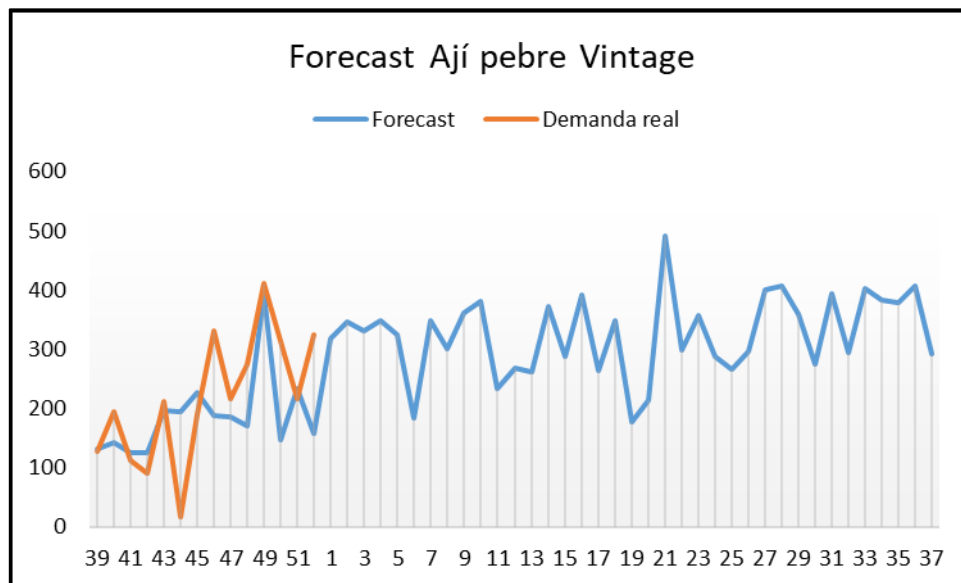


Figura 38: Forecast producto Ají pebre Vintage 10x450, elaboración propia

A continuación, se muestra el Forecast accuracy de las líneas de producción, los archivos que fueron usados para obtener dicho pronóstico de venta se pueden encontrar en el link del [Anexo I: Archivos trabajo de título]:

Línea de producción	Forecast Accuracy
C3Porrones	55%
Cramsa	40%
Doypack	52%
Doypack 3	50%
L1Pet	36%
L1Pet LV	57%
L2Pet	48%
L4Pet	42%
L6Vidrio	34%
Sachetera	37%
Sachetera 4	43%
Sachetera LV	34%

Figura 39: FA según línea de producción, elaboración propia

Conclusiones preliminares

Sin duda los modelos ARMA, ARIMA y SARIMA fueron una herramienta de gran utilidad para poder obtener los pronósticos de demanda. Son modelos estándar que, si bien son relativamente sencillos de programar, poseen un gran abanico de posibilidades gracias a las diferentes configuraciones de cada uno. Se deben complementar con criterios de información y métricas de error para decidir los parámetros óptimos que permitan un FA relativamente bueno. Para este caso se obtuvo un promedio de 44% de FA para todas las líneas de producción el cual a priori es bajo, sin embargo, hay que mencionar que existen varias oportunidades de mejora.

Como se mencionó anteriormente se usó la importancia relativa histórica según la demanda para ponderar el Forecast desde nivel línea de producción al Forecast a nivel producto. El haber usado la importancia relativa según demanda-semana del año y no histórica acumulada, pudo haber entregado mejores resultados, ya que permite visibilizar la tendencia y estacionalidad de cada semana del año, como por ejemplo, la fuerte alza de demanda de la categoría salsas en el mes de septiembre o el alza de demanda de productos relacionados al limón para el periodo de semana santa.

Otra oportunidad de mejora y que es extrínseca a los datos son los posibles planes de marketing que puede tener una empresa como: investigación y desarrollo de productos, campañas de publicidad, periodos de promoción, entre otras. Es por ello, que un pronóstico de venta siempre se debe confeccionar de la mano con los departamentos comerciales como ventas o marketing, para así tener todos los inputs posibles que soporten y resulten en un buen FA.

5.2 MODELO DE OPTIMIZACIÓN LINEAL MIXTA PARA LA PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN

Una vez generado el pronóstico de venta a nivel producto, este se usará como input para un modelo de optimización lineal, el cual tiene por objetivo, maximizar utilidades, teniendo en consideración precios de venta, costos de producción, costos de oportunidad, costos de quiebres y costos de obsolescencia. Dicho modelo se muestra a continuación:

Parámetros

- $k_i \in C$: capacidad línea de producción i
- u_i : mínima cantidad que se puede producir en línea i
- q_{jt} : cantidad demandada de producto j en semana t
- L : duración máxima de producción de las líneas
- $j \in \{1, \dots, 52\}$
- h_i : cantidad de personas mínimas que requiere la línea i
- H : Capacidad máxima de personas en la planta
- N_{0j} : Nivel de inventario inicial producto j
- $S_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si línea } i \text{ elabora producto } j \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$
- p_j : Precio de venta producto j
- c_j : Costo de producto j
- r_j : Costo oportunidad producto j
- v_j : Costo faltante producto j
- o_j : tasa obsolescencia histórica producto j

VARIABLES DE DECISIÓN

- x_{ijt} = cantidad a elaborar en línea i producto j , semana t
- $y_{ijt} = \begin{cases} 1 & \text{si se habilita línea } i, \text{ para elaborar producto } j \text{ en semana } t \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$
- z_{it} = número de personas destinadas a línea i , en semana t
- π_{jt} = nivel de inventario producto j en semana t
- π_{jt}^+ = nivel de inventario físico producto j en semana t
- π_{jt}^- = nivel de inventario faltante producto j en semana t

RESTRICCIONES

1. Balance de inventario

$$\pi_{it-1} + \sum_j x_{ijt} * S_{ij} - q_{jt} = \pi_{jt} \quad \forall i \in I, t \in T$$

2. No se puede producir más tiempo que la duración del turno

$$\sum_j x_{ijt} * S_{ij} * \frac{1}{c_i} \leq L \quad \forall i \in I, t \in T$$

3. Balance inventario final con físico y faltante

$$\pi_{it} = \pi_{jt}^+ - \pi_{jt}^- \quad \forall j, t$$

4. Naturaleza de las variables

$$\begin{aligned} x_{ijk} &\in \mathbb{N}_0^+ \\ y_{ijk} &\in \{0,1\} \\ z_{ijk}, \pi_{jt}, \pi_{jt}^+, \pi_{jt}^- &\in \mathbb{N}_0^+ \end{aligned}$$

5. No se puede producir, sin haber habilitado la línea

$$x_{ijk} \leq M * y_{ijk} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K$$

6. No se puede producir menos que el mínimo y más que la capacidad máxima

$$y_{ijk} * u_{ik} \leq x_{ijk} \leq y_{ijk} * c_{ik} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K$$

7. No se puede asignar personas si no se habilitó la línea

$$M * y_{ijk} \geq z_{ijk} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K$$

8. No se puede producir si no se asignaron personas a la línea habilitada

$$z_{ijk} * M \geq x_{ijk}$$

9. Una línea sólo puede funcionar con la cantidad mínima de personas necesaria

$$\sum_j z_{ijk} \geq \sum_j h_{ik} * y_{ijk} \quad \forall i \in I, k \in K$$

10. Capacidad recurso humano

$$\sum_i h_{ijk} \leq H \quad \forall j \in J, k \in K$$

Función objetivo

$$Max \sum_i \sum_j \sum_t x_{ijk} * S_{ij} (p_j - c_j) - \sum_j \sum_t \pi_{jt} * r_j - \sum_j \sum_t \pi_{jt}^- * v_j - \sum_i \sum_j \sum_t x_{ijk} * S_{ij} * p_j * o_j$$

Resultados preliminares

Se construyó el modelo de optimización lineal mixta en el programa Spyder Python – Librería Gurobi, licencia otorgada por la Universidad de Chile. El objetivo del modelo anterior es saber qué, cuando y cuanto producir en cada semana de un año corrido. Dado lo anterior el planificador de producción puede utilizarlo tanto para tomar decisiones estratégicas como ajustar las capacidades de las plantas de producción, e incluso cerrar o abrir nuevas plantas de producción. Decisiones estratégicas como ajustar la capacidad del recurso humano, inhabilitar productos que sean poco útiles para la compañía tanto por margen, costos de producción; hasta decisiones operacionales como saber semana a semana que y cuánto elaborar de cada producto terminado.

Cabe destacar que, dado que el modelo entrega las cantidades a elaborar de cada producto y cuando hacerlo, es un input esencial para el área de abastecimiento, ya que con ello puede determinar la cantidad de materias primas que necesitará y cuando las necesitará. Esto trae un sinnúmero de beneficios como optar a mejores precios, minimizar costos de oportunidad, costos de inventario, entre otros.

Para este caso y para simplificar el procesamiento matemático, se usaron 3 líneas de producción las cuales son: Cramsa, DoyPack3 y L6Vidrio. Estas líneas representan 20 productos en total, en los cuales están productos de categorías principales como salsas en diferentes formatos, salsa de soya y vinagres. Se usaron parámetros como el costo de producción, precios promedio de venta, costo de quiebre, costo de oportunidad, capacidad de líneas de producción por turno, personas necesarias para habilitar la línea de producción, cantidad mínima de producción, inventario inicial de un periodo dado y principalmente, la demanda proyecta obtenida del Forecast de la sección anterior a nivel semana-producto.

A continuación, se mostrarán los resultados gráficos de los principales productos de las 3 líneas de producción modeladas. En primer lugar, se estudiará la línea de producción Cramsa, específicamente el producto Ají crema Traverso 108x100 Sachet:

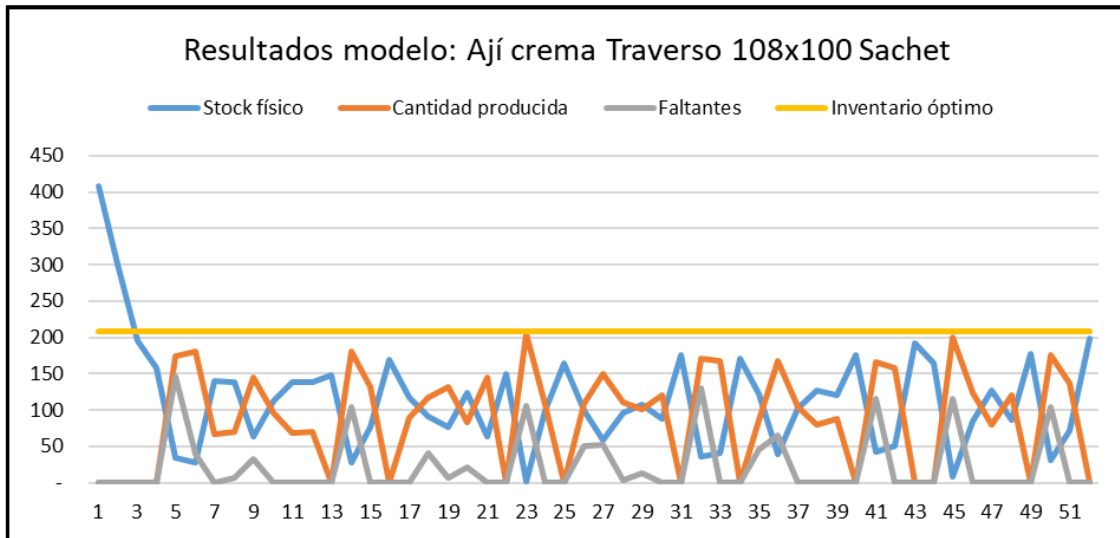


Figura 40: Resultado modelo ají crema Traverso 108x100 Sachet

Como se puede ver en la gráfica se comenzó con un inventario inicial de 400 cajas aproximadamente, se cuenta con un inventario óptimo de 208 cajas dado un modelo de revisión de inventario fija o modelo P. El modelo arrojó mantener un inventario promedio de 115 cajas, con una cantidad a producir promedio semanal de 90 cajas, una demanda promedio semanal de 95 cajas y un promedio de 23 quiebres semanales. Lo anterior se traduce en un Fill Rate promedio del producto del 74%. Cabe destacar que dado que la demanda es baja, el modelo decide no producir en 11 semanas de 52, lo que viene dado principalmente por la cantidad mínima a producir, que para este producto es de 1 pallet lo cual son 60 cajas de productos. Se puede apreciar que la diferencia entre el nivel de inventario óptimo y el inventario promedio del modelo también viene dada por el no producir cuando la cantidad no supera el mínimo de producción, este parámetro no está incorporado en un modelo de revisión de inventario continua.

A continuación, se muestra el producto Ketchup Traverso 108x100 Sachet, también de la línea de producción Cramsa:

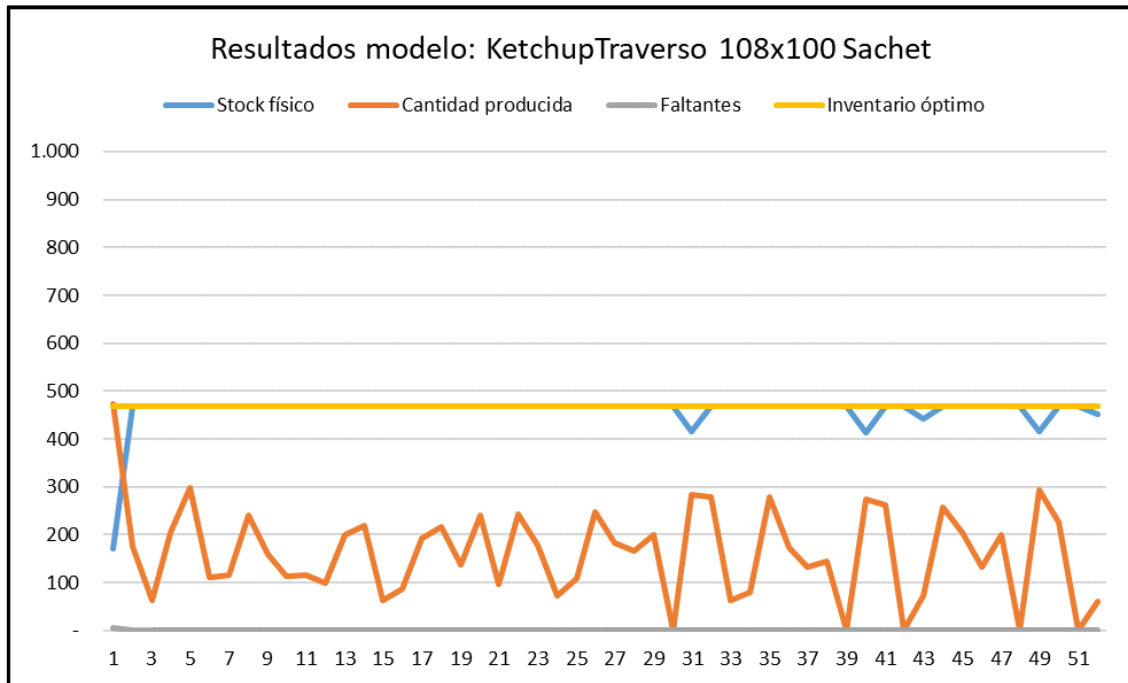


Figura 41: Resultado modelo Ketchup Traverso 108x100 Sachet

Como se puede ver en la gráfica, este producto difiere bastante de del producto ají crema de la misma línea de producción. Acá se empezó con un inventario inicial de 190 cajas aproximadamente, lo que está por debajo del nivel de inventario óptimo según el modelo de revisión de inventario P. Como se evidencia, el modelo rápidamente decide producir hasta el nivel de inventario óptimo el cual es de 468 cajas. En este caso coincide en la gran mayoría de las semanas con el nivel de inventario que decide el modelo, el cual representa un nivel de inventario promedio semanal de 458 cajas. Para ese producto sólo se tienen 5 quiebres los cuales se dan en la primera semana, y está dado por la restricción de capacidad máxima de producción. Dado que este producto tiene una demanda promedio semanal de 157 cajas, el Fill Rate es de prácticamente del 100%. Lo anterior se puede explicar por varios factores los cuales son: se cumple el mínimo a producir en turno, posee un margen del 57%, mientras que el ají crema posee un margen del 50%, siendo también mayor en magnitud con una diferencia de \$3.760 en utilidad.

A continuación, se presenta el producto Mostaza fuerte Vintage Traverso 10x450 PET, asociada a la línea de producción DoyPack3:

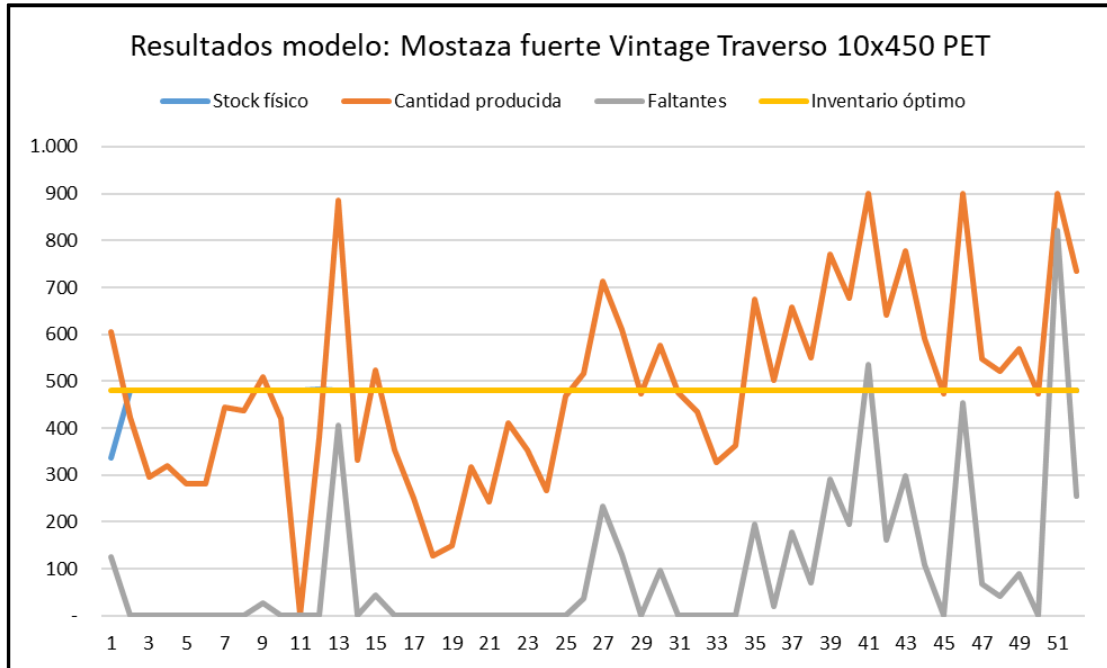


Figura 42: Resultado modelo Mostaza fuerte Vintage Traverso 10x450 Pet

En la gráfica se puede evidenciar que se parte de un inventario inicial de 350 cajas, cercano al nivel de inventario óptimo de 480 cajas. Para este producto se tiene el caso particular que a pesar de que el modelo decide un inventario físico prácticamente igual al óptimo, se tiene una cantidad de quiebres mayor a los casos estudiados anteriormente. Se tiene un promedio semanal de 95 cajas de quiebres, mientras que la demanda promedio semanal es de 497 cajas, representado un Fill Rate de un 81%. Como se mencionó con anterioridad a pesar de que el modelo decide un nivel de inventario físico prácticamente similar al nivel de inventario óptimo de un modelo de revisión de inventario P, posee un Fill Rate relativamente bajo según nivel de servicio objetivo del 95%. Esto puede se puede explicar por la gran variabilidad de la demanda sobre todo en las últimas semanas, el cual representa una variabilidad porcentual sobre el promedio de un 46%.

Finalmente, se muestra el producto Salsa Soya Traverso 24x187,5 Vidrio, perteneciente a la línea de producción L6Vidrio:

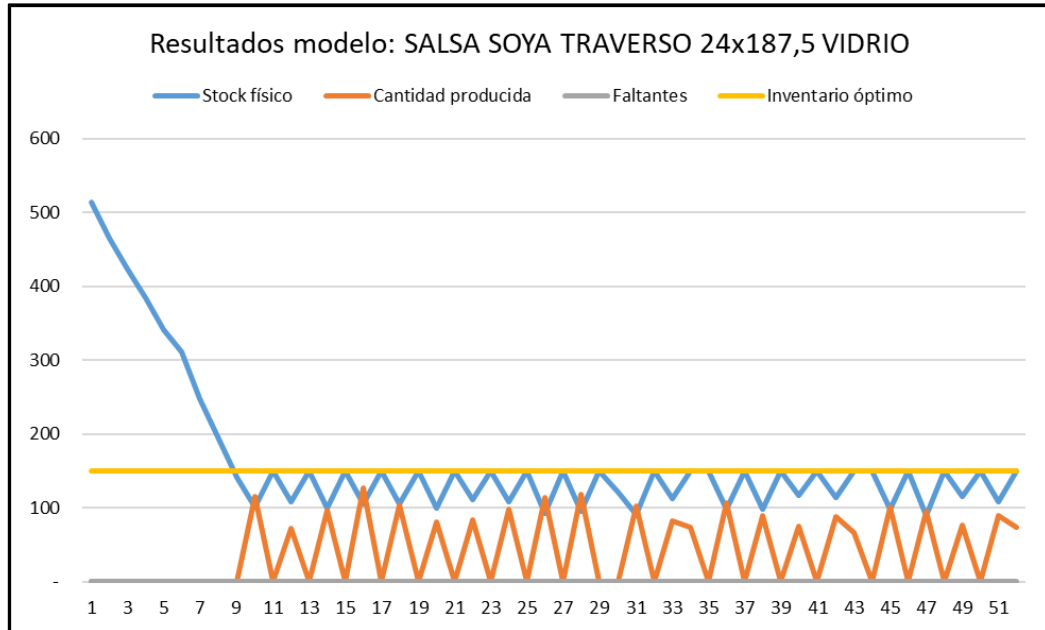


Figura 43: Resultado modelo Salsa Soya Traverso 24x187,5 Vidrio

Según se muestra en el gráfico se parte con un inventario inicial de 510 cajas, muy por encima del nivel de inventario óptimo. Dado lo anterior, el modelo decide no producir en las primeras 9 semanas, mientras se consume el stock. Desde ese periodo se puede evidenciar que prácticamente cada 2 semanas decide producir, lo que viene dado por no cumplir la cantidad mínima de producción. Para este producto no se tiene quiebres por lo que el Fill Rate alcanza el 100%.

Los resultados completos de las 3 líneas de producción se pueden encontrar en [Anexo I: Archivos trabajo de título].

Dada la cantidad de producir según el modelo, se calculó el costo total de producción para estas 3 líneas de producción. Para hacer una estimación de costos de la totalidad de productos, se calculó cuanto porcentaje de los costos totales de producción representan estas 3 líneas de producción. Gracias a ello se pudo extrapolar los costos totales de producción según cada mes del año como se muestra a continuación:

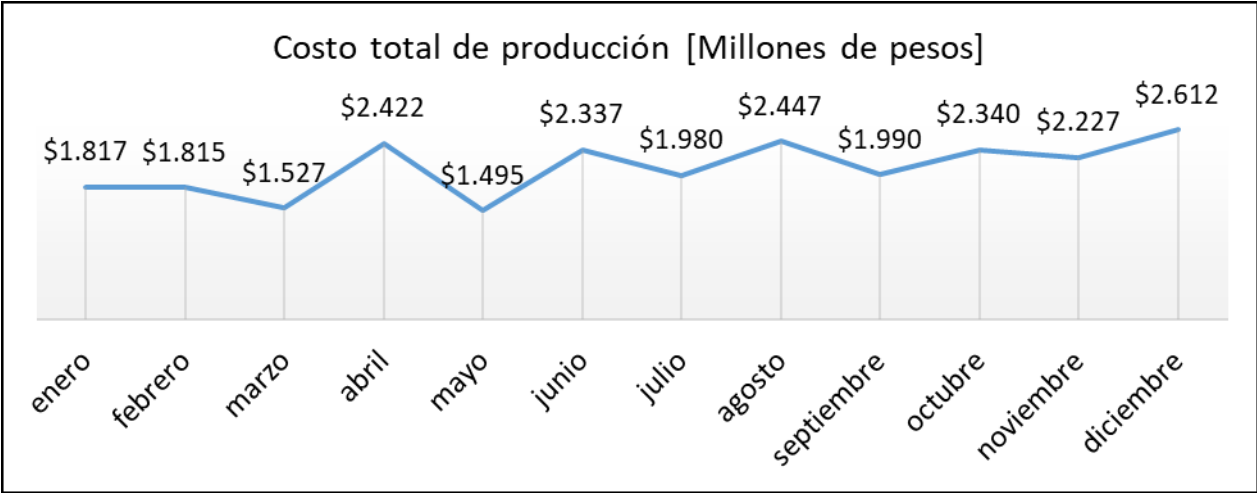


Figura 44: Evolutivo mensual costos de producción, elaboración propia

Como se puede evidenciar en el gráfico, hace sentido las alzas de costos dada el aumento de demanda en los meses de marzo-abril con el aumento de demanda del sucedáneo de limón para semana santa; en el mes de agosto donde está el peak de demanda de cara a fiestas patrias en la categoría salsas y vinagres y en el mes de diciembre con el aumento de demanda en jugos naturales en el inicio de la temporada estival de verano. Se tiene una estimación de costos totales anual de \$25.008.618.658, el cual considera costos de materias primas, costos de producción (habilitación de líneas, tasa de efectividad y RRHH) y costo de oportunidad.

Conclusiones preliminares

Como se mostró anteriormente, el modelo de optimización lineal mixta posee un sinnúmero de beneficios para la empresa, tanto para tomar decisiones estratégicas, tácticas y operacionales. Dado el modelo anterior, el modelo decide tener mejores indicadores de Fill Rate para aquellos productos que presentan los mayores márgenes en magnitud, demandas que permiten producir por encima del mínimo de producción, además de demandas con variabilidad porcentual baja sobre el promedio.

Sin embargo, a pesar de tener modelos complejos que faciliten en gran medida las decisiones que se deben tomar semana a semana, no es suficiente para enfrentar las situaciones de la realidad día a día. Esto dado que el modelo por ejemplo no podría reaccionar frente a líneas de producción deficientes, falta de materias primas, ausencia de trabajadores para habilitar líneas de producción, metas o promociones. Es por ello, que se necesita que haya una persona, en este caso el planificador de producción, que de bajada al modelo y lo pueda armonizar a la realidad, dado que el modelo otorga decisiones semanales, es parte del planificador saber que producir cada día en esa semana, teniendo en cuenta las contingencias que puedan presentarse en la realidad.

5.3 NIVEL DE INVENTARIO ÓPTIMO COMO HERRAMIENTA DE CONTROL DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN

Se obtendrá el nivel de inventario óptimo para cada producto el cual vendrá dado según la metodología del [Anexo J: Modelos de nivel de inventario] tal como se muestra a continuación:

Descripción	DDA Diaria	LT Prod	LT transporte	LT total	FS	Desv. Estándar ventas diarias	Kanban	KB Definitivo múltiplo Bases/Pallets	Pallets
VINAGRE BLANCO TRAVERSO 12x1000 PET	70	3	2	5	1,65	109,6	755	770	11,00
VINAGRE BLANCO TRAVERSO 12x500 PET	70	3	2	5	1,65	87,0	671	700	7,00
VINAGRE BLANCO TRAVERSO 20x1000 PET	77	3	2	5	1,65	108,2	785	800	20,00
VINAGRE BLANCO TRAVERSO 24x250 PET	26	3	2	5	1,65	36,6	263	360	3,00
VINAGRE BLANCO TRAVERSO 30x500 PET	145	3	2	5	1,65	183,3	1.403	1.440	36,00
VINAGRE BLANCO TRAVERSO 48x250 PET	14	3	2	5	1,65	20,5	148	192	3,00
VINAGRE BLANCO TRAVERSO 4x5000 PET	99	3	2	5	1,65	80,9	795	810	30,00
VINAGRE BLANCO MONTANER 12x1000 PET	19	3	2	5	1,65	27,4	195	210	3,00

Figura 45: Nivel de inventario óptimo para cada producto, fuente datos: SAP, elaboración propia

Como se puede evidenciar en el modelo, se ocupan datos como la demanda diaria promedio, el lead de producción y transporte, factor de seguridad de 1,65 lo que representan un 95% de nivel de servicio y finalmente la desviación estándar. Posteriormente se usa el modelo de cantidad fija o modelo Q de revisión de inventarios. Por ejemplo, para el primer producto “Vinagre blanco Traverso 12x1000 PET”, el nivel de inventario óptimo que se debería mantener en stock para cubrir la demanda esperada como desviaciones en ella sería de 700 cajas, lo que equivalen a 11 pallets de producto.

Dado lo anterior, se quiere manejar para cada producto una herramienta de control que compare el nivel de inventario óptimo como el mostrado anteriormente, con el nivel de inventario que resulta del modelo de optimización lineal para la planificación de producción, a continuación, se muestra un ejemplo:

Semana	Nivel de inventario modelo	Nivel de inventario óptimo	Estado OK
1	669	770	Ok
2	724	772	Ok
3	767	774	Ok
4	663	776	Ok
5	794	779	Ok
6	992	781	Revisar
7	904	783	Ok
8	882	785	Ok
9	794	787	Ok
10	684	790	Ok
11	580	792	Revisar
12	708	794	Ok
13	578	796	Revisar
14	764	799	Ok
15	924	801	Ok

Figura 46: Herramienta de control, fuente datos SAP y modelo de optimización

Es decir, para cada semana se evaluará el nivel de inventario que resulta del modelo respecto al nivel de inventario óptimo. Dicho nivel de inventario está con un crecimiento equivalente a la meta de la empresa, la cual es crecer en cantidad de cajas vendidas, en aproximadamente un 20% al año. Si el nivel de inventario se desvía $\pm 30\%$ respecto al nivel de inventario, entonces se tiene que revisar y ajustar. Destacar que este 30% representa aproximadamente el porcentaje de stock de seguridad de un nivel de inventario. Todos los niveles de inventario en [Anexo I: Archivos trabajo de título].

6. Plan de implementación de la metodología

6.1 PRONÓSTICO DE VENTAS

El área encargada de mantener y actualizar el pronóstico de ventas será el área de Análisis Comercial, el cual está encargado de actualizar todos los precios de venta según cartera de clientes, tienen relación directa con los KAM y CPFR de cada canal.

En primer lugar, se deberá actualizar la base de demanda histórica de Traverso, para ello simplemente se deberá actualizar el archivo Excel “Demanda histórica Traverso”, el cual está conectado directamente al ERP SAP Bussines One. De esta forma se podrán obtener las ponderaciones históricas a nivel semanal de cada producto, el cual servirá posteriormente para desagregar el pronóstico de demanda desde nivel línea de producción a nivel producto. Dicha hoja nombrada “Ponderación semanal histórica” posee una tabla dinámica la cual se actualizará con los datos más recientes.

Posteriormente, en el mismo archivo Excel en la hoja “Demanda línea producción” se podrá obtener la demanda histórica semanal a nivel de línea de producción. Por el momento, se debe guardar la demanda por cada línea de producción en un archivo .csv. Posteriormente se debe cargar en el archivo .py correspondiente a cada línea de producción que determina el mejor modelo y da como resultado el Forecast del próximo año corrido. El output del modelo también es un archivo .csv por cada línea de producción, dicha demanda se debe pegar en su hoja correspondiente en el archivo “Forecast por producto”. Este archivo permite calcular de forma automática la desagregación del Forecast a nivel línea de producto. Dicha desagregación se calcula ponderando el Forecast de la línea de producción semanal, por las ponderaciones relativas a la demanda del producto en la línea de producción, también para la misma semana del año. De esta forma se logra capturar la tendencia y estacionalidad propias de cada periodo del año, así como la alta demanda de sucedáneos en el mes de marzo-abril, así como el aumento de demanda en la categoría Salsas en el mes de septiembre. De esta forma en la hoja “Forecast semana-producto” se obtendrá la base consolidada de todos los productos con su pronóstico de venta a nivel semanal, el cual posteriormente servirá de input en el modelo de optimización lineal mixta para la planificación de producción.

6.2 MODELO DE OPTIMIZACIÓN LINEAL MIXTA PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

El área encargada de dar usabilidad y actualizar las variables será el área de planificación de producción, en el cual el actor principal será el subgerente de planificación de producción, el cual está encargado de crear las “órdenes de fabricación”, documento esencial en SAP para ejecutar las producciones en cada línea de producción.

Los datos necesarios para ejecutar el modelo de optimización para la planificación de la producción son los siguientes:

- 1. Forecast a nivel semana-producto:** Este dato viene directamente de la sección anterior en donde se obtuvo el pronóstico de ventas a nivel semana-producto, el cual deberá tener en cada fila el año-semana y en las columnas el código del producto, dicho archivo se debe guardar y cargar en formato .csv.
- 2. Datos relativos a cada producto:** Desde SAP se debe descargar el costo y precio ponderado por cada producto, desde la consulta “Mas liviana precio – costo”, con ello, además, se puede obtener la utilidad por cada uno, el costo de faltante, costo de oportunidad al 5% y el costo de obsolescencia. La tasa de obsolescencia se obtiene de la base de datos “Inventario BSUR11”, el cual es la bodega SAP en la cual se cargan todos los productos próximos a su vencimiento por baja rotación y se obtiene de forma mensual luego de tomar inventario al CD. De esta forma se puede obtener dicha tasa dividiendo la cantidad de productos obsoletos sobre el total del producto. Este archivo tendrá el código del producto y los datos mencionados anteriormente, este debe tener el formato .csv para cargarlo en el modelo.
- 3. Datos relativos a cada línea de producción:** Este archivo es una base ya creada y solamente el subgerente de planificación la puede actualizar y modificar. Dicha base contiene el nombre de la línea de producción, capacidad mínima y máxima de producción en cajas, el costo por habilitar la línea y la cantidad mínima de personas para habilitar la línea de producción. Este archivo de igual forma se debe guardar con el formato .csv.
- 4. Matriz de producción:** Este archivo es una base ya creada y solamente el subgerente de planificación la puede actualizar y modificar. Esta base es una matriz que contiene en las filas todos los códigos de los productos y en las columnas los nombres de las líneas de producción. En cada celda tendrá un 1 si es que el producto se produce en la línea de producción y un 0 si no. Este archivo de igual forma se debe guardar con el formato .csv.

Los datos mencionados anteriormente se deben cargar en el archivo .py del modelo de optimización lineal mixta para la planificación, teniendo cuidado en que tengan los mismos nombres los archivos del modelo y las bases de datos, así como tener las bases de datos en el mismo directorio del modelo. El modelo dará como output un archivo .csv el cual contendrá: línea de producción, código del producto, año-semana, 1 o 0 si se habilita línea para elaborar producto, cantidad a producir, personas destinadas a la línea, inventario total, inventario físico e inventario faltante. Cabe destacar que el subgerente de planificación debe ser capaz de seguir el plan de producción que dio como resultado el modelo, pero también debe ser capaz de modificarlo en caso de contingencias, como podrían ser: falla en la línea de producción, falta de materias primas, falta de recurso humano, entre otras.

6.3 NIVEL DE INVENTARIO ÓPTIMO COMO HERRAMIENTA DE CONTROL DEL MODELO DE PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN

El área encargada de llevar este control es el área de producción, específicamente el subgerente de planificación, el cual usará esta herramienta justamente para evaluar y controlar los resultados del modelo de optimización para la planificación de la producción. Para obtener el nivel de inventario óptimo, se usará el archivo Excel “Kanban según producto”. Este archivo posee una conexión directa a SAP, el cual obtiene la demanda histórica de forma continua, de este modo, se puede calcular el nivel de inventario por cada periodo donde se implementa el modelo, es decir, al inicio o término de cada semana. Finalmente, se debe agregar el nivel de inventario que decidió el modelo para esa semana, de esta forma el planificador de la producción puede comparar ambos niveles de inventario. En caso de que el nivel de inventario del modelo esté por encima del nivel de inventario obtenido por el modelo de revisión de periodo fijo, se podría ajustar la producción de dicho producto y ocuparla para otros productos que tengan un nivel de inventario obtenido del modelo menor a al nivel de inventario obtenido por el modelo de revisión de periodo fijo.

Es importante mencionar que el nivel de inventario óptimo obtenido del modelo de revisión de periodo fijo no considera algunas variables que, si se consideran el modelo de optimización lineal, así como la capacidad de producción, márgenes, recurso humano disponible, costos de quiebre, oportunidad y obsolescencia. Es decir, se podría mencionar que el nivel de inventario obtenido por un modelo de revisión de periodo fija, se centra en cumplir un nivel de servicio establecido por la compañía. Sin embargo, esto no siempre se puede cumplir en la realidad, justamente por variables reales que restringen la capacidad de mantener este nivel de inventario, como si logra capturarse en el modelo de optimización.

7. Discusión y resultados

Luego de haber implementado la metodología de 3 partes se mostrará como han ayudado a abordar la oportunidad de mejora antes expuesta.

Anteriormente en Traverso, existía un pronóstico de ventas, pero básico para la complejidad de la operación, se tomaba como referencia la demanda de años anteriores relativos a cada mes. Por ejemplo, para determinar la cantidad a vender en el peak de demanda de la categoría sucedáneos en los meses de marzo y abril para la semana santa, se usaba el promedio simple de los últimos dos años y con ello estimar la demanda y, por ende, la cantidad a elaborar de cada producto. Esto también servía para determinar la necesidad de materias primas en cada mes del año.

De esta manera, se tenía un pronóstico de venta deficiente, ya que no lograba capturar la tendencia del mercado o integrar variables externas como los objetivos y metas estratégicas de la empresa. Con la metodología actual, el modelo permite capturar variables tendenciales de la demanda a través de los años para cada producto, así como capturar las tendencias más globales como la demanda nivel general de la industria, ya que se está tomando de forma conjunta la demanda de cada línea de producción, y por ende, de cada categoría de productos. Con lo anterior, se obtuvo un Forecast Accuracy del 44% para todo un año corrido, lo cual definitivamente puede mejorar si se evalúan periodos más cortos de tiempo. Además, el Forecast puede mejorar considerablemente si en vez de ponderar por las importancias relativas históricas de la demanda, se hubiera ponderado por las importancias relativas de la demanda para cada semana del año. De esta forma se logra capturar mejor la tendencia y estacionalidad de cada producto.

Para la planificación de la producción se usa el modelo *Make To Order* y *Make To Stock*, es decir, se fabrica a pedido para los clientes centralizados como Walmart y Tottus. Y para los demás clientes se fabrica para mantener un nivel de inventario dado el cual viene de un modelo de revisión de inventario a periodo fijo con un nivel de servicio del 95%. Si bien estos modelos pueden convivir con las actuales metodologías con que se trabaja, no considera variables que limitan de forma considerable el mantener estos niveles de inventario. Variables como la capacidad de recurso humano, costos de oportunidad, márgenes, costos de faltantes y obsolescencia. De esta forma el modelo logra tomar las mejores decisiones de cara a optimizar la utilidad de la empresa, como por ejemplo, teniendo en cuenta las distintas restricciones como disponibilidad de materias primas o recurso humano.

Se debe tener en cuenta que el modelo de planificación de la producción toma como supuesto que la demanda es determinística en el tiempo. Por lo que el área de planificación de la producción debe estar perfectamente alineado con el pronóstico de venta que el área comercial creará mes a mes. Se obtuvo un Fill Rate promedio de las 3 líneas de producción que decidió el modelo de un 89%, por lo cual se tiene una mejora de 5 puntos porcentuales respecto al Fill Rate acumulado del año 2022. Lo anterior representa un aumento de ingresos de aproximadamente \$1.800.000.000 anuales.

Finalmente, la herramienta de control permitirá ir contrastando semana a semana el nivel de inventario que decide el modelo. Se debe tener en cuenta que el modelo de revisión de inventario a periodo fijo permite fijar una meta de nivel de servicio, que para este caso es un 95%. Mientras que el nivel de inventario que decide el modelo no está sólo basado en un nivel de servicio, sino que también de variables tan relevantes como la disponibilidad de recursos humano, márgenes de venta, costos de oportunidad, costos de faltantes y obsolescencia, teniendo un objetivo principal que es maximizar las utilidades de la empresa con la restricción de recursos de la realidad.

8. Conclusiones generales

En el documento anterior se pudo evidenciar cómo se pudieron llegar a soluciones de gran valor mediante el entendimiento profundo del problema. Se empezó por entender el contexto de la empresa, órdenes de magnitud de ventas, recursos humanos, entendimiento de procesos, indicadores, entre otros. Se planteó la oportunidad de mejora la cual cumple con dos pilares fundamentales: relevancia y complejidad. Se mostró como el no abordar de manera eficiente la planificación de producción puede llevar a la organización a incurrir en costos tan significativo como un mes completo de venta perdida. Se pudo fundamentar la complejidad del problema, mostrando de forma gráfica las causas que originan la oportunidad de mejora y las repercusiones que estas tienen dentro de la organización. Gracias a ello se pudieron elegir las causas que se abordarían con el fin de abarcar el Pareto del problema.

Dado lo anterior se pudo postular una metodología de solución que pueda abordar de forma integral la oportunidad de mejora. Se mostró lo fundamental que es para cualquier organización hoy en día el contar con un pronóstico de venta, sobre todo por lo volátil que pueden ser los mercados hoy en día. Esto permitió de forma inicial abordar una de las grandes causas de quiebre de la organización, además, permitir tener una visión general de las capacidades de la organización, así como capacidades de producción, cantidad de personas destinadas al recurso humano, flota de camiones, capacidades de picking, entre otras. Posteriormente se complementó el Forecast con un modelo de optimización lineal mixta para decidir qué, cuanto y cuando elaborar cada producto, con el fin de maximizar las utilidades de la empresa. Esto permitió ampliar aún más la visión sobre la organización, teniendo a nivel más detallado información sobre las capacidades de las líneas de producción, recursos humanos destinados, necesidades de materias primas, entre otras. Se pudo evidenciar cómo el modelo prioriza aquellos productos con márgenes superiores tanto en porcentaje como en magnitud, complementando con respetar mínimos y máximos de producción, capacidad limitada del recurso humano y duración de los turnos de producción. Finalmente, una vez obtenida la cantidad a elaborar de cada producto en cada semana, es que surgió la necesidad de tener una herramienta de control que viene dada por una revisión de modelo de periodo fijo, con el fin de cumplir con las metas y objetivos de la empresa, específicamente con un nivel de servicio dado.

A pesar de que se crearon herramientas computacionales útiles y sólidas, es imperativo darle bajada a la realidad del día a día. En este caso el planificador de la producción debe tomar como input los resultados de los modelos para ajustarlos a la complejidad de la realidad, y a la vez, ir mejorado los modelos antes expuestos.

9. Bibliografía

[1] El Mostrador 2015 *Industria manufacturera*. [en línea] publicado en la página de El Mostrador: <<https://media.elmostrador.cl/2015/07/Sectorial-industria-v07-1.compressed.pdf>> [consultado: 30 julio 2022].

[2] BeeTrack [en línea] Publicado en la página de BeeTrack: <<https://www.beetrack.com/>> [consultado: 30 julio 2022].

[3] Esto es Traverso. [en línea] Publicado en la página de Traverso: <<https://www.traverso.cl/pages/about>> [consultado: 30 julio 2022].

[4] Traverso – BUK [en línea] Publicado en la página de Buk: <https://traverso.buk.cl/users/sign_in> [consultado: 30 julio 2022].

[5] Índice y precios para el cálculo del reajuste polinómico [en línea] Publicado en la página del Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile: <<http://www.dirplan.cl/centrodedocumentacion/indicepolinomico/Paginas/default.aspx>> [consultado: 1 agosto 2022]

[6] Banco Central 2022. *Base de Datos Estadísticos*. [en línea] publicado en la página del Banco Central: <https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN_EP13_05_ratio/637146750091562955> [consultado: 1 agosto 2022].

[7] Análisis económico de la industria de supermercados en el marco de la causa rol N° 101/2006. [en línea] publicado en la página de la Fiscalía Nacional de Economía (FNE): <<https://www.fne.gob.cl/wp-content/uploads/2013/02/Analisis-economico.pdf>> [consultado: 3 agosto 2022].

[8] Nacional, B., 2012. *Biblioteca del Congreso Nacional / Ley Chile*. [en línea] publicado en la página de la Biblioteca del Congreso nacional: <<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1041570>> [consultado: 3 agosto 2022].

[9] Nacional, B., 2015. *Biblioteca del Congreso Nacional / Ley Chile*. [en línea]. Publicado en la página de la Biblioteca del Congreso Nacional: <<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1083792>> [consultado: 4 agosto 2022].

[10] Nacional, B., 1997. *Biblioteca del Congreso Nacional / Ley Chile*. [en línea]. Publicado en la página de la Biblioteca del Congreso Nacional: <<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=71271>> [consultado: 4 agosto 2022].

[11] Nacional, B., 2003. *Biblioteca del Congreso Nacional / Ley Chile*. [en línea]. Publicado en la página de la Biblioteca del Congreso Nacional: <<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=207436&idVersion=2021-06-03&idParte=>> [consultado: 4 agosto 2022].

[12] Administración de operaciones producción y cadena de suministro [en línea] Publicado en la página de Ucreanop: <<https://ucreanop.com/wp-content/uploads/2020/08/Administracion-de-Operaciones-Produccion-y-Cadena-de-Suministro-13edi-Chase.pdf>> [consultado: 15 agosto 2022].

10. Anexos

Anexo A: Tanques almacenadores de vinagre



Figura 1: Tanques para la obtención de vinagre, foto propia

Anexo B: Organigrama general Traverso

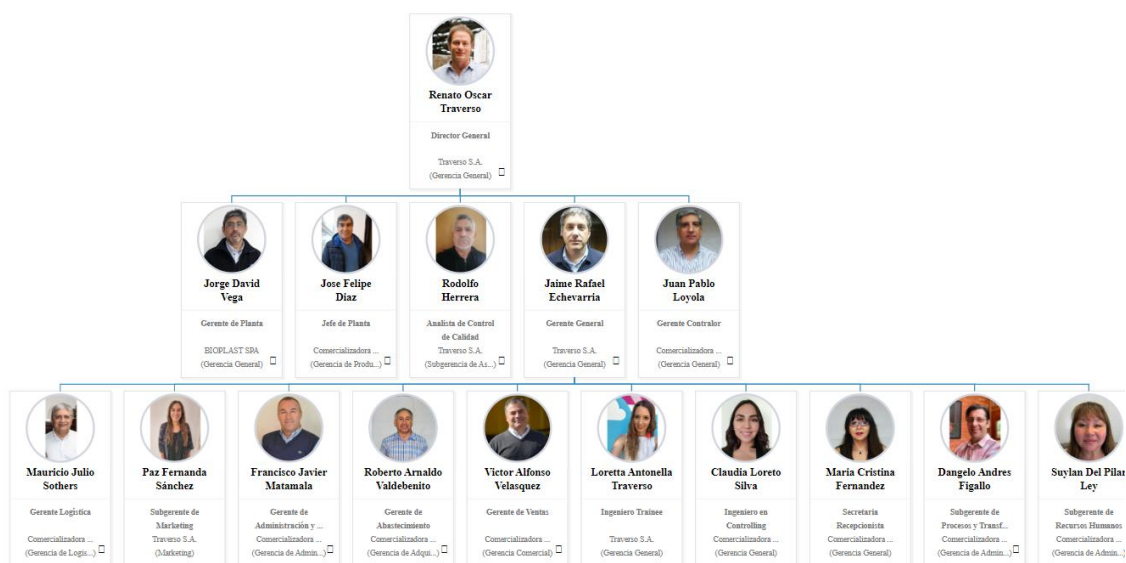


Figura 29: Organigrama Traverso S.A, fuente Traverso – Buk ^[4]

Anexo C: Capacidades líneas de producción

Fábrica	Línea	Capacidad productiva [unidades/turno]
Vespucio	Porrones	20 mil/turno
	Sachet bolsa 1 kilo	6.5 mil/turno
	Doy pack	12 mil/turno
	Sachet 100 gr	120 mil /turno
	Líquidos 1 litro	30 mil/turno
	Líquidos 320 ml	30 mil/turno
	Líquidos 250 ml	33,6 mil/turno
	Vidrio 500 y 187 ml	5,4 mil /turno
La Vara	Vinagre y limón 500 ml	185 mil/turno
	Bidón 5 litros	6 mil/turno
	Encurtido 1 kilo	6 mil/turno
	Encurtido 200 grs	12 mil/turno

Figura 30: Capacidad productiva Traverso, fuente Subgerente de planificación de producción

Anexo D: Organigrama área logística

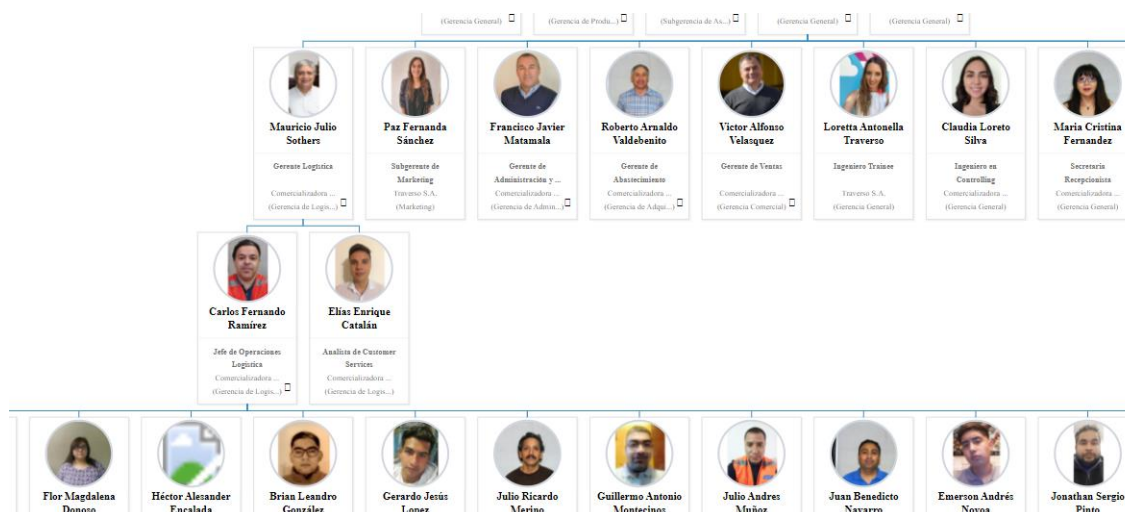


Figura 31: Organigrama área logística, fuente Buk Traverso

Anexo E: Proceso de pedidos área logística (planificación de transporte y facturación), elaboración propia

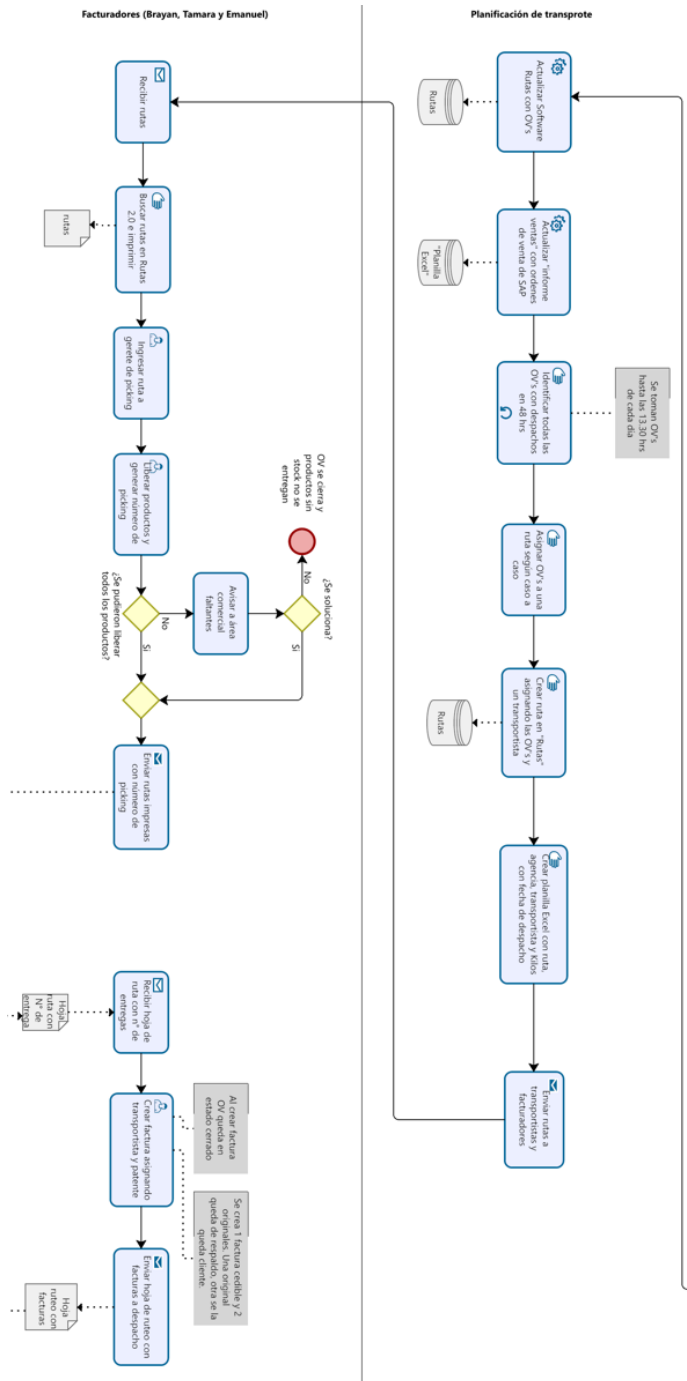


Figura 32: Proceso de pedidos área logística, elaboración propia

Anexo F: Proceso de pedidos área logística (Despacho y transporte), elaboración propia

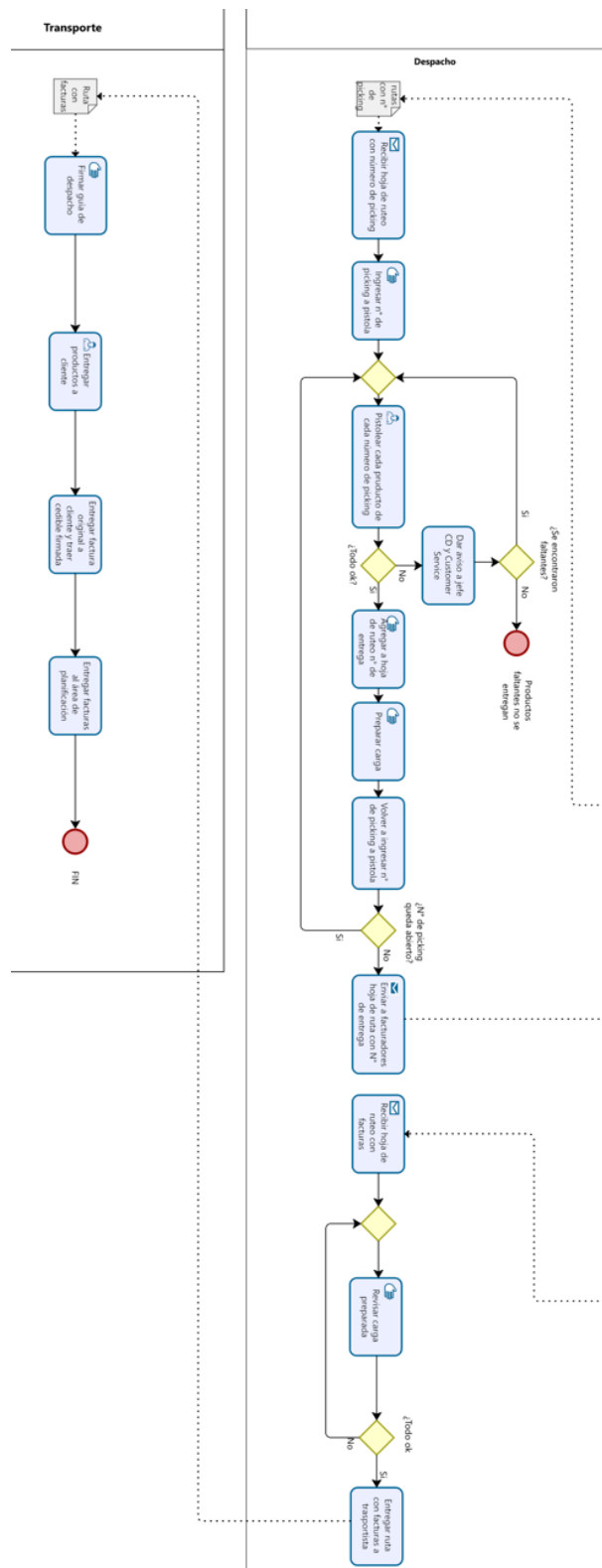


Figura 33: Proceso de pedidos área logística, elaboración propia

Anexo G: Pistola de picking



Figura 34: Pistola de picking, foto propia

Anexo H: Metodologías pronóstico de demanda

Pronósticos de demanda

Como se mencionó anteriormente, existen 4 tipos básicos de pronósticos de demanda los cuales son: cualitativos, series de tiempo, relaciones causales y simulación, a continuación, se estudiarán los modelos para series de tiempo y relaciones causales:

- 1. Series de tiempo - Promedios móviles simples:** Cuando la demanda de un producto no crece ni baja con rapidez, y si no tiene características estacionales, un promedio móvil puede ser útil para eliminar las fluctuaciones aleatorias del pronóstico. Cuanto más largo sea el periodo del promedio móvil, más se suavizarán los elementos aleatorios, pero si existe una tendencia en los datos, el promedio móvil tiene la característica adversa de retrasar la tendencia. A continuación, se presenta el modelo:

$$F_t = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-3} + \dots + A_{t-n}}{n}$$

F_t : Pronóstico para el siguiente periodo

n: Número de periodos por promediar

A_{t-n} : Suceso real en el periodo pasado, hasta hace n periodos

- 2. Series de tiempo – Promedios móviles ponderados:** Mientras que el promedio móvil simple da igual importancia a cada componente, un promedio móvil ponderado permite asignar cualquier importancia a cada elemento, siempre y cuando la suma de estas ponderaciones sea 1. Esto permite darles más peso a datos más recientes, a continuación, se presenta el modelo:

$$F_t = w_1 A_{t-1} + w_2 A_{t-2} + \dots + w_n A_{t-n}$$
$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

w_n : Ponderación dada al hecho real para el periodo $t-n$

n: Número de periodos por promediar

- 3. Series de tiempo – Alisamiento exponencial:** Mientras que el promedio móvil ponderado asigna un peso definido a cada periodo anterior, con el alisamiento exponencial se le da un peso a todo periodo anterior en conjunto mediante un ponderador alfa, a continuación, se presenta el modelo:

$$A_t = \alpha D_t + (1 - \alpha) A_{t-1} \quad 0 < \alpha < 1$$
$$F_{t+1} = A_t$$

- 1. Series de tiempo - Alisamiento exponencial con tendencia:** A este modelo se le agrega un término de tendencia en la demanda el cual es beta. Para determinar si existe tendencia, se puede realizar viendo la demanda histórica a simple vista o ajustarla a una ecuación lineal para determinar si posee pendiente distinta de cero. El modelo se muestra a continuación:

$$A_t = \alpha D_t + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1}) \quad 0 < \alpha, \beta < 1$$
$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$
$$F_{t+k} = A_t + kT_t$$

- 2. Series de tiempo – Alisamiento exponencial con tendencia y estacionalidad:** A este modelo se le agrega finalmente, un término para determinar la estacionalidad (gamma). Para el caso de la venta de helados, se puede identificar una clara estacionalidad que viene dada por una fuerte alza en verano y una disminución en los meses de invierno. El modelo se muestra a continuación:

$$\begin{aligned}
A_t &= \alpha \left(\frac{D_t}{R_{t-L}} \right) + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1}) \\
T_t &= \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \\
R_t &= \gamma \left(\frac{D_t}{A_t} \right) + (1 - \gamma)R_{t-L} \\
F_{t+k} &= (A_t + kT_t)R_{t-L+k}
\end{aligned}$$

El DAM se calcula con las diferencias de la demanda real y la demanda pronosticada sin importar el signo. Es igual a la suma de las desviaciones absolutas dividida entre el número de datos, el DAM se muestra a continuación:

$$DAM = \frac{\sum_{i=1}^n |A_i - F_i|}{n}$$

i: número del periodo

A: Demanda real en el periodo

F: Demanda pronosticada para el periodo

n: número total de periodos

Para obtener los coeficientes de los modelos exponenciales anteriormente mencionados, se debe minimizar el DAM, variando los coeficientes alfa, beta y gamma según corresponda.

Se ha logrado conseguir la data de la demanda histórica desde el año 2015 hasta la fecha, la cual permitiría tener una cantidad considerable de historia para ajustar los diferentes modelos de pronósticos. Los datos hasta diciembre del año 2021 vienen del antiguo sistema ERP que manejaba Traverso el cual era FLEX, desde esa fecha en adelante la demanda se ha obtenido desde el ERP SAP Bussines One. Dichos datos contienen información como la fecha en que se realizó la nota de venta, SKU, descripción, categoría, subcategoría, cantidad solicitada, volumen del pedido, peso bruto del pedido, entre otras.

Anexo I: Archivos trabajo de título

https://drive.google.com/drive/folders/1t0uoeH2cvCBT5Wdw6NyCTp_zxv8ZRTOP?usp=share_link

Anexo J: Modelos de nivel de inventario

Como se mencionó anteriormente, un sistema de inventarios proporciona la estructura organizacional y las políticas operativas para mantener y controlar los bienes en existencia. El sistema es responsable de pedir y recibir bienes: cuándo hacer los pedidos, llevar registro de lo que se pidió, la cantidad ordenada. A continuación, se presentan los principales modelos de gestión de inventarios:

1. Modelo de inventario de periódico único: Un ejemplo típico es el problema del vendedor de periódicos. Debe decidir cuántos periódicos debe comprar para luego venderlos, si esta persona no coloca los suficientes periódicos en el puesto, algunos clientes no podrán comprar el diario y perderá las ganancias, mientras que, si lleva muchos, el vendedor deberá pagar los que no se vendieron. Aquí se poseen los siguientes parámetros:

- C_o = Costo por unidad de la demanda sobreestimada
- C_u = Costo por unidad de la demanda subestimada
- Luego, la ecuación de costo marginal esperada queda como: $P(C_o) \leq (1 - P)C_u$, con $1 - P$ la probabilidad de que sí se venda. Luego al despejar P , se obtiene: $P \leq \frac{C_u}{C_o + C_u}$
- Demanda periodo con promedio μ y desviación σ
- La cantidad para pedir entonces será $Q = \mu + Z^{-1} \left(\frac{C_u}{C_o + C_u} \right) * \sigma$, con Z^{-1} , la normal inversa.

Este modelo de inventarios sirve para situaciones como:

- Reservaciones adicionales para vuelos: Es normal que clientes cancelen las reservaciones de un vuelo por diversas razones. Aquí el costo de sobreestimar la demanda son vuelos gratis o devoluciones de dinero con compensaciones adicionales, y el costo de subestimar es la ganancia perdida debida a un asiento vacío.
- Pedidos de artículos de moda: Un problema para un minorista que vende artículos de moda es que a menudo sólo es posible hacer un pedido para toda la temporada.
- Todo tipo de pedido único

2. Modelo de inventario múltiples periodos – Modelo cantidad fija o Modelo Q con stock de seguridad: Un sistema de cantidad de pedido fijo vigila en forma continua el nivel de inventario y hace un nuevo pedido cuando las existencias alcanzan cierto nivel R . Este nivel R , viene dado por el lead time o tiempo de entrega L , y se pide una cantidad Q_{opt} que viene dada por:

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

D: Demanda anual

S: Costo por hacer un pedido

H: Costo de mantenimiento, generalmente se usa iC , con i porcentaje de costo y C el costo unitario.

Luego el punto de reorden R viene dado por:

$$R = \bar{d}L + z\sigma_L$$

d : Demanda diaria promedio

L : Lead time

z : Número de desviaciones estándar para un nivel de servicio escogido

σ_L : Desviación estándar del uso durante el tiempo de entrega.

Finalmente, cada vez que el inventario baje el nivel de R , se pedirá una cantidad Q_{opt}

- 3. Modelo de inventario múltiples periodos – Modelo de periodo fijo o Modelo P con stock de seguridad:** En un modelo de periodo fijo, el inventario se cuenta sólo en algunos momentos, como cada semana o cada mes. Es recomendable usar este modelo cuando el proveedor hace visitas rutinarias y levantan pedidos para toda la línea de productos. Aquí se pide cada cierto tiempo T , por lo tanto, el stock de seguridad debe ofrecer una protección contra el agotamiento de existencias en el periodo de revisión mismo (T) y el lead time (L). Por lo tanto, la cantidad a pedir viene dada por:

$$Q = \bar{d}(T + L) + z\sigma_{T+L} - I$$

q : Cantidad a pedir

T : número de días entre revisiones

L : tiempo de entrega

\bar{d} : Demanda diaria promedio pronosticada

z : número de desviaciones estándar para un nivel de servicio

σ_{T+L} : desviación estándar de la demanda durante el periodo de revisión y entrega

I : Nivel de inventario actual (incluye productos on-order)

Los pasos que se deberán seguir entonces serán:

- Identificar parámetros actuales que se usan en Traverso
- Identificar recursos necesarios para crear el modelo: tiempos, datos, costos, personal, etc.)
- Seleccionar modelo de acuerdo con parámetros y restricciones de recursos

Las necesidades para elaborar un sistema de inventarios para Traverso serían entonces: registro histórico de demanda, el cual se puede descargar desde directamente desde SAP un ERP para procesamiento de notas de venta; Dado que los productos se pueden elaborar inmediatamente el lead time sería un dato simple de obtener y sería generalmente 0; Traverso se rige por un nivel de servicio del 95%, por lo que z será aproximadamente 1.64.