

Rediseño de la distribución en planta de Laboratorios Pharmamerican bajo un enfoque híbrido de simulación y técnicas multicriterio

Gramigna Maciel, Nehuen

Trabajo Final de la Carrera Ingeniería Industrial

Departamento de Ingeniería Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de Mar del Plata

Mar del Plata, 19/02/2024



RINFI es desarrollado por la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Rediseño de la distribución en planta de Laboratorios Pharmamerican bajo un enfoque híbrido de simulación y técnicas multicriterio

Gramigna Maciel, Nehuen

Trabajo Final de la Carrera Ingeniería Industrial

Departamento de Ingeniería Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de Mar del Plata

Mar del Plata, 19/02/2024

Rediseño de la distribución en planta de Laboratorios Pharmamerican bajo un enfoque híbrido de simulación y técnicas multicriterio

Autor:

Gramigna Maciel, Nehuen - Matrícula 13664

gnehu.martin@gmail.com

Evaluadores:

Mortara, Veronica

Nicolao García, Jose Ignacio

Directora:

Tabone, Luciana

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi madre y mi padre, cuyo amor incondicional, acompañamiento, y sacrificio fueron, y continuaran siendo, fundamentales para mi desarrollo personal.

Gracias a mi hermana, amigos, y amigas por esas charlas y juntadas que me hacían olvidarme de las materias, los exámenes o los trabajos prácticos.

Gracias a Camsi, por ser un ejemplo de perseverancia y compromiso, cuya compañía durante jornadas de estudio, solo es superada por su compañía de vida.

Gracias a mis compañeras y compañeros de estudio, que han hecho de esta carrera algo ameno y divertido de transitar.

Gracias a Roberto, Andrés y Sergio por abrirme las puertas de su organización y permitirme desarrollar este trabajo.

Gracias a mi tutora por el tiempo dedicado y el conocimiento transmitido durante este cierre de ciclo.

Gracias a mis compañeros del Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Guillermo, Emiliano, Luis, y Marianela.

Por último, gracias a todo el cuerpo docente, auxiliar, y administrativo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata por su constante contribución al desarrollo profesional de miles de personas.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE CUADROS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
TABLA DE SIGLAS	X
RESUMEN.....	X
PALABRAS CLAVE	XI
FRASE Y AUTOR.....	XI
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DEL TRABAJO	1
2.1 Objetivos	1
2.2 Estructura del trabajo	2
3 MARCO TEÓRICO	2
3.1 Procesos, enfoque sistémico y cadenas de suministro.....	2
3.2 Prioridades competitivas	4
3.3 Estrategia de procesos.....	5
3.4 Distribución en planta o <i>Layout</i>	9
3.5 Capacidad.....	12
3.6 Medidas de capacidad	13
3.7 Lista estructurada de materiales	16
3.8 Flujograma y principio de Pareto.....	16
3.9 Simulación	17
3.10 Proceso de toma de decisiones multicriterio	28
4 METODOLOGÍA.....	33
5 DESARROLLO	35
5.1 Descripción de la organización.....	35
5.2 Marco regulatorio y normativo	41
5.3 Situación actual y proyección a futuro	43

5.4	Relevamiento de cartera de productos	44
5.5	Descripción y análisis de operaciones	51
5.6	Familias de producto: Infusiones	66
5.7	Familias de productos: Suplementos	67
5.8	Listas estructuradas de material	69
5.9	Relevamiento de equipos y almacenes	70
5.10	Modelado y simulación: Criterios generales	72
5.11	Simulación: Distribución en planta actual	81
5.12	Análisis y oportunidades de mejora	85
5.13	Factores sistémicos abordados en ambas propuestas	87
5.14	Propuesta N°1: Flujo lineal	90
5.15	Propuesta N°2: Flujo en U	96
5.16	Resultados obtenidos	102
5.17	Priorización de alternativas	107
6	CONCLUSIONES	112
7	BIBLIOGRAFÍA	114
8	ANEXO	116
8.1	Listas estructuradas de material	116
8.2	Maquinarias	118
8.3	Modelado y simulación	121
8.4	Rendimiento del fraccionado volumétrico	132
8.5	Proceso analítico de jerarquías	132

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Escala de las comparaciones pareadas para las preferencias en el P.A.J.	31
Cuadro 2: Referencias de sectores. Distribución en planta actual.....	38
Cuadro 3: Productos más vendidos de cada familia.	70
Cuadro 4: Ejemplos de variables utilizadas para el modelado.	73

Cuadro 5: Componentes y cantidades de materia prima necesarias para la elaboración de cada familia de productos.	74
Cuadro 6: Distribución y tamaño de lotes según estación de mezclado y familia.	75
Cuadro 7: Proporción media de materias primas, medidas en kilogramos, que atraviesa cada etapa de preprocesamiento, según familia.	76
Cuadro 8: Resultados de la simulación; estimación del tiempo de precalentamiento; distribución de planta actual.	77
Cuadro 9: Producción objetivo por familia de producto, medida en cantidad de paquetes, para la finalización de cada réplica. Demanda actual, y proyectada.	78
Cuadro 10: Intervalos objetivo para las tasas de planta de cada familia de producto. .	79
Cuadro 11: Superficie y clasificación de ubicaciones de depósitos. Distribución actual.	82
Cuadro 12: resultados arrojados para la simulación de la distribución en planta actual; 35 réplicas ejecutadas; confiabilidad del 95%; valor critico t de Student = 2.032.	83
Cuadro 13: Referencias modelo tridimensional.	83
Cuadro 14: Estaciones productivas con mayor utilización. Simulación de distribución actual.	87
Cuadro 15: Referencias de sectores. Propuesta N°1 de distribución en planta.	92
Cuadro 16: Resumen superficie incorporada, y clasificación de ubicaciones de depósitos. Propuesta N°1.	94
Cuadro 17: resultados arrojados para la simulación de la propuesta de mejora N° 1 de distribución en planta; 35 réplicas ejecutadas; confiabilidad del 95%; valor critico t de Student = 2.032.	96
Cuadro 18: Referencias de sectores. Propuesta N°1 de distribución en planta.	97
Cuadro 19: Resumen superficie incorporada, y clasificación de ubicaciones de depósitos. Propuesta N°2.	101
Cuadro 20: resultados arrojados para la simulación de la propuesta de mejora N° 2 de distribución en planta; 35 réplicas ejecutadas; confiabilidad del 95%; valor critico t de Student = 2.032.	102
Cuadro 21: Resultados de utilización de equipos en las tres distribuciones simuladas; confiabilidad del 95%; valor critico t de Student = 2.032.	103

Cuadro 22: Resultados del indicador “Colchón de capacidad relativo”, por familia de producto y distribución analizada.....	105
Cuadro 23: Resultados de indicadores de flujo de las tres distribuciones simuladas; confiabilidad del 95%; valor crítico t de Student = 2.032.	106
Cuadro 24: Resultados del relevamiento de retrocesos, por distribución y familia de producto.....	106
Cuadro 25: Resultados del indicador de metros cuadrados sobre cantidad total de ubicaciones, por distribución.....	107
Cuadro 26: Matriz de comparaciones pareadas y vector de pesos relativos.	110
Cuadro 27: Jerarquía final de alternativas de distribución en planta.	111
Cuadro 28: Comparativa entre distribución en planta actual y Propuesta N°1.	111
Cuadro 29: Características de las Fraccionadoras EC12.	121
Cuadro 30: Mano de obra directa asignada a cada estación.....	121
Cuadro 31: Unidad mínima simulada por atributo.	123
Cuadro 32: Atributos utilizados para el modelado de depósitos.	124
Cuadro 33: Cálculo del periodo de precalentamiento. Promedios conjuntos semanales para volumen ocupado en depósito de materias primas. Modelo de situación actual.	125
Cuadro 34: Cálculo del periodo de precalentamiento. Promedios conjuntos semanales para lotes de materia prima medicinal. Modelo de situación actual.....	125
Cuadro 35: Cálculo del periodo de precalentamiento. Promedios conjuntos semanales para volumen ocupado en depósito de materias primas. Modelo de Propuesta N° 1.126	
Cuadro 36: Cálculo del periodo de precalentamiento. Promedios conjuntos semanales para lotes de materia prima medicinal. Modelo de Propuesta N° 1.	127
Cuadro 37: Cálculo del periodo de precalentamiento. Promedios conjuntos semanales para volumen ocupado en depósito de materias primas. Modelo de Propuesta N° 2.127	
Cuadro 38: Cálculo del periodo de precalentamiento. Promedios conjuntos semanales para lotes de materia prima medicinal. Modelo de Propuesta N° 2.	128
Cuadro 39: Relación entre el rendimiento del proceso de fraccionado y la tasa de planta, por familia de producto.	132
Cuadro 40: Indicadores conglomerados. Principio: Distancia recorrida.....	133
Cuadro 41: Indicadores conglomerados. Principio: Satisfacción y seguridad.	133

Cuadro 42: Indicadores conglomerados. Principio: Circulación y flujo.	134
Cuadro 43: Indicadores conglomerados. Principio: Flexibilidad.	135
Cuadro 44: Matriz de comparaciones pareadas. Criterio: Espacio cúbico.....	135
Cuadro 45: Matriz de comparaciones pareadas. Criterio: Distancia recorrida.	135
Cuadro 46: Matriz de comparaciones pareadas. Criterio: Circulación y flujo.....	135
Cuadro 47: Matriz de comparaciones pareadas. Criterio: Satisfacción y seguridad. .	135
Cuadro 48: Matriz de comparaciones pareadas. Criterio: Flexibilidad.....	136
Cuadro 49: Agregación de prioridades individuales según los criterios.....	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Integración de las funciones de una organización.....	3
Figura 2: Matriz producto-proceso.	6
Figura 3: Principales decisiones que implica una estrategia de procesos.	9
Figura 4: Estrategias para la expansión de la capacidad.	13
Figura 5: Simbología utilizada para el desarrollo de flujogramas.	17
Figura 6: Grafica de estabilización de una variable.....	22
Figura 7: Vista área de las instalaciones de Laboratorios Pharmamerican.	36
Figura 8: Distribución actual de Laboratorios Pharmamerican, planta baja.....	37
Figura 9: Distribución actual de Laboratorios Pharmamerican, planta alta.....	38
Figura 10: Organigrama de Laboratorios Pharmamerican.	40
Figura 11: Variedades de producto según tipo.....	44
Figura 12: Ventas y cantidad de productos según tipo de materia prima.	45
Figura 13: Variedades se infusiones y su participación en ventas según tipo de sobre envoltura.....	46
Figura 14: Variedades suplementos según método de ingesta.	47
Figura 15: Variedades y participación en ventas de suplementos según tipo de cápsula.	48
Figura 16: Clasificación y ventas relativas de suplementos en cápsulas según formato del envase.	49
Figura 17: Variedades y participación en ventas de suplementos en cápsulas envasados en frascos, según formato de presentación.	49

Figura 18: Variedades y participación en ventas de suplementos en cápsulas envasados en blísteres, según formato de presentación.	50
Figura 19: Diagrama de flujo para subprocesos principales de la función de operaciones.	52
Figura 20: Diagrama de subproceso 1: Recepción y preprocesamiento.	54
Figura 21: Diagrama de flujo de subproceso 2: Mezclado.....	56
Figura 22: Diagramas de flujo de subproceso 3: Fraccionamiento y envasado, de suplementos e infusiones.	58
Figura 23: Diagrama de flujo subproceso 3.1: fraccionado y envasado de infusiones.	61
Figura 24: Diagrama de flujo para subproceso 3.2: Fraccionamiento y envasado y suplementos.	65
Figura 25: Diagrama de flujo de subproceso de control y expedición de producto terminado.....	66
Figura 26: Variedades según familias de producto. Suplementos nutricionales.	69
Figura 27: Modelo tridimensional. Distribución en planta actual.....	84
Figura 28: Plano de planta, propuesta N°1 de distribución en planta.	91
Figura 29: Modelo tridimensional. Propuesta N°1.	95
Figura 30: Plano de planta, propuesta N°2 de distribución en planta.	98
Figura 31: Modelo tridimensional. Propuesta N°2.	100
Figura 32: Diagrama de árbol del problema de decisión para la selección de propuestas de distribución en planta.	109
Figura 33: Lista estructurada de material. Familia: Medicinales.	116
Figura 34: Lista estructurada de material. Familia: Monohierba.	116
Figura 35: Lista estructurada de material. Familia: Multihierba.	117
Figura 36: Lista estructurada de material. Familia: Potes.....	117
Figura 37: Lista estructurada de material. Familia: Frascos.	118
Figura 38: Lista estructurada de material. Familia: Blísteres.	118
Figura 39: Matriz familia de producto-proceso con desarrollo por equipos.	119
Figura 40: Descripción de maquinarias.	120
Figura 41: Estimación de las tasas de planta y réplicas necesarias. Modelo de situación actual.	129

Figura 42: Estimación de las tasas de planta y réplicas necesarias. Modelo de propuesta N°1.	130
Figura 43: Estimación de las tasas de planta y réplicas necesarias. Modelo de propuesta N°2.	131

TABLA DE SIGLAS

P.T: Producto terminado

I.C.: Intervalo de confianza

P.A.J.: Proceso analítico de jerarquías

RESUMEN

La distribución física de las instalaciones de manufactura cumple un rol clave en la eficiencia de las operaciones. Se entiende por distribución al arreglo físico de máquinas y equipos para la producción, estaciones de trabajo, personal, ubicación de materiales de todo tipo y en toda etapa de elaboración, y el equipo de manejo de materiales. Cuando una organización decide implementar mejoras sobre su distribución en planta, buscando minimizar o suprimir deficiencias, tiene lugar un proyecto de retroajuste de las instalaciones. El objetivo de este trabajo es generar, modelar y seleccionar una propuesta de retroajuste para la distribución en planta de Laboratorios Pharmamerican. Se lleva a cabo un análisis integral de la cartera de productos y la cadena de suministro de la organización. En base a este, se conforman una serie de familias de producto, cuyos sistemas productivos se modelan utilizando un programa de simulación de eventos discretos. Se analizan los resultados obtenidos de manera cuantitativa y cualitativa, y se establecen una serie de oportunidades de mejora. Éstas se vuelcan en las propuestas de distribución en planta diseñadas, cuyos sistemas también son modelados y simulados. Los resultados obtenidos se utilizan como información para el posterior proceso de decisión multicriterio, cuyo propósito es seleccionar la mejor alternativa elaborada. Se establecen un conjunto de criterios

decisorios, se jerarquizan, y se evalúa cada alternativa con respecto a cada uno. Finalizado el proceso decisorio, se contrasta el desempeño de la distribución elegida en comparación a la situación actual, y se presentan las mejoras obtenidas.

PALABRAS CLAVE

Procesos, distribución en planta, simulación, modelo, alternativa, mejora.

FRASE Y AUTOR

*«No hay dos palabras en el mundo
más nocivas que “bien hecho”»*

Chazelle, D. (Director). (2014). *Whiplash* (Película).

1 INTRODUCCIÓN

La eficiente utilización de los recursos, la calidad ofrecida al cliente, y la integración de funciones debe ser continuamente buscada por cualquier organización que pretenda mantenerse competitiva. Laboratorios Pharmamerican inicio sus actividades hace cerca de 30 años y ha logrado expandir su comercio y estructura gracias al continuo abordaje conjunto de estos tres principios. En este sentido, la formación e incorporación de mano de obra calificada, y la evolución tecnológica de su equipamiento, han sido herramientas fundamentales para fortalecer la función de operaciones. Pero, es en la distribución física de las instalaciones donde la empresa percibe una oportunidad de mejora. Precisamente allí, es donde el presente trabajo busca agregar valor.

La envergadura y contexto en el que tiene lugar el proyecto exigen un análisis de los procesos y las instalaciones manufactureras particularmente objetivo, y a un costo bajo. Allí, es donde la simulación de sistemas y los procesos analíticos para la toma de decisiones complejas se vuelven sumamente importantes.

2 OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DEL TRABAJO

2.1 Objetivos

El objetivo general del desarrollo de este trabajo es diseñar, evaluar y seleccionar una propuesta de mejora a la distribución en planta de Laboratorios Pharmamerican. Para lograrlo, se delinee una serie de objetivos específicos.

El primero, es realizar un relevamiento y análisis de la distribución en planta, los procesos productivos, y los flujos de materiales presentes en la actualidad. El segundo, es identificar y definir oportunidades de mejora para la distribución actual y determinar factores técnicos y físicos que éstas deben contemplar. El tercero, es proponer alternativas de rediseño de la distribución en planta, haciendo uso de herramientas de modelado y simulación de escenarios. Por último, el cuarto objetivo

específico es llevar a cabo una evaluación de las alternativas propuestas y seleccionar la que mejor se adapte a las necesidades de la organización.

2.2 Estructura del trabajo

Se comienza con una descripción general de la organización, que abarca su localización, estructura organizacional, y distribución en planta actual. A continuación, se relevan las principales normativas legales a considerar para el desarrollo de los objetivos descritos. Posteriormente se realiza un relevamiento, análisis descriptivo, y estratificación de su cartera de productos y cadenas de suministro.

En apartados posteriores, se utiliza la información relevada y organizada para la construcción de modelos de simulación de procesos, con el objeto de evaluar la situación de partida para distribución de planta y sus procesos asociados, y elaborar una serie de propuestas que busquen mitigar las ineficiencias detectadas. Por último, se somete al conjunto de alternativas simuladas a un proceso analítico para toma de decisiones, con el objetivo de evaluar la preferencia relativa entre ellas y seleccionar la distribución en planta más conveniente.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Procesos, enfoque sistémico y cadenas de suministro

En primer lugar, se definen los procesos como cualquier actividad, o grupo de actividades, que incorpore uno o múltiples elementos de entrada, los transforme, y provea de una o múltiples salidas a sus clientes. El conjunto de recursos utilizados por una organización para el desarrollo de uno, o más procesos se conoce como operaciones. La administración de operaciones implica el diseño, dirección, y control sistemático de los procesos existentes. (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

El enfoque seleccionado para llevar a cabo dicha administración se denomina enfoque sistémico, y consta de considerar a la empresa como un sistema complejo y abierto, cuyos subsistemas y elementos están interrelacionados y organizados para

desarrollar una serie de funciones que buscan la consecución de los objetivos globales de la firma. (MACHUCA, GONZALEZ, MACHUCA, & JIMENEZ, 1995)

Para comprender de manera sencilla la relación entre los elementos del sistema y los procesos reales, se adopta una concepción sistémica de enfoque funcional. La misma, se basa en el agrupamiento de elementos en distintos subsistemas homogéneos de acuerdo con el tipo de función que desarrollan (MACHUCA, GONZALEZ, MACHUCA, & JIMENEZ, 1995).

De esta manera, en una firma pueden identificarse tres subsistemas relativos a funciones básicas o principales: Operaciones, Finanzas y Comercialización (MACHUCA, GONZALEZ, MACHUCA, & JIMENEZ, 1995). A grandes rasgos, Finanzas se ocupa de la adquisición de los elementos de entrada, Operaciones se encarga de su transformación y agregado de valor; y Marketing comercializa las salidas generadas. Adicionalmente, existen múltiples funciones destinadas a brindar soporte – en forma de información, servicios, o gestión –, como recursos humanos, contabilidad, y sistemas informáticos. La figura 1 contextualiza a operaciones y expresa la relación existente entre las demás funciones de una organización (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

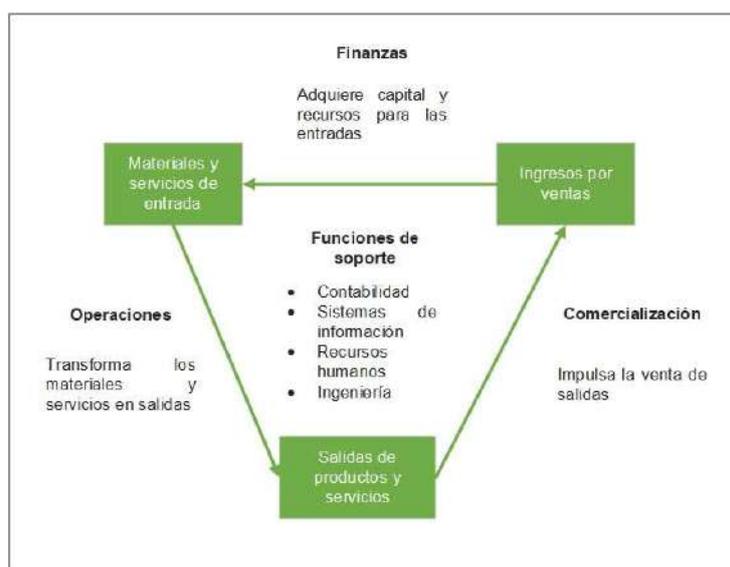


Figura 1: Integración de las funciones de una organización.

Fuente: Elaboración propia en base a (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

Independientemente del subsistema al que pertenezcan, las interrelaciones entre procesos de una firma se abordan bajo el enfoque de cadena de suministro. El mismo, como su nombre señala, representa una serie de procesos interconectados entre sí. Estas cadenas pueden desarrollarse dentro de la firma, dando lugar a los conceptos de proveedores y clientes internos; y/o extenderse por fuera de los límites de una organización, incorporando agentes externos (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

Por consiguiente, surge el concepto de administración de la cadena de suministro como las tareas destinadas a sincronizar procesos de una organización, de sus proveedores, y de sus clientes; para alinear los flujos de información, material y servicios, con la demanda (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

3.2 Prioridades competitivas

Con el objetivo de brindar productos competitivos en el mercado, la administración de la cadena de suministro implica caracterizar la función de operaciones de manera que sea capaz de satisfacer cliente, tanto externos como internos, de manera sostenible en el tiempo. Este conjunto de características con las cuales se pretende dotar una cadena de suministro posee cuatro dimensiones, las cuales se conocen como prioridades competitivas. Estas son: costos, flexibilidad, calidad, y tiempo. Cada una de ellas tiene una capacidad competitiva anexa, que resulta de la entrega efectiva de alguna de estas dimensiones por parte de la cadena de procesos de la firma (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

Existen nueve prioridades competitivas relacionadas con estas cuatro dimensiones:

- Costos:

- Bajo costo: Satisfacer al cliente, interno o externo, operando con el menor costo posible.
- Flexibilidad:
 - Personalización: Realizar cambios en el producto de manera que se adapten a requisitos particulares de cualquier cliente.
 - Variedad: Ofrecer una amplia gama de productos de manera eficiente.
 - Flexibilidad de volumen: Impulsar o menguar fuertemente los niveles de producción para hacer frente a fluctuaciones de la demanda.
- Tiempo
 - Entrega rápida: Proveer al cliente de forma veloz
 - Entrega a tiempo: Entregar el producto cumpliendo con el tiempo prometido.
 - Velocidad de desarrollo: Introducir un nuevo producto de manera rápida
- Calidad
 - Calidad superior: Ofrecer productos que cumplan con especificaciones superlativas.
 - Calidad consistente: Operar con niveles cumplimiento y ajuste a las especificaciones de diseño consistentes en el tiempo.

Naturalmente, una organización prioriza y enfoca estratégicamente el abordaje de un conjunto acotado de prioridades competitivas que considera claves, según su análisis e interpretación (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

3.3 Estrategia de procesos

Cuando una firma planifica y ejecuta una serie de decisiones administrativas que afectan a sus cadenas de suministro con el objetivo de perseguir una, o varias,

prioridades competitivas, se dice que está adoptando una estrategia de procesos (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018). Al conformarla, la firma comunica como transformara sus recursos en bienes y/o servicios que cumplan con los requerimientos del cliente, y las restricciones financieras y directivas, en simultaneo (MACHUCA, GONZALEZ, MACHUCA, & JIMENEZ, 1995).

Estas decisiones se categorizan en cuatro clases principales. Estructura de procesos; participación del cliente; intensidad de capital; y flexibilidad de recursos (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

3.3.1 Estructura de procesos

La estructura de procesos para determinar el tipo de proceso en relación con la naturaleza de los recursos necesarios para producir, como estos pueden subdividirse, y sus características fundamentales. La figura 2 describe la matriz producto-proceso, una herramienta grafica que define cuatro formatos de proceso en base al volumen de producción, el grado de personalización, y las características de los procesos involucrados (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

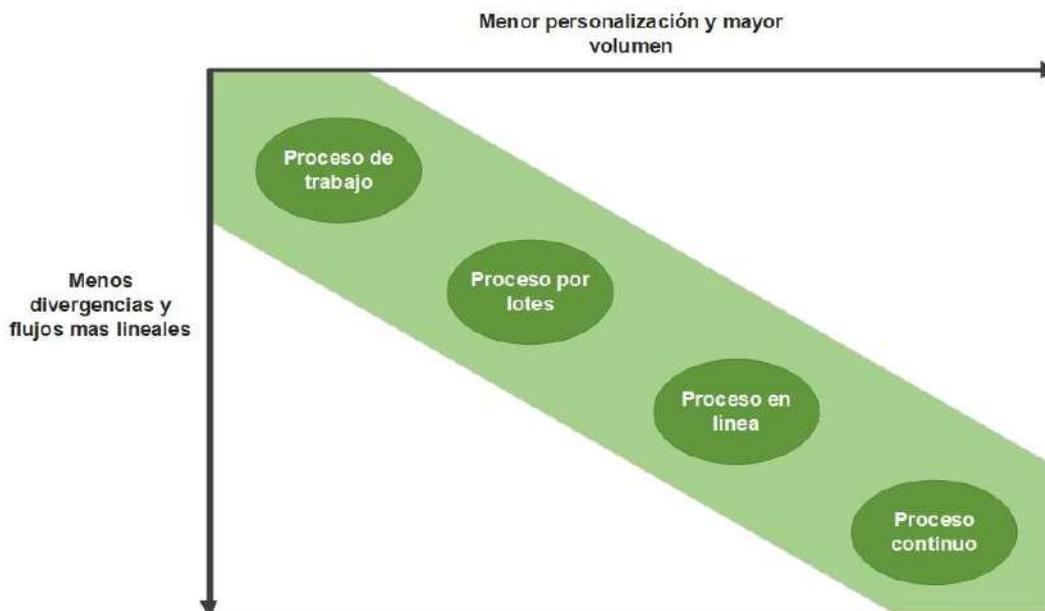


Figura 2: Matriz producto-proceso.

Fuente: Elaboración propia en base a (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

De forma coordinada con el formato seleccionado, existen estrategias de producción e inventario que terminan por definir la estructura de procesos de la firma (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

Si la organización decide diseñar desde cero cada producto, para luego proceder a su fabricación, se dice que sigue una estrategia de diseño por pedido. Por otro lado, si el diseño está estandarizado, pero el producto se personaliza según especificación del cliente, se sigue una estrategia de fabricación por pedido. En ambos casos los volúmenes de producción son generalmente bajos (incluso de una única unidad). Con lo cual se suele optar por procesos por trabajo, pudiendo trabajar con lotes pequeños en el caso de fabricar a pedido (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

Por otra parte, la organización puede optar por generar inventario de productos semi elaborados, para finalizar su fabricación luego de recibido el pedido del cliente. Esta estrategia se denomina ensamble por pedido y permite elaborar variedad de bienes en volúmenes moderados o altos. En general, se componen de formatos en línea para las etapas de ensamble, y procesos en batch para la fabricación de semi elaborados. Bajo esta estrategia, el stock de producto terminado es limitado o prohibido, quedando las últimas actividades de producción a la espera de la recepción de un pedido (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

Por último, cuando existe inventario de producto terminado, listo para ser despachado ante un pedido del cliente, se está aplicando una estrategia de fabricación contra stock. En general, bajo estas condiciones se opera con formatos de proceso en línea o continuos (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

3.3.2 Otras decisiones estratégicas de procesos

Más allá de su organización y estructura, la capacidad y facilidad con la cual el personal y los equipos pueden manejar variaciones de volumen o tipo de producto, y diferentes funciones o roles, resulta fundamental para diseñar operaciones estratégicamente. A esta cualidad se la conoce como flexibilidad de los recursos (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

Por otra parte, se entiende al grado de participación del cliente en el proceso como la medida en la cual éste se involucra en las actividades de la cadena de suministro. En manufactura, resulta un determinante clave de la personalización y variedad de productos requeridas (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

Por último, la intensidad de capital hace referencia a la combinación de equipos y medios humanos que posee un proceso productivo. Cuanto mayor sea el conjunto de operaciones automatizadas o ejecutadas por maquinarias, frente a las manuales, mayor será la intensidad de capital (MACHUCA, GONZALEZ, MACHUCA, & JIMENEZ, 1995).

La relación y sinergia que surja entre las cuatro decisiones presentadas dependerá de las prioridades competitivas abordadas, el contacto con el cliente, y el volumen de producción; en un momento determinado (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

Por último, existen dos estrategias principales que las organizaciones utilizan para implementar cambios basados en las decisiones tomadas en torno a sus operaciones: La reingeniería de procesos, que implica una refundación total de las actividades; y la mejora de procesos, que se enfoca en el análisis minucioso del proceso existente, su entendimiento, y posterior búsqueda de mejoras (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

La figura 3 plasma la relación entre las cuatro decisiones de procesos principales y sus estrategias de cambio.

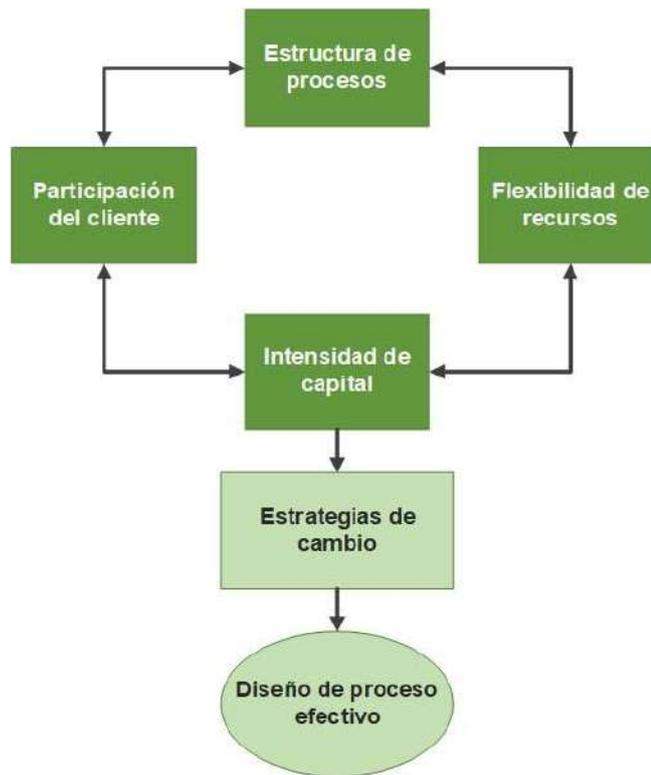


Figura 3: Principales decisiones que implica una estrategia de procesos.

Fuente: Elaboración propia en base a (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

3.4 Distribución en planta o *Layout*

El diseño de instalaciones de manufactura se refiere a la organización de las instalaciones físicas de la compañía con el fin de promover la eficiencia de sus operaciones. El diseño de instalaciones incluye la ubicación de la planta y el diseño del inmueble, la distribución de la planta o *layout*, y el manejo de materiales (MEYERS & STEPHENS, 2006).

Por un lado, la ubicación de la planta forma parte del conjunto de decisiones estratégicas de localización que se toman en el nivel corporativo más alto, con frecuencia por razones que tienen poco que ver con la eficiencia o eficacia de la operación (MEYERS & STEPHENS, 2006).

Luego, el diseño del inmueble es un trabajo arquitectónico que requiere conocimientos en materia de diseño y técnicas constructivas. Se encarga de brindar

apoyo y contribuir a la factibilidad de la distribución en planta proyectada (MEYERS & STEPHENS, 2006).

Por otro lado, se entiende por distribución al arreglo físico de máquinas y equipos para la producción, estaciones de trabajo, personal, ubicación de materiales de todo tipo y en toda etapa de elaboración, y el equipo de manejo de materiales (MEYERS & STEPHENS, 2006). Esta distribución, también conocida como *layout*, se basa en decisiones estratégicas sobre la estructura de procesos, y se encarga de representarla de forma tangible. Con el propósito de facilitar su organización se suele agrupar procesos en operaciones (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

Por último, el manejo de materiales se entiende como el flujo o movimiento de estos a través de las operaciones. La distribución de la planta es el resultado final del proyecto de diseño de la instalación de manufactura (MEYERS & STEPHENS, 2006), y su diseño debe cumplir con seis principios básicos en la mayor medida posible (MUTHER, 1970).

- Principio de la integración del conjunto: Establece que la mejor distribución es la que integra a los hombres, los materiales, la maquinaria, las actividades auxiliares, así como cualquier otro factor, de modo que resulte el compromiso mejor entre todas estas partes.
- Principio de la mínima distancia recorrida: A igualdad de condiciones, es siempre mejor la distribución que permite que la distancia a recorrer por el material entre operaciones sea la más corta.
- Principio de la circulación y flujo de materiales: En igualdad de condiciones, es mejor aquella distribución que ordene las áreas de trabajo de modo que cada operación o proceso este en el mismo orden o secuencia en que se transforman, tratan o montan los materiales.
- Principio de espacio cúbico: La economía se obtiene utilizando de un modo efectivo todo el espacio disponible, tanto en vertical como en horizontal.

- Principio de la satisfacción y de la seguridad: A igualdad de condiciones, será siempre más efectiva la distribución que haga el trabajo más satisfactorio y seguro para los productores.
- Principio de flexibilidad: A igualdad de condiciones, siempre será más efectiva la distribución que pueda ser ajustada o reordenada, con menos costo o inconvenientes.

Cuando el proyecto está enfocado en minimizar o suprimir deficiencias de las instalaciones actuales se denomina retro ajuste o rediseño de la distribución en planta. Diseños de esta naturaleza se caracterizan por estar restringidos por la infraestructura y condiciones de operación existentes (MEYERS & STEPHENS, 2006).

3.4.1 Tipos de distribución en planta

El arreglo y la forma que toma una distribución en planta puede clasificarse en tres tipos clásicos o puros (MUTHER, 1970).

Por un lado, la distribución de posición fija es aquella donde la posición de la pieza central procesada no varía, mientras que los equipos, el personal, y otras piezas concurren a ella. Esta es implementada para operaciones de relativa sencillez, y producción a pequeño volumen (MUTHER, 1970).

También, existe la llamada distribución por procesos, en las cuales se agrupan operaciones y sus recursos (maquinaria, personal, servicios) de acuerdo con su tipo o naturaleza. Por último, existen las distribuciones en línea, o por producto. En ellas, el material en proceso fluye, mientras que las estaciones y maquinas permanecen fijas. Bajo arreglos en línea, cada operación se dispone de acuerdo con su secuencia de ejecución (MUTHER, 1970).

En la medida que aumenta el volumen de producción, las distribuciones en línea se vuelven preferibles debido a que reducen los costos unitarios de producción. Sin embargo, en la práctica los flujos de producción no son consistentes, y allí es cuando

resulta necesaria la combinación de ambas distribuciones. En la mayoría de las instalaciones de manufactura las distribuciones lineales, o por producto, se presentan en operaciones de ensamble o montaje; mientras que las distribuciones por proceso se observan en los procesos de fabricación (MEYERS & STEPHENS, 2006).

De esta manera, características de la estructura de procesos asociada a las distintas operaciones (como las divergencias de flujos; el grado de personalización y variedad; y el volumen de producción) regirán el desarrollo de distribuciones por proceso, por producto; o una combinación de ambas; que sigan los principios básicos del diseño de *layout* (MUTHER, 1970; KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

3.5 Capacidad

Se define a la capacidad como la cantidad de producto o servicio que puede ser obtenida en una determinada unidad productiva durante un cierto periodo de tiempo. Esta definición es válida, tanto para la organización en su conjunto, como para una estación de trabajo individual (MACHUCA, GONZALEZ, MACHUCA, & JIMENEZ, 1995). Las decisiones en torno a la capacidad se pueden diferenciar, según el horizonte temporal que abarquen, en dos categorías: largo plazo, cuando se consideran al menos dos años a futuro; o corto plazo (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018). La planificación y control de la capacidad se encarga de la adecuación continua entre la capacidad disponible y la necesaria. Cuando se planifica a largo plazo, las decisiones sobre capacidad tienen dos resultados posibles: la expansión, o la contracción de las instalaciones (MACHUCA, GONZALEZ, MACHUCA, & JIMENEZ, 1995).

3.5.1 Expansión y contracción de la capacidad

Por un lado, la contracción implica medidas que van desde la reducción la jornada y/o despidos de personal, hasta el cierre de plantas completas. Una forma de evitar estos escenarios es planificar la introducción de nuevos productos al mercado en

la medida que la demanda de los antiguos disminuye (MACHUCA, GONZALEZ, MACHUCA, & JIMENEZ, 1995).

Por el contrario, la expansión se refiere al aumento de la capacidad, ya sea por un mejor aprovechamiento de estructura instalada, o por el aumento de su tamaño. Existen tres estrategias típicas con respecto a las decisiones de expansión: la conservadora; la intermedia; y la expansionista. Esta última, se basa en realizar incrementos de modo que la capacidad sea siempre mayor a la demanda. La conservadora, por otra parte, adopta un enfoque de “ver y esperar”, que mantiene la capacidad por debajo de la demanda. La intermedia será, entonces, una estrategia entre medio de ambos extremos. La figura 4 plantea el comportamiento de cada en relación con la demanda (MACHUCA, GONZALEZ, MACHUCA, & JIMENEZ, 1995).

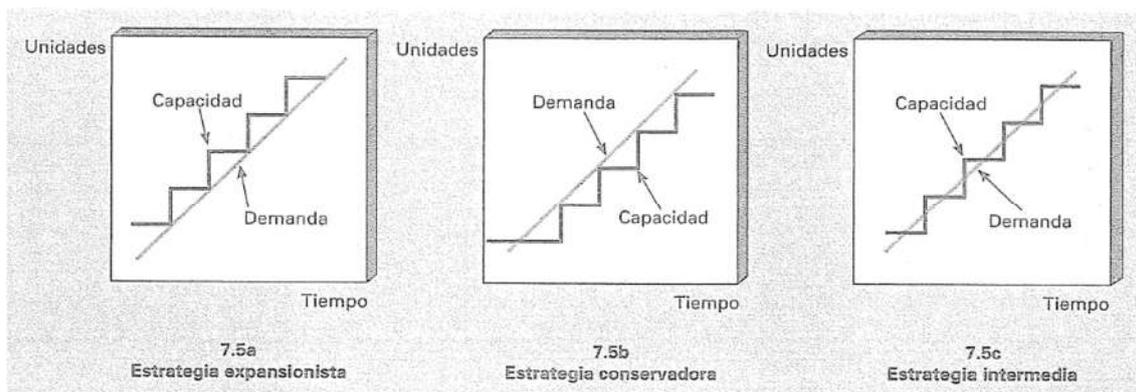


Figura 4: Estrategias para la expansión de la capacidad.

Fuente: (MACHUCA J. A., 1995).

3.6 Medidas de capacidad

La capacidad puede expresarse, en términos generales, de dos maneras: en base a las salidas de una unidad productiva, o en base a sus entradas. Las medidas basadas en salidas son normalmente utilizadas para procesos individuales, pudiendo utilizarse de forma agregada en casos donde la organización provee un conjunto acotado y estandarizado de productos (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018) (MACHUCA, GONZALEZ, MACHUCA, & JIMENEZ, 1995). Por el contrario, si se

analizan procesos flexibles, de producción en pequeño volumen, y amplia variedad de productos, es común medirla tomando como referencia las entradas, basadas en la cantidad de recursos disponibles en un cierto periodo de tiempo. En tanto sea posible, es conveniente contar con medidas de capacidad relacionadas con las salidas, que incorporen en su diseño la diversidad de productos existente (MACHUCA, GONZALEZ, MACHUCA, & JIMENEZ, 1995).

3.6.1 Meta de producción y tasa de planta

En primer lugar, la base para el cálculo de la meta de producción será la estimación de la demanda, pudiendo la empresa optar por abarcarla en su totalidad, o no. (MACHUCA, GONZALEZ, MACHUCA, & JIMENEZ, 1995). Dicho valor es fundamental a la hora de estimar el número de equipos y la cantidad de personal que serán necesario. Dada una meta de producción determinada, se debe establecer el ritmo que deberá seguir cada operación para alcanzarla. Este ritmo recibe el nombre de tasa de planta, y será aquel al que las operaciones, procesos, partes, personas, y otros recursos; deben fluir para alcanzar el volumen de producción determinado (MEYERS & STEPHENS, 2006).

La meta de producción estimada difícilmente sea igual a la cantidad de unidades elaboradas. Si bien son indeseables, toda operación de manufactura implica producción de partes inútiles, que requerirán ser reprocesadas, o descartas. El nivel que poseen unidades de este tipo se expresa mediante las tasas de desperdicio. De esta manera, dada una secuencia de n etapas que atraviesa un producto durante su fabricación, y la tasa de desperdicio que corresponde a cada una, se calcula el número de entradas brutas I que serán necesarias para cumplir con la meta de producción mediante la ecuación 1 (MEYERS & STEPHENS, 2006).

$$I = \text{Entradas brutas} = \frac{\text{Meta de producción}}{\prod_{i=1}^n (1 - \% \text{desperdicio}_i)} = \left[\frac{\text{unidades}}{\text{año}} \right] \quad (1)$$

El segundo necesario para el cálculo de la tasa de planta será el tiempo total disponible. Aquí, es clave discriminar todo tiempo improductivo (como descansos, almuerzo, reuniones; entre otros) del tiempo total destinado a producción, también llamado horas reloj. Estos tiempos improductivos surgen cuando se realizan cálculos basados en tiempos estándar. El tiempo estándar se define como aquel requerido por una estación de manufactura para producir un artículo, dadas las siguientes condiciones: se cuenta con un operario calificado y capacitado; las actividades se realizan a ritmo normal; y se cuenta con una descripción específica de la tarea a realizar (MEYERS & STEPHENS, 2006).

Por definición, estos estándares incorporan en su valor las llamadas tolerancias. Las tolerancias son agregados de tiempo que se incorporan sobre el tiempo normal, de manera que el tiempo estándar resultante sea práctico y alcanzable. Existen tres variedades: las tolerancias por fatiga, por retrasos, y las personales. En general, se expresan como porcentajes del tiempo normal, agregándose las tolerancias por fatiga y retrasos de forma conjunta, y las personales individualmente (MEYERS & STEPHENS, 2006).

Sin embargo, el cálculo de la tasa de planta considera los llamados tiempos normales de cada proceso, para obtener el tiempo total disponible. A diferencia de los tiempos estándar, estos no incluyen tolerancias en su estimación. El tiempo normal se entiende como aquel necesario para que un operador calificado produzca una parte, considerando un ritmo de trabajo confortable o normal. De esta forma, el cálculo de la tasa de planta R , al incorporar los factores mencionados, obedece la ecuación 2 (MEYERS & STEPHENS, 2006).

$$Tasa\ de\ planta = R = \frac{Tiempo\ total\ disponible}{I} = \left[\frac{min}{unidad} \right] \quad (2)$$

3.6.2 Colchón de capacidad

Se denomina colchón de capacidad C , a una fracción estipulada de la capacidad que se tiene como reserva para afrontar variaciones en la cadena de suministro, como fluctuaciones en la demanda, o pérdida temporal de capacidad. La decisión de su tamaño es de carácter estratégico, y varía según industria. Se calcula como la diferencia entre el 100% de capacidad y la Utilización promedio, según expresa la ecuación 3 (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

$$\text{Colchón de capacidad} = C = 100 - \text{Utilización promedio} = [\%] \quad (3)$$

Por consiguiente, se define el factor de utilización (U) como el grado al cual una unidad productiva está funcionando, calculado como el cociente entre tasa de producción promedio y la capacidad máxima de la unidad. Ambos, evaluadas bajo la misma unidad de medida (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

$$\text{Factor de Utilización} = U = \frac{\text{Tasa de producción promedio}}{\text{Capacidad máxima}} \cdot 100 \% \quad (4)$$

3.7 Lista estructurada de materiales

Una lista estructurada de materiales es un documento que proporciona información sobre las partes que constituyen un producto determinado, bajo una estructura jerárquica que identifica cada ensamble; subensamble; y las partes requeridas en cada uno de estos. El nivel más elevado del producto se posiciona primero en la lista y se asigna el nivel cero. Debajo de este se listan los ensambles principales, cuyo nivel asignado será el uno (.1). De manera análoga, los subensambles subordinados a cada ensamble principal se posicionan por debajo de estos, y se les asigna el nivel dos (..2). La misma lógica se sigue para los sucesivos subensambles y componentes. El listado puede incluir características técnicas de cada componente, e indicar si el mismo es fabricado en la organización, o comprado a un proveedor externo. Los puntos antes de cada número tienen como finalidad estructurar cada nivel y ampliar la legibilidad (MEYERS & STEPHENS, 2006).

3.8 Flujograma y principio de Pareto

El flujograma o diagrama de flujo es un gráfico que representa el flujo de etapas, equipo, personas, o información que tienen lugar dentro de uno, o múltiples procesos. Se componen principalmente de nodos, representados por caja u otras figuras, unidos por flechas que representan la secuencia. Los flujogramas pueden anidarse para representar desde funciones más generales, hasta procesos específicos. (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018). La simbología utilizada a lo largo del trabajo se observa en la figura 5.

Actividad	Símbolo
Operación	
Inspección o control	
Demora	
Almacenamiento	

Figura 5: Simbología utilizada para el desarrollo de flujogramas.

Fuente: Elaboración propia en base a (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

Por otra parte, el principio de Pareto, también conocido como regla del 80-20, sostiene que dado un cierto efecto cuya causa se quiera abordar, el 20% de los factores que intervengan producirán el 80% del efecto observado. Si bien estos porcentajes varían según la situación analizada, inevitablemente una proporción pequeña de factores será la causante de la mayoría de los efectos. El principio de Pareto es útil en la administración de cadenas de suministro ya que permite concentrar esfuerzos en ese 20% - también llamados “pocos vitales” -, y abordar una proporción mayoritaria del problema planteado (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, 2018).

3.9 Simulación

Se entiende por modelo de simulación al conjunto de métodos y aplicaciones que buscan imitar el comportamiento de sistemas reales (DUNNA, REYES, & BARRÓN, 2013). Es ampliamente utilizada en el diseño de instalaciones de manufactura, ya que

permite desarrollar una representación aproximada de las cadenas de suministro de una organización. De esta forma, la comparación entre diferentes alternativas de distribución en planta puede desarrollarse en un periodo de tiempo menor, y a un menor costo (MEYERS & STEPHENS, 2006).

En particular, a lo largo del presente trabajo se simulan sistemas mediante modelos matemáticos; discretos; dinámicos; y de variables probabilísticas y determinísticas (DUNNA, REYES, & BARRÓN, 2013). A continuación, se desarrolla cada uno de estos conceptos.

En primer lugar, el concepto de sistema se entiende como un conjunto de elementos interrelacionados, que funcionan en conjunto, y tienen fronteras que los diferencian de su entorno. Además, se dice que un modelo es matemático cuando se basa en el uso de ecuaciones matemáticas y estadísticas para representar un sistema. Además, éste será dinámico si el estado del sistema en cuestión varía con respecto al tiempo (DUNNA, REYES, & BARRÓN, 2013).

Por otra parte, un modelo discreto es aquel donde el comportamiento analizado se representa evaluando el estado del sistema en un punto determinado; una fotografía del sistema. Si las relaciones que gobiernan los cambios del sistema son constantes, el modelo trabajará con variables determinísticas. Mientras que, si existe una distribución de probabilidad que rijan estas variaciones, se tendrán variables probabilísticas o estocásticas (DUNNA, REYES, & BARRÓN, 2013).

3.9.1 Uso de programas para el modelado y simulación de sistemas

Entre las ventajas que presentan los paquetes o programas destinados a la simulación de sistemas reales se resaltan su amplia flexibilidad, tanto para la construcción de modelos, su análisis, y sus herramientas de mejoramiento. En general, estos programas están orientados hacia la representación de procesos productivos y servicios, siendo capaces de representar gráficamente el sistema en dos o tres

dimensiones, incorporar variedad de herramientas estadísticas en el análisis, y generar reportes para la mejor presentación e interpretación de información (DUNNA, REYES, & BARRÓN, 2013).

3.9.2 Elementos de un modelo de simulación

Como en todo sistema, se pueden identificar elementos de distinta naturaleza en los modelos de simulación. Estos, se describen a continuación.

En primer lugar, se denominan entidades a la representación que toman los flujos entrantes y salientes al sistema. Dichos flujos son los responsables de modificar el estado del sistema. Las características particulares, como el color o las dimensiones físicas, que diferencian entidades entre si se denominan atributos.

El estado del sistema se entiende como la condición que tendrá el modelo en un momento de tiempo determinado. Se compone de variables o características de operación puntuales (como el stock de un depósito en un instante); y acumuladas (como el stock promedio de producto semi elaborado previo a una estación).

Cuando el estado del sistema cambia, se dice que tuvo lugar un evento. Los eventos pueden ser ingresos o egresos de una entidad; la finalización de un proceso; o la avería de una máquina.

Además, se denominan localizaciones a todos aquellos lugares donde la pieza puede detenerse para ser transformada o esperar a serlo. Éstas pueden representarse gráficamente por múltiples objetos, como un equipo y una mesa, por ejemplo.

También, existen los llamados recursos, que son dispositivos necesarios para desarrollar una operación. A diferencia de las localizaciones, estos se trasladan conforme sean requeridos. Ejemplos de dispositivos son las personas, equipo de manejo de materiales, o herramientas.

Por otra parte, las condiciones del sistema que sufren modificaciones producto de las ecuaciones matemáticas y relaciones lógicas presentes reciben el nombre de variables. Éstas, pueden ser continuas o discretas.

Por último, la función de registro del paso del tiempo la cumple el reloj de simulación. Permite responder preguntas como cuánto tiempo lleva corriendo la simulación el modelo, y cuando se requiere que finalice. Desde la perspectiva interna del modelo, el reloj de simulación gobierna las transiciones entre eventos programados a futuro, y eventos desarrollándose actualmente que tienen lugar en el sistema (DUNNA, REYES, & BARRÓN, 2013).

3.9.3 Números pseudoaleatorios y replicas

Para lograr que nuestro modelo de simulación posea variabilidad dentro de sus eventos, se debe generar un conjunto de números aleatorios, cuya aleatoriedad se extrapole al sistema que deseamos representar. En la práctica, este conjunto de números se genera en base a algoritmos preestablecidos, y luego se realizan sobre él un conjunto de pruebas para asegurar (con cierta confianza) que se comporten de forma similar a un conjunto de números totalmente aleatorios. El resultado de este proceso es una serie de números denominados pseudoaleatorios (DUNNA, REYES, & BARRÓN, 2013).

Cuando se ejecuta el modelo de simulación, los resultados de las variables y parámetros finales se corresponden con el conjunto de números pseudoaleatorios que fueron utilizados durante esa ejecución determinada. Es decir, si se realizara una nueva réplica del modelo, aun sin alterar su diseño o parámetros, estos resultados no serían exactamente iguales.

Por esto, para obtener una mejor noción de cuál es el verdadero valor de una variable, es necesaria la ejecución de múltiples replicas o corridas del modelo, cada una con distintos números pseudoaleatorios. Luego, con el conjunto de resultados obtenidos, se

obtiene, mediante cálculos estadísticos, el intervalo donde es más probable hallar el valor real de cada una de las variables de interés.

3.9.4 Estados de un modelo de simulación

A la hora de evaluar las variables de salida el tiempo o longitud de las réplicas es un parámetro clave. Esto se debe a que, en términos generales, el valor medio de las variables analizadas posee dos estados: transitorio y estable.

Se define al estado transitorio como aquel que se presenta al principio de la simulación, y se caracteriza por una alta variación entre los promedios de las variables del modelo. Por tal motivo, realizar conclusiones sobre el funcionamiento del sistema en base a los resultados arrojados en estado transitorio, en general, no es recomendable (DUNNA, REYES, & BARRÓN, 2013).

Luego, existe el llamado estado estable que, como su nombre lo dice, presenta variaciones relativas en la media de las variables analizadas, mucho menores. Esta estabilidad implica mayor confianza de cara a análisis posteriores del modelo. Sin embargo, cabe destacar que no todas las variables del modelo alcanzan este estado al mismo tiempo, siendo necesaria una evaluación integral y/o estadística para determinar el estado de las variables al finalizar una réplica. (DUNNA, REYES, & BARRÓN, 2013).

La figura 6 describe la gráfica de estabilización de una variable, donde se observa la transición entre ambos estados.

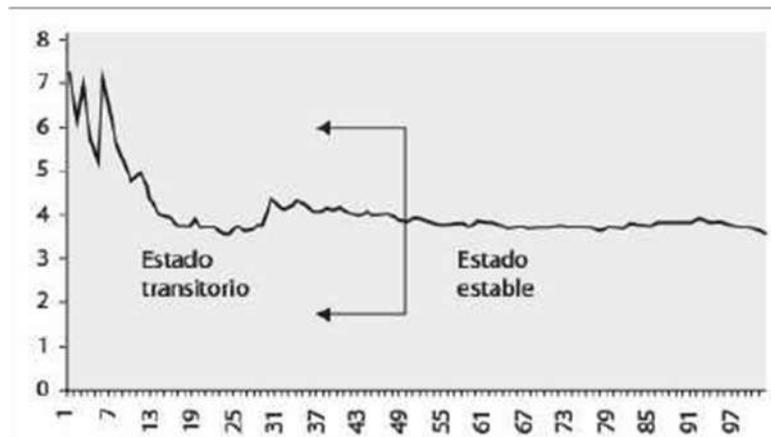


Figura 6: Grafica de estabilización de una variable.

Fuente: (DUNNA, REYES, & BARRÓN, 2013).

Según el sistema real que se busque representar y análisis que se quiera realizar, las simulaciones podrán clasificarse en terminales y no terminales.

Las primeras se basan en la ocurrencia de un evento determinado como condición para terminar la réplica. Por ejemplo, la elaboración de un determinado número de piezas, o transcurso de cierto periodo de tiempo. En este caso, el análisis estadístico posterior se basa en el desarrollo de un intervalo de confianza y la determinación de una distribución de probabilidad para la, o las, variables bajo estudio. Ambos conceptos se desarrollan en el siguiente apartado (DUNNA, REYES, & BARRÓN, 2013).

Por otra parte, las simulaciones no terminales, o de estado estable, no se finaliza la corrida en base la ocurrencia de un evento. En cambio, se evalúa la transición hacia el estado estable para darla por terminada. Simulaciones de esta naturaleza se basan en la determinación estadística de la longitud de la corrida, para asegurar la estabilización de las variables analizadas. En el presente trabajo no se simulan sistemas bajo esta metodología, porque lo que no se extiende el desarrollo de conceptos teóricos relacionados (DUNNA, REYES, & BARRÓN, 2013).

3.9.5 Conceptos estadísticos de la simulación

A continuación, se desarrollan conceptos estadísticos utilizadas para la simulación de eventos discretos del presente trabajo.

Estadístico o estimador: Los estadísticos (o estimadores) son funciones de una variable aleatoria, cuyos parámetros son conocidos. Se utilizan para estimar el valor de parámetros poblacionales de la distribución de probabilidad de dicha variable. Se calculan en base a una muestra aleatoria. Se consideran estadísticos no sesgados a los que poseen la misma esperanza que parámetro estimado. Los estimadores no sesgados de la media y desviación estándar para una variable de salida del modelo de simulación se calculan como:

$$\bar{Y} = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R Y_i \quad (5)$$

$$S = \left(\frac{1}{R-1} \sum_{i=1}^R (Y_i - \bar{Y})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Donde R será el número de réplicas que se corrieron de dicho modelo.

Intervalo de confianza (IC): Es aquel intervalo que se espera incluya el valor de la variable de salida del modelo (parámetro poblacional), el $(1 - \alpha)$ por ciento de las veces que se calcule a partir de estimadores no sesgados de dicho parámetro. El valor $(1 - \alpha)$ recibe el nombre de nivel de confianza. Dada una variable de salida del modelo de simulación, si la misma esta normalmente distribuida, su IC es:

$$IC = \left[\bar{Y} - t_{\frac{\alpha}{2}; R-1} \frac{S}{\sqrt{R}}, \bar{Y} + t_{\frac{\alpha}{2}; R-1} \frac{S}{\sqrt{R}} \right] \quad (7)$$

En caso de que siga otro tipo de distribución, el IC será más amplio:

$$IC = \left[\bar{Y} - \frac{S}{\sqrt{\alpha R}}, \bar{Y} + \frac{S}{\sqrt{\alpha R}} \right] \quad (8)$$

Siendo $t_{\frac{\alpha}{2}; R-1}$, en ambos casos, el valor crítico obtenido por tablas estadísticas, para una distribución t de Student, con $R - 1$ grados de libertad, y un nivel de confianza de $(1 - \alpha)$.

3.9.6 Longitud de réplica, periodo de calentamiento, y cantidad de réplicas

Dada una variable de salida del modelo, cuyo estudio es de interés, el analista podrá determinar la longitud de cada réplica de dos formas: habiendo recolectado una cantidad n de observaciones; o habiendo dejado transcurrir cierto periodo de tiempo t_{fin} . La decisión es criterio del diseñador, y no esta inherentemente dada por el problema analizado. Sin embargo, se deben tomar en cuenta tres factores fundamentales a la hora de definir este criterio (CARSON & NELSON, 2014):

- La influencia de las condiciones iniciales en el estimador, sean artificiales o arbitrarias. La misma puede ser considerable si el tiempo de corrida es muy corto, y tiende a disminuir en la medida que este aumenta.
- El precisión aceptada o deseada para el estimador en cuestión, que se medirá utilizando el error estándar – un medio de la longitud del I.C. -.
- Restricciones existentes en el tiempo necesario para correr la simulación.

3.9.6.1 Influencia de condiciones iniciales

Un método utilizado para reducir el impacto de condiciones iniciales es el de dividir la simulación en dos fases: la inicial – conocida también como tiempo de calentamiento -, que abarca desde un tiempo 0 hasta un tiempo t_o ; y la fase de recolección de datos, que transcurre entre t_o y t_{fin} , y a partir de la cual se comienza a relevar variables de interés. Cabe destacar que, el estado E_0 del modelo en t_o es una variable aleatoria. Con lo cual, decir que nuestro sistema alcanzo un estado donde los efectos de las condiciones iniciales son despreciables, es decir que la distribución de

probabilidad de E_0 se asemeja lo suficiente a la distribución de probabilidad que alcanza el sistema en estado estable (CARSON & NELSON, 2014).

Para establecer la duración de la fase inicial t_0 , se registra la evolución de la variable de interés a lo largo de un número R de réplicas. Luego, a diferencia de calcular su promedio en base a los valores dentro cada réplica, se promedian observaciones entre réplicas para cada intervalo de tiempo dado – también llamado promedio conjunto -. Si la variable a evaluar es una salida determinada, se lleva un conteo de cada una para el cálculo. Por otro lado, si se tiene más de un criterio para establecer t_0 , se deberá realizar este proceso para cada variable, convertir los registros a valores de temporales, y tomar el periodo más largo obtenido. Cabe destacar que, dado que cada promedio conjunto representa el valor medio de observaciones independientes e idénticamente distribuidas a lo largo de R réplicas, puede obtenerse un intervalo de confianza basado en la distribución t de Student para cada punto – ver ecuación 7 - (CARSON & NELSON, 2014).

3.9.6.2 Precisión aceptada y numero de réplicas del modelo

Dada la fórmula para obtener el intervalo de confianza nuestra variable de interés, basada en la distribución t y un nivel de confianza $(1 - \alpha)$, es posible aumentar el número de réplicas de manera que sea lo suficientemente grande para obtener un intervalo de confianza menor a una precisión admisible $\pm\epsilon$. Matemáticamente, si \bar{Y} es el estimador de θ , se debe hallar el número de réplicas R que satisfaga (CARSON & NELSON, 2014):

$$P(|\bar{Y} - \theta| \leq \epsilon) \geq 1 - \alpha \quad (9)$$

Para esto, se comienza corriendo $R_0 \geq 2$ réplicas iniciales, siendo 10 el mínimo deseable. Esto nos permite obtener el estimador inicial de la desviación estándar poblaciones, S_0 . Llamando H a la mitad de la longitud del intervalo de confianza, ara

cumplir con el criterio de precisión, se debe hallar un $R \geq R_0$, que además cumpla (CARSON & NELSON, 2014):

$$H = t_{\frac{\alpha}{2}, R-1} \frac{S_0}{\sqrt{R}} \leq \epsilon \quad (10)$$

Lo que es equivalente a encontrar el mínimo R entero que satisfaga la inecuación 11:

$$R \geq \left(\frac{t_{\frac{\alpha}{2}, R-1} S_0}{\epsilon} \right)^2 \quad (11)$$

Para obtener una primera aproximación de R , puede utilizarse la siguiente formula:

$$R \geq \left(\frac{z_{\frac{\alpha}{2}} S_0}{\epsilon} \right)^2 \quad (12)$$

Luego de determinar R , deben simularse $R - R_0$ réplicas adicionales – o simular R réplicas nuevas -, y calcular el intervalo de confianza siguiendo la ecuación 7. Es importante verificar que el H resultante sea aproximadamente igual o menor a ϵ . Es factible que, luego de correr las $R - R_0$ réplicas adicionales, el estimador de la desviación estándar S varíe con respecto a S_0 , aumentando potencialmente el H deseado. En tal caso, debe repetirse el procedimiento en busca de un número aún mayor de réplicas (CARSON & NELSON, 2014).

3.9.7 Pasos para realizar un estudio de simulación

Se enumeran los pasos básicos para llevar a cabo un estudio de simulación, pudiendo suprimir o agregar otros según la problemática abordada (DUNNA, REYES, & BARRÓN, 2013).

1. Definición del sistema bajo estudio: Requiere conocer que origina el estudio de simulación y establecer sus supuestos. Se definen las variables de decisión del modelo, sus elementos e interacciones, y el alcance del modelo.

2. Generación del modelo base: Se realiza sin demasiado detalle; con el objetivo de traducir la información recabada en el paso anterior, incluidas las interrelaciones entre elementos.
3. Recolección y análisis de datos: Se recolectan los datos necesarios para establecer las distribuciones de probabilidad de las variables aleatorias necesarias para la simulación.
4. Generación del modelo preliminar: Se integra la información obtenida en el paso anterior, los supuestos del modelo, y todo dato adicional necesario para lograr un modelo más cercado a la realidad. En caso de no contar con información estadística podrán utilizarse variables determinísticas, o sugerir distribuciones de probabilidad comúnmente asociadas al proceso que se desea incluir en el modelo.
5. Verificación del modelo: Se comprueba la programación del modelo, y que todos los parámetros funcionen correctamente. Se debe asegurar que el modelo va a correr con información actualizada.
6. Validación del modelo: Consta de realizar pruebas con entradas reales para observar el comportamiento y analizar los resultados del modelo. Esta etapa se puede validar contra el comportamiento del sistema real, en caso de que sea conocido; o contra expectativas de comportamiento basadas en la experiencia del encargado del modelado, o de alguna parte interesada (por ejemplo, el cliente).
7. Generación del modelo final: El modelo está listo para realizar la simulación. En caso de que se quieran analizar múltiples escenarios, este modelo será el modelo raíz.
8. Determinación de los escenarios para el análisis: Se pautan los escenarios a analizar. Una forma de facilitar este proceso es plantearse un escenario pesimista, uno optimista, y otro intermedio. Cada escenario puede considerar el resultado de una, o más variables de salida. Es fundamental considerar el

costo computacional, traducido en tiempo, de la evaluación de todos los escenarios.

9. Análisis de sensibilidad: Se realizan pruebas estadísticas que permitan comparar los escenarios con los mejores resultados finales, haciendo hincapié en sus IC. Si existe intersección de intervalos se podrá decir que los resultados no son iguales. Sin embargo, si los IC se superponen no será posible definir estadísticamente a una solución como la mejor. Si el objetivo es encontrar un escenario “ganador”, se deberá ampliar el número de replicas, y la longitud de corrida de cada una; buscando achicar los IC, lo que aumentará la probabilidad de diferenciar soluciones.
10. Documentación del modelo, sugerencias y conclusiones: La misma debe incluir todos los supuestos del modelo, las distribuciones de probabilidad de cada variable, el alcance de este, y la totalidad de consideraciones de programación. Además, se deben incorporar sugerencias para el uso de este, y reportar las conclusiones que arroje el modelado.

3.10 Proceso de toma de decisiones multicriterio

Un proceso de toma de decisión se presenta cuando, frente a una problemática, existe un conjunto finito de alternativas o cursos de acción posibles. En este tipo de procesos intervienen dos figuras, que podrían desempeñarse por la misma persona. En primer lugar, se define al decisor como el individuo o grupo de individuos que tienen el poder de ratificar una decisión, y la responsabilidad de asumir sus consecuencias. Por otro lado, el analista será quien este a cargo de brindarle estructura al problema y ayudar al decisor a visualizarlo (CARIGNANO & ALBERTO, 2013).

En particular, en el presente trabajo el proceso de toma de decisiones se realiza en un universo de certidumbre. Es decir, se tiene información considerada completa y precisa sobre el conjunto de elección (CARIGNANO & ALBERTO, 2013).

En este contexto, el proceso analítico de jerarquía (PAJ) se define como una metodología para la toma de decisiones en problemas complejos que poseen criterios múltiples (ANDERSON & SWEENEY, 2004). PAJ se basa en la cuantificación de evaluaciones subjetivas, de manera que sea posible establecer una escala numérica que priorice las alternativas de decisión (TAHA, 2012). A continuación, se presentan algunos conceptos fundamentales relacionados con el proceso analítico de jerarquías.

Los elementos particulares o dimensiones del problema que direccionan el análisis, y sobre los cuales el decisor realiza estas evaluaciones, se denominan atributos. El decisor debe ser capaz de comparar, en base a preferencias propias, las alternativas respecto de un atributo. Por esto, se configura un conjunto de reglas sobre el atributo, llamado criterio. Se entiende por criterio de decisión a la función que refleja las preferencias del decisor en relación con el atributo. Los criterios podrán ser cuantitativos o cualitativos, y deben cumplir con las siguientes propiedades (CARIGNANO & ALBERTO, 2013):

Exhaustividad: Implica la consideración de todos los criterios necesarios que permitan la discriminación entre alternativas.

Coherencia: Implica que cada criterio debe reflejar en su evaluación preferencias del decisor. De lo contrario, será indiferente y no contribuirá a la priorización de alternativas.

No redundancia: Criterios redundantes corren el riesgo de duplicar la importancia de un atributo.

El primer paso de PAJ es la representación gráfica de la jerarquía para el problema. La misma comienza con la meta global (problemática a solucionar) en el primer nivel; siguiendo con los criterios considerados, y finalizando con las alternativas de decisión (ANDERSON & SWEENEY, 2004). Es posible plantear más de un nivel jerárquico para los criterios, sin necesidad de que los criterios de niveles superiores

sean función de todos los del nivel inmediato inferior (TAHA, 2012). También, pueden desprenderse subcriterios más específicos de los criterios generales, siempre y cuando se ubiquen en un nivel jerárquico inferior. La estructura jerárquica puede representarse gráficamente mediante un diagrama de árbol (CARIGNANO & ALBERTO, 2013).

El método que sigue el P.A.J. muestra la preferencia global del decisor sobre cada alternativa evaluando: primero, la importancia relativa de cada uno de los criterios (o subcriterios) para alcanzar la meta global (o en términos de contribución al criterio de jerarquía superior); y luego, especificando la preferencia o prioridad con respecto a cada alternativa de decisión, en términos de la medida en la que contribuya a cada criterio (ANDERSON & SWEENEY, 2004).

3.10.1 Matriz de comparación y pesos relativos

En primer lugar, para cuantificar los juicios del decisor con respecto a la importancia relativa de dos o más criterios, o alternativas de decisión, se utilizan matrices de comparación. Dado un número n de criterios de igual jerarquía (o alternativas) se tendrá una matriz de comparación de $n \times n$, donde sus elementos a_{ij} representan la importancia relativa del criterio (o alternativa) i , con respecto al criterio j . Por consiguiente, los elementos diagonales de estas matrices serán iguales a uno (TAHA, 2012).

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} \\ a_{21} & 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

El cuadro 1 muestra la escala numérica de Saaty, utilizada para calificar las comparaciones pareadas (ANDERSON & SWEENEY, 2004). La escala permite adoptar valores intermedios, siempre y cuando se interpreten según corresponda. Además, durante la comparación pareada se sigue el principio de consistencia en el juicio, que implica que si $a_{ij} = k$, entonces $a_{ji} = \frac{1}{k}$ (TAHA, 2012).

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación numérica
--	-----------------------

Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente a extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderada y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igual y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

Cuadro 1: Escala de las comparaciones pareadas para las preferencias en el P.A.J.

Fuente: (ANDERSON & SWEENEY, 2004).

La matriz normalizada de comparación se obtiene luego de dividir los elementos individuales de cada columna, entre la suma de la columna. La normalización de A , que da como resultado la matriz normalizada N (TAHA, 2012).

$$N = \begin{pmatrix} \frac{a_{11}}{a_{11} + a_{21}} & \frac{a_{12}}{a_{12} + a_{22}} \\ \frac{a_{21}}{a_{11} + a_{21}} & \frac{a_{22}}{a_{12} + a_{22}} \end{pmatrix} \quad (14)$$

Los pesos relativos de los criterios (o alternativas) evaluados se obtienen calculando el promedio de cada fila de la matriz normalizada de comparación. El resultado se define como vector de prioridades o pesos relativos w . Por ejemplo, si se realiza la comparación de las alternativas A y B , con respecto al criterio X , su vector de pesos relativos queda expresado en ecuación 15 (TAHA, 2012).

$$w_X = \begin{pmatrix} w_{XA} \\ w_{XB} \end{pmatrix} \quad (15)$$

3.10.2 Consistencia de la matriz de comparación

La consistencia implica juicio racional por parte del decisor a la hora de evaluar sus preferencias. Al igual que la definición de consistencia para una comparación pareada, dada una matriz de comparación A , se dice que esta es matemáticamente

consistente si $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}$, para todo i, j , y k . Cabe destacar que las matrices de 2×2 siempre serán consistentes (TAHA, 2012).

Es esperable que la mayoría de las matrices de orden superior no sean consistentes, debido a que fueron desarrolladas en base a preferencias humanas, por lo tanto, subjetivas. Sin embargo, para brindar cierta noción de calidad sobre la decisión final es necesario definir un margen aceptable de inconsistencia en las matrices de comparación (TAHA, 2012).

Para esto, se hace uso de una propiedad de las matrices de comparación consistentes: Dada una matriz de comparación A , cuando ésta se normaliza, resulta en una matriz N de $n \times n$, cuyas columnas son idénticas y donde cada fila tiene como único valor su peso relativo, como se expresa en la ecuación 16 (TAHA, 2012).

$$N = \begin{pmatrix} w_1 & \cdots & w_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n & \cdots & w_n \end{pmatrix} \quad (16)$$

De esta forma, realizando el proceso inverso que divide los elementos de la columna i entre w_i , se obtiene A a partir de N . Luego, puede demostrarse que multiplicando A por el vector de orden $n \times 1$ que tiene como elementos los n pesos relativos, la condición de consistencia se rescribe como $A \cdot w = n \cdot w$.

Por otro lado, se sabe que, si A no es consistente, los pesos relativos w_i se calculan como promedios de cada fila de la matriz normalizada N . Entonces, si se define a \bar{w} como el vector de pesos ponderados que resulta de una matriz de comparaciones inconsistente, se puede demostrar que:

$$A \cdot \bar{w} = n_{max} \cdot \bar{w}, \text{ con } n_{max} \geq n \quad (17)$$

Aquí, cuanto más se acerca n_{max} a n , mas consistente será la matriz de comparación A . Puede demostrarse que n_{max} se obtiene como la suma de los valores del vector resultante de $A \cdot \bar{w}$ (TAHA, 2012).

Luego, se define la razón de consistencia como:

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (18)$$

donde

$$IC = \text{Índice de consistencia de } A = \frac{n_{\max} - n}{n-1} \quad (19)$$

$$RI = \text{Consistencia aleatoria de } A = \frac{1.98(n-2)}{n} \quad (20)$$

El índice de consistencia aleatoria se determina empíricamente como el promedio de IC de una muestra grande de matrices de comparación A , generadas al azar (TAHA, 2012).

Razones de consistencia $RC \leq 0.1$ se consideran aceptables. Caso contrario, será necesario revisar las evaluaciones de la matriz de comparaciones para mejorar el resultado (TAHA, 2012).

3.10.3 Jerarquización global de prioridades

El último paso del PAJ implica la combinación de las prioridades de los criterios y de las alternativas de decisión. Los valores que resulten de este proceso se denominan prioridades globales, y pueden plasmarse en la llamada matriz de prioridades. El procedimiento para obtener esta matriz consta de considerar la prioridad de cada criterio como un peso o ponderación que refleja su importancia. De esta manera, la prioridad global de cada alternativa se obtiene sumando el producto de la prioridad del criterio, por la prioridad de la alternativa con respecto a ese criterio.

4 METODOLOGÍA

La metodología propuesta se basa en un caso de estudio abordado mediante una investigación mixta, cualitativa y cuantitativa. Inicialmente se analizan datos en forma descriptiva y luego, mediante la aplicación de las herramientas propuestas, se

realizan cálculos matemáticos para proponer alternativas de mejora a la distribución en planta de la empresa bajo estudio.

El proyecto de retro ajuste se llevó a cabo siguiendo un enfoque híbrido, que toma los seis principios básicos para el diseño de una distribución en planta, y se apoya en los pasos para realizar un estudio de simulación, y la priorización de alternativas de decisión mediante el Proceso Analítico Jerárquico. Con el objeto de considerar, tanto las necesidades operativas actuales como las futuras, se estableció un horizonte temporal de cinco años para su desarrollo. Dicho plazo se definió en base a dos restricciones principales. La primera es que el periodo sea lo suficientemente extenso como para tomar en consideración la potencial adquisición de un terreno lindero al actual en su desarrollo. La segunda, que sea lo suficientemente inmediato como para manejar una incertidumbre aceptable por la firma.

El intercambio de información con la empresa se llevó a cabo mediante entrevistas no estructuradas, tanto de forma presencial, como virtual. La frecuencia de las mismas vario entre quincenal y mensual conforme a la disponibilidad ambas partes y la naturaleza de la información abordada en cada una.

Los datos relevados fueron volcados en distintas plataformas virtuales, que conformaron el entorno de trabajo del proyecto. Por un lado, para el análisis de información relativa a variables operativas de interés, como participación en ventas por producto; tiempos de ciclo, frecuencias de expedición y pedidos; se utilizó Microsoft Excel. Por otra parte, el relevamiento de flujos de operación se plasmó, en una serie de diagramas de flujo anidados desarrollados mediante Microsoft Visio. En cuanto a los planos de distribución en planta, se utilizó AutoCAD Architecture para su representación.

De cara al modelado del sistema productivo, se procedió a representar la oferta de productos de la organización, en una serie subconjuntos acotados. Aquí, se buscó facilitar su representación, disminuir el costo computacional de la simulación, y

minimizar la pérdida de información. Para ello, se crearon familias de producto aplicando el principio de Pareto con respecto a la participación en los volúmenes de fabricación y flujos de proceso compartidos.

Conformadas estas familias, se volcó, tanto la información operativa, como la secuencia lógica de procesos relevadas, al programa de simulación *Flexsim*®, en su versión estudiantil. Siendo esta la herramienta central de análisis cuantitativo de la distribución actual, y las propuestas elaboradas. Por consiguiente, se generó un conjunto de indicadores de desempeño para evaluar alternativas con respecto a variables de interés como: distancias recorridas; pesos transportados; aprovechamiento de espacio; utilización de equipos; y volúmenes de producción.

Por último, se utilizó el paquete *AHP Online System*®, una plataforma web de acceso libre y gratuito, para desarrollar el Proceso Analítico de Jerarquías en busca de establecer, en conjunto con la contraparte, un orden preferencia sobre las propuestas elaboradas, considerando múltiples criterios de decisión, y permitiendo seleccionar la propuesta de distribución en planta que mejor se ajuste a las necesidades y características de la empresa y su sistema productivo.

5 DESARROLLO

5.1 Descripción de la organización

Laboratorios Pharmamerican es una organización fundada en el año 1994, dedicada a la elaboración de suplementos nutricionales e infusiones en saquitos. En sus casi tres décadas de actividad ha logrado competir en mercados B2C y B2B en base al desarrollo de dos prioridades competitivas: calidad superior; y variedad.

La organización desarrolla todas sus funciones en su sede central, situada en un predio de 5800 m², dentro del Parque Industrial General Savio, Mar del Plata. La figura 7 presenta la ubicación geográfica y una imagen aérea del establecimiento.



Figura 7: Vista área de las instalaciones de Laboratorios Pharmamerican.

Fuente: Laboratorios Pharmamerican.

Las instalaciones constan de 3260 m² totales, distribuidos en dos plantas. La inferior abarca 2760 m² y concentra la totalidad de los sectores dedicados a operaciones, mientras que la planta alta cuenta con 500 m² destinados a oficinas, salas de conferencias, y otros espacios destinados a tareas administrativas y auxiliares. La figura 8 y 9 muestran la distribución actual de sectores, y el cuadro 2 la referencia numérica de cada uno.

Su estructura organizacional, de configuración funcional y seis niveles jerárquicos, se describe mediante el organigrama de la figura 10. El área de producción está compuesta por 33 personas, dos de las cuales tienen a cargo el manejo de materiales desde y hacia depósitos de insumos y materias primas. En lo que respecta a mantenimiento, se tendrán 5 técnicos para mantenimiento de equipos, un encargado de mantenimiento edilicio, una persona a cargo de la limpieza de las maquinas. Por otro lado, las tareas de calidad son llevadas a cabo por tres técnicos y un auxiliar. Por último, el área de expedición consta de tres operarios a cargo del armado de pedidos, y una persona que se ocupa de tareas administrativas.

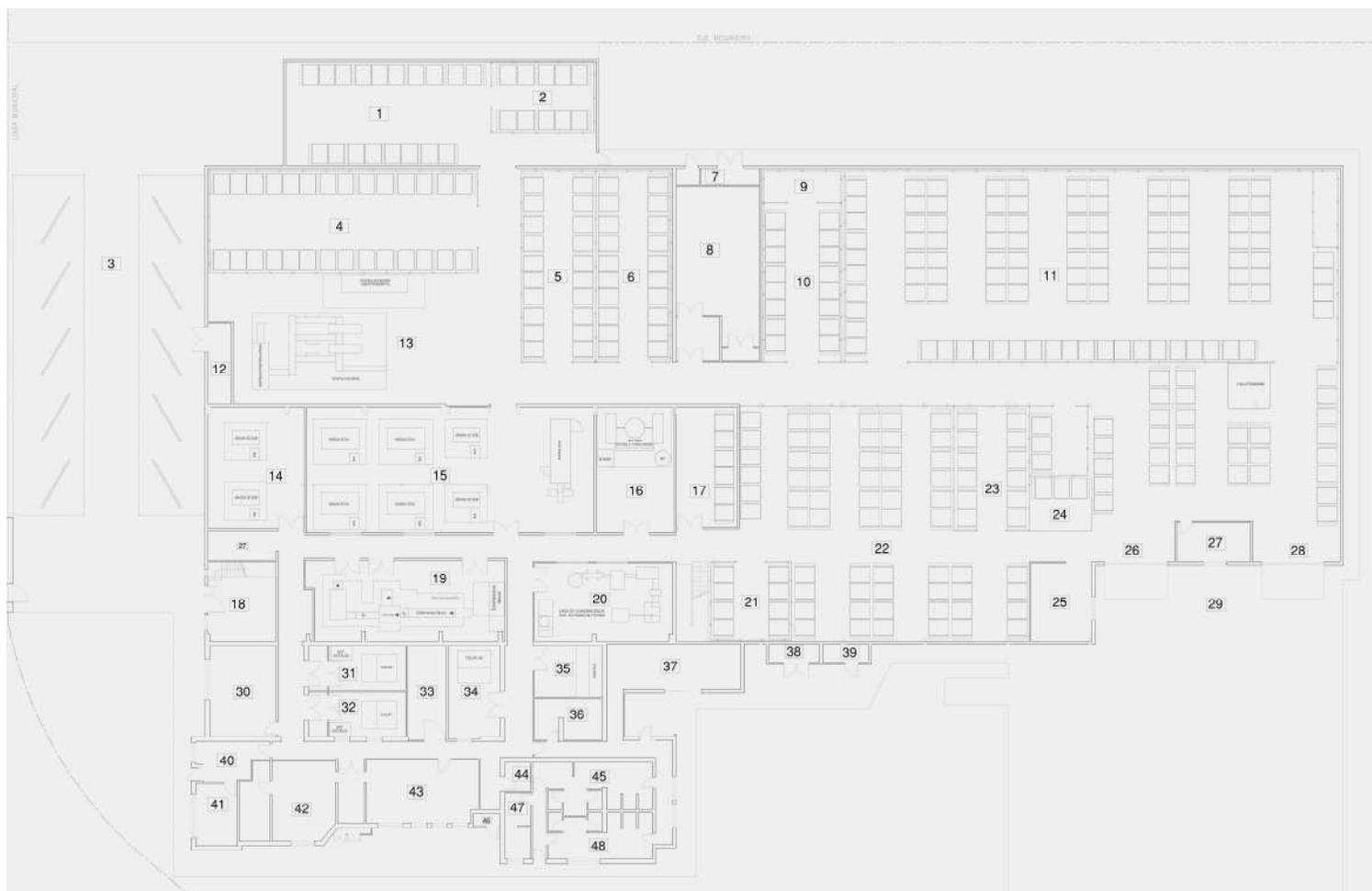


Figura 8: Distribución actual de Laboratorios Pharmamerican, planta baja.

Fuente: Elaboración propia.

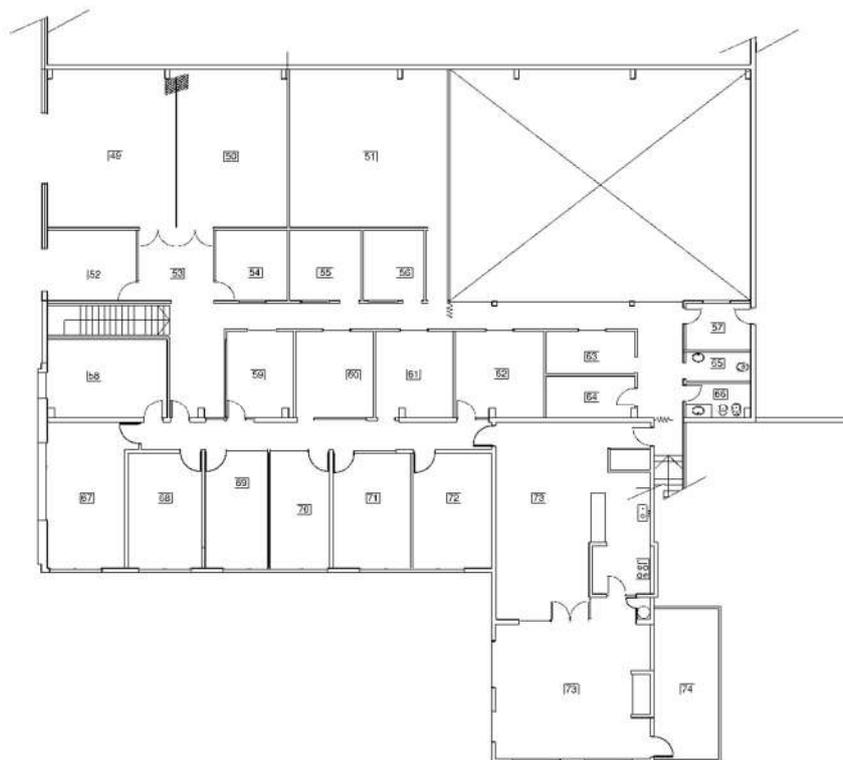


Figura 9: Distribución actual de Laboratorios Pharmamerican, planta alta.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

REFERENCIAS			
N°	SECTOR	N°	SECTOR
1.	DEPÓSITO DE INSUMOS 1	38.	GABINETE DE MANTENIMIENTO
2.	DEPÓSITO DE INSUMOS 2 (MED)	39.	GABINETE DE RESIDUOS
3.	ESTACIONAMIENTO	40.	OFICINA
4.	DEPÓSITO DE INSUMOS 3	41.	OFICINA
5.	DEPÓSITO DE INSUMOS 4	42.	CONTROL DE CALIDAD 1
6.	DEPÓSITO DE INSUMOS 5	43.	CONTROL DE CALIDAD 2
7.	GABINETE DE EXTRACCIÓN	44.	SECTOR DE LAVADO
8.	SALA DE MOLIENDA	45.	VESTUARIO Y BAÑO DE CABALLEROS
9.	MUSEO DE CONTRAMUESTRAS	46.	GABINETE DE EXTRACCIÓN I
10.	DEPÓSITO DE PRODUCTO TERMINADO 1 (MED.)	47.	LAVADERO
11.	DEPÓSITO DE PRODUCTO TERMINADO 2	48.	VESTUARIO Y BAÑO DE DAMAS
12.	GABINETE DE EXTRACCIÓN	49.	SALA DE REUNIONES
13.	SECTOR DE ACONDICIONADO	50.	AUDITORIO
14.	SALA DE FRACCIONAMIENTO DE INFUSIONES 2 (MED)	51.	ARCHIVO
15.	SALA DE FRACCIONAMIENTO DE INFUSIONES 1	52.	SALA DE EVALUACIÓN SENSORIAL
16.	SALA DE MEZCLADO (600 kg)	53.	HALL INTERNO
17.	DEPÓSITO DE CÁPSULAS	54.	OFICINA
18.	HALL DE ENTRADA	55.	OFICINA
19.	SALA DE EMBLISTADO	56.	OFICINA
20.	SALA DE ELABORACION DE SUPLEMENTOS	57.	CAMBIADOR
21.	DEPÓSITO DE PRODUCTO EN PROCESO Y RECHAZADO	58.	OFICINA
22.	DEPÓSITO DE MATERIA PRIMA 1	59.	OFICINA
23.	DEPÓSITO DE MATERIA PRIMA 2 (MED)	60.	OFICINA
24.	SECTOR DE PESAJE	61.	OFICINA
25.	SALA DE MUESTREO	62.	OFICINA
26.	AREA DE RECEPCIÓN	63.	OFICINA
27.	OFICINA 1	64.	CENTRAL INFORMATICA
28.	AREA DE EXPEDICIÓN	65.	BAÑO
29.	PLAYA SEMICUBIERTA	66.	BAÑO
30.	SALA DE FRACCIONAMIENTO DE INFUSIONES 3	67.	OFICINA
31.	SALA DE ENCAPSULADO 1	68.	OFICINA
32.	SALA DE ENCAPSULADO 2	69.	OFICINA
33.	MANTENIMIENTO	70.	OFICINA
34.	SALA DE MEZCLADO (150 kg)	71.	OFICINA
35.	SALA DE PESAJE (150 kg)	72.	OFICINA
36.	SALA DE MAESTRANZA	73.	COMEDOR
37.	GABINETE DE COMPRESOR	74.	TERRAZA

Cuadro 2: Referencias de sectores. Distribución en planta actual.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

Cabe destacar que el horario normal de operaciones es de 6:00 a 15:00. Sin embargo, puede desarrollarse un segundo turno de 15:00 a 00:00, u operar en horas extras, para afrontar aumentos esporádicos de la demanda. La plantilla descrita anteriormente corresponde, entonces, al total de puestos, fijos y temporarios, que el área de operaciones tiene a su disposición.

Pharmamerican comercializa su cartera de productos bajo dos marcas: Saint Gottard y Vitamin Way. Saint Gottard abarca infusiones a base de hierbas y frutas en saquitos, tanto medicinales como alimenticias; mientras que los suplementos nutricionales están bajo la órbita de Vitamin Way. Además, produce ambas variedades para clientes industriales, locales e internacionales.

La totalidad de variedades ofrecidas por la empresa resulta en 237 productos aproximadamente. Cabe destacar que dicha cartera incorpora y elimina productos a menudo, debido al diseño frecuente de nuevas variedades, y su posterior evaluación de desempeño en el mercado.

Por el lado de su estrategia de operaciones, Pharmamerican ha reforzado sostenidamente sus prioridades competitivas aplicando Buenas Prácticas de Fabricación y Control (GMP), y certificando la elaboración de suplementos según las normas internacionales FSSC 22000 sobre Seguridad e Inocuidad Alimentario. Esto le ha permitido, no solo la diferenciación local mencionada anteriormente, si no la expansión hacia mercado extranjeros. En la actualidad, exportan alrededor del 20% de su producción a destinos como Perú, Venezuela, Uruguay, y países de Europa. En lo que respecta a su estrategia de expansión de capacidad, se califica como intermedia; buscando afrontar aumentos de la demanda mediante la utilización de dobles turnos o la aplicación de ingeniería de procesos en estaciones limitantes mediante su equipo de mantenimiento.

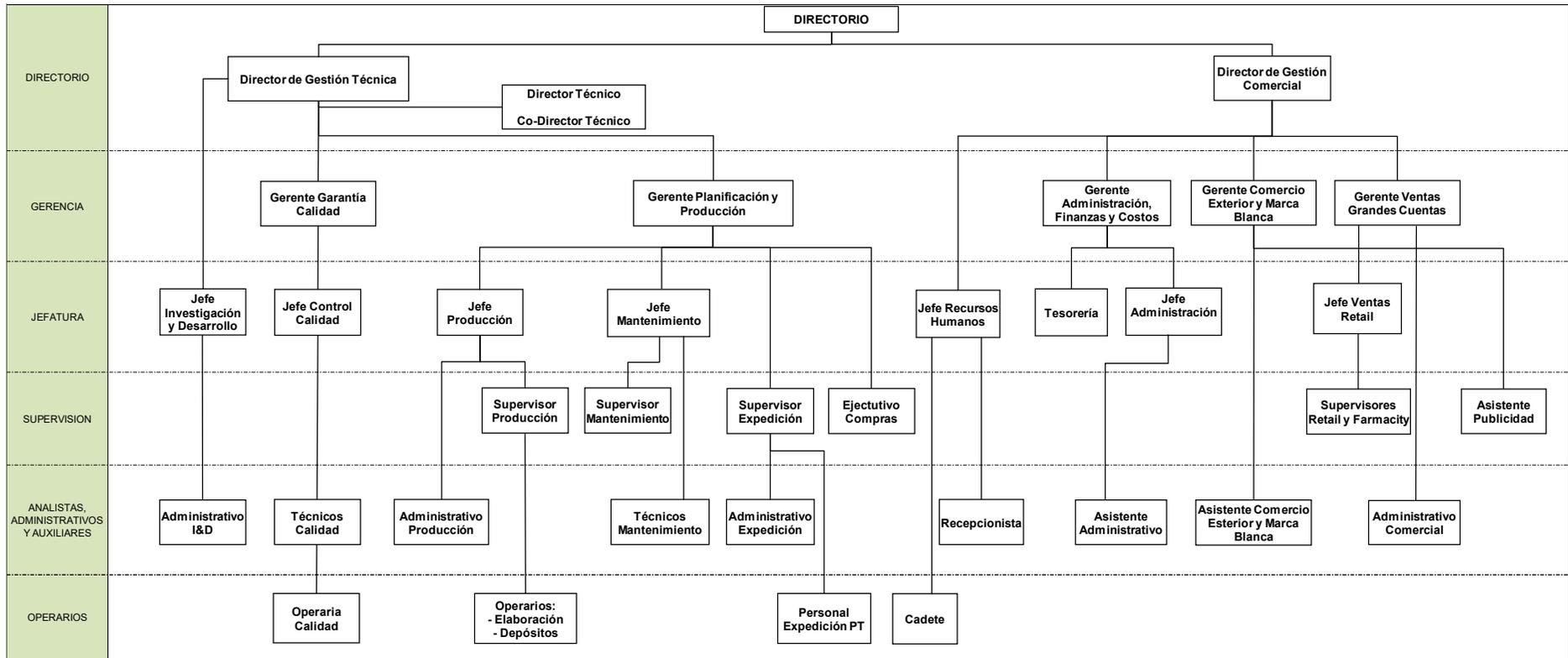


Figura 10: Organigrama de Laboratorios Pharmamerican.

Fuente: Laboratorios Pharmamerican.

5.2 Marco regulatorio y normativo

A continuación, se describen las principales implicancias de las normas existente, en relación con las condiciones de diseño y operación mínimas que las propuestas de distribución en planta deben poseer para garantizar el desarrollo de operaciones en el marco de la ley. Adicionalmente, se encuadran legalmente los distintos productos elaborados por la organización.

5.2.1 Consideraciones en la elaboración y manejo de materiales

En su mayoría las normativas aplicables a las operaciones de la organización hacen referencia a importancia de minimizar riesgos por contaminación cruzada entre distintos compuestos. Esto, a lo largo de toda la cadena de suministro interna. De esta manera, las principales condiciones y/o sugerencias fundamentales para el diseño de instalaciones manufactura surgen de las siguientes normas.:

- La Guía de Buenas Prácticas de Fabricación para Elaboradores, Importadores/Exportadores de Medicamentos de Uso Humano – documento anexo a la Disposición 4159/2023 que abarca productos fitoterápicos -.
- La Parte 1, dedicada a la producción de alimentos, del Programa de Prerrequisitos de inocuidad de los alimentos de la ISO - ISO/TS 22002-1:2009 -, que surge del Esquema de la certificación FSSC 22000 para los sistemas de gestión de la inocuidad de los alimentos.

A continuación, se listan las principales obligaciones y consideraciones estipuladas.

- Toma y conservación por, al menos, un año luego de la fecha de caducidad, de muestras de referencia de cada lote de producto terminado.
- Las superficies interiores, como pisos, paredes y techos, que contenga materias primas o productos intermedios deben ser lisas, de fácil limpieza, y no desprender partículas.

- Las zonas de producción deben estar correctamente ventiladas, utilizando las instalaciones de acondicionamiento y/o extracción y filtrado de aire necesarias, para minimizar el riesgo de contaminación y contaminación cruzada.
- Debe existir un área controlada para el muestreo de materias primas e insumos.
- Para el almacenamiento de materias primas defectuosas o productos rechazados debe disponerse una zona separa, de acceso restringido.
- Los laboratorios de control de calidad deben estar separados de la zona de producción.
- Los sanitarios no deben comunicarse directamente con la zona de producción o almacenamiento. Lo mismo aplica en caso de ser necesarios vestuarios.
- Siempre que se almacenen repuestos o herramental de mantenimiento, deberá contarse con un armario o sala exclusiva para dicho fin.
- La rotación de existencias debe realizarse por la regla de primero vence, primero sale – F.E.F.O -.
- Salvo que no haya riesgo de contaminación cruzada, no debe llevarse a cabo en la misma sala la elaboración, simultanea o consecutiva, de distintos productos. Una medida organizativa sugerida por la guía es la producción por lotes, en zonas dedicadas, seguidas de un proceso de limpieza detallado.
- No deben acondicionarse – envasarse, embalsarse, envolverse o empaquetarse – distintos productos en estrecha proximidad, salvo que exista una separación física.
- Las drogas vegetales deben almacenarse en áreas separadas

5.2.2 Código de ordenamiento territorial

El municipio de General Pueyrredón dispone, en el capítulo 6, apartado 6.9.5 de su Código de Ordenamiento Territorial, al Parque Industrial y Tecnológico General

Savio como uno de sus cinco distritos industriales. Entre los lineamientos establecidos se consideran asociados al trabajo, los siguientes:

- Factor de ocupación superficial igual a 0.5
- Factor de ocupación total máximo igual a 1.5, sujeto a incrementos, de hasta un 70%, estipulados en los apartados 3.2.2.7 y 3.2.2.10/a del mismo código.
- Plano límite de 15 metros
- Retiros perimetrales mínimos de 7m.
- Se permiten edificios de perímetro libre exclusivamente.
- Las playas de estacionamiento, maniobra o vías vehiculares de los establecimientos deben construirse en hormigón armado o simple, losetas, premoldeados de hormigón o pavimentos denominados articulados.
- Es obligatoria la construcción de cercos divisorios, de hasta 2.5 metros de altura, realizados en alambre y pudiente complementarse con cercos vivos.

5.3 Situación actual y proyección a futuro

Pharmamerican está atravesando un proceso de crecimiento sostenido desde hace ya varias décadas. Naturalmente, el mismo ha sufrido mermas y vaivenes producto de los ciclos económicos locales e internacionales, siendo el último periodo negativo el año 2020. Sin embargo, desde la organización sostienen que la tendencia creciente, aun sujeta a cuestiones coyunturales, seguirá manteniéndose.

Además, en base al comportamiento diferenciado en ventas históricas que vienen mostrando los suplementos con respecto a las infusiones, es que se proyectaron dos tasas de crecimiento distintas. Por el lado de los suplementos, son la línea de productos más joven de la organización y han obtenido aceptación en mercados locales e internacionales. Con lo cual, se muestran con mayor potencial de expansión. Se espera duplicar su producción durante los próximos cinco años. En cuanto a las infusiones, siendo una oferta tradicional y más madura, sus proyecciones son más

modestas. Para el horizonte estipulado, se estima un aumento del 30% en su producción.

5.4 Relevamiento de cartera de productos

Como se mencionó en el apartado 3.1, se puede desglosar la cartera de Pharmamerican en dos tipos de productos: suplementos nutricionales, e infusiones en saquito. La participación de ambas categorías en las 237 variedades se expresa en la figura 11.

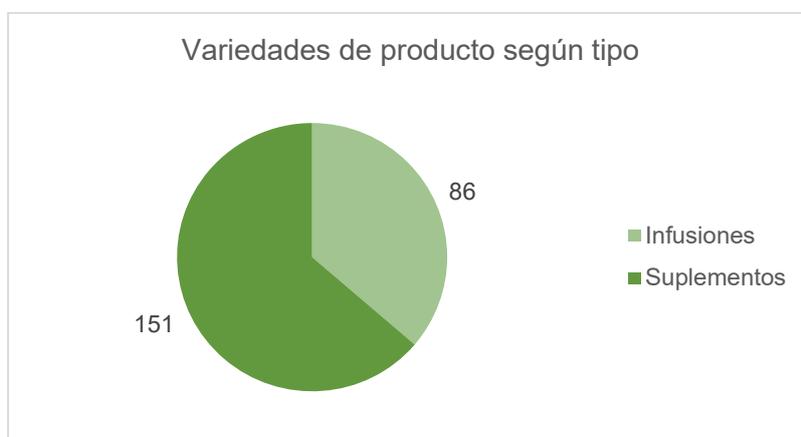


Figura 11: Variedades de producto según tipo.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

Con el fin de lograr un mayor entendimiento los distintos flujos de producción, se profundiza la segmentación de las 237 variedades.

5.4.1 Cartera de infusiones

Una distinción elemental es identificar infusiones basadas en una única hierba - de aquí en adelante infusiones Monohierba -, y las que incorporan múltiples hierbas y aditivos en su receta – de aquí en adelante, Infusiones Multihierba -. Así, si bien solo ocho variedades de las 86 totales resultan Monohierba, estas representan más del 20% de las ventas de infusiones.

Por otra parte, las infusiones Multihierba se dividen en dos grupos principales según se traten de alimentos, o medicamentos fitoterápicos – de aquí en adelante

llamadas infusiones Medicinales -. Estas últimas están sujetas a condiciones particulares de almacenamiento y procesamiento, que surgen del marco legal desarrollado en el apartado X.X. De las 78 variedades Multihierba, nueve se caracterizan como medicinales, y abarcan alrededor del 10% de las ventas de infusiones. La descomposición de las 86 variedades según la naturaleza de sus materias primas se plasma en la figura 12.

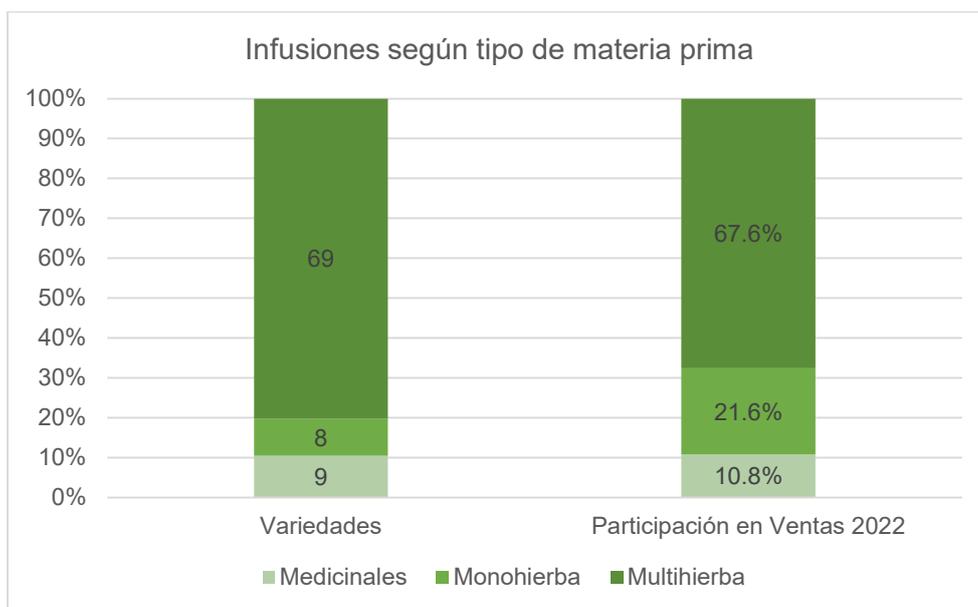


Figura 12: Ventas y cantidad de productos según tipo de materia prima.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

Además del tipo de materia prima, existen características adicionales que diferencian infusiones entre sí. Una de ellas es el mix de saquitos incluidos en una unidad de producto, en donde se hayan variedades que combinan saquitos de diversos sabores de té– de aquí en adelante llamadas Variedades Frutales -. Solo cuatro de los 69 té Multihierba pertenecen a esta categoría, y abarcan menos de un 1% de las ventas.

Otra diferencia tiene que ver con los formatos de presentación, referidos como la cantidad de saquitos por unidad utilizados. Se elaboran infusiones en cajas de 20 o 15 saquitos cada una, siendo el formato de 15 una solicitud específica de dos clientes industriales – terceros que comercializan bajo marca propia -. Existe un total de 11

variedades de esta naturaleza, cuya participación en ventas es menor al 1%, y se clasifican como Multihierba en base a las materias primas que utilizan. Algo similar ocurre con las unidades que tienen destino de exportación, las cuales se disponen en cajas de cartón al final de proceso. Éstas, representan aproximadamente el 20% de la producción total.

Por último, la diferenciación más significativa que se da en estos productos tiene que ver con el tipo de sobre envoltura – envoltorio individual del saquito de té - utilizado para su elaboración. Pharmamerican trabaja con dos materiales de sobre envoltura: papel obra y polipropileno biorientado. El impacto en los procesos producto del uso de estas dos ramas de sobre envoltura se abordan en el análisis de operaciones. La figura 13 presenta el desglose las 86 infusiones con respecto del tipo de sobre envoltura utilizado.

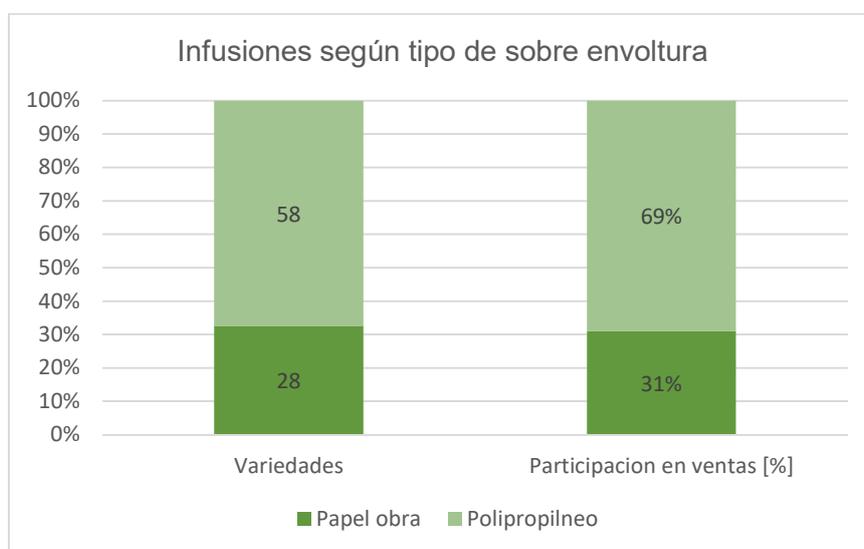


Figura 13: Variedades se infusiones y su participación en ventas según tipo de sobre envoltura.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

5.4.2 Cartera de suplementos

Los 151 suplementos nutricionales elaborados en Pharmamerican pueden subdividirse según su método de ingesta en dos: polvos bebibles y cápsulas. La figura 14 muestra cómo se distribuyen los suplementos según ambas categorías.

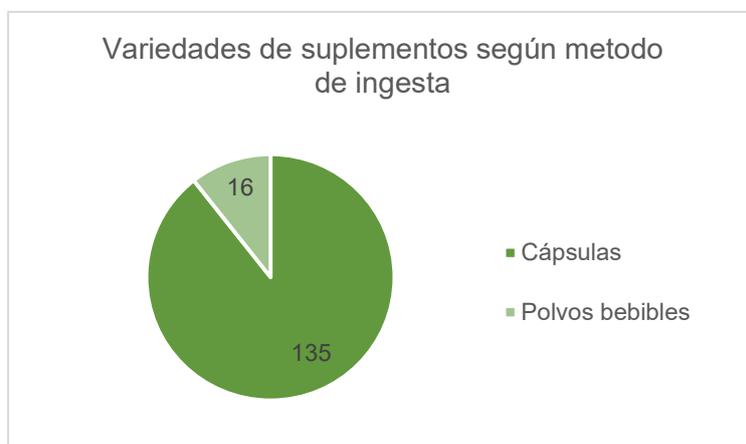


Figura 14: Variedades suplementos según método de ingesta.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

Por un lado, las variedades de polvos bebibles presentan variaciones con respecto a los insumos que utilizan. Existen dos productos cuyo formato de pote difiere de la presentación estándar de 360 gramos, a una de 175 gramos. Aunque, su representación en ventas resulta menor al 2% de los suplementos bebibles. En lo que respecta a su proceso productivo, la divergencia más significativa tiene lugar en las etapas de envasado final, donde las unidades destinadas al mercado local, que representan alrededor del 50% de la producción, se empaquetan utilizando una película de P.V.C. termo contraíble; mientras que el 50% restante, que corresponde a producción para terceros y mercados internacionales, se dispone en cajas de cartón.

Por otra parte, las 135 variedades de suplementos en cápsula constituyen un grupo más heterogéneo. En primer lugar, existen suplementos, tanto en cápsulas rígidas, como en cápsulas blandas. Estos últimos, constituyen un conjunto minoritario de 9 productos que representan cerca de un 7% de las ventas - expresada en cantidad de cápsulas vendidas -, tal como se observa en la figura 15.

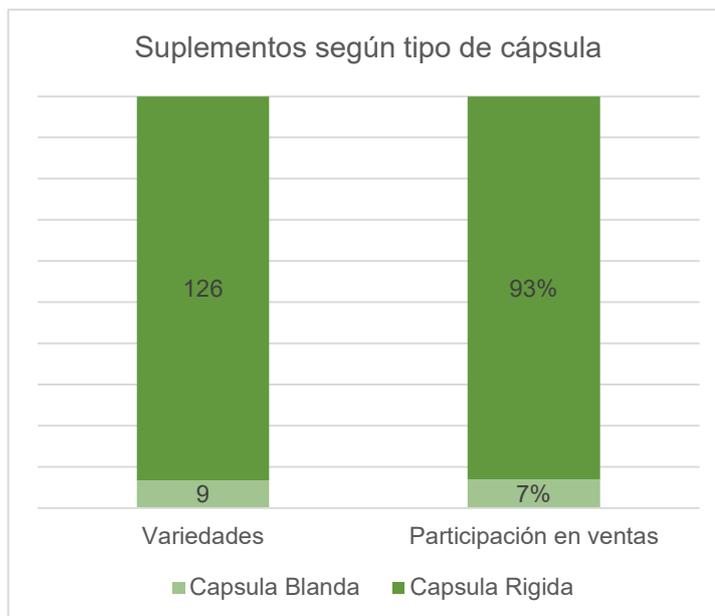


Figura 15: Variedades y participación en ventas de suplementos según tipo de cápsula.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

Cabe destacar que la totalidad de capsulas blandas – entendidas como productos semielaborados conformados por la capsula rellena con el compuesto nutricional – son adquiridas de un proveedor externo. Sin embargo, los procesos restantes para su elaboración son análogos a los de capsulas rígidas.

Por otra parte, dentro de las variedades en capsula rígida pueden Identificarse, al igual que en las infusiones, suplementos medicinales. Existen tres productos de esta naturaleza, entre los 126 totales, cuya participación en ventas es cercana al 2%.

Otra categorización posible para los suplementos proviene del formato de envase utilizado. Pharmamerican trabaja con dos alternativas: Blísteres plásticos sellados con una lámina de aluminio, y frascos plásticos translucidos.

La figura 16 muestra la clasificación de suplementos en cápsulas, y su volumen relativo de ventas – expresado según cantidad de cápsulas vendidas -, según ambos formatos.

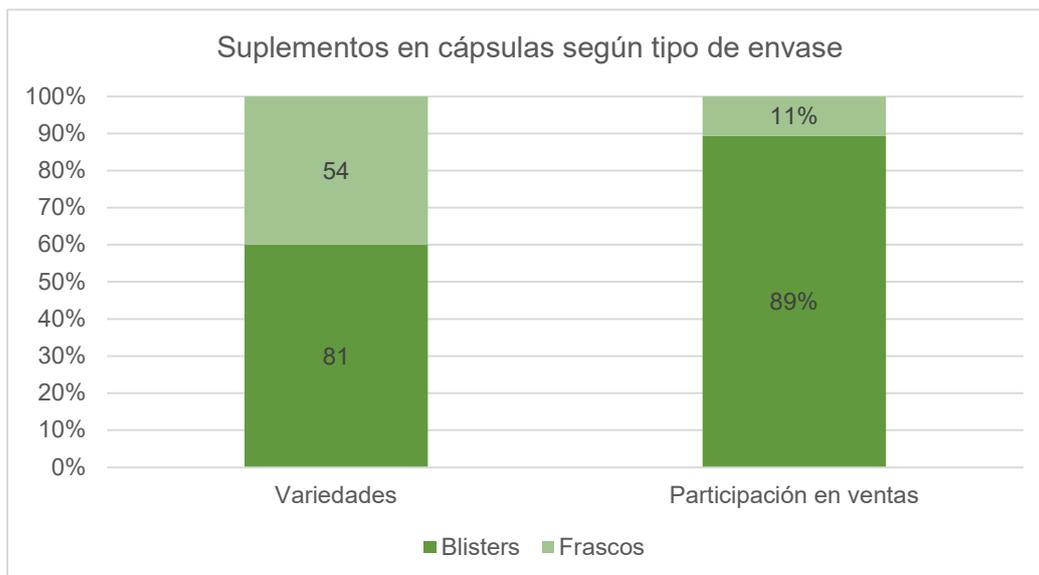


Figura 16: Clasificación y ventas relativas de suplementos en cápsulas según formato del envase.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

Adicionalmente, estos productos se ofrecen al consumidor en diversos tamaños – entendidos como el número de cápsulas por unidad de producto terminado -. Pharmamerican elabora frascos de 30 y 60 cápsulas; y cajas de blíster de 20,30,60,120 y 150 unidades. Las figuras 17 y 18 profundizan respecto de la participación en ventas de cada formato de elaboración.

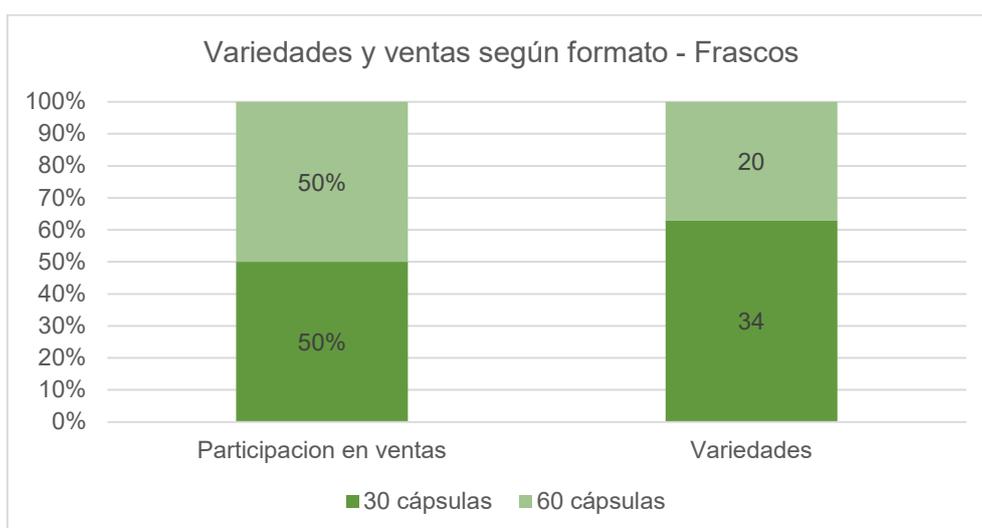


Figura 17: Variedades y participación en ventas de suplementos en cápsulas envasados en frascos, según formato de presentación.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

Por el lado de los frascos, la misma es equitativa en términos de cápsulas, lo que implica la doble producción para frascos de 30 unidades respecto de los de 60. Además, las 14 variedades adicionales que existen en formato de 30 cápsulas implican exclusividad de ciertas variedades; otra preferencia de los clientes industriales.

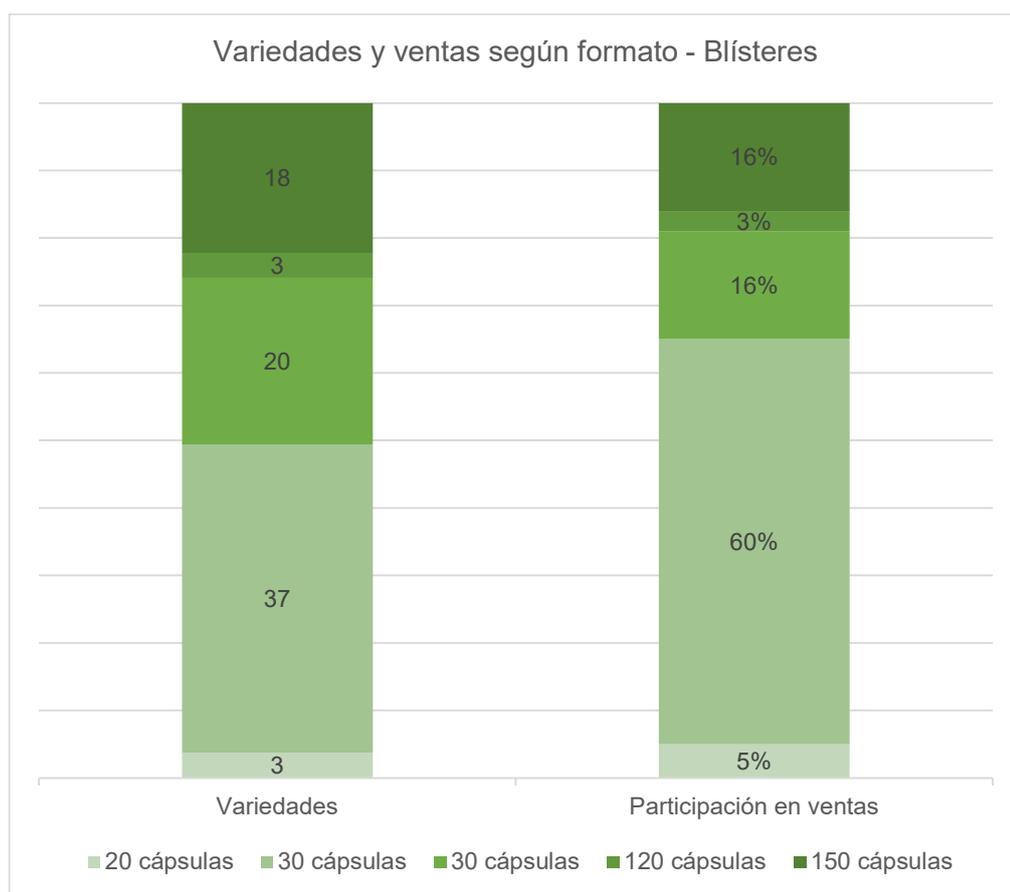


Figura 18: Variedades y participación en ventas de suplementos en cápsulas envasados en blísteres, según formato de presentación.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

Con respecto a los blísteres, el formato de 30 cápsulas resulta dominante dentro del conjunto, con casi la mitad de las variedades, y un 60% del volumen total fabricado. Cabe destacar importante destacar que la organización pretende dejar de elaborar presentaciones de 120 y 150 cápsulas, de baja participación en ventas. Todos

formatos se componen en base a combinaciones de blísteres de 10 capsulas cada uno.

5.5 Descripción y análisis de operaciones

Como se mencionó, Laboratorios Pharmamerican administra de sus cadenas de suministro en base a dos prioridades competitivas: variedad, y calidad superior. La estrategia de procesos adoptada para el desarrollo de estas se caracteriza, en primer lugar, por un grado de participación del cliente medio, traccionado en mayor medida por las especificaciones solicitadas por sus clientes industriales, que implican el aprovisionamiento de insumos personalizados. La organización también ha decidido operar bajo una estructura de procesos de lotes grande o chicos, según el producto en cuestión.

En la transformación de estos lotes se observan procesos de una intensidad de capital media-alta. La maquinaria tendrá el rol principal en el agregado de valor a lo largo de toda la cadena de suministros, teniendo esta mayor o menor grado de automatización según el producto elaborado. Sin embargo, la mano de obra está a cargo de gran parte de las actividades de carga, descarga y configuración de los equipos.

Por último, los recursos disponibles para operaciones tienen un grado intermedio de flexibilidad. Por el lado del personal operativo, toda la plantilla tiene conocimientos necesarios para operar en la mayoría de las estaciones. Sin embargo, la rotación de puestos la limita en pos de mantener la eficiencia. Con respecto a la adaptabilidad de los equipos, la misma existe en términos de la cantidad de variedades que pueden operar cada uno de ellos. Pero, hay rigidez presente a la hora de ejecutar cambios de configuración, o formato; impuesta por el diseño de los equipos, las características intrínsecas de los productos, y el cumplimiento de las normativas.

A continuación, se describen los procesos que forman parte de dicha cadena. La figura 19 plantea un el diagrama de flujo para los cuatro grandes subprocesos

fundamentales en las actividades productivas de la organización.

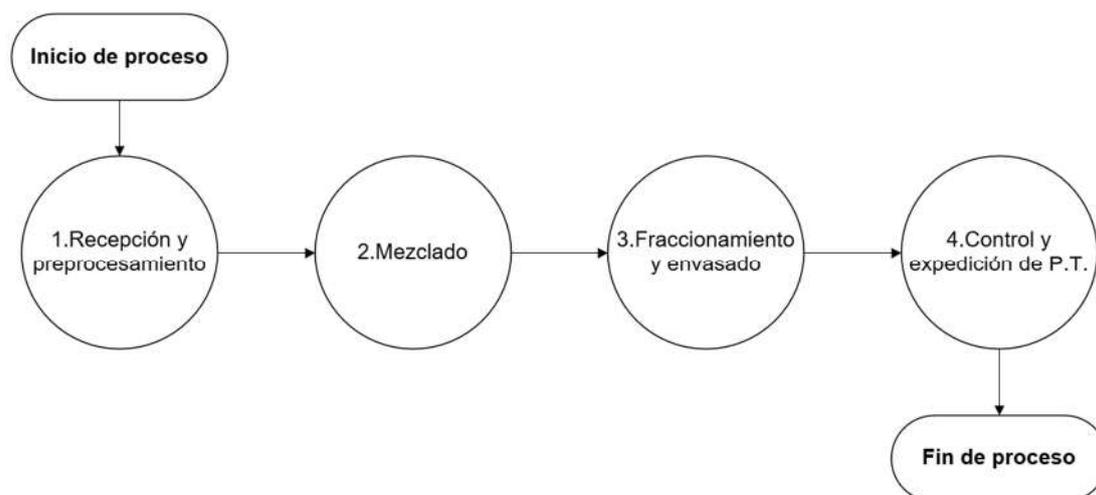


Figura 19: Diagrama de flujo para subprocesos principales de la función de operaciones.

Fuente: Elaboración propia.

5.5.1 Recepción y preprocesamiento

Como política de aprovisionamiento, Pharmamerican realiza acuerdos anuales con sus principales proveedores, en base a pronósticos de ventas, que se traducen en requerimientos estimados de material. Las liberaciones de pedidos se desarrollan en general con frecuencia mensual. La totalidad de los ingresos a planta son gestionados en un único sector de recepción – ver cuadro 2 – sector 26 -.

La secuencia de etapas que este proceso consta de: la recepción y descarga; un control de cantidades; y un muestreo para el posterior control de calidad. Las principales variaciones tienen lugar en los controles de calidad, cuyos protocolos varían según el material inspeccionado. Por ejemplo, los insumos gráficos recibidos - entendidos como aquellos que contienen descripciones del producto; número de lote; o logotipos -, requieren cotejarse contra las últimas versiones aprobadas por la gerencia comercial. En estos casos, la liberación tiene una demora de un día y medio. En contraste, insumos más sencillos, como potes, frascos, o cucharas; demoran medio día.

En lo que respecta a materias primas, las destinadas a la elaboración de productos medicinales se someterán a los estudios microbiológicos correspondientes, cuya duración varía entre cinco y siete días. Por otra parte, hierbas alimenticias o suplementos en polvo se realiza un muestreo individual, y posterior control en laboratorios, liberándose en el transcurso de un día. Cabe destacar que, luego de realizado en control de cantidades y las tareas de muestreo necesarias, el producto se almacenara de manera transitoria, con circulación limitada en planta y con una etiqueta que indica un estado de cuarentena. Esto, hasta tanto se confirme su liberación por el área de calidad. Todas estas actividades se contemplan en los tiempos descritos para los distintos protocolos de muestreo y control calidad.

La segunda instancia de este subproceso involucra dos actividades de preprocesamiento: la molienda, y la irradiación. Éstas aplican solo a materias primas herbarias, siendo los suplementos en polvo e insumos transportados al almacén. La figura 20 se presenta el flujograma de todo el subproceso de recepción y preprocesamiento.

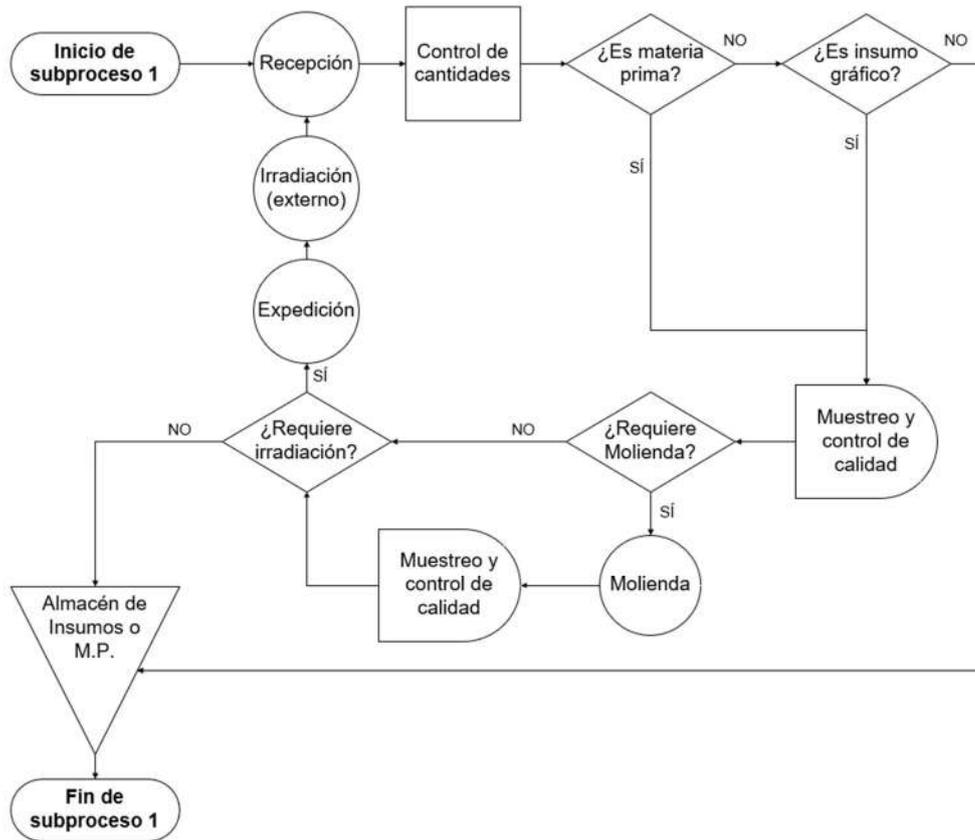


Figura 20: Diagrama de subproceso 1: Recepción y preprocesamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Por un lado, la etapa de molienda será necesaria cuando se requiera modificar la estructura de materias primas herbarias, de manera que sea factible y preciso su posterior dosificado y fraccionamiento. Es común que ciertas variedades como la Manzanilla o el Cedrón, de las cuales se adquiere la planta entera, atraviesen esta etapa. La estación consta de una moledora como equipo principal, cuya capacidad de oscila en los 49 kg/h, y requiere limpieza a la hora de cambiar la variedad de hierba procesada. Anexo al mismo, se tendrá un circuito de ventilación a cargo de la aspiración, separación, y extracción de partículas. Además, se utiliza una báscula para el control de peso al finalizar el proceso – ver cuadro 2, sectores 7 y 8 -. La merma producto de la molienda es de alrededor de un 10% de peso total.

La etapa siguiente es la irradiación, un proceso fisicoquímico de control microbiológico, al cual es sometida toda hierba destinada a la elaboración de productos medicinales; y algunas especies particulares, como la Manzanilla, independientemente de su destino final. La irradiación es llevada a cabo por un proveedor externo, cuya demora promedio es de 5 días.

De esta manera, alrededor del 40% de los kilogramos ingresados atraviesan la etapa de molienda, y cerca de un 20% se envían para su irradiación. Como se observa en la figura 20, luego realizada alguna de estas instancias, se procede con el muestreo y control de calidad pertinente. Cabe destacar que las actividades que dicho control incluya pueden darse en distintos estadios de la materia prima. Por ejemplo, un lote de hierbas que requiera molienda e irradiación atraviesa, en general, dos controles de cantidades, uno por cada ingreso a planta; tres muestreos, uno por cada estado que adquiera; y un control microbiológico final, cuyo resultado es la liberación, o no, de la materia prima.

Por último, para cumplir con las normativas vigentes, los almacenes están estructurados de forma separar los sectores destinados a materias primas e insumos; y a su vez separar físicamente aquellos destinados a la elaboración de variedades medicinales, del resto.

5.5.2 Mezclado

El segundo subproceso cumple un rol fundamental en la cadena de valor, ya que elaborar la receta correspondiente a cada producto. Sus actividades principales se describen en el flujograma de la figura 21. Cabe destacar que, por definición, las infusiones Monohierba no requieren atravesar las etapas de dosificado y mezclado, siendo recolectadas del almacén y transportadas al proceso siguiente.

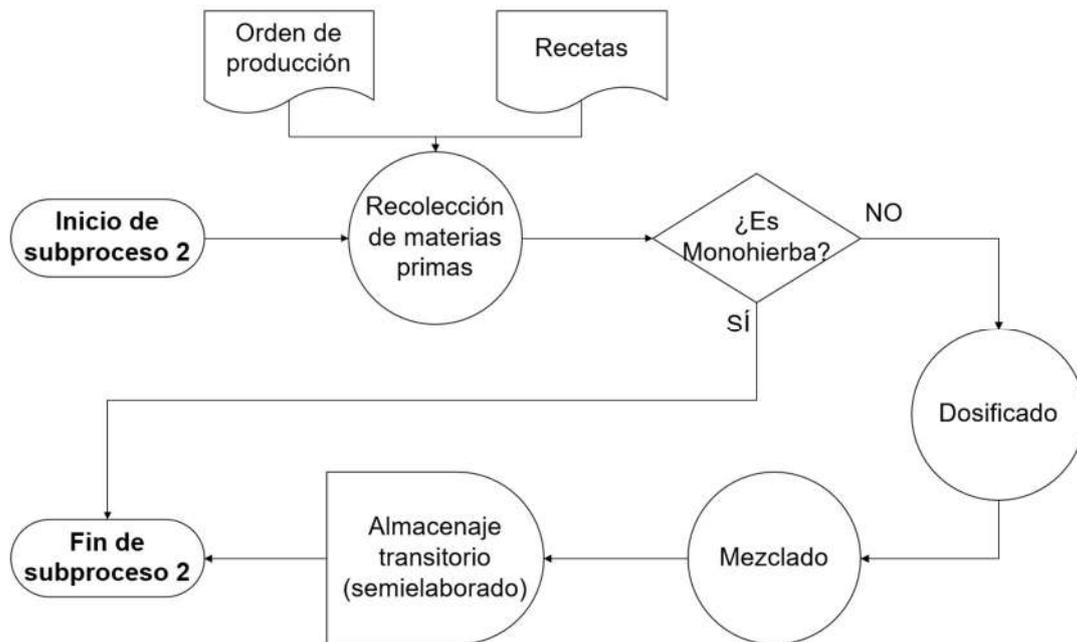


Figura 21: Diagrama de flujo de subproceso 2: Mezclado.

Fuente: Elaboración propia.

El proceso comienza con la recolección de las materias primas necesarias, que surgen de las ordenes de producción emitidas, y las recetas anexas que cada elaboración posee. Es importante destacar que es común la utilización de una misma mezcla para múltiples variedades de producto final, ya sea por variación en su formato de presentación, o de la marca bajo la cual se comercialice. La orden de producción también asignara el tamaño de lote a elaborar, que varía desde los 90 y los 600 kilogramos según la variedad procesada.

Luego, se procede a la etapa de dosificado, donde el operario, haciendo uso de una báscula, incorpora las cantidades necesarias de cada materia prima en bins plásticos. Si bien esta actividad es de naturaleza sencilla, la variedad de materias primas trabajadas, la precisión que requieren ciertas recetas, y el tamaño del lote, resultan en tiempos de proceso considerables.

El tamaño del lote viene dado por la capacidad de la tolva de mezclado. Pharmamerican cuenta con dos equipos para esta tarea, de 150kg y 600kg – ver cuadro 2, sectores 16, 34 y 35 -. Los equipos se cargan con la preparación, se inicia el proceso de mezclado dentro del recipiente, para luego extraer, de forma manual en el equipo de 150 kg y mediante un equipo de aspiración en el de 600 kg, una mezcla homogénea. Al igual que el dosificado, el tiempo de operación dependerá del tipo de producto y el tamaño del lote. Adicionalmente, es necesaria una limpieza completa del equipo entre distintos lotes de producto, la cual se realiza por personal especializado.

De esta forma, cuando se elaboran lotes de pequeña capacidad el tiempo de ciclo para la etapa de dosificado y mezclado fluctúa entre los 50 y 60 minutos para infusiones; y 100 y 120 minutos para suplementos. Mientras que, para la fabricación de lotes grandes, 160 y 240 minutos. Además, se prevén 30 minutos entre lotes consecutivos para la limpieza de ambas estaciones.

Por último, el producto semielaborado obtenido se dispone en bins plásticos, y se almacena en el depósito correspondiente. Las ordenes de producción se emiten estipulando una demora de un día entre la finalización del proceso de mezclado, y el inicio del fraccionado del lote.

5.5.3 Fraccionamiento y envasado

Este subproceso es el punto de divergencia principal para los flujos de operación de Pharmamerican, ya que se observan diferencias marcadas entre la producción de infusiones, y suplementos. Una característica fundamental de estos procesos es que el fraccionado es de carácter volumétrico. Esto implica que el desperdicio en los procesos tenga dos componentes. La primera surge de unidades producidas que no cumplen con estándares mínimos, y se descartan. La segunda es producto de la precisión del fraccionado, la cual varía en relación con la densidad de la

mezcla procesada. La figura 22 presenta las etapas dominantes según la variedad de producto elaborada.

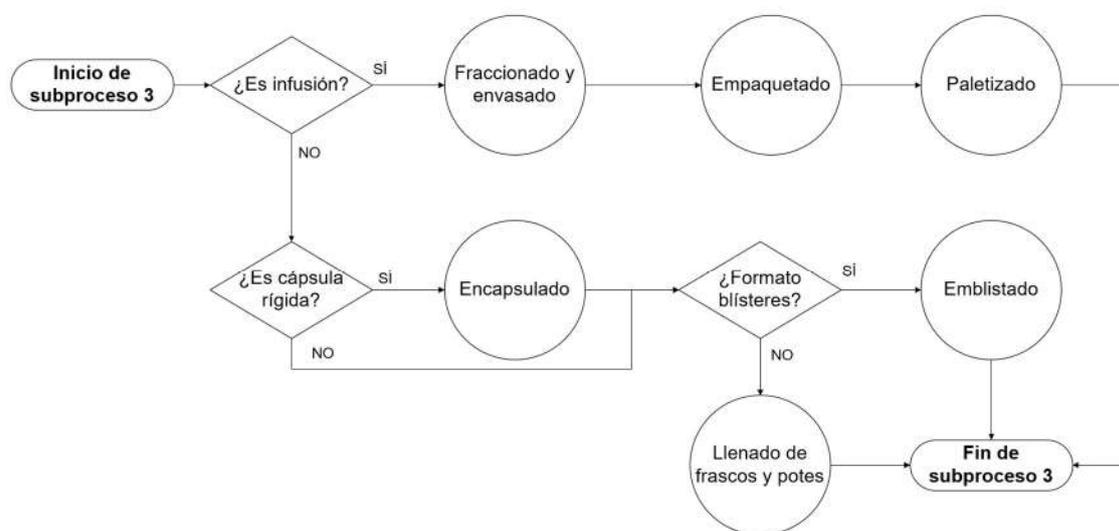


Figura 22: Diagramas de flujo de subproceso 3: Fraccionamiento y envasado, de suplementos e infusiones.

Fuente: Elaboración propia.

Si bien se conserva la estructura de procesos por lotes, la organización de algunas estaciones según el tipo de producto evidencia cierta linealidad en las operaciones. A continuación, se desarrolla, con mayor detalle y en dos flujogramas, la secuencia de operaciones que siguen las infusiones y los suplementos nutricionales.

5.5.3.1 Fraccionado y envasado de infusiones

Estas actividades tienen lugar en tres salas de elaboración – ver cuadro 2, sectores 14, 15 y 30 -. El lado derecho de la primera sala aloja un equipo de fraccionado integral, utilizado exclusivamente para la producción de infusiones Monohierba. Este, toma la mezcla de hierbas de los contenedores plásticos mediante un equipo de aspirado; fracciona la cantidad necesaria dentro de cada saquito; envuelve estos en el sobre correspondiente; y los dispone en estuches, que luego sella y codifica. Adicionalmente, la máquina tiene anexo un chequeador de peso, que descarta automáticamente unidades que no cumplan los estándares fijados.

Una particularidad de esta estación es que no precisa de insumos plásticos para el envasado primario, ya que su diseño permite, utilizando un formato específico de estuche, sellar herméticamente el mismo sin necesidad de una envoltura plástica.

Tanto el tiempo de proceso, como la intervención humana en cada ciclo, son los más acotados de todas las fraccionadoras de infusiones. La capacidad promedio alcanza los 648 estuches por hora; y el operario está a cargo de la puesta en marcha de la máquina y el paletizado de estuches producidos. También, se requiere un periodo de tres horas para llevar a cabo la limpieza y cambio variedad de procesada.

El lado izquierdo de esta sala cuenta con seis fraccionadoras semiautomáticas, dedicadas únicamente a procesar infusiones Multihierba. Una de ellas, configurada para operar sobre envoltura tipo papel obra, mientras que las restantes fraccionan utilizando polipropileno biorientado. De forma similar, en la segunda sala se ubican dos fraccionadoras semiautomáticas, que operan con infusiones Medicinales. Éstas, también están configuradas para operar con sobre envoltura tipo papel obra.

En los equipos semiautomáticos la carga de hierbas es manual, y cada ciclo del equipo elabora un saquito de té envuelto su sobre. En paralelo, el operario se encarga del armado del estuche y la disposición de los sobres dentro del mismo. Por último, haciendo uso de una balanza pequeña dispuesta en cada estación, el operario pesa primero el estuche vacío, y luego completo, descartando la unidad si no cumple con los estándares establecidos. La capacidad de estas estaciones oscila entre los 360 y los 390 estuches por hora, precisando dedicar 60 minutos a la limpieza del equipo antes de procesar otro lote.

La tercera y última sala es la selección y elaboración de Variedades Frutales. Este tipo de productos toman los lotes de saquitos sueltos elaborados en las salas dos o tres, y utilizan un seleccionador semiautomático para disponer la cantidad correspondiente de cada variedad dentro de un único estuche. Para su operación se

requiere de tres operarios, a cargo de disponer los saquitos en el equipo, armar los estuches, y colocar en pallets de estuches llenos.

Para el codificado y envasado primario de infusiones Multihierba, Medicinales, y Variedades Frutales se transportan los lotes a un área independiente – ver cuadro 2, sector 13 -, donde se dispone una línea de procesamiento. La secuencia de etapas consta el ingreso a una única cinta transportadora, que luego deriva las unidades de producto en proceso a tres cintas anexas, cada una con un equipo de envasado y codificado propio. Como resultado, la unidad tendrá aplicada una envoltura plástica y un código único de lote. La capacidad de los equipos ronda entre los 3600 y 3700 estuches por hora, requiriendo un periodo de configuración previo de 30 minutos. El final de línea converge nuevamente a una única cinta, que transporta los estuches hacia una de las estaciones de empaquetado.

La etapa de empaquetado es donde el flujo de actividades de todas las variedades, volviendo a una configuración por procesos. Existen dos equipos de empaquetado, cuya función es agrupar estuches individuales de producto en paquetes de seis unidades. El primero se encuentra anexo a la línea de codificado y envasado primario, y opera a una tasa de 600 paquetes por hora. El segundo constituye una estación independiente que se utiliza para procesar lotes de infusiones Monohierba, y algunas variedades de suplementos nutricionales. Posee una capacidad de 540 paquetes por hora. Cabe destacar que, existen ocasiones donde la producción planificada requiere ocupar la empaquetadora configurada en línea para procesar infusiones Monohierba.

Luego del empaquetado, si el lote procesado pertenece al 20% de la producción que tiene destino de exportación, se incorpora una etapa de encajado manual, previa a su disposición en pallets. En el diagrama de flujo de la figura 23 se plasman las operaciones descritas.

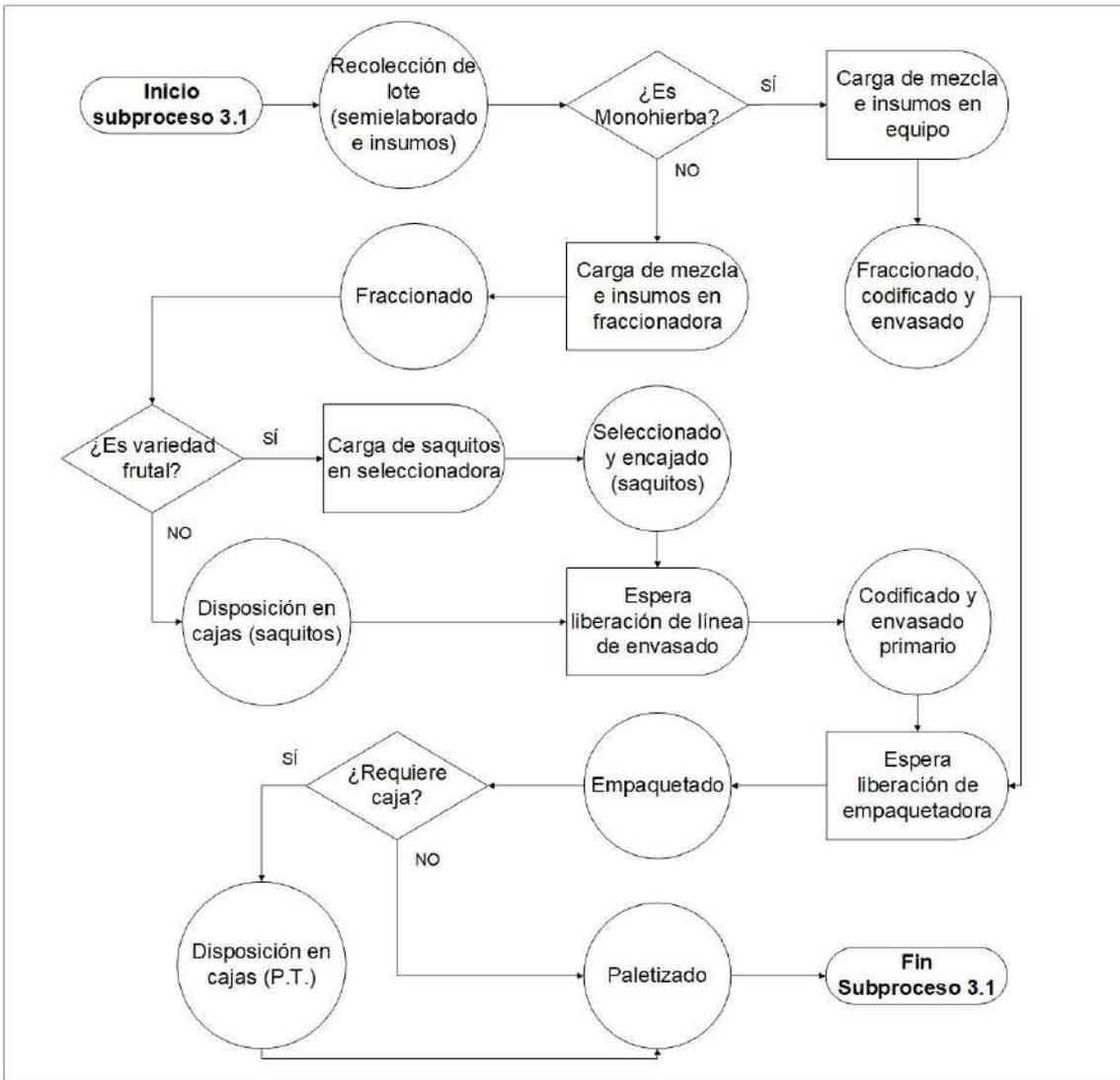


Figura 23: Diagrama de flujo subproceso 3.1: fraccionado y envasado de infusiones.

Fuente: Elaboración propia.

5.5.3.2 Fraccionado y envasado de suplementos

Este conjunto de procesos también se estructura en torno a productos en algunas etapas. En caso de las variedades en capsulas rígidas, se transporta el lote hacia una de las dos salas de encapsulado. En cada una hay dos equipos, una encapsuladora semiautomática, y un detector de metales. El encapsulado tiene dos etapas principales, el llenado de la mitad inferior de cada capsula, y la posterior unión de ambas mitades, que resultan en la capsula sellada. Para el llenado se carga de forma manual la mezcla en equipo, y se disponen las medias capsulas sobre un disco rotatorio,

sobre el cual el equipo vierte de forma continua la mezcla. En paralelo al llenado, el operario posiciona las mitades superiores de las capsulas sobre un disco fijo, que actuara de forma similar a una prensa, para lograr el sellado final. La capacidad del encapsulado es de 13000 capsulas por hora, mientras que el rendimiento del lote será de entre 93000, y 105000 unidades. Además, estas estaciones conllevan un proceso de limpieza entre lotes de X horas de duración.

Finalizado el encapsulado, el lote se somete a una inspección crítica con el detector de metales. Luego, el lote aprobado se transporta hasta el depósito de productos semielaborados, donde permanecerá almacenado, bajo condiciones normales de operación, hasta la jornada siguiente.

Los procesos posteriores se dividen en dos salas de producción. La primera, utilizada para la fabricación de blísteres con cuatro equipos dispuestos en línea: dos emblistadoras, una estuchadora, y una empaquetadora – ver cuadro 2, sector 19 -. El movimiento de producto en proceso entre todos ellos se realiza de forma manual. Cabe destacar que los equipos de emblistado poseen tasas de producción dispares, siendo la del más antiguo un 50% menor a la de su contraparte más moderna. Por esto, la organización ha configurado la línea considerando el equipo más avanzado, mientras que la emblistadora antigua se conservara en el mediano plazo, a la espera de que el inventario de insumos necesarios para su operación se agote. Una consecuencia de esta configuración es que la línea de elaboración de blísteres no opera con ambos equipos en paralelo. La tasa de producción media de la línea es de 2700 blísteres por hora – la capacidad nominal de cada equipo de la línea se describe en el anexo 8.2 -.

Por otro lado, en la sala común de potes y frascos hay tanto equipos compartidos, como exclusivos de cada producto – ver cuadro 2, sector 20 -. El fraccionamiento de polvos para suplementos se realiza con un equipo de llenado volumétrico. De forma similar, existe una estación de conteo y llenado para los frascos. Sin embargo, las etapas de sellado, codificado y etiquetado son compartidas. La

consecuencia de esta disposición es la imposibilidad de elaborar ambos tipos de producto en simultáneo. Además, ambos equipos de fraccionado requieren de limpieza al finalizar un lote. Para producción de potes se necesitan de 45 minutos, mientras que se demora 30 minutos luego de elaborar suplementos en frascos.

La estación de llenado de polvos consta de una tolva, la cual se carga manualmente, conectada a la central de fraccionado volumétrico. El operario posiciona un conjunto de potes cerca de la estación, que dispone, de a uno por vez, debajo de la boquilla de llenado. Luego de accionar manualmente el equipo, cada pote se posiciona sobre una balanza situada en las cercanías de la estación, donde realiza el control de peso. Producto de las variaciones de densidad entre productos, es normal que se requiera corrección manual del peso para cumplir con la cantidad declarada. Ajustado el peso, se introduce el pote en una pequeña cinta transportadora, sobre la cual está montado el detector de metales. Seguido a eso, los potes son tomados por otro operario, y dispuestos sobre una mesa de trabajo. Allí, se les coloca la tapa, y se limpian partículas de mezcla que, debido a la volatilidad de la mezcla, suelen depositarse sobre las paredes del pote, y dificultan la adhesión de la etiqueta.

En lo que respecta al llenado de frascos, el equipo también se carga con las capsulas a procesar, y las fracciona según se requiera. La tarea del operario es situar cada frasco debajo de la boquilla de salida, y luego colocarle la tapa. En paralelo un segundo operario transportara cajones de frascos llenos hacia la línea de codificado, etiquetado y sellado. Esta línea opera de forma análoga para ambos tipos de productos. Consta de una serie de cintas transportadora que, sobre las cuales se montaron los respectivos equipos. El codificado es realizado mediante la proyección de un haz de tinta sobre la tapa de los recipientes. La etiquetadora transporta y rota de manera simultánea el recipiente sobre la cinta transportadora, envolviéndolo con etiqueta autoadhesiva en su recorrido. Por último, el sellado mediante inducción electromagnética aumenta la temperatura del recubrimiento metálico que cada tapa

posee en su cara interior, haciendo fluir la película de pegamento de estas, y sellando el recipiente. Una vez sellados, los frascos son colocados en cajas de 60 unidades cada una, que luego se disponen en pallets, finalizando el proceso. La tasa de producción promedio de la línea es 270 frascos por hora, y 253 potes por hora.

Por otra parte, como se mencionó en el apartado 5.4.2, los suplementos en potes tendrán distinto formato de empaquetado según la marca bajo la cual se elaboren, y el mercado al que estén destinados. Las unidades que se empaqueten utilizando una película de P.V.C. se transportan hacia la estación de empaquetado independiente, donde se conforman paquetes de 4 potes cada uno, a igual tasa que las infusiones. En caso de requerir el empaque en cajas de cartón, el proceso se realiza en la misma sala de fraccionado, llevando cada una ocho unidades. Luego de paletizadas, éstas quedan listas para ser transportadas al almacén de productos terminados. La figura 24 plasma en detalle el flujograma de fraccionado y envasado para suplementos nutricionales.

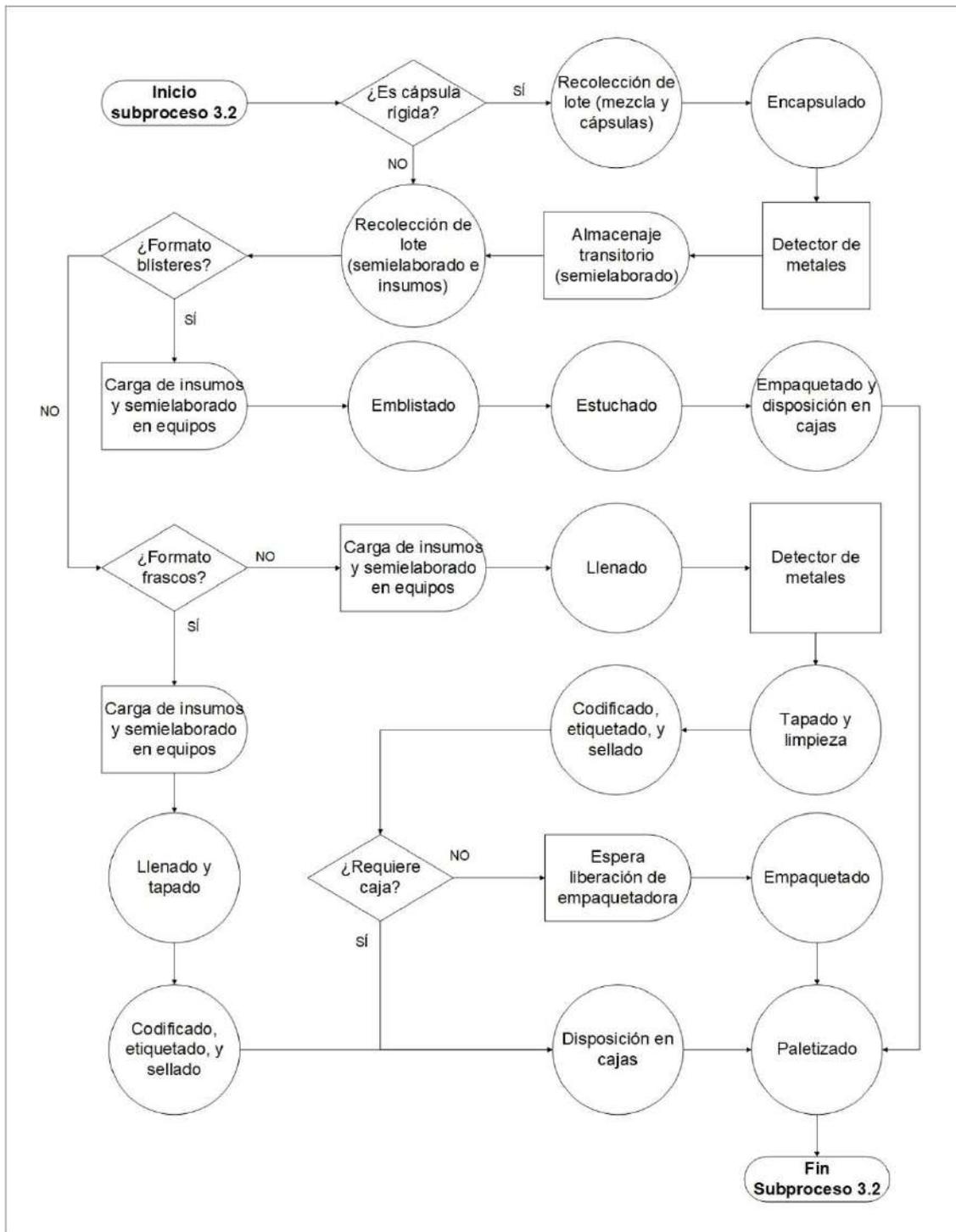


Figura 24: Diagrama de flujo para subproceso 3.2: Fraccionamiento y envasado y suplementos.

Fuente: Elaboración propia.

5.5.4 Control y expedición de Producto Terminado

El último subproceso de la cadena de suministro consta de cuatro etapas, iguales para todo tipo de producto. Las mismas se plasman en el diagrama de flujo de la figura 25.

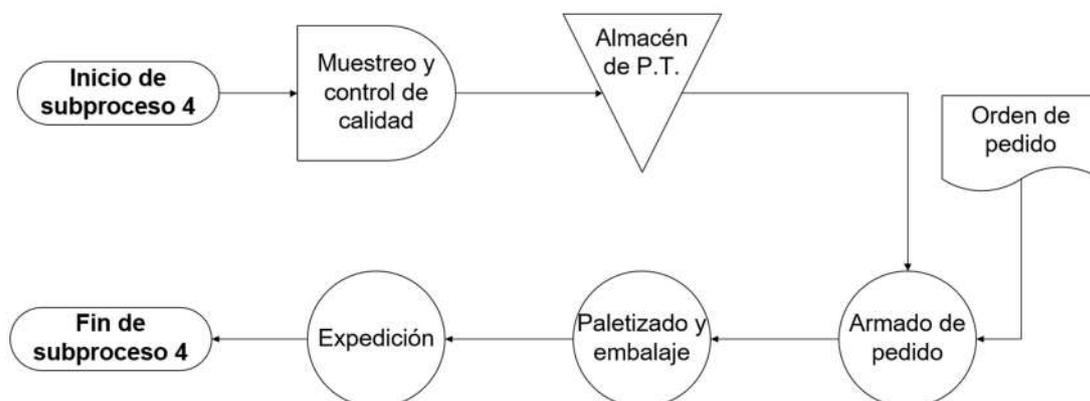


Figura 25: Diagrama de flujo de subproceso de control y expedición de producto terminado.

Fuente: Elaboración propia.

Los lotes de producto terminado provenientes del proceso anterior se trasladan al depósito correspondiente. Allí, entran en un estado de cuarentena, en tanto y en cuanto se realice el muestreo y control de calidad pertinente. Debido a normativas legales, la organización debe conservar durante los 12 meses posteriores a la fecha de caducidad, una unidad de producto terminado por lote – ver cuadro 2, sector 9 -.

De forma similar que las tareas de recepción, el producto terminado se almacena según se trate de una variedad medicinal, o no – ver cuadro 2, sectores 10 y 11 -. Una vez depositados, quedan a la espera de la ejecución de una orden de compra, que inicia el proceso de armado del pedido. Se recolectan las variedades solicitadas, se disponen en pallets, se embalan, y se procede a su expedición – ver cuadro 2, sector 28 -.

5.6 Familias de producto: Infusiones

Se optó por dividir el agregado de infusiones en tres subconjuntos. El primero de ellos abarca la totalidad de variedades medicinales, cuya consideración particular se

basa en las implicancias en materia de almacenamiento y flujos aislados de elaboración, que devienen del marco regulatorio existente. El segundo, incluye las variedades Monohierba, las cuales tienen presencia en ventas mayor al 20%, a pesar de contar solo con 8 variedades. Además, muestran marcada divergencia en su flujo de elaboración, ya que no requieren atravesar la etapa de mezclado, ni requieren el uso de equipos de envasado primario. Además, utilizan equipamiento e insumos exclusivos.

La tercera familia de infusiones abarca todas las variedades multihierba. Este conjunto posee participación mayoritaria, tanto en las ventas, como en número de variedades. Sin embargo, esto último no quita que se trate de un conjunto relativamente homogéneo en términos de secuencia de operaciones. Como se ha descrito en el apartado 5.4.1, con respecto a su participación en ventas, la existencia de variedades que utilizan papel obra como insumo, y las que requieren una etapa adicional de colocación en cajas serían las divergencias de mayor dominancia relativa. Ambas, abarcan respectivamente una cuarta y una quinta parte del volumen elaborado. Con lo cual, siguiendo el principio de Pareto, se concluye que una subdivisión haría ganar complejidad al análisis, sin aportar un volumen de información significativo. Sin embargo, las diferencias fundamentales en el flujo de elaboración serán tenidas en cuenta a la hora de modelar el proceso productivo.

Otras variaciones cuya participación en ventas es mucho menor, como el formato de 15 o 20 saquitos por unidad; o las infusiones que se clasificaron como Variedades Frutales; se engloban dentro de la familia de Multihierba, sin ser consideraciones adicionales. De esta forma, la distribución de las 86 variedades entre las tres familias conformadas sigue la planteada en la figura 12, del apartado 5.4.1.

5.7 Familias de productos: Suplementos

Con respecto a los suplementos nutricionales, se conformaron tres familias de producto: Potes, Frascos, y Blísteres. Esta configuración se basa principalmente en las diferencias existentes en las etapas de elaboración de cada producto, y el grado de

homogeneidad que tiene cada grupo con respecto a las variedades de insumos y formatos, cuando se considera su participación en ventas.

Por un lado, las 16 variedades de potes atraviesan una secuencia de etapas idéntica, y más del 95% de sus ventas se explican por productos de igual formato y tipo de insumos. Con lo cual, las mismas conformarían una única familia. Sin embargo, se tiene en cuenta la divergencia existente en relación con la etapa de empaque – en cajas de cartón o envolturas plásticas – a la hora de modelar su elaboración.

Siguiendo en los Blísteres, concentran casi el 90% de las ventas de cápsulas. Para considerar en el análisis la próxima discontinuación de los formatos de 120 y 150 cápsulas - 19% de la producción – se supone que la demanda de estos se trasladará a los formatos restantes. Por esto, se reasigna dicho volumen en base a la distribución del 81% restante. De esta forma, el formato de 30 cápsulas representaría, cerca de un 75% de los blísteres fabricados.

Por otro lado, el 10% restante de las cápsulas manufacturadas corresponderá al formato en Frascos, el cual se opta por diferenciar en una familia independiente fundamentalmente por su secuencia de fabricación, e insumos exclusivos. La presentación de 30 cápsulas por frasco será la referencia de esta familia, ya que su mayor número de variedades muestra elaboración exclusiva de algunas recetas para este formato.

No se consideran segmentaciones de producto según el tipo de cápsula (blanda o rígida), y según la naturaleza del producto - medicinal o alimenticio -, ya que los volúmenes relativos de producción de ambos subgrupos son considerablemente bajos - 7% y 2% respectivamente -. Adicionalmente, su elaboración no plantea divergencias en el flujo de procesos, ni requiere el uso de maquinaria exclusiva, como ocurre en el caso de los frascos.

De esta forma, los 151 suplementos nutricionales son segmentados en tres familias: Potes, Blísteres, y Frascos, según se describe en la figura 26.

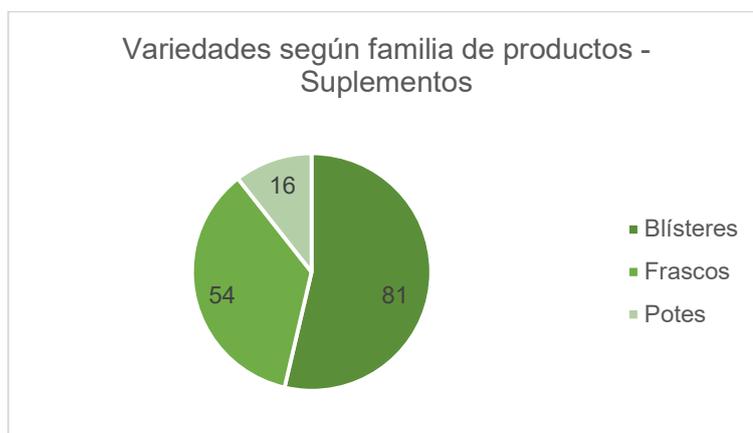


Figura 26: Variedades según familias de producto. Suplementos nutricionales.

Fuente: Elaboración propia.

5.8 Listas estructuradas de material

Luego de establecer principales familias de producto elaboradas en Pharmamerican, se selecciona el producto más vendido de cada una, y se construye su lista estructura de materiales. Estas se toman como referencia principal a la hora de modelar los flujos de producción. Los seis productos utilizados se presentan en el cuadro 3.

3.

Infusión Frutos del Bosque - Multihierba	Infusión Manzanilla - Monohierba	Infusión laxante - Medicinales
Colágeno + Calcio x30 - Blíster	Colágeno + Calcio x30 - Frascos	Colágeno Hidrolizado x360g - Potes

Cuadro 3: Productos más vendidos de cada familia.

Fuente: Elaboración propia en base a información provistas por Laboratorios Pharmamerican.

Las listas estructuradas de material se confeccionaron considerando el lote tipo de elaboración de cada variedad como referencia. Se ubican en el anexo 8.1.

5.9 Relevamiento de equipos y almacenes

5.9.1 Maquinarias

En primer lugar, se confecciona una matriz familia de producto-proceso para observar la relación entre las maquinarias y los distintos flujos coexistentes en la planta. La matriz resultante se ubica en el anexo 8.2.1 y, como se menciona en el apartado 5.5, denota las estructuras por producto que existen en las operaciones. La más rígida está presente en la producción de suplementos en formato de blíster, que, luego de la etapa de encapsulado, cuenta con equipos de fraccionamiento, envasado y empaquetado exclusivos. En menor medida, algo similar ocurre con los equipos de envasado y codificado para infusiones Medicinales y Multihierba; o las estaciones de etiquetado, codificado, y sellado del sector de suplementos en polvo y frascos.

Adicionalmente, se ubica en el anexo 8.2.2 un listado de los equipos utilizados en cada etapa. En él, se detallan sus dimensiones, capacidades nominales, servicios utilizados, y superficie mínima requerida para su correcta operación.

5.9.2 Equipos de manejo de materiales

El movimiento de grandes volúmenes de materia prima e insumos, relacionados con los procesos de expedición, recepción o traslado de lotes de producto terminado hacia el almacén, se realiza mediante auto elevadores. La organización cuenta con dos unidades del mismo modelo. Poseen motor eléctrico, una capacidad de carga máxima de 1500kg, y una velocidad máxima, con carga, de 1.8 m/s. En lo que respecta a movimientos de materia en los procesos de mezclado, fraccionado, y

envasado; se utilizan mayoritariamente de zorras hidráulicas, de 3000 kg de capacidad de carga. En estos casos, los pallets y medio-pallets americanos, generalmente de madera para materias primas y productos terminados, y plásticos para el traslado de producto en proceso, son las unidades de transporte. Sin embargo, existen zorras tradicionales, de menor porte y con plataforma metálica, utilizadas para el movimiento de cargas pequeñas en procesos de dosificado y mezclado.

En lo que respecta a las unidades de almacenamiento de los lotes de transferencia, se recurre al uso de contenedores plásticos cilíndricos de 60cm de altura y 40cm de diámetro para pequeñas cantidades; mientras que para el acopio de lotes de grandes se cuenta con bines plásticos rectangulares, de 70cm de altura, 125cm de ancho y 110cm de profundidad. Luego del proceso de fraccionamiento, las unidades resultantes se dispondrán en canastos plásticos apilables, de 30cm de alto, 40cm de ancho y 60cm de profundidad, para su transporte. Las unidades terminadas serán luego apiladas sobre si mismas y almacenadas en pallets en el depósito de producto terminado.

Cabe destacar que el movimiento de unidades de producto en proceso entre equipos dentro de un mismo sector es, en su mayoría, manual. Los movimientos autónomos existentes tienen lugar en: la conexión entre la línea de codificado y envasado de infusiones, y la empaquetadora EAPS 2, que se realiza mediante dos cintas transportadoras; el traslado entre la etiquetadora de potes y frascos, y la estación de sellado, realizado por una cinta transportadora; y las interconexiones entre los tres equipos que forman la línea de emblistado de suplementos, las cuales son posibles gracias a un equipo de movimiento exclusivo para blísteres y una cinta transportadora.

5.9.3 Infraestructura de depósitos

La organización utiliza un sistema de estanterías metálicas modulares como estructuras principales en todos sus depósitos. Éstas son regulables en altura y ancho,

permitiendo alcanzar alturas útiles de seis metros, y luces máximas entre columnas de hasta tres metros y medio. Por un lado, los depósitos de materias primas se configuran con módulos de dos o tres pallet de ancho, y tres niveles de 1.5 metros de altura cada uno. Por otro, estanterías destinadas al acopio de productos terminados o insumos varían la altura de cada nivel según se requiera. Un ejemplo de ello es la disposición de estantes para el acopio de infusiones, cuya altura entre niveles es cercana a los 3 metros. Esto se debe al gran volumen que tienen los lotes de producción, los cuales se paletizan y almacenan completos en una única ubicación.

La organización ha logrado adaptar algunas estanterías para el almacenaje de determinados objetos. Sin embargo, en la actualidad, por decisiones de abastecimiento y dificultades con el aprovechamiento volumétrico en varias ubicaciones, se han visto obligados a utilizar buena parte de la superficie destinada a circulación como espacio adicional para el acopio. Esto es especialmente evidente en los depósitos de insumos.

5.10 Modelado y simulación: Criterios generales

5.10.1 Alcance y variables utilizadas

Los sistemas modelados abarcan la totalidad de la cadena de suministro descrita en el apartado 5.5, con excepción del proceso de armado de pedidos y expedición, cuya información no se encontró disponible a lo largo del desarrollo de estudio. Debido a esto, es que la tasa de planta del sistema productivo, variable utilizada en la validación de cada modelo, se considera tomando el ingreso al depósito de producto terminado, y no su expedición final, como referencia.

Adicionalmente, cabe destacar que, a diferencia de operaciones de transformación y manejo de materiales, actividades de apoyo como la inspección y control de recursos recibidos, o la configuración o limpieza de maquinarias, sin representarse en un entorno tridimensional.

Se utilizan en los modelos variables, tanto determinísticas, como estocásticas, utilizando para estas últimas, valores promedio provistos por la organización y distribuciones de probabilidad comúnmente asociadas a la ocurrencia de los distintos sucesos. En el cuadro 4 se muestran algunos ejemplos de variables modeladas.

Variable	Tipo	Distribución
Arribo de pedido	Determinística	Frecuencia entre arribos: 30 [días]
Emisión de orden de producción	Estocástica	~Exp (249.000) [s]
Tiempo de ciclo	Estocástica	~N (200, 13) [min]
Demora por inspección	Estocástica	~N (6,0.3) [días]
Rendimiento de lote	Estocástica	~N (490, 2.2) [paquetes]

Cuadro 4: Ejemplos de variables utilizadas para el modelado.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

5.10.2 Jornada laboral, mano de obra y maquinaria

El diseño del modelo se montó sobre un calendario de trabajo real, de 24 horas diarias y siete días semanales. Cada jornada laboral será de 9 horas corridas para toda la mano de obra directa, considerando una hora completa para refrigerios. A los efectos del análisis realizado, se configuro el periodo de 6:00 a 15:00 horas, con un descanso único de 12:00 a 13:00 horas, como jornada laboral matutina; y de 15:00 a 00:00 horas, con descanso entre las 21:00 y las 22:00 horas, como jornada vespertina.

La mano de obra directa asignada en el modelo para cada estación u operación de transporte se describe en el anexo X. En lo que respecta a los operarios encargados del manejo de materiales, y dado que las etapas de armado de pedidos y expedición no fueron simuladas, se consideran únicamente los dos encargados de depósito. Aunque, se diferencian en la lógica modelada los transportes mediante auto elevadores, del resto de los métodos de manejo de materiales.

Por último, para la simulación de configuraciones en línea, debido a que la entidad de transferencia entre equipos es el lote completo, el tiempo de ciclo asignado es el necesario para procesar un lote completo. La totalidad de equipos se incluyen en la lógica del modelo y se representan de forma tridimensional. Aunque, para simplificar el análisis de datos de utilización en configuraciones en línea, el tiempo de ciclo se aplica únicamente sobre la primera estación de cada línea operativa.

5.10.3 Modelado de recetas y lotes de producción

Con el objeto de representar la cantidad y variedad de materias primas e insumos manejados por Pharmamerican, y ante la necesidad de minimizar el costo computacional – proporcional al número de entidades existentes en simultaneo -, se opta por modelar las cantidades, pesos y/o volúmenes inventariados mediante la variación de atributos de un conjunto relativamente pequeño de entidades. En el caso de materias primas, se tendrá un atributo que representa el número de lotes de producción que cada entidad es capaz de abastecer. Esto, considerando que, según la familia de productos a la que corresponda, podrá necesitarse de una o más materias primas distintas para fabricar un lote. El cuadro 5 muestra el número de entidades distintas, llamadas componentes, y las cantidades requeridas de cada uno para la elaboración de cada familia, según el tamaño del lote. Las mismas se establecieron en base a las listas estructuradas de material presentadas en el apartado 5.8, e información adicional provista por la empresa.

Familia	N° Componentes	Cantidad necesaria por componente (lote chico)	Cantidad necesaria por componente (lote grande)
Medicinal	3	1	4
Monohierba	1	5	20
Multihierba	4	1	4
Potes	2	1	4
Frascos	3	1	4
Blísteres	3	1	4

Cuadro 5: Componentes y cantidades de materia prima necesarias para la elaboración de cada familia de productos.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

En el caso de insumos, se utiliza un atributo que representa el número de unidades indivisibles de un insumo que contiene una entidad, llamadas formatos. La equivalencia entre formatos y unidades reales se estableció en base a las listas estructuradas de material, buscando minimizar la cantidad de entidades necesarias. En el anexo X se listan las características utilizadas para modelar cada formato de insumo.

Por último, el cuadro 6 muestra la estación utilizada para la etapa de mezclado, en cada familia de producto, como proporción del volumen total de producción. Además, se muestra la equivalencia entre el peso de la mezcla cargada en el equipo, y la cantidad de lotes de producto final que representa.

Familia	Tolva 600		Tolva 150	
	Proporción [%]	N° lotes	Proporción [%]	N° lotes
Medicinal	0	-	100	1
Multihierba	20	4	80	1
Potes	100	4	0	-
Frascos	0	-	100	2
Blísteres	0	-	100	2

Cuadro 6: Distribución y tamaño de lotes según estación de mezclado y familia.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

5.10.4 Modelado de depósitos

Para generar un sistema de categorización, priorización, y capacidad en las ubicaciones de depósito del sistema se dota cada una de un conjunto de atributos cualitativos y cuantitativos. Cabe destacar que, según lo requiera el diseño de cada distribución, podrán asignarse múltiples atributos a una misma ubicación. El anexo 8.3.3 presenta un cuadro descriptivo de cada atributo modelado.

5.10.5 Periodo de precalentamiento

Dado que el modelo comienza con la totalidad de almacenes de materia prima e insumos vacíos, se definen criterios para la fijación de un tiempo de precalentamiento, que una vez finalizado habilita la emisión de ordenes de producción, cuyo proceso

consecuente es el de Mezclado - ver apartado 5.5.2 -. Los criterios establecidos son dos, y se describen a continuación.

El primero consta en alcanzar un stock de materias primas destinadas a la elaboración de infusiones medicinales equivalente a, por lo menos, 3 meses de producción. Este subconjunto de materias primas es el más afectado ve su disponibilidad para la producción luego de ingresar a planta. Esto se debe a que, atraviesan en su totalidad el proceso de irradiación, y en gran proporción requieren someterse a una etapa previa de molienda. La proporción media del total de materias primas herbarias que requieren cada etapa de preprocesamiento se observa en el cuadro 7.

Etapas de preprocesamiento	Infusiones Medicinales	Infusiones Monohierba	Infusiones Multihierba
Molienda	0%	40%	33%
Molienda e Irradiación	33%	0%	0%
Irradiación	67%	33%	0%
Ninguna	0%	27%	67%

Cuadro 7: Proporción media de materias primas, medidas en kilogramos, que atraviesa cada etapa de preprocesamiento, según familia.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

El segundo implica lograr que, al menos, la mitad del volumen total destinado al acopio de materias primas – medicinales y de alimentos – este completo. Apunta a generar inventario suficiente del resto de recursos necesarios para elaborar otras familias de producto.

La validación estadística del periodo de precalentamiento se lleva a cabo mediante la simulación de 30 réplicas de longitud constante igual a 3333 horas en donde no se genera ninguna orden de producción. En cada una, se toma un registro semanal del stock total de materias primas medicinales, y del volumen utilizado para el

almacenaje de materias primas. Se establecen los respectivos intervalos de confianza para cada semana, con una confiabilidad del 95%, y una cota de error equivalente a media desviación estándar. Las observaciones y los cálculos realizados se ubican en el anexo 8.3.2.

En el caso del modelado del sistema actual, los valores mínimos a alcanzar son 31.2 lotes y 10100 unidades de almacenamiento – equivalentes a 101 ubicaciones de las estanterías descritas en el apartado 5.9.3 -. Los resultados de la simulación se observan en el cuadro 8.

Criterio/ Parámetro	Stock de materias primas Medicinales [lotes]	Stock total de materias primas [unidades de almacenamiento]
Promedio	33.9	10732
Intervalo de confianza	1.4	12
Semana N°	12	14
Desviación estándar	3.8	33

Cuadro 8: Resultados de la simulación; estimación del tiempo de precalentamiento; distribución de planta actual.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

De esta manera el periodo de precalentamiento se fija en 98 días, comenzando al día siguiente la emisión de ordenes de producción. La misma metodología es utilizada para las dos alternativas simuladas, obteniendo igual periodo de precalentamiento. Los cálculos y resultados correspondientes se ubican en el anexo 8.3.2.

5.10.6 Criterio de fin de réplica

Luego de establecido el tiempo de precalentamiento, se validan los modelos mediante la estimación de la tasa de planta objetivo – actual, o proyectada, según corresponda -. La misma se calcula en base a la demanda relevada de cada familia de producto, y se mide en cantidad de lotes producidos mensualmente. Así, el valor objetivo se compara con la obtenida en los modelos construidos. Para ello, se establece como criterio de finalización para cada réplica el alcance del volumen de producción

equivalente a cuatro meses, para cada una de las seis familias de producto. Dicho volumen se contabiliza en cantidad de paquetes de producto terminado, y sus valores estimados se vuelcan en el cuadro 9.

Familia de producto	Producción objetivo actual [paquetes]	Producción objetivo proyectada [paquetes]
Medicinales	20400	26200
Monohierba	40000	52400
Multihierba	126400	164000
Potes	15600	31160
Frascos	9600	19120
Blísteres	80000	160000

Cuadro 9: Producción objetivo por familia de producto, medida en cantidad de paquetes, para la finalización de cada réplica. Demanda actual, y proyectada.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

Por otro lado, cabe destacar que, debido a la naturaleza volumétrica de las etapas de fraccionado, descrita en el apartado 5.5.3, se contempla un intervalo de variación para la tasa de planta de referencia. En él, existe un valor mínimo y máximo para la tasa de cada familia de producto, que representa la cantidad equivalente de unidades finales que pueden obtenerse de un lote de producto. En el anexo 8.4 se listan los rangos de variación esperados en el rendimiento de cada lote, según familia de producto. Estos intervalos de referencia para las tasas de planta de cada familia de producto, y en cada escenario, se plasman en el cuadro 10.

Familia de producto	Intervalo de tasa de planta - objetivo actual [h/lote]	Intervalo de tasa de planta - objetivo proyectado [h/lote]
Medicinales	[16.47; 16.92]	[25.32; 26.03]
Monohierba	[11.35; 11.91]	[17.45; 18.32]
Multihierba	[2.63; 2.70]	[4.04; 4.15]
Potes	[3.71; 3.85]	[3.71; 3.85]

Frascos	[37.11; 41.91]	[37.07; 41.86]
Blísteres	[4.43; 5.00]	[4.43; 5.00]

Cuadro 10: Intervalos objetivo para las tasas de planta de cada familia de producto.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

5.10.7 Indicadores de desempeño del modelo

En adición a la tasa de planta, el diseño del modelo contempla una serie de indicadores cuantitativos relacionados con el desempeño general de la distribución en planta, dados los requerimientos de producción. Los mismos se listan a continuación, y se utilizarán también para la evaluación y selección de alternativas propuestas.

- Tasa de planta: Se obtiene del conteo semanal de lotes ingresados efectivamente al depósito de producto terminado. Es decir, aquellos que fueron sometidos al muestreo y control de calidad. Luego, se calcula el promedio de ingresos por familia a lo largo de cada réplica. Para obtener el tiempo disponible para producción se toma un mes estándar de 30 días de duración, 5 días laborales por semana, y 8 horas netas diarias – o 16 horas en caso de operación en dos turnos -. De esta forma, se obtienen las tasas de planta para las i-familias de producto.

$$R_i = \frac{30 \frac{\text{días}}{\text{mes}} \times \frac{5 \text{ días laborales}}{7 \text{ días}} \times 8 \frac{\text{horas}}{\text{día laboral}}}{\text{Lotes semanales de la familia } i \times \frac{30 \text{ días mes}}{7 \text{ días semana}}} \left(\frac{\text{horas}}{\text{lotes familia } i} \right) \quad (21)$$

- Utilización de las estaciones: obtenida en base a la proporción del periodo simulado en el cual la estación se encuentra realizando alguna de las siguientes tareas: procesamiento; carga; descarga; configuración o limpieza; y espera a operario - por refrigerio programado o transporte de este hacia la estación -. Su valor se obtiene de la ecuación 22.

$$\text{Utilización}_i = \frac{\text{Tiempo total}_i - \text{tiempo sin ejecutar tareas}_i}{\text{Tiempo total}_i} \quad (22)$$

El tiempo total no contempla aquel por fuera de la jornada laboral descrita en el apartado 5.10.2. Se calcula para cada una de las i-estaciones presentadas en el cuadro 5.

- Distancia de lote: Se refiere a la distancia total promedio recorrida durante la producción de un lote, por familia de producto. Abarca la cadena de suministro desde el proceso de Mezclado, hasta la llegada del lote al depósito de producto terminado. Se calcula en base a la ecuación 23, donde la distancia total es la recorrida por los operarios al transportar una carga determinada.

$$D_{lote_i} = \frac{\text{Distancia total recorrida para fabricar la familia } i}{\text{Cantidad de lotes de la familia } i \text{ fabricados}} \left[\frac{m}{\text{lote}} \right] \quad (23)$$

- Peso por distancia unitario: Se calcula siguiendo la ecuación 24, y representa el trabajo promedio requerido para la elaboración de la unidad mínima – paquete - de producto final de cada familia.

$$PxD_i^k = \frac{\sum_j^n \text{Distancia tramo}_{j-i} \times \text{Peso total transportado}_{j-i}}{\text{Cantidad neta de paquetes de producto } i \text{ en el lote } k} \quad (24)$$

De esta forma, el indicador de referencia en cada réplica surge del peso por distancia unitario promedio, para k-lotes producidos.

- Cantidad de retrocesos: Se toma como referencia el flujo de la materia prima al ingresar a la planta, hasta la expedición del lote de producto terminado. Además, se considera que el material atraviesa todos los posibles procesos internos que conforman su cadena de valor. Así, el indicador surge al registrar, mediante observación del modelo tridimensional y el plano de planta, la cantidad de giros en U que este realiza a lo largo de todo el flujo, excluyendo los traslados en pasillos internos ubicaciones del depósito, pero considerando el recorrido interno del mismo dentro de cada estación de proceso. Por ejemplo, si una sala de producción tiene una única abertura para ingreso y egreso de material, dentro de ella se producirá un retroceso.

- Metros cuadrados por ubicación: Surge del cociente entre la superficie total de la distribución, y el número de ubicaciones estándar totales que posee. Se utiliza como indicador principal para evaluar el rendimiento superficial. No considera las ubicaciones de depósito que utilizan superficie libre de la planta.
- Colchón de capacidad relativo: Este indicador plasma el colchón de capacidad que posee la cadena de suministro de una familia de productos determinada, relativo a su nivel de producción. El nivel de producción relaciona la demanda actual, con la demanda proyectada al final de horizonte temporal del proyecto, y su objetivo es comparar el colchón de capacidad de escenarios con distinto nivel de producción. Este indicador se obtiene siguiendo la ecuación 25.

$$C_i^k = (Umax_i^k - 100\%) \times \frac{\text{Nivel de producción}_i^k}{\text{Nivel de producción máximo}_i} \quad (25) \text{ donde:}$$

i: Familia de producto

k: Distribución en planta analizada

Umax: Utilización de la estación cuello de botella de la familia i, para la distribución k.

Cabe destacar que, a los efectos del análisis realizado, y debido a la ausencia de una metodología de recolección de materiales estandarizada, se modela esta actividad utilizando la selección del objeto más cercano al operador como criterio para circular.

5.11 Simulación: Distribución en planta actual

5.11.1 Resumen de la distribución actual

A los efectos de la comparación con futuras propuestas, en adición al modelo se releva la superficie total de la distribución actual, y la distribución de ubicaciones de rack según su destino. Los valores resultantes se plasman en el cuadro 11.

Variable	Valor	Observaciones
Superficie cubierta adicional	2760 metros cuadrados	-
Ubicaciones: Producto terminado	405	48 para productos fitoterápicos
Ubicaciones: Materia Prima	202	- 30 para materias primas medicinales - 10 ubicaciones son superficie libre de planta
Ubicaciones: Insumos	379	- 24 ubicaciones para capsulas rígidas - 32 ubicaciones para insumos medicinales - 321 ubicaciones estipuladas para insumos estándar - 58 ubicaciones son superficie libre de planta
Ubicaciones: Productos semielaborados	38	- 6 ubicaciones para productos medicinales - 8 ubicaciones son superficie libre de planta

Cuadro 11: Superficie y clasificación de ubicaciones de depósitos. Distribución actual.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

5.11.2 Validación del modelo

La simulación de la situación actual inicia con la ejecución de 10 réplicas iniciales. Se toma un error admisible equivalente al cinco por ciento del número de lotes requeridos para cumplir con la tasa de referencia, y se utilizan los resultados obtenidos para calcular el total de réplicas necesario. De esta forma, con una confiabilidad del 95%, se alcanza el error propuesto mediante la simulación de 35 réplicas. La metodología, consideraciones, y cálculos realizados se ubican en el anexo 8.3.3.

Los resultados de la validación se plasman en cuadro 12. Dado que, para cada una de las seis familias de producto, la unión de los intervalos simulados y de referencia forman un conjunto no vacío, el modelo se considera validado estadísticamente y se procede a la detección de oportunidades de mejora.

Familia	Producción media [lotes/semana]	Error admisible [lotes/semana]	Intervalo de confianza [h/lote]	R medio [h/lote]	Intervalo objetivo
Medicinales	2.33	0.120	0.816	17.15	[16.47; 16.92]

Monohierba	3.50	0.172	0.398	11.43	[11.35; 11.91]
Multihierba	14.85	0.751	0.050	2.69	[2.63; 2.70]
Potes	10.40	0.529	0.170	3.85	[3.71; 3.85]
Frascos	1.02	0.051	3.204	39.15	[37.11; 41.91]
Blísteres	7.90	0.424	0.077	5.06	[4.43; 5.00]

Cuadro 12: resultados arrojados para la simulación de la distribución en planta actual; 35 réplicas ejecutadas; confiabilidad del 95%; valor crítico t de Student = 2.032.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

5.11.3 Esquema tridimensional: Distribución actual

Por último, la figura 27 plasma el modelo tridimensional resultante para la distribución actual, que permite distinguir más fácilmente las estaciones productivas y los flujos de producción existentes. El cuadro 13 muestra los colores utilizados para señalar las principales estaciones y depósitos.

Referencias: modelo tridimensional		
Tipo de sector	Color asignado	Descripción
Depósito	Verde	Materias primas o insumos medicinales
	Amarillo	Producto semielaborado
	Azul	Cápsulas
	Gris	Resto de materiales
Estaciones	Amarillas	Fraccionado y envasado de infusiones (EC12)
	Rosa	Fraccionado de infusiones (EC24)
	Verde	Tolvas de mezclado
	Turquesa	Línea de elaboración de suplementos en blísteres
	Violeta	Encapsulado
	Naranja	Empaquetado
	Gris	Envasado y empaquetado de infusiones
	Negro	Molienda
	Rojo	Fraccionado de Frascos
Blanco	Fraccionado de Potes	
Sector	Violeta	Control de cantidades y muestreo

Cuadro 13: Referencias modelo tridimensional.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 27: Modelo tridimensional. Distribución en planta actual.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

5.12 Análisis y oportunidades de mejora

A continuación, se describen las principales problemáticas observadas luego del análisis estadístico y visual del sistema modelado.

5.12.1 Circulación y flujos de material

En términos del flujo global de la planta, y dado que existe un sector de ingreso y egreso conjunto, se observan dificultades para alcanzar una circulación en forma de U del material a lo largo de su fabricación. En consecuencia, se generan retrocesos en múltiples etapas de la elaboración, siendo las más significativas las siguientes:

- Etapa de mezclado: Tanto en la estación de pequeña, como de gran capacidad de carga, se presenta un retroceso a la hora de circular desde el depósito de materias primas, hasta las estaciones, y finalmente depositar la mezcla elaborada en el depósito de producto en proceso. Siendo esta una etapa común para la mayoría de las familias de producto se considera prioritaria.
- Etapa de encapsulado: La circulación realizada durante este proceso contiene el retroceso más prolongado de toda la distribución. La principal causa es la distancia que separa las dos estaciones de encapsulado con el depósito de productos en proceso, que es punto de partida, y final, para todo el proceso. En términos de las proyecciones de producción, cabe destacar que se espera duplicar la elaboración de suplementos durante los próximos cinco años. Con lo cual, lograr un flujo más coherente para las familias que atraviesen este proceso es de especial importancia.
- Proceso de recolección de materias primas e insumos: La principal causa que deriva en estos retrocesos es la disposición cruzada, respecto de las principales estaciones de trabajo, que tienen los depósitos de materia prima con los de insumos. Es decir, la disposición de los tres sectores forma una L en la distribución, en la cual el equipo donde debe descargarse el contenido del lote se ubica el vértice. Idealmente, la ubicación de estos debería asemejarse a una

línea, para que el recorrido permita diferenciar la etapa de recolección, de la de descarga.

- Etapa de fraccionado de infusiones: Esta ineficiencia en la circulación afecta en mayor medida a la familia de infusiones Medicinales, debido a la necesidad de aislar su etapa de fraccionado en una sala independiente. También, ocurre cuando operan estaciones destinadas a Multihierba, que se encuentran más alejadas de la circulación principal. Fundamentalmente, el retroceso cuando se transporta el lote hacia el sector de envasado.

5.12.2 Distribución de depósitos

Una deficiencia detectada en la distribución actual es la dificultad de asignar ubicaciones de estantería según la familia de productos. En el caso de las materias primas este arreglo presenta la dificultad de que suele utilizarse, para productos de varias familias de producto, la misma materia prima. Sin embargo, esto es mucho menos frecuente en los insumos, donde las variedades de uso general se acotan a: los rollos plásticos usados en envolturas plásticas de cajas de infusiones; el P.V.C. utilizado para el embalaje; el rollo de papel filtro utilizado en infusiones; y las cajas de cartón de infusiones. Los insumos restantes son asignables a una familia específica, con lo cual podrían asignarse estanterías específicas que integren su localización con el flujo de fabricación, y aprovechen la flexibilidad dimensional aportada por el diseño de las estanterías.

5.12.3 Utilización de estaciones

En lo que respecta a la brecha de capacidad instalada y de cara al aumento proyectado de la producción, se identifican, con el indicador de utilización presentado en el apartado 5.10.6, cinco estaciones productivas cuya capacidad máxima se vería sobrepasada. La utilización promedio y la cota máxima dada por el intervalo de confianza calculado, se observa en el cuadro 14.

Estación/es	Utilización media	Desviación estándar	Intervalo de confianza	Cota máxima de utilización
Encapsuladoras	97.5%	1.8%	0.6%	98.1%
Tolva 150	73.6%	18.4%	6.3%	79.9%
Línea blísteres	75.6%	17.7%	6.1%	81.7%
Moledora	80.4%	15.7%	5.4%	85.8%
Fraccionadora EC24	92.3%	12.4%	4.3%	96.6%

Cuadro 14: Estaciones productivas con mayor utilización. Simulación de distribución actual.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

Para el diseño de las propuestas, se proyecta la adquisición de maquinarias en función de dos factores: obtener un colchón de capacidad mínimo del 20%, y considerar la estrategia intermedia en términos de expansión de capacidad vía adquisición de maquinaria que adopta la empresa históricamente.

5.12.4 Sectores de oficina y auxiliares

En lo que respecta a sectores auxiliares a producción, y de cara a las proyecciones de crecimiento estimadas por la empresa, se detecta como oportunidad de mejora la ampliación de los sectores destinados a oficinas de mandos medios de la planta baja. Allí, actualmente convive, en una superficie de 21 metros cuadrados: personal de mantenimiento, aseguramiento de calidad, y jefatura de producción. Algo similar ocurre con el sector designado para acopio de herramientas e insumos de mantenimiento, que cuenta únicamente con 15 metros cuadrados de superficie, es único en toda la planta, y por normativas debe estar excluido de sectores productivos.

5.13 Factores sistémicos abordados en ambas propuestas

A continuación, se presentan factores del sistema de producción que se consideraron, en conjunto con el marco normativo del apartado 5.2, como características comunes para las dos propuestas de mejora de distribución en planta elaboradas.

5.13.1 Jornada laboral y lotes de producción

Por un lado, en ambas distribuciones se opta por simular dos turnos de trabajo para la totalidad de la planta, según lo descrito en el apartado 5.10.2. Esta medida se relaciona con la estrategia de expansión conservadora que históricamente adopta la empresa, en donde la disponibilidad flexible de recursos humanos sea el factor principal para aumentar potencialmente la tasa de producción, seguido de la adquisición de bienes de capital.

El segundo factor es la invariabilidad de la distribución de los lotes elaborados entre las dos estaciones de mezclado existentes. Es decir, se considera que, dado el aumento proyectado de la demanda para cada familia de producto, la proporción de lotes que se fabriquen en cada estación se modela igual que la distribución actual, según expresa la cuadro 7.

5.13.2 Maquinarias

Este factor se relaciona con la adquisición y venta de maquinarias. En este sentido, se proyecta para ambas distribuciones:

- La construcción de una nueva sala de encapsulado, que implica adquirir una maquina encapsuladora y una detectora de metales adicional. También será necesario anexar la misma al sistema de aspiración de partículas con el que cuentan las instalaciones actuales.
- Como se menciona en el apartado 5.5.3.2, el equipo de emblistado que se encuentra en etapa de obsolescencia, no se considerara en las nuevas distribuciones.

- La creación de una línea de fraccionado y envasado de frascos independiente, que permita la producción en simultaneo de Potes y Frascos. Por consiguiente, se proyecta la adquisición de un nuevo equipo de etiquetado, y un nuevo equipo de sellado inductivo, que repliquen el funcionamiento actual de la línea.
- La venta de dos estaciones de fraccionado de infusiones tipo EC12. En particular, un modelo semi automático, con brazo, y adaptado para el uso de papel obra a una tasa de 120 ciclos por minuto. Actualmente se utiliza para el fraccionado de infusiones Medicinales y Multihierba. El segundo será una de las fraccionadoras con brazo, utilizada para procesar infusiones multihierba, configurada para el uso de sobre envoltura plástica, a una tasa de 126 ciclos por minuto – ver cuadro 31, anexo 8.2.2 -.

5.13.3 Oficinas y sectores auxiliares

Con respecto a oficinas, se amplían las ubicadas en planta baja, destinadas a mandos medios de producción, calidad, y mantenimiento. Para ello, se toma el sector 30 – ver cuadro 2 -, lindero a las oficinas actuales. Su principal ventaja es la cercanía con otras oficinas y sectores productivos. Allí, se ubica al personal de producción y mantenimiento; dejando las actuales instalaciones para el personal de aseguramiento de la calidad, debido a su cercanía a los laboratorios – sectores 42 y 43 -.

Por otra parte, se estipula una ampliación del área utilizada por personal técnico de mantenimiento. La misma se basa en los desafíos potenciales en materia de mantenimiento que la empresa pueda afrontar a futuro, en donde se consideran, por un lado, intervenciones correctivas y/o preventivas sobre los equipos; y por otro lado, tareas de apoyo a producción como cambios de matricería y ajustes rápidos. Esta ampliación se lleva a cabo absorbiendo la sala de mezclado que alberga la estación de mezclado para lotes pequeños; lindera al área de mantenimiento en la actual distribución.

En lo que respecta a las infusiones de variedades frutales, si bien sus flujos no son simulados, se estipula un sector para localizar su sala de elaboración. En ambas

propuestas, se hace uso de la superficie vacante al relocalizar las estaciones de encapsulado, y se combinan ambas salas, dando lugar a la sala de elaboración de variedades multihierba.

Adicionalmente, se utiliza la actual sala de dosificado de lotes pequeños – sector 35 -, para generar una extensión de la sala de máquinas lindera, localizada en el sector 37. Con esta medida se busca facilitar las condiciones para la instalación de equipos de aspiración de partículas para las tres estaciones de encapsulado.

Por último, cabe destacar que las alternativas propuestas se diseñan proyectando la ampliación de las naves utilizando tecnologías y materiales análogos a los actuales. En particular, esto implica el uso de cemento alisado en los pisos, techos con pendiente a dos aguas de chapa sinusoidal de 5.3 metros de altura útil, ancho máximo de 15 metros, y luz entre columnas estructurales de aproximadamente 5.1 metros.

5.14 Propuesta N°1: Flujo lineal

5.14.1 Descripción de la distribución

Esta alternativa busca mitigar las deficiencias detectadas mediante un arreglo lineal, siguiendo las secuencias de procesado del material, del mayor número de estaciones posibles. En la figura 28 se observa la propuesta elaborada bajo este enfoque, acompañada de las referencias correspondientes en el cuadro 15.

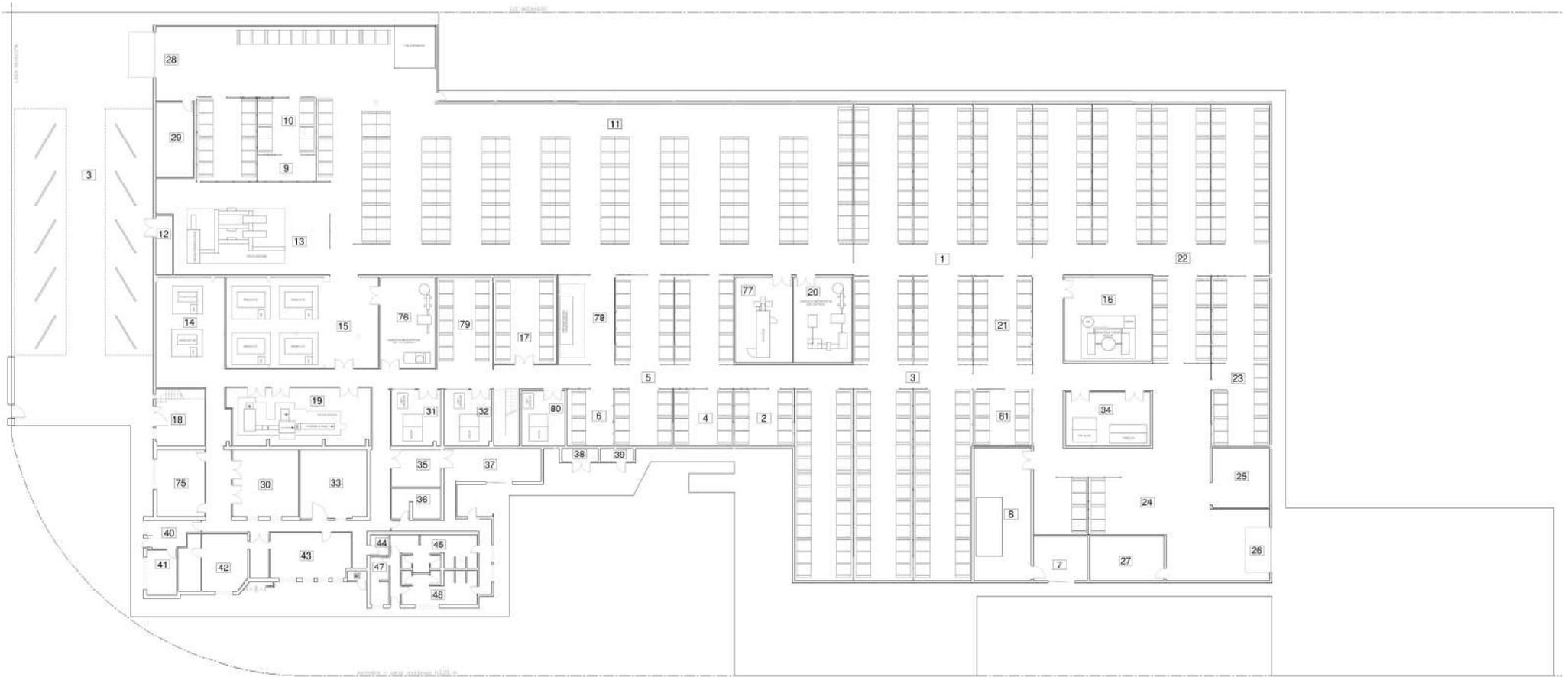


Figura 28: Plano de planta, propuesta N°1 de distribución en planta.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

REFERENCIAS			
N°	SECTOR	N°	SECTOR
1.	DEPÓSITO DE INSUMOS 1	41.	OFICINA
2.	DEPÓSITO DE INSUMOS 2 (MED)	42.	CONTROL DE CALIDAD 1
3.	ESTACIONAMIENTO	43.	CONTROL DE CALIDAD 2
4.	DEPÓSITO DE INSUMOS 3	44.	SECTOR DE LAVADO
5.	DEPÓSITO DE INSUMOS 4 (MED)	45.	VESTUARIO Y BAÑO DE CABALLEROS
6.	DEPÓSITO DE INSUMOS 5	46.	GABINETE DE EXTRACCIÓN I
7.	GABINETE DE EXTRACCIÓN	47.	LAVADERO
8.	SALA DE MOLIENDA	48.	VESTUARIO Y BAÑO DE DAMAS
9.	MUSEO DE CONTRAMUESTRAS	49.	SALA DE REUNIONES
10.	DEPÓSITO DE PRODUCTO TERMINADO 1 (MED.)	50.	AUDITORIO
11.	DEPÓSITO DE PRODUCTO TERMINADO 2	51.	ARCHIVO
12.	GABINETE DE EXTRACCIÓN	52.	SALA DE EVALUACIÓN SENSORIAL
13.	SECTOR DE ACONDICIONADO	53.	HALL INTERNO
14.	SALA DE FRACCIONAMIENTO DE INFUSIONES 2 (MED)	54.	OFICINA
15.	SALA DE FRACCIONAMIENTO DE INFUSIONES 1	55.	OFICINA
16.	SALA DE MEZCLADO (600 kg)	56.	OFICINA
17.	DEPÓSITO DE CAPSULAS	57.	CAMBIADOR
18.	HALL DE ENTRADA	58.	OFICINA
19.	SALA DE EMBLISTADO	59.	OFICINA
20.	SALA DE ELABORACION POTES	60.	OFICINA
21.	DEPÓSITO DE PRODUCTO EN PROCESO Y RECHAZADO	61.	OFICINA
22.	DEPÓSITO DE MATERIA PRIMA 1	62.	OFICINA
23.	DEPÓSITO DE MATERIA PRIMA 2 (MED)	63.	OFICINA
24.	SECTOR DE PESAJE	64.	CENTRAL INFORMATICA
25.	SALA DE MUESTREO	65.	BAÑO
26.	AREA DE RECEPCIÓN	66.	BAÑO
27.	OFICINA 1	67.	OFICINA
28.	AREA DE EXPEDICIÓN	68.	OFICINA
29.	OFICINA 2	69.	OFICINA
30.	SALA DE FRACCIONAMIENTO DE INFUSIONES 3	70.	OFICINA
31.	SALA DE ENCAPSULADO 1	71.	OFICINA
32.	SALA DE ENCAPSULADO 2	72.	OFICINA
33.	MANTENIMIENTO	73.	COMEDOR
34.	SALA DE MEZCLADO (150 kg)	74.	TERRAZA
35.	GABINETE DE EXTRACCIÓN	75.	OFICINA
36.	SALA DE MAESTRANZA	76.	SALA DE ELABORACION FRASCOS
37.	GABINETE DE COMPRESOR	77.	SALA DE FRACCIONAMIENTO DE INFUSIONES 4
38.	GABINETE DE MANTENIMIENTO	78.	SECTOR DE EMPAQUETADO
39.	GABINETE DE RESIDUOS	79.	DEPÓSITO DE PRODUCTO EN PROCESO (CÁPS.)
40.	OFICINA	80.	SALA DE ENCAPSULADO 3
		81.	DEPÓSITO DE PRODUCTO EN PROCESO (MED)

Cuadro 15: Referencias de sectores. Propuesta N°1 de distribución en planta.

Fuente: Elaboración propia.

Una de las consecuencias de este diseño es la necesidad de dividir los sectores de recepción y expedición. Para ello, se hace uso de la entrada secundaria a planta – sector N° 1: depósito de insumos 1-. En sus inicios, la organización utilizada este sector como ingreso y egresos principales de materiales. Las modificaciones edilicias que esto implica son una expansión del actual deposito hacia la línea municipal de la Calle 3, y un aumento de 1.3 metros en la altura útil del sector – de los 4 metros actuales a los 5.3 metros con los que cuenta la nave lindera -.

Por otro lado, se hace uso del terreno lindero, recientemente adjudicado, para expandir la nave, tanto en sentido longitudinal, como horizontal. De esta forma, en el extremo sur de la misma se sitúa el sector de recepción y el depósito de materias primas; seguido de la estación de molienda, y ambas estaciones de mezclado. Aquí, se presta especial atención a la cercanía entre el depósito de materias primas medicinales y la recepción, ya que la expedición de estas hacia el proceso de irradiación se realizará por

allí. Adicionalmente, se procura situar la estación de molienda lintera al exterior para facilitar la instalación de equipos de extracción en la misma, y se mantiene en su diseño la disposición de un gabinete de máquinas independiente. Con respecto a las estaciones de mezclado, se aloja la de mayor capacidad de carga más cercana, tanto a los almacenes de materia prima, como de producto en proceso, para minimizar el recorrido en lotes de producción más voluminosos.

La distribución continua hacia el norte, donde se ubican los depósitos de producto en proceso e insumos. A partir de allí, se observa como la distribución se divide en tres grandes alas.

El ala oeste – inferior – aloja la mayoría de las ubicaciones destinadas al acopio de insumos, seguido de tres estaciones de encapsulado, y finalizando con la línea de producción de blísteres, que conserva su ubicación actual.

Luego, el ala central posiciona la línea de elaboración de potes y la estación de fraccionado de infusiones Monohierba EC24. Ambos sectores tienen la característica de concentrar gran cantidad de eslabones de la cadena de suministro. Seguido a estas, se dispondrán ubicaciones para el acopio de insumos particulares de la familia de blísteres, e insumos generales, como cajas para infusiones, y plásticos termo contraíbles para embalaje. En su segunda mitad, se dispone la sala de almacenamiento de capsulas rígidas, y un depósito de producto en proceso destinado exclusivamente a las familias de blísteres y frascos. Por último, se crea una nueva sala de producción para albergar la línea de producción de suplementos en frascos, seguida de una circulación; y finalizando con la disposición de las seis estaciones de fraccionado de infusiones EC12, dos de las cuales se aíslan en una sala independiente para fabricación de productos fitoterápicos.

Por último, en el ala este – superior - de la distribución se despliega la totalidad del depósito de productos terminados, en los cuales se contemplan dos circulaciones

en sentido longitudinal, que buscan independizar los traslados de lotes desde cada estación hacia el depósito; de los realizados en procesos de armado de pedidos y expedición.

5.14.1 Esquema tridimensional: Propuesta N°1

La figura 29 plasma el modelo tridimensional de la propuesta N°1. La identificación de sectores según color es análoga a la presentada en el apartado 5.11.3. En resumen, esta propuesta de distribución busca que la elaboración de todas las familias fluya longitudinalmente de sur a norte, y horizontalmente de este-oeste. En simultáneo, se busca una expansión superficial que aproveche el playón de circulación de camiones actual como piso de planta. El cuadro 16 muestra la superficie adicional proyectada en esta propuesta, y la clasificación de las ubicaciones de depósito modeladas, según su destino.

Variable	Valor	Observaciones
Superficie cubierta adicional	4090 m ²	1330 m ² incorporados
Ubicaciones: Producto terminado	573	60 para productos fitoterápicos
Ubicaciones: Materia Prima	342	66 para materias primas medicinales
Ubicaciones: Insumos	699	- 39 ubicaciones para capsulas rígidas - 48 ubicaciones para insumos medicinales - 612 ubicaciones estipuladas para insumos estándar
Ubicaciones: Productos semielaborados	96	- 24 ubicaciones para productos medicinales - 36 ubicaciones para semielaborados de Blísteres o Frascos

Cuadro 16: Resumen superficie incorporada, y clasificación de ubicaciones de depósitos. Propuesta N°1.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.



Figura 29: Modelo tridimensional. Propuesta N°1.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

5.14.2 Validación del modelo

Al igual que en el apartado 5.11.2, se presentan en el cuadro 17 los valores de tasa de planta obtenido tras simular el modelo descrito, así como su intervalo de referencia para su validación. Dado que, para cada una de las seis familias de producto, la unión de los intervalos simulados y de referencia forman un conjunto no vacío, el modelo se considera validado estadísticamente.

Familia	Producción media [lotes/semana]	Error admisible [lotes/semana]	Intervalo de confianza [h/lote]	R medio [h/lote]	Intervalo objetivo
Medicinales	3.17	0.158	1.109	25.25	[25.32; 26.03]
Monohierba	4.66	0.229	0.586	17.16	[17.45; 18.32]
Multihierba	19.49	0.990	0.081	4.11	[4.04; 4.15]
Potes	21.43	1.077	0.141	3.73	[3.71; 3.85]
Frascos	2.23	0.108	2.944	35.95	[37.07; 41.86]
Blísteres	17.01	0.903	0.091	4.70	[4.43; 5.00]

Cuadro 17: resultados arrojados para la simulación de la propuesta de mejora N° 1 de distribución en planta; 35 réplicas ejecutadas; confiabilidad del 95%; valor crítico t de Student = 2.032.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

5.15 Propuesta N°2: Flujo en U

5.15.1 Descripción de la distribución

La segunda alternativa apuesta a mejorar la integración de los flujos de producción manteniendo la circulación en forma de U de la distribución actual. Por un lado, los sectores de recepción y expedición permanecen unificados, y en cercanía de los depósitos. Con respecto a las áreas productivas, y de manera similar que la propuesta anterior, se reorganizan buscando que la circulación del material acompañe la secuencia lógica de la cadena de suministro. La figura 30 presenta la segunda

alternativa de retroajuste para la distribución en planta, mientras que el cuadro 18 contiene las referencias de cada sector.

REFERENCIAS			
Nº	SECTOR	Nº	SECTOR
1.	DEPÓSITO DE INSUMOS 1	42.	CONTROL DE CALIDAD 1
2.	DEPÓSITO DE INSUMOS 2 (MED)	43.	CONTROL DE CALIDAD 2
3.	ESTACIONAMIENTO	44.	SECTOR DE LAVADO
4.	DEPÓSITO DE INSUMOS 3	45.	VESTUARIO Y BAÑO DE CABALLEROS
5.	DEPÓSITO DE INSUMOS 4 (MED)	46.	GABINETE DE EXTRACCIÓN I
6.	DEPÓSITO DE INSUMOS 5	47.	LAVADERO
7.	GABINETE DE EXTRACCIÓN	48.	VESTUARIO Y BAÑO DE DAMAS
8.	SALA DE MOLIENDA	49.	SALA DE REUNIONES
9.	MUSEO DE CONTRAMUESTRAS	50.	AUDITORIO
10.	DEPÓSITO DE PRODUCTO TERMINADO 1 (MED.)	51.	ARCHIVO
11.	DEPÓSITO DE PRODUCTO TERMINADO 2	52.	SALA DE EVALUACIÓN SENSORIAL
12.	GABINETE DE EXTRACCIÓN	53.	HALL INTERNO
13.	SECTOR DE ACONDICIONADO	54.	OFICINA
14.	SALA DE FRACCIONAMIENTO DE INFUSIONES 2 (MED)	55.	OFICINA
15.	SALA DE FRACCIONAMIENTO DE INFUSIONES 1	56.	OFICINA
16.	SALA DE MEZCLADO (600 kg)	57.	CAMBIADOR
17.	DEPÓSITO DE CÁPSULAS	58.	OFICINA
18.	HALL DE ENTRADA	59.	OFICINA
19.	SALA DE EMBLÍSTADO	60.	OFICINA
20.	SALA DE ELABORACION POTES	61.	OFICINA
21.	DEPÓSITO DE PRODUCTO EN PROCESO Y RECHAZADO	62.	OFICINA
22.	DEPÓSITO DE MATERIA PRIMA 1	63.	OFICINA
23.	DEPÓSITO DE MATERIA PRIMA 2 (MED)	64.	CENTRAL INFORMATICA
24.	SECTOR DE PESAJE	65.	BAÑO
25.	SALA DE MUESTREO	66.	BAÑO
26.	AREA DE RECEPCIÓN	67.	OFICINA
27.	OFICINA 1	68.	OFICINA
28.	AREA DE EXPEDICIÓN	69.	OFICINA
29.	DEPÓSITO DE MATERIA PRIMA 3 (MED)	70.	OFICINA
30.	SALA DE FRACCIONAMIENTO DE INFUSIONES 3	71.	OFICINA
31.	SALA DE ENCAPSULADO 1	72.	OFICINA
32.	SALA DE ENCAPSULADO 2	73.	COMEDOR
33.	MANTENIMIENTO	74.	TERRAZA
34.	SALA DE MEZCLADO (150 kg)	75.	OFICINA
35.	GABINETE DE EXTRACCIÓN	76.	SALA DE ELABORACION FRASCOS
36.	SALA DE MAESTRANZA	77.	SALA DE FRACCIONAMIENTO DE INFUSIONES 4
37.	GABINETE DE COMPRESOR	78.	SECTOR DE EMPAQUETADO
38.	GABINETE DE MANTENIMIENTO	79.	DEPÓSITO DE PRODUCTO EN PROCESO (CÁPS.)
39.	GABINETE DE RESIDUOS	80.	SALA DE ENCAPSULADO 3
40.	OFICINA	81.	DEPÓSITO DE PRODUCTO EN PROCESO (MED)
41.	OFICINA		

Cuadro 18: Referencias de sectores. Propuesta N°1 de distribución en planta.

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que la propuesta anterior, se hace uso del terreno lindero para la expansión de las instalaciones en ambos sentidos. Los sectores de recepción y expedición se ubican juntos en el extremo sur de la planta, y las estaciones de proceso y depósitos van surgiendo en la medida que se recorre la distribución hacia el norte.

Las estaciones de molienda y mezclado se ubican cercanas a los depósitos de materias primas y productos semielaborados. Seguido a ellas comienza a desarrollarse en depósito de insumos, que cuenta con ala oeste – inferior - de ubicaciones, destinadas al abastecimiento de las líneas de infusiones, frascos, y blísteres; y un ala este – superior -, más pequeña, donde se mantienen los insumos de uso general y los utilizados en la elaboración de potes.

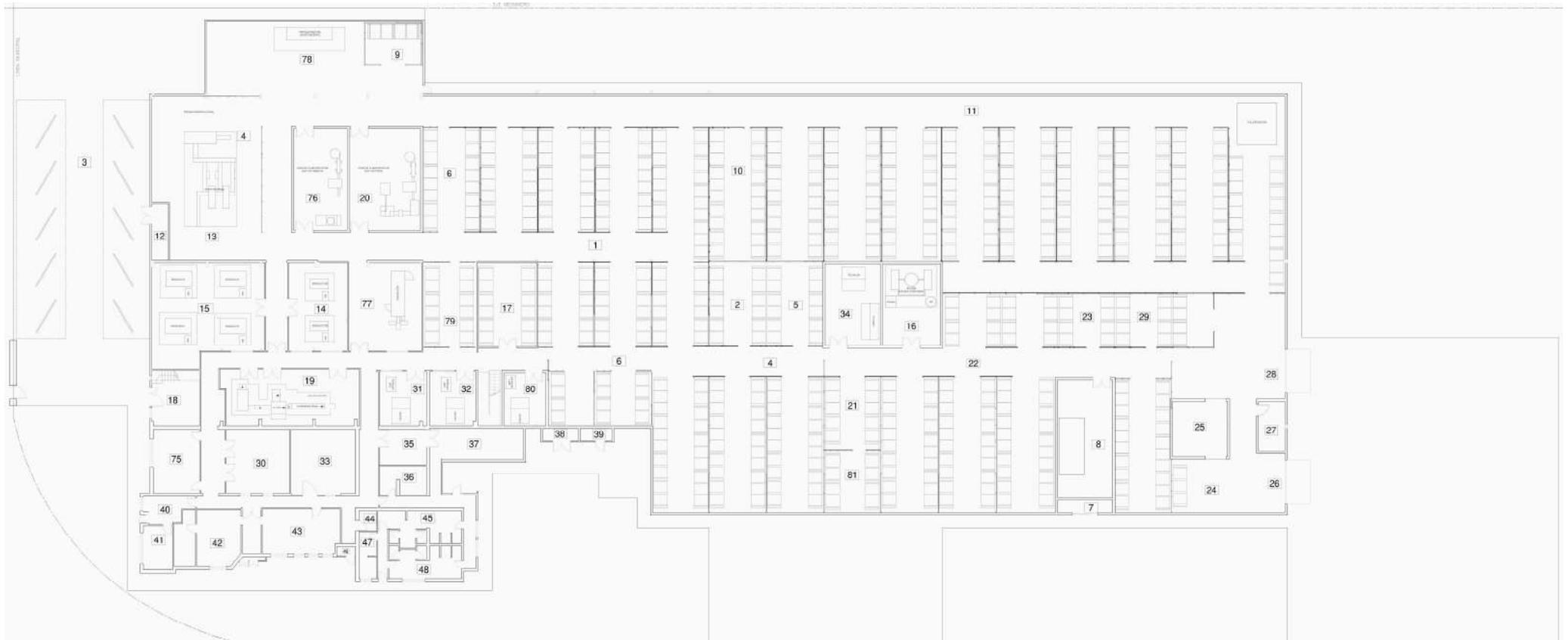


Figura 30: Plano de planta, propuesta N°2 de distribución en planta.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

En el extremo norte de la circulación, se posicionan las principales estaciones productivas. Tanto la línea de elaboración de blísteres, como la fraccionadora EC24 conservan su ubicación actual. Por otro lado, las tres salas de encapsulado, los depósitos de capsulas rígidas y suplementos en capsulas semielaborados se reorganizan de la misma forma que en la propuesta N°1. Se dispone un pasillo adicional entre las fraccionadoras EC12 con el objeto de mejorar la circulación de material hacia el sector de envasado y el depósito de producto terminado. También, se configuran, a continuación del depósito superior de insumos, dos salas de producción que albergan las líneas de producción de potes y frascos.

El ingreso al depósito de producto terminado de todas las familias se realiza por una circulación única que recorre longitudinalmente toda la planta, de norte a sur, y finaliza con el sector de paletizado. Las distintas estanterías del depósito se disponen en forma perpendicular a este a lo largo de diez pasillos. Por último, existe una circulación inferior adicional, de menor extensión, que conecta seis de estos pasillos con el sector de expedición.

5.15.2 Esquema tridimensional: Propuesta N°2

La figura 31 plasma el modelo tridimensional de la propuesta N°2. La identificación de sectores según color es análoga a la presentada en el apartado 5.11.3. Por otro lado, el cuadro 19 presenta un resumen de la superficie adicional proyectada, y la distribución modelada para de las ubicaciones de depósito, según su destino.

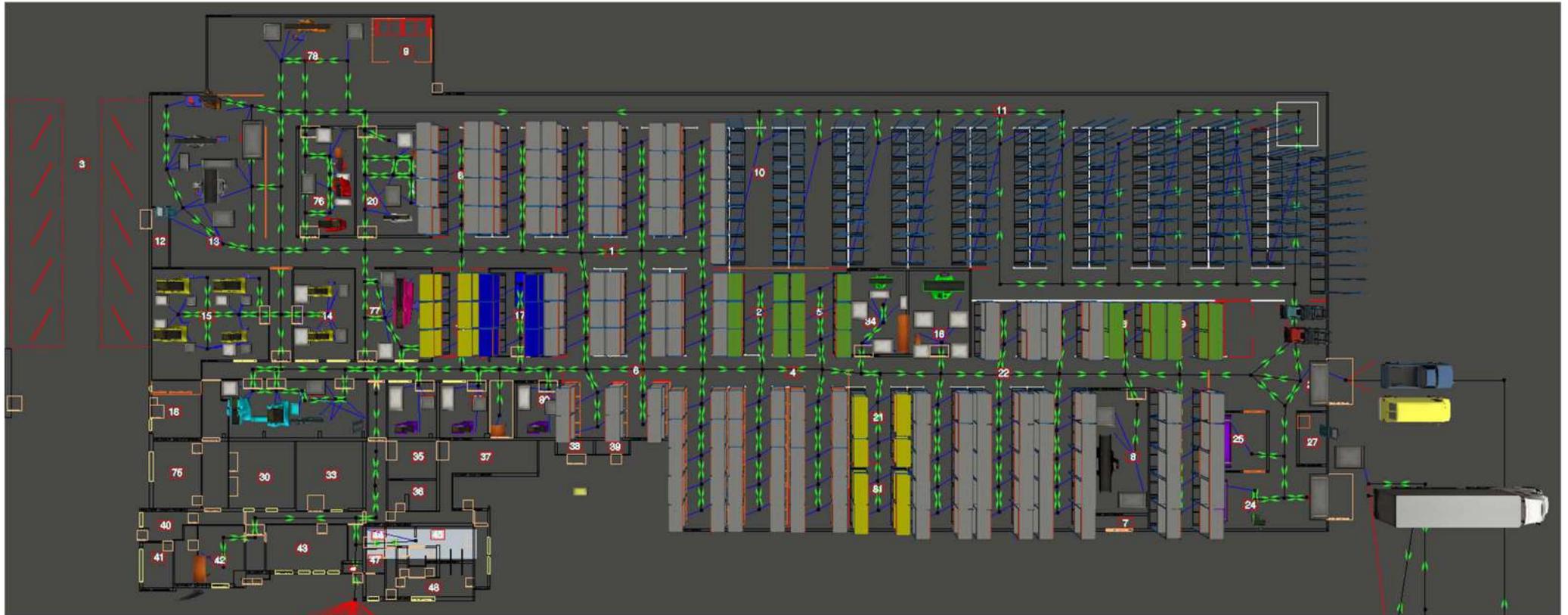


Figura 31: Modelo tridimensional. Propuesta N°2.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

Variable	Valor	Observaciones
Superficie cubierta adicional	4180 m ²	1420 m ² incorporados
Ubicaciones: Producto terminado	594	60 para productos fitoterápicos
Ubicaciones: Materia Prima	336	48 para materias primas medicinales
Ubicaciones: Insumos	681	- 39 ubicaciones para capsulas rígidas - 72 ubicaciones para insumos medicinales - 570 ubicaciones estipuladas para insumos estándar
Ubicaciones: Productos semielaborados	90	- 24 ubicaciones para productos medicinales - 36 ubicaciones para semielaborados de Blísteres o Frascos

Cuadro 19: Resumen superficie incorporada, y clasificación de ubicaciones de depósitos. Propuesta N°2.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

5.15.2 Validación del modelo

Se presentan en el cuadro 20 los valores de tasa de planta, y respectivos intervalos de confianza, que surgen de la simulación de la segunda alternativa. Para la totalidad de familias de producto unión de los intervalos simulados y de referencia forman un conjunto no vacío. Con lo cual, el modelo se considera validado estadísticamente.

Familia	Producción media [lotes/semana]	Error admisible [lotes/semana]	Intervalo de confianza [h/lote]	R medio [h/lote]	Intervalo objetivo
Medicinales	3.17	0.158	1.123	25.26	[25.32; 26.03]
Monohierba	4.66	0.229	0.590	17.16	[17.45; 18.32]
Multihierba	19.48	0.990	0.081	4.11	[4.04; 4.15]
Potes	21.40	1.077	0.142	3.74	[3.71; 3.85]
Frascos	2.23	0.108	2.939	35.89	[37.07; 41.86]
Blísteres	17.00	0.903	0.092	4.71	[4.43; 5.00]

Cuadro 20: resultados arrojados para la simulación de la propuesta de mejora N° 2 de distribución en planta; 35 réplicas ejecutadas; confiabilidad del 95%; valor crítico t de Student = 2.032.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

5.16 Resultados obtenidos

Luego de validar los modelos construidos para cada distribución en planta, se recopilan los datos necesarios para el cálculo de los indicadores presentados en el apartado 5.10.7.

5.16.1 Utilización de equipos

En primer lugar, el cuadro 21 plasma un resumen de los valores promedio e intervalos de confianza obtenidos para la utilización de equipos.

Equipo/recurso	Modelo de distribución	Utilización promedio	Intervalo de confianza
Fraccionadora EC24	Propuesta N°1	54.2%	4.8%
	Propuesta N°2	55.4%	4.7%
	Actual	92.3%	4.3%
Fraccionadoras EC12	Propuesta N°1	43.9%	2.2%
	Propuesta N°2	43.8%	2.2%
	Actual	46.6%	3.2%
Tolva 600	Propuesta N°1	28.6%	4.7%
	Propuesta N°2	27.5%	4.3%
	Actual	29.4%	6.1%
Envolvedoras	Propuesta N°1	38.9%	5.0%
	Propuesta N°2	38.5%	4.8%
	Actual	59.4%	6.3%
Encapsuladoras	Propuesta N°1	80.2%	2.7%
	Propuesta N°2	78.8%	3.9%
	Actual	97.5%	0.6%
Tolva 150	Propuesta N°1	60.5%	4.8%
	Propuesta N°2	60.8%	4.8%

	Actual	73.6%	6.3%
Línea de fraccionado y envasado: Blísteres	Propuesta N°1	84.8%	3.7%
	Propuesta N°2	83.2%	4.0%
	Actual	75.6%	6.1%
Línea de fraccionado y envasado: Potes	Propuesta N°1	55.1%	5.2%
	Propuesta N°2	51.8%	5.0%
	Actual	54.0%	6.7%
Moledora	Propuesta N°1	57.4%	4.8%
	Propuesta N°2	57.9%	4.9%
	Actual	80.4%	5.4%
Línea de fraccionado y envasado: Frascos	Propuesta N°1	38.1%	6.0%
	Propuesta N°2	38.0%	5.5%
	Actual	29.4%	5.9%
Empaquetadora EAPS 2	Propuesta N°1	35.4%	5.3%
	Propuesta N°2	31.1%	4.6%
	Actual	46.7%	6.8%
Empaquetadora TECMI	Propuesta N°1	14.0%	4.6%
	Propuesta N°2	10.6%	2.0%
	Actual	21.3%	5.0%

Cuadro 21: Resultados de utilización de equipos en las tres distribuciones simuladas; confiabilidad del 95%; valor crítico t de Student = 2.032.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

En relación con las estaciones de utilización cercana o mayor al 80% proyectado, se opta por mantener el número de equipos modelados fijo, considerando que en el transcurso del horizonte temporal planteado la organización podría implementar acciones enfocadas a mejorar el uso de estos recursos sin inversiones monetarias considerables. Las estaciones en cuestión son las encargadas del encapsulado, y la línea de elaboración de suplementos en blísteres.

Con respecto a la etapa de encapsulado, la acción recomendada se relaciona con la posibilidad de reducir los tiempos dedicados a la limpieza y configuración

necesarias entre lotes. Según los datos simulados, las 2 horas que conlleva cada ciclo de limpieza representan entre 15 y 16 puntos de utilización en ambas alternativas. Por lo tanto, el despliegue de metodologías apuntadas a la mejora de estas intervenciones tiene el potencial para lograr el colchón de capacidad proyectado.

Por otra parte, entre las principales acciones para disminuir la utilización de la línea de emblistado se encuentra el abordaje de la estación de estuchado, cuyos inconvenientes mecánicos actual la limitan a operar al 50% de su capacidad nominal. Si bien este factor se supone será prioritario a la hora de buscar aumentar el colchón de capacidad, cabe destacar que la empresa proyecta eliminar los formatos de blísteres de 120 y 150 cápsulas en el corto plazo. Con lo cual, los tiempos de cambios de formato en la estación, actualmente modelados en 15 minutos por lote y representando entre 4 y 6 puntos de utilización, se espera disminuyan.

Por último, el cuadro 22 presenta los valores máximos y mínimos de C_i^k obtenidos para cada distribución y familia de productos.

Familia	Sistema modelado	Estación de U_{max}	U media	Nivel de producción k	$C_i^k max$	$C_i^k min$
Medicinales	Propuesta N°1	Tolva 150	60.5%	1.3	44.3%	34.7%
	Propuesta N°2		60.8%	1.3	44.0%	34.4%
	Actual		73.6%	1	25.2%	15.5%
Monohierba	Propuesta N°1	EC24	54.2%	1.3	50.5%	41.0%
	Propuesta N°2		55.4%	1.3	49.4%	39.9%
	Actual		92.3%	1	9.2%	2.6%
Multihierba	Propuesta N°1	Tolva 150	60.5%	1.3	44.3%	34.7%
	Propuesta N°2		60.8%	1.3	44.0%	34.4%
	Actual		73.6%	1	25.2%	15.5%

Potes	Propuesta N°1	Línea de elaboración	55.1%	2	50.2%	39.7%
	Propuesta N°2		51.8%	2	53.3%	43.2%
	Actual		54.0%	1	26.4%	19.6%
Frascos	Propuesta N°1	Encapsulado	80.2%	2	22.4%	17.1%
	Propuesta N°2		78.8%	2	25.1%	17.3%
	Actual		97.5%	1	1.6%	1.0%
Blísteres	Propuesta N°1	Línea de elaboración	84.8%	2	18.9%	11.5%
	Propuesta N°2	Línea de elaboración	83.2%	2	20.8%	12.8%
	Actual	Encapsulado	97.5%	1	1.6%	1.0%

Cuadro 22: Resultados del indicador “Colchón de capacidad relativo”, por familia de producto y distribución analizada.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

5.16.2 Flujo de materiales y depósitos

El cuadro 23 plasma los valores promedio e intervalos de confianza para los indicadores “Peso por distancia unitario” y “Distancia unitaria”.

Familia	Modelo de distribución	PxD_i^k		$Dlote_i$	
		Promedio	I.C.	Promedio	I.C.
Medicinal	Actual	139.2	1.1	584.4	2.9
	Propuesta N°1	147.5	1.6	593.7	4.4
	Propuesta N°2	209.6	2.4	857.0	10.4
Monohierba	Actual	86.5	0.6	270.8	2.4
	Propuesta N°1	77.5	0.7	281.0	2.3
	Propuesta N°2	142.8	1.0	429.1	2.3
Multihierba	Actual	132.6	0.8	499.5	2.8
	Propuesta N°1	147.5	0.6	547.2	2.1
	Propuesta N°2	225.0	1.3	760.0	4.1
Potes	Actual	463.3	4.2	342.5	2.3
	Propuesta N°1	283.9	1.8	258.7	1.4
	Propuesta N°2	481.7	2.0	405.0	1.0

Frascos	Actual	97.4	1.0	456.7	2.8
	Propuesta N°1	61.5	0.6	373.3	2.7
	Propuesta N°2	97.8	0.6	490.6	2.4
Blísteres	Actual	59.7	0.4	468.3	2.0
	Propuesta N°1	41.7	0.2	422.6	1.5
	Propuesta N°2	57.2	0.1	503.8	1.6

Cuadro 23: Resultados de indicadores de flujo de las tres distribuciones simuladas; confiabilidad del 95%; valor crítico t de Student = 2.032.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

Por otro lado, el registro de retrocesos en cada distribución, para los flujos de cada familia de producto, se observa en el cuadro 24.

Familia	Modelo de distribución	Retrocesos
		Cantidad
Medicinal	Propuesta N°1	8
	Propuesta N°2	5
	Actual	12
Monohierba	Propuesta N°1	6
	Propuesta N°2	4
	Actual	8
Multihierba	Propuesta N°1	9
	Propuesta N°2	5
	Actual	12
Potes	Propuesta N°1	6
	Propuesta N°2	5
	Actual	8
Frascos	Propuesta N°1	6
	Propuesta N°2	4
	Actual	11
Blísteres	Propuesta N°1	8
	Propuesta N°2	5
	Actual	11

Cuadro 24: Resultados del relevamiento de retrocesos, por distribución y familia de producto.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

Por último, el cuadro 25 recopila los valores obtenidos para el indicador de metros cuadrados por ubicación de depósito, en cada distribución modelada.

Modelo de distribución	Superficie total [m ²]	Cantidad de ubicación en depósito	$\frac{m^2}{N^{\circ} \text{ubicación}}$
Propuesta N°1	4090	1707	2.40
Propuesta N°2	4180	1698	2.46
Actual	2760	942	2.93

Cuadro 25: Resultados del indicador de metros cuadrados sobre cantidad total de ubicaciones, por distribución.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

5.17 Priorización de alternativas

Luego de extraídos los resultados de las distribuciones simuladas, se hace uso del Proceso Analítico Jerárquico para establecer un orden de prioridad entre ellas, y juzgar de esta forma la conveniencia de implementación de una sobre el resto. El rol del decisor llevado a cabo en conjunto por jefe de planta de la organización, principal contraparte a la hora de solicitar información y presentar los resultados obtenidos a lo largo del trabajo, y el autor del trabajo.

5.17.1 Meta y estructura jerárquica

La meta estipulada para el proceso decisorio es la selección de la mejor distribución en planta modelada. Para definir los criterios de decisión se combinan los seis principios básicos (MUTHER, 1970) que debe perseguir el diseño de una distribución en planta; y los indicadores de desempeño calculados en el apartado anterior. De esta forma, se establecen cinco criterios decisorios:

- Mínima distancia recorrida: Se aborda este principio mediante el indicador $Dlote_i$.
- Circulación y flujo: Se utiliza el relevamiento de retrocesos para evaluar el grado de cumplimiento de este principio.

- Espacio cúbico: Se considera el indicador de $\frac{m^2}{N^{\circ} \text{ubicaciones}}$ en relación con el aprovechamiento superficial de cada distribución.
- Satisfacción y seguridad: Las alternativas de distribución en planta comparten el sistema de estanterías y los equipos de manejo de material. Por esto, se utiliza el indicador PxD_i^k para evaluar el desempeño respecto a este principio. A menor PxD_i^k , menor será el esfuerzo necesario por el personal para procesar una unidad de producto en una distribución en planta determinada.
- Flexibilidad: Entendiendo al colchón de capacidad como un factor preponderante en la capacidad de adaptación de una cadena de suministro, se utiliza C_i^k a la hora de evaluar este principio.

En pos de reflejar la importancia relativa entre las familias de producto, se conglomeran, para cada alternativa, los valores de cada indicador en cada una de las familias. Este proceso se lleva a cabo mediante el cálculo de promedios ponderados en dos pasos. El primero, obtiene tres medias correspondientes a: las tres familias de infusiones, los suplementos bebibles en potes, y suplementos en capsulas; y los pesos utilizados corresponden a la participación relativa en ventas de cada familia. El segundo, será el promedio de las tres medias ponderadas anteriores. Los resultados obtenidos para cada indicador se ubican en el anexo 8.5.1. Cabe aclarar que, en el caso del criterio de Espacio cúbico, estos cálculos no son necesarios ya que el indicador utilizado no discrimina entre las seis familias de producto existentes.

Naturalmente, las alternativas de decisión serán tres, cada una correspondiente a una distribución en planta, y evaluada con su indicador correspondiente. De esta forma, se completa la estructura jerárquica del problema, expresada en la figura 32 mediante un diagrama de árbol.

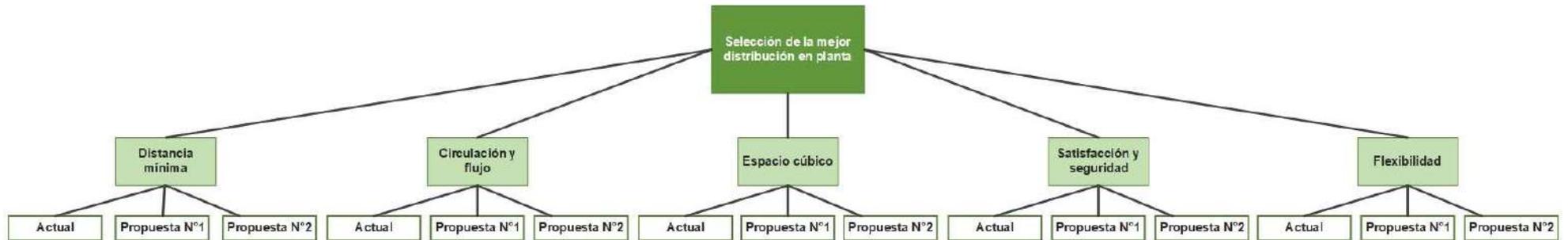


Figura 32: Diagrama de árbol del problema de decisión para la selección de propuestas de distribución en planta.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

5.17.2 Importancia relativa entre criterios

Luego, se realiza la comparación entre los criterios decisorios, en donde la evaluación del decisor apunta a priorizar los cinco principios estipulados para una distribución en planta. A continuación, se presenta en el cuadro 26 la matriz de comparaciones pareadas y el vector de pesos relativos resultante. La razón de consistencia obtenida resulta aceptable, siendo $RC = 0.057 < 0.1$.

		Distancia mínima	Circulación y flujo	Espacio cúbico	Satisfacción y seguridad	Flexibilidad
A_{Meta}	Distancia mínima	1	0.33	7.00	0.25	4.00
	Circulación y flujo	3.00	1	8.00	0.50	5.00
	Espacio cúbico	0.14	0.13	1	0.11	0.33
	Satisfacción y seguridad	4.00	2.00	9.00	1	5.00
	Flexibilidad	0.25	0.20	3.00	0.20	1
	$w_{Meta} = \begin{pmatrix} w_{Distancia\ mínima} \\ w_{Circulación\ y\ flujo} \\ w_{Espacio\ cúbico} \\ w_{Satisfacción\ y\ seguridad} \\ w_{Flexibilidad} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.163 \\ 0.302 \\ 0.031 \\ 0.438 \\ 0.066 \end{pmatrix}$					

Cuadro 26: Matriz de comparaciones pareadas y vector de pesos relativos.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

Los resultados obtenidos posicionan al principio de satisfacción y seguridad como criterio prioritario a la hora de seleccionar una alternativa, con un peso relativo porcentual del 43.8%. En segundo lugar, se ubica el principio de circulación y flujo, con un 30.2%. Esto refleja relativa preferencia por un flujo ordenado y coherente con respecto a los procesos que el operario debe llevar a cabo, por sobre el resto de los principios de una distribución en planta.

5.17.3 Evaluación de alternativas y agregación de prioridades

Obtenidos los pesos relativos, se procede a la evaluación de alternativas de distribución en planta. Las matrices de comparación pareadas y el cálculo de las razones de consistencia correspondientes se ubican en el anexo 8.5.2. De esta manera, en el cuadro 27 se plasman las prioridades globales resultantes para cada distribución en planta, luego de su agregación.

Alternativa de distribución en planta	Prioridad
Propuesta N°1	0.551
Propuesta N°2	0.301
Actual	0.148

Cuadro 27: Jerarquía final de alternativas de distribución en planta.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

De esta forma, finalizado el Proceso Analítico de Jerarquías, la Propuesta N°1, basada en una configuración lineal de la cadena de suministro, se ubica como la distribución en planta prioritaria a implementar en el marco de un proyecto de retro ajuste de las instalaciones. En el cuadro 28 se presenta una comparación entre la distribución seleccionada y la actual, basada en los cinco indicadores conglomerados asociados a cada criterio de decisión.

Criterio	Valor del indicador asociado		Mejora [%]
	Actual	Propuesta N°1	
Distancia mínima	422.9	390.2	7.7%
Circulación y flujo	10.0	7.3	27.0%
Espacio cúbico	2.93	2.4	18.1%
Satisfacción y seguridad	216.9	153.4	29.3%
Flexibilidad	13.8%	34%	146.4%

Cuadro 28: Comparativa entre distribución en planta actual y Propuesta N°1.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados evidencian mejoras de entre el 7% y el 146% a lo largo de los indicadores de desempeño, donde los indicadores de mayor relevancia para la organización se ubican apenas por debajo del 30%.

Entre los principales factores que contribuyen a estas mejoras se destaca fundamentalmente la disposición lineal de los flujos de material que se adoptó en la Propuesta N°1. Esta configuración hace uso de ambos extremos de las instalaciones y permite minimizar la distancia promedio recorrida por cada lote un 7.7%, aun dada la expansión superficial de la planta. Adicionalmente, la división de la distribución en tres alas longitudinales optimiza la circulación entre los distintos depósitos y las salas de producción. Por un lado, el arreglo lineal propuesto para cada familia de productos contribuye a disminuir los retrocesos y lograr una circulación más eficiente, obteniendo una mejora promedio del 27% en su indicador asociado. En paralelo, la distribución de depósitos y salas de producción considera, tanto las distancias absolutas entre ellos, como el peso asociado a la elaboración de un lote de cada familia de producto. El resultado es un arreglo que prioriza acortar distancias para recorridos de productos más pesados, y así reducir en un 29% el esfuerzo empleado en el manejo de materiales.

Por otra parte, la propuesta aprovecha las dos circulaciones principales y respecta el arreglo lineal de la distribución a la hora de distribuir las estanterías de los depósitos. En consecuencia, se evidencia una mejora del 18% en el aprovechamiento volumétrico. Por último, las mejoras resultantes en materia de flexibilidad se atribuyen principalmente a la implementación de un cronograma de producción de dos turnos, y la incorporación de una tercera estación de encapsulado, que traslada el cuello de botella hacia la línea de elaboración de blísteres y amplía el colchón de capacidad para la elaboración de suplementos en cápsulas.

6 CONCLUSIONES

El presente trabajo plantea el abordaje de las propuestas de rediseño de instalaciones de manufactura de Laboratorios Pharmamerican, bajo un enfoque mixto que permita su evaluación cuantitativa y cualitativa, la detección y abordaje de oportunidades de mejora, y una evaluación de la preferencia relativa entre alternativas para facilitar el proceso de toma de decisiones.

Con respecto a la etapa inicial de relevamiento y análisis de la distribución en planta y cadenas de suministro actuales, se destaca el proceso de estratificación y agrupamiento de información realizado. Allí, se hizo uso de conceptos fundamentales como la identificación de estructuras de proceso particulares, las distintas orientaciones de distribución en planta, y la identificación de pocos factores vitales mediante el principio de Pareto. Gracias a esto, se logró considerar en el estudio a 237 variedades de producto diferentes, sin incurrir en pérdidas considerables de su información o costos computacionales elevados.

Esta primera etapa también constituyó bases sólidas para las actividades de modelado y simulación que le siguieron. El diseño llevado a cabo en los mismos, y los indicadores extraídos brindan una visión global de las cadenas de suministro de cada familia de producto, y permitieron orientar las oportunidades de mejora planteadas hacia un mejor cumplimiento de los principios básicos (MUTHER, 1970) que debe perseguir una distribución en planta.

Finalizado el modelado de alternativas, se complementó el estudio con un proceso de decisión multicriterio cuya estructura logró cohesión entre los principios mencionados, las seis familias de producto conformadas, y los indicadores cuantitativos evaluados. En él, la organización ubicó a los principios de satisfacción y seguridad; y de circulación y flujo, como los más relevantes a la hora de evaluar las alternativas propuestas.

Como último paso, se procedió a realizar la comparación entre alternativas de distribución, que estableció a la propuesta N°1 como la mejor. Cuando se evalúa el desempeño de esta con respecto a la distribución actual, se obtienen mejoras promedio a lo largo de todos indicadores confeccionados. La contraparte de estos resultados es una cadena de suministro capaz de operar a tasas de producción entre un 30% y 100% mayores a las actuales; aprovechando un 18% más su espacio cubico; con recorridos promedio de material un 7% menores; y eliminando cerca de una cuarta parte de los retrocesos actuales. Adicionalmente, se destaca la reducción del 29% en el esfuerzo medio necesario para el transporte de material, gracias a la consideración de los tamaños de lote y las distancias a recorrer para la ubicación de salas de producción y depósitos. Por último, se destacan los aportes en materia de flexibilidad al sistema de operaciones, que surgen de las mejoras en los colchones de capacidad y el abordaje de los cuellos de botella.

De esta manera, habiendo llevado a cabo todas las etapas propuestas para el diseño de alternativas de retro ajuste de la distribución en planta de Laboratorios Pharmamerican, se puede decir que los objetivos planteados fueron alcanzados, logrando una evaluación, modelado, y simulación de la cadena de suministro; su posterior análisis y diseño de propuestas de mejora; y finalizando con la selección de una distribución que presenta mejoras en todos los factores que contribuyen a un diseño de instalaciones más eficiente.

7 BIBLIOGRAFÍA

ANDERSON, D., & SWEENEY, D. Y. (2004). *Métodos cuantitativos para los negocios*.

Thomson, 9na. edición.

AUTODESK INCORPORATED. (2022). *AutoCAD Architecture 2022 Help*. Obtenido de

<https://help.autodesk.com/view/ARCHDESK/2022/ENU/>

- CARIGNANO, C., & ALBERTO, C. (2013). *Apoyo cuantitativo de las decisiones*. Córdoba: Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Económicas de la U.N.C.
- CARSON, B., & NELSON, N. (2014). *Discrete-Event System Simulation*. Harlow: Pearson.
- DUNNA, E., REYES, H., & BARRÓN, L. (2013). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel 2da edición*. México: Pearson.
- FLEXSIM SOFTWARE PRODUCTS INCORPORATED. (2022). *Introduction to tutorials*. Obtenido de <https://docs.flexsim.com/en/22.1/Tutorials/Introduction/Introduction.html>.
- KLAUS, G. (2022). *AHP Online System*. Obtenido de <https://bpmsg.com/ahp/>
- KRAJEWSKI, L., RITZMAN, L., & MALHOTRA, M. (2018). *Operations Management: Processes and Supply Chains*. Pearson, 11va edición.
- MACHUCA, J. A. (1995). *Dirección de operaciones: Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. Irwin McGraw-Hill.
- MACHUCA, J., GONZALEZ, S., MACHUCA, M., & JIMENEZ, A. (1995). *Dirección de operaciones: aspectos estratégicos en la producción y los servicios*. Madrid: McGraw-Hill.
- MEYERS, F., & STEPHENS, M. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. Ciudad de México: Prentice Hall México.
- MUTHER, R. (1970). *Distribución en planta*. Barcelona: McGraw Hill, 2da edición.
- SCHROEDER, R., GOLDSTEIN, S., & RUNGTUSANATHAM, J. (2011). *Administración de operaciones (5ta ed)*. México: Mc Graw Hill.
- TAHA, H. (2012). *Investigación de operaciones*. Ciudad de México: Pearson.

8 ANEXO

8.1 Listas estructuradas de material

Las figuras 33, 34, 35, 36, 37, y 38 plasman las listas estructuradas de material confeccionadas para cada familia de productos, basadas en la variedad más vendida de cada una.

Lista estructurada de material		Lab. Pharmamerican			
Producto:		Laxante		Estructura de producción: Lotes	
Familia:		Medicinales			
		Tamaño [kg-u]: 90-2900			
Nivel	Nombre de parte	Cantidad	Unidad	Peso unitario [kg]	Fabricar o comprar
0	Infusión Laxante	1	batch	-	Fabricar
.1	Cajas de carton	41	u	20.5	Comprar
.1	PVC (horno)	2	rollo	20	Comprar
.1	Cajas de té enfiladas	2900	u	-	Fabricar
..2	Film	0.6	rollo	10	Comprar
..2	Cajas de té	2900	u	-	Fabricar
...3	Estuche	2900	u	8.3	Comprar
...3	Sobres de té	58000	u	-	Fabricar
....4	Sobreenvoltura	12	rollo	3.8	Comprar
....4	Hilo	3	rollo	0.5	Comprar
....4	Filtro	1	rollo	9	Comprar
....4	Etiqueta té	5.5	rollo	1.4	Comprar
....4	Mezcla de hierbas	90	kg	-	Fabricar
.....5	Mix hierbas laxantes	36	kg	-	Fabricar
.....5	Zen	54	kg	-	Comprar

Figura 33: Lista estructurada de material. Familia: Medicinales.

Fuente: Elaboración propia.

Lista estructurada de material		Lab. Pharmamerican			
Producto:		Manzanilla		Estructura de producción: Lotes	
Familia:		Monohierba			
		Tamaño [kg-u]: 85-4000			
Nivel	Nombre de parte	Cantidad	Unidad	Peso unitario [kg]	Fabricar o comprar
0	Infusión Manzanilla	1	batch	-	Fabricar
.1	PVC (horno)	2	rollo	20	Comprar
.1	Cajas de carton	56	u	28	Comprar
.1	Cajas de té	4000	u	-	Fabricar
..2	Estuches	4000	u	10.8	Comprar
..2	Sobreenvoltura	4	rollo	10	Comprar
..2	Hilo	0.25	rollo	1.8	Comprar
..2	Filtro	1	rollo	9	Comprar
..2	Etiqueta té	4	rollo	1.7	Comprar
..2	Manzanilla	85	kg	-	Comprar

Figura 34: Lista estructurada de material. Familia: Monohierba.

Fuente: Elaboración propia.

Lista estructurada de material		Lab. Pharmamerican			
Producto: Frutos del bosque		Estructura de produccion: Lotes			
Familia: Multihierba		Tamaño [kg-u]: 120-2900			
Nivel	Nombre de parte	Cantidad	Unidad	Peso unitario [kg]	Fabricar o comprar
0	Infusión Frutos del bosque	1	batch	-	Fabricar
.1	Cajas de carton	41	u	20.5	Comprar
.1	PVC (horno)	2	rollo	20	Comprar
.1	Cajas de té enfilmadas				
..2	Film	0.6	rollo	10	Comprar
..2	Cajas de té	2900	u	-	Fabricar
...3	Estuches	2900	u	8.3	Comprar
...3	Sobres de té	58000	u	-	Fabricar
....4	Sobreenvoltura	3	rollo	10	Comprar
....4	Hilo	3	rollo	0.5	Comprar
....4	Filtro	1	rollo	9	Comprar
....4	Etiqueta té	5.5	rollo	1.4	Comprar
....4	Mezcla de hierbas	120	kg	-	Fabricar
....5	Base Frutos del Bosque	102	kg	-	Comprar
....5	Rosa Mosqueta	18	kg	-	Comprar

Figura 35: Lista estructurada de material. Familia: Multihierba.

Fuente: Elaboración propia.

La lista estructurada de potes toma como referencia el tamaño de lote para la etapa de mezclado – 500kg -. En la práctica, las etapas posteriores se realizan en un lote equivalente a un 25% de éste.

Lista estructurada de material		Lab. Pharmamerican			
Producto: Colágeno Hidrolizado		Estructura de produccion: Lotes			
Familia: Potes		Tamaño [kg-u]: 500-1350			
Nivel	Nombre de parte	Cantidad	Unidad	Peso unitario [kg]	Fabricar o comprar
0	Pote Colágeno Hidr. x360g	1	batch	-	Fabricar
.1	Cajas de carton	44	u	14.6	Comprar
.1	PVC (horno)	2	rollo	20	Comprar
.1	Cucharas	1	u	8.35	Comprar
.1	Potes de suplemento	1350	u	-	Fabricar
..2	Potes	18	u	4.2	Comprar
..2	Etiquetas Potes	3	rollo	2.55	Comprar
..2	Tapas Potes	4	u	7.3	Comprar
..2	Mezcla suplemento	500	kg	-	Fabricar
...3	Colageno Hidrolizado	415	kg	-	Comprar
...3	Receta Pharmamerican	85	kg	-	Fabricar

Figura 36: Lista estructurada de material. Familia: Potes.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, para suplementos en capsulas, el lote de referencia es el utilizado en las etapas de fraccionado y envase – 45kg -. La etapa de mezclado se realiza en un lote el doble de grande, de 90kg.

Lista estructurada de material		Lab. Pharmamerican			
Producto: Colageno + Calcio x30		Estructura de produccion: Lotes			
Familia: Frascos		Tamaño [kg-u]: 45-3300			
Nivel	Nombre de parte	Cantidad	Unidad	Peso unitario [kg]	Fabricar o comprar
0	Frasco Col + Cal x30	1	batch	-	Fabricar
.1	Cajas de carton	55	u	4.1	Comprar
.1	Frasco lleno	3300	u	-	Fabricar
..2	Frascos	9	u	10.9	Comprar
..2	Tapas	7	u	2.95	Comprar
..2	Etiquetas Frascos	2	rollo	2.35	Comprar
..2	Dosis suplemento	100,000	u	-	Fabricar
...3	Cápsulas rígidas	100,000	u	60	Comprar
...3	Mezcla suplemento	45.0	kg	-	Fabricar
....4	Colageno Hidrolizado	23.4	kg	-	Comprar
....4	Receta Pharmamerican	21.6	kg	-	Fabricar

Figura 37: Lista estructurada de material. Familia: Frascos.

Fuente: Elaboración propia.

Lista estructurada de material		Lab. Pharmamerican			
Producto: Colageno + Calcio x30		Estructura de produccion: Lotes			
Familia: Blísteres		Tamaño [kg-u]: 45-3300			
Nivel	Nombre de parte	Cantidad	Unidad	Peso unitario [kg]	Fabricar o comprar
0	Blísteres Col + Cal x30	1	batch	-	Fabricar
.1	Cajas de carton	16	u	7.5	Comprar
.1	PVC (horno)	0.2	rollo	20	Comprar
.1	Caja de suplementos	3300	u	-	Fabricar
..2	Estuches	5	u	7.2	Comprar
..2	Blísteres	3300	u	-	Fabricar
...3	Aluminio	1	rollo	10	Comprar
...3	PVC (blister)	1	rollo	10	Comprar
...3	Dosis suplemento	100,000	u	-	Fabricar
....4	Cápsulas rígidas	100,000	u	13.5	Comprar
....4	Mezcla suplemento	45.0	kg	-	Fabricar
....5	Colageno Hidrolizado	23.4	kg	-	Comprar
....5	Receta Pharmamerican	21.6	kg	-	Comprar

Figura 38: Lista estructurada de material. Familia: Blísteres.

Fuente: Elaboración propia.

8.2 Maquinarias

8.2.1 Matriz familia de producto-proceso

La figura 39 presenta la matriz familia de producto-proceso desarrollada.

Matriz familia de producto - proceso							
Proceso	Equipo	Familia de producto					
		Potes	Frascos	Blister	Medicinales	Multihierba	Monohierba
Recepción y preprocesamiento	Moledora				X	X	X
	Báscula (sector 24)	X	X	X	X	X	X
Dosificado	Báscula (sector 35)	X	X	X	X	X	X
	Báscula (sector 16)	X	X	X	X	X	
Mezclado	Tolva (150 kg)		X	X	X		
	Tolva (600 kg)	X				X	
Fraccionamiento y envasado	Fraccionadora Mai EC12				X	X	
	Fraccionadora EC24						X
	Cintas transportadoras				X	X	
	Codificadora				X	X	
	Envasadora primaria				X	X	
	Emblistadora MP Pharma			X			
	Emblistadora DP-140A			X			
	Estuchadora			X			
	Llenadora de polvos	X					
	Etiquetadora y codificadora	X	X				
	Selladora	X	X				
	Contadora de cápsulas		X				
	Detector de metales	X	X	X			
Encapsuladora		X	X				
Empaquetado	Empaquetadora EAPS 2				X	X	X
	Empaquetadora EAPS 1			X			
	Empaquetadora TECMI	X					X

Figura 39: Matriz familia de producto-proceso con desarrollo por equipos.

Fuente: Elaboración propia.

8.2.2 Descripción de maquinarias

A continuación, se listan, en la figura 40, las principales características de los equipos utilizados para el desarrollo de las operaciones descritas en el apartado 5.4.

Proceso	Equipo	Cantidad	Capacidad nominal	Largo [m]	Ancho [m]	Alto [m]	Sup. [m ²]	Sup. Mínima de operación [m ²]	Servicios
Fraccionamiento y envasado	Línea de codificado y envasado	1	61 u/min	8.3	4	4.5	33.2	46	Energía eléctrica y aire comprimido
Fraccionamiento y envasado	Contadora de cápsulas	1	10 u/min	1	1	1.5	1.0	3	Energía eléctrica
Fraccionamiento y envasado	Detector de metales	1	-	1.5	0.7	1.5	1.1	5	Energía eléctrica
Fraccionamiento y envasado	Detector de metales	2	-	0.9	1.6	1.5	1.4	5	Energía eléctrica
Fraccionamiento y envasado	Emblistadora MP Pharma	1	36 u/min	2.1	0.5	1.6	1.0	15	Energía eléctrica, aire comprimido y agua
Fraccionamiento y envasado	Emblistadora DP-140A	1	75 u/min	3.0	0.5	1.5	1.5	12	Energía eléctrica, aire comprimido y agua
Empaquetado	Empaquetadora EAPS 1	1	5 u/min	2.5	1.5	1.9	3.8	18	Energía eléctrica y aire comprimido
Empaquetado	Empaquetadora TECMI	1	9 u/min	4.2	1.1	2.3	4.6	17	Energía eléctrica y aire comprimido
Empaquetado	Empaquetadora EAPS 2	1	10 u/min	4.4	1.1	2.3	4.8	30	Energía eléctrica y aire comprimido
Fraccionamiento y envasado	Encapsuladora	2	13000 u/h	1.7	1.3	1.8	2.3	5	Energía eléctrica y aire comprimido
Fraccionamiento y envasado	Fraccionadora EC24	1	216 u/min	4.9	1.4	4	6.9	37	Energía eléctrica y aire comprimido (extracción de aire propia)
Fraccionamiento y envasado	Fraccionadora Mai EC12	2	126 u/min	2.4	1.42	2.6	3.4	18	Energía eléctrica, extracción de aire, y aire comprimido
Fraccionamiento y envasado	Fraccionadora Mai EC12	3	128 u/min	1.7	1.0	2.6	1.7	17	Energía eléctrica, extracción de aire, y aire comprimido
Fraccionamiento y envasado	Fraccionadora Mai EC12	2	130 u/min	2.4	1.42	2.6	3.4	18	Energía eléctrica, extracción de aire, y aire comprimido
Fraccionamiento y envasado	Fraccionadora Mai EC12	1	120 u/min	1.7	1.0	2.6	1.7	17	Energía eléctrica, extracción de aire, y aire comprimido
Fraccionamiento y envasado	Estuchadora	1	15 u/min	2.2	1.7	1.7	3.9	13	Energía eléctrica y aire comprimido
Fraccionamiento y envasado	Etiquetadora y codificadora	1	20 u/min	2.1	1.2	1.6	2.5	4	Energía eléctrica
Fraccionamiento y envasado	Llenadora de polvos	1	10 u/min	3.1	1.2	2.3	3.7	7	Energía eléctrica y aire comprimido
Recepción y preprocesamiento	Moledora	1	49 kg/h	5.0	2.3	3.5	11.5	30	Energía eléctrica y extracción de aire
Fraccionamiento y envasado	Selladora	1	16 u/min	1.3	0.6	1.7	0.8	3	Energía eléctrica
Mezclado	Tolva	1	150 kg	1.2	2.2	3.0	2.6	5	Energía eléctrica y extracción de aire
Mezclado	Tolva	1	600 kg	3.8	4.7	3.2	17.9	25	Energía eléctrica (extracción de aire propia)
Dosificado	Váscula (sector 35)	1	2000 kg	1.0	3.3	2.5	3.3	14.85	Energía eléctrica
Dosificado	Váscula (sector 16)	1	2000 kg	1	2	2	2.0	6	Energía eléctrica
Recepción y preprocesamiento	Váscula (sector 24)	1	2000 kg	1.0	2.0	2.0	2.0	8	Energía eléctrica

Figura 40: Descripción de maquinarias.

Fuente: Elaboración propia.

Además, en el cuadro 29 se describen las características de las ocho fraccionadoras Mai EC12. La columna “Tipo” describe si el equipo cuenta, o no, con un complemento mecánico para facilitar su operación.

Equipo	Tipo	Familia	Cantidad	Capacidad nominal
Fraccionadoras Mai EC12	Con brazo	Multihierba	2	126 golpes/min
	Sin brazo	Multihierba	2	130 golpes/min
	Semi automática papel obra	Medicinales (1) y Multihierba (2)	3	128 golpes/min

	Semi automática con brazo papel obra	Medicinales	1	120 golpes/min
--	--------------------------------------	-------------	---	----------------

Cuadro 29: Características de las Fraccionadoras EC12.

Fuente: Elaboración propia.

8.3 Modelado y simulación

8.3.1 Mano de obra directa

La mano de obra directa asignada en el modelo para cada estación u operación de transporte se describe en cuadro 30.

Estación/Operación	Cantidad de operarios	Observaciones
Fraccionadora EC24	1	-
Fraccionadora EC12	1 por equipo	-
Encapsuladoras	1 por equipo	-
Moledora	1	-
Dosificado y Mezclado	1 por estación	Estación de lotes pequeños – Tolva 150 Estación de lotes grandes – Tolva 600
Línea de elaboración de suplementos en blísteres	3	-
Línea de elaboración de suplementos en potes	3	Cuando ambas líneas comparten equipos la dotación es de tres operarios en total.
Línea de elaboración de suplementos en frascos	2	
Línea de envasado y empaquetado de infusiones	2	-
Empaquetadora TECMI	1	-
Recolección de materiales de depósitos	2	Transporte en zorras hidráulicas o tradicionales
Transporte entre estaciones de producto semielaborado		
Recepción, muestreo y almacenamiento	2	Auto elevadores
Transporte de lotes de producto terminado		
Expedición		

Cuadro 30: Mano de obra directa asignada a cada estación.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

8.3.2 Características y modelado de insumos

El cuadro 31 plasma las variaciones presentes en los insumos según familia de producto, la equivalencia del número de formatos con respecto a unidades reales, el número máximo de unidades que caben en cada estantería de depósito, y su peso unitario.

Familia	Insumo	Formato	Unidades reales por formato	Formatos por ubicación	Peso U Formato [kg]
Blísteres	Aluminio	Rollo	1	120	10
Frascos	Cajas	Atado	55	12	0.8
Potes	Cajas	Atado	10	36	3.3
Blísteres e infusiones	Cajas	Atado	10	36	5
Blísteres	Capsulas	Caja	100,000	10	13.5
Frascos	Capsulas	Caja	100,000	10	60
Potes	Cucharas	Caja	2,000	190	8.35
Blísteres	Estuches	Caja	700	54	7.2
Monohierba	Estuches Inf.	Caja	400	48	10.8
Multihierba y Medicinales	Estuches Inf.	Caja	500	36	8.3
Potes	Etiquetas	Rollo	500	216	2.55
Frascos	Etiquetas	Rollo	4,000	144	4.7
Monohierba	Etiquetas Inf.	Rollo	1,000	500	1.7
Multihierba y Medicinales	Etiquetas Inf.	Rollo	500	650	1,4
Medicinales y Multihierba	Film Inf.	Rollo	1	78	10
Infusiones	Filtro	Rollo	1	32	9
Frascos	Frascos	Caja	400	16	10.9
Monohierba	Hilo	Rollo	12	100	1.8
Medicinales y Multihierba	Hilo	Rollo	1	190	0.5
Potes	Potes	Pack	78	13	4.2
Blísteres	P.V.C. (blísteres)	Rollo	1	136	10

Todas excepto Frascos	P.V.C. (empaque)	Rollo	1	45	20
Medicinales	Sobre Envoltura	Rollo	250	60	3.8
Monohierba y Multihierba	Sobre Envoltura	Rollo	1,000	60	10
Frascos	Tapas	Caja	500	63	2.95
Potes	Tapas	Pack	350	18	7.3

Cuadro 31: Unidad mínima simulada por atributo.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

8.3.3 Atributos utilizados para el modelado de depósitos

El cuadro 32 muestra un resumen y descripción de los distintos atributos utilizados en los tres sistemas modelados.

Atributo	Descripción	Observaciones
ContenidoMax	Representa el volumen total disponible de una ubicación. Un valor de 100 equivale a una ubicación estándar de un pallet americano de superficie, y 1.5 metros de altura.	
Familia	Representa la familia de producto que cada ubicación tiene asignada. 1: Inf. Medicinales 2: Inf. Monohierba 3: Inf. Multihierba 4: Potes 5: Frascos 6: Blísteres	Utilizada principalmente para distribuir insumos particulares de cada familia entre sectores del depósito.
SuperFamilia	Agrupar dos o más familias en una categoría única.	Utilizado para la segmentación de depósitos de producto semielaborados, donde es necesario el tratamiento conjunto de múltiples familias de producto.
Tipo	Utilizada para diferenciar ubicaciones para el acopio de materias primas, insumos, y semielaborados.	Además, se usa para la asignación de ubicaciones exclusivas para determinado tipo de insumos. Por ejemplo, el depósito de capsulas rígidas, que requiere de una sala con equipo de acondicionamiento de aire.

Med	Diferencia los sectores destinados insumos o materia prima de uso medicinal, de los de uso alimenticio.	Valor nulo: materiales de uso alimenticio. Valor unitario: materiales de uso medicinal
orden	Establece un orden de prioridad para el almacenamiento de materiales dentro del conjunto de ubicaciones disponibles.	La prioridad aumenta en la medida que disminuye el valor del atributo.

Cuadro 32: Atributos utilizados para el modelado de depósitos.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.

8.3.4 Cálculo del periodo de calentamiento

Para obtener el periodo de calentamiento t_0 se siguió el método de promedios conjuntos, descrito en el apartado 3.9.6.1. Las variables consideradas fueron la cantidad de materia prima medicinal lista preprocesada, expresada como lotes de producción equivalentes; y el volumen total ocupado del depósito de materias primas. Los valores objetivo son 31.2 y 10100, respectivamente para el caso del modelo de la distribución actual; y 40.5 y 13600, en las propuestas modeladas. En todos los casos, periodo promediado fue de 7 días, se adoptó una confiabilidad del 95%, un error admisible igual a un medio de la desviación estándar, y se corrieron 30 réplicas de 12 millones de segundos de duración.

Los cuadros 33, 35, y 37 plasman los promedios semanales obtenidos para el volumen ocupado en el depósito de materias primas, mientras que los cuadros 34, 36, y 38 muestran el promedio semanal de lotes de materia prima medicinal almacenados.

Volumen ocupado en depósito de materias primas - Actual				
Semana	Media	S	I.C.	error
1	0	0	0	0
2	198	11	4	6
3	478	10	4	5
4	749	11	4	5
5	1218	18	7	9
6	1401	51	19	25
7	3588	64	24	32
8	5857	35	13	17
9	6176	80	30	40
10	6564	101	38	51

11	6888	63	24	32
12	7310	73	27	36
13	7720	64	24	32
14	10732	33	12	17
15	12031	112	42	56
16	12355	83	31	42
17	12778	75	28	37
18	13405	70	26	35
19	13627	92	35	46
20	15156	106	40	53

Cuadro 33: Cálculo del periodo de precalentamiento. Promedios conjuntos semanales para volumen ocupado en depósito de materias primas. Modelo de situación actual.

Fuente: Elaboración propia.

Lotes de materia prima medicinal – Actual				
Semana	Media	S	I.C.	error
1	0	0	0	0
2	0.0	0	0	0
3	0.0	0	0	0
4	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0
6	3.8	0.8	0.3	0.4
7	13.4	1.6	0.6	0.8
8	19.8	1.5	0.6	0.7
9	23.3	0.4	0.2	0.2
10	23.5	0.4	0.1	0.2
11	26.6	2.7	1.0	1.3
12	33.9	3.8	1.4	1.9
13	41.2	3.7	1.4	1.8
14	45.6	1.8	0.7	0.9
15	52.6	1.5	0.6	0.8
16	60.0	2.0	0.7	1.0
17	63.4	3.0	1.1	1.5
18	65.4	3.2	1.2	1.6
19	69.8	3.4	1.3	1.7
20	77.8	4.0	1.5	2.0

Cuadro 34: Cálculo del periodo de precalentamiento. Promedios conjuntos semanales para lotes de materia prima medicinal. Modelo de situación actual.

Fuente: Elaboración propia.

Volumen ocupado en depósito de materias primas – Propuesta 1				
Semana	Media	S	I.C.	error

1	0	0	0	0
2	258	13	5	7
3	623	12	4	6
4	983	15	6	8
5	1530	11	4	6
6	1792	25	9	12
7	5794	83	31	41
8	9631	40	15	20
9	10041	91	34	46
10	10391	112	42	56
11	10835	104	39	52
12	11335	97	36	49
13	11839	105	39	52
14	17123	102	38	51
15	19412	181	68	91
16	19896	168	63	84
17	20401	169	63	84
18	21091	166	62	83
19	21409	167	62	83
20	23429	149	56	75

Cuadro 35: Cálculo del periodo de precalentamiento. Promedios conjuntos semanales para volumen ocupado en depósito de materias primas. Modelo de Propuesta N° 1.

Fuente: Elaboración propia.

Lotes de materia prima medicinal – Propuesta 1				
Semana	Media	S	I.C.	error
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0.0	0.0	0.0
5	0	0.0	0.0	0.0
6	5	1.1	0.4	0.6
7	14	1.4	0.5	0.7
8	21	1.6	0.6	0.8
9	29	1.0	0.4	0.5
10	30	0.5	0.2	0.2
11	30	1.2	0.5	0.6
12	34	3.5	1.3	1.7
13	40	5.5	2.0	2.7
14	48	6.2	2.3	3.1
15	55	6.1	2.3	3.0
16	63	6.1	2.3	3.0
17	71	5.9	2.2	2.9
18	79	5.2	2.0	2.6
19	85	4.5	1.7	2.2
20	88	4.1	1.5	2.1

Cuadro 36: Cálculo del periodo de precalentamiento. Promedios conjuntos semanales para lotes de materia prima medicinal. Modelo de Propuesta N° 1.

Fuente: Elaboración propia.

Volumen ocupado en depósito de materias primas – Propuesta 2				
Semana	Media	S	I.C.	error
1	0	0	0	0
2	259	13	5	7
3	624	12	4	6
4	984	15	6	8
5	1559	16	6	8
6	1771	28	10	14
7	5708	72	27	36
8	9596	41	15	21
9	9957	91	34	46
10	10441	118	44	59
11	10825	101	38	51
12	11325	98	37	49
13	11826	105	39	52
14	17003	103	39	52
15	19462	182	68	91
16	19880	170	63	85
17	20386	172	64	86
18	21161	168	63	84
19	21387	170	63	85
20	23832	131	49	66

Cuadro 37: Cálculo del periodo de precalentamiento. Promedios conjuntos semanales para volumen ocupado en depósito de materias primas. Modelo de Propuesta N° 2.

Fuente: Elaboración propia.

Lotes de materia prima medicinal – Propuesta 2				
Semana	Media	S	I.C.	error
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0.0	0.0	0.0
5	0	0.0	0.0	0.0
6	4	0.7	0.3	0.4
7	13	1.7	0.6	0.8
8	20	1.6	0.6	0.8
9	28	1.2	0.5	0.6

10	30	0.5	0.2	0.2
11	30	0.9	0.3	0.4
12	33	3.3	1.2	1.7
13	39	5.4	2.0	2.7
14	46	6.0	2.2	3.0
15	54	6.0	2.2	3.0
16	62	6.0	2.3	3.0
17	70	5.8	2.2	2.9
18	77	4.8	1.8	2.4
19	82	4.6	1.7	2.3
20	84	5.2	1.9	2.6

Cuadro 38: Cálculo del periodo de precalentamiento. Promedios conjuntos semanales para lotes de materia prima medicinal. Modelo de Propuesta N° 2.

Fuente: Elaboración propia.

En todos los casos, el periodo de precalentamiento mínimo para alcanzar ambos valores objetivo es luego de la semana 14. Es decir, 98 días.

8.3.5 Salidas de la simulación: Tasa de planta

Se presentan, en las figuras 41, 42, y 43 los cálculos realizados para la obtención del número de réplicas necesario, los estimadores de la tasa de planta, en cada distribución modelada, y para cada familia de producto. Para obtener los intervalos de confianza se siguió la metodología desarrollada en el apartado 3.9.6.2, con un $R_0 = 10$. En todos los casos el error admisible fue del 5% de la producción mensual, expresada en número de lotes. Cabe destacar que la cota de error alcanzada en la simulación de la familia Frascos – para las distribuciones propuestas - requería un numero de réplicas considerablemente mayor que el resto de las familias de producto. Motivo por el cual, considerando su bajo volumen de producción relativo; y la superposición de los intervalos de confianza obtenidos con los de referencia, se opta por mantener el $R = 35$.

Validación: Modelo Actual									
Medicinales									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	2.3	t crítico	2.032	Media	2.4	t crítico	2.262		
S	0.322	R	35	S0	0.382	R0	10		
H	0.111	alfa	0.05	H	0.273	alfa	0.05		
Cota min	2.221	T disp [h]	171.4	e	0.12	Tasa max	11.4		
Cota max	2.443			Z	1.960	Tasa min	9.1		
Tasa min	18.0			R estimado	39.1				
Tasa max	16.4			R	40.0	41.0	42.0	43.0	
Tasa med	17.2			T crítico	2.02	2.02	2.02	2.02	
				Desigualdad	41.61	41.55	41.48	41.42	
Monohierba									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	3.5	t crítico	2.032	Media	3.4	t crítico 0	2.262		
S	0.354	R	35	S0	0.349	R0	10		
H	0.122	alfa	0.05	H	0.250	alfa	0.05		
Cota min	3.377	T disp [h]	171.4	e	0.17	Tasa max	15.5		
Cota max	3.620			z alfa/2	1.960	Tasa min	13.3		
Tasa min	11.8			R estimado	15.8				
Tasa max	11.1			R	16.0	17.0	18.0	19.0	
Tasa med	11.4			T crítico	2.13	2.12	2.11	2.10	
				Desigualdad	18.70	18.50	18.32	18.17	
Multihierba									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	14.8	t crítico	2.032	Media	15.2	t crítico 0	2.262		
S	0.802	R	35	S0	0.782	R0	10		
H	0.275	alfa	0.05	H	0.559	alfa	0.05		
Cota min	14.571	T disp [h]	171.4	e	0.75	Tasa max	67.7		
Cota max	15.122			Z	1.960	Tasa min	63.0		
Tasa min	2.7			R estimado	4.2				
Tasa max	2.6			R	5.0	6.0	7.0	8.0	
Tasa med	2.7			T crítico	2.78	2.57	2.45	2.36	
				Desigualdad	8.35	7.16	6.49	6.06	
Potes									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	10.4	t crítico	2.032	Media	10.4	t crítico 0	2.262		
S	1.337	R	35	S0	1.079	R0	10		
H	0.459	alfa	0.05	H	0.772	alfa	0.05		
Cota min	9.936	T disp [h]	171.4	e	0.53	Tasa max	47.8		
Cota max	10.855			Z	1.960	Tasa min	41.2		
Tasa min	4.0			R estimado	16.0				
Tasa max	3.7			R	16.0	17.0	18.0	19.0	
Tasa med	3.8			T crítico	2.13	2.12	2.11	2.10	
				Desigualdad	18.91	18.71	18.53	18.38	
Frascos									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	1.0	t crítico	2.032	Media	1.0	t crítico 0	2.262		
S	0.242	R	35	S0	0.143	R0	10		
H	0.083	alfa	0.05	H	0.102	alfa	0.05		
Cota min	0.939	T disp [h]	171.4	e	0.05	Tasa max	4.5		
Cota max	1.105			Z	1.960	Tasa min	3.6		
Tasa min	42.6			R estimado	30.5				
Tasa max	36.2			R	31.0	32.0	33.0	34.0	
Tasa med	39.2			T crítico	2.04	2.04	2.04	2.03	
				Desigualdad	33.08	33.00	32.91	32.83	
Blísteres									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	7.9	t crítico	2.032	Media	8.0	t crítico 0	2.262		
S	0.349	R	35	S0	0.303	R0	10		
H	0.120	alfa	0.05	H	0.217	alfa	0.05		
Cota min	7.783	T disp [h]	171.4	e	0.42	Tasa max	35.3		
Cota max	8.023			Z	1.960	Tasa min	33.4		
Tasa min	5.1			R estimado	2.0				
Tasa max	5.0			R	2.0	3.0	4.0	5.0	
Tasa med	5.1			T crítico	12.71	4.30	3.18	2.78	
				Desigualdad	82.27	9.43	5.16	3.93	

Figura 41: Estimación de las tasas de planta y réplicas necesarias. Modelo de situación actual.

Fuente: Elaboración propia.

Validación: Modelo Propuesta N° 1									
Medicinales									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	3.2	t crítico	2.032	Media	3.3	t crítico 0	2.262		
S	0.404	R	35	S0	0.429	R0	10		
H	0.139	alfa	0.05	H	0.307	alfa	0.05		
Cota min	3.029	T disp [h]	342.9	e	0.158	Tasa max	15.4		
Cota max	3.307			Z	1.960	Tasa min	12.7		
Tasa min	26.4			R estimado	28.4				
Tasa max	24.2			R	29.0	30.0	31.0	32.0	
Tasa med	25.2			T crítico	2.05	2.05	2.04	2.04	
				Desigualdad	30.97	30.88	30.79	30.70	
Monohierba									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	4.7	t crítico	2.032	Media	4.5	t crítico 0	2.262		
S	0.463	R	35	S0	0.497	R0	10		
H	0.159	alfa	0.05	H	0.356	alfa	0.05		
Cota min	4.503	T disp [h]	342.9	e	0.229	Tasa max	20.9		
Cota max	4.821			z alfa/2	1.960	Tasa min	17.8		
Tasa min	17.8			R estimado	18.1				
Tasa max	16.6			R	19.0	20.0	21.0	22.0	
Tasa med	17.2			T crítico	2.10	2.09	2.09	2.08	
				Desigualdad	20.75	20.60	20.46	20.33	
Multhierba									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	19.5	t crítico	2.032	Media	19.4	t crítico 0	2.262		
S	1.120	R	35	S0	1.376	R0	10		
H	0.385	alfa	0.05	H	0.984	alfa	0.05		
Cota min	19.101	T disp [h]	342.9	e	0.990	Tasa max	87.5		
Cota max	19.870			Z	1.960	Tasa min	79.0		
Tasa min	4.2			R estimado	7.4				
Tasa max	4.0			R	8.0	9.0	10.0	11.0	
Tasa med	4.1			T crítico	2.36	2.31	2.26	2.23	
				Desigualdad	10.80	10.27	9.88	9.59	
Potes									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	21.4	t crítico	2.032	Media	21.1	t crítico 0	2.262		
S	2.348	R	35	S0	1.544	R0	10		
H	0.807	alfa	0.05	H	1.105	alfa	0.05		
Cota min	20.627	T disp [h]	342.9	e	1.077	Tasa max	95.1		
Cota max	22.241			Z	1.960	Tasa min	85.6		
Tasa min	3.9			R estimado	7.9				
Tasa max	3.6			R	8.0	9.0	10.0	11.0	
Tasa med	3.7			T crítico	2.36	2.31	2.26	2.23	
				Desigualdad	11.49	10.93	10.52	10.20	
Fracos									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	2.2	t crítico	2.032	Media	2.3	t crítico 0	2.262		
S	0.527	R	35	S0	0.644	R0	10		
H	0.181	alfa	0.05	H	0.461	alfa	0.05		
Cota min	2.045	T disp [h]	342.9	e	0.108	Tasa max	11.7		
Cota max	2.407			Z	1.960	Tasa min	7.8		
Tasa min	39.1			R estimado	137.0				
Tasa max	33.2			R	137.0	138.0	139.0	140.0	
Tasa med	35.9			T crítico	1.98	1.98	1.98	1.98	
				Desigualdad	139.45	139.43	139.41	139.39	
Blísteres									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	17.0	t crítico	2.032	Media	17.2	t crítico 0	2.262		
S	0.958	R	35	S0	1.110	R0	10		
H	0.329	alfa	0.05	H	0.794	alfa	0.05		
Cota min	16.678	T disp [h]	342.9	e	0.903	Tasa max	77.3		
Cota max	17.336			Z	1.960	Tasa min	70.4		
Tasa min	4.8			R estimado	5.8				
Tasa max	4.6			R	6.0	7.0	8.0	9.0	
Tasa med	4.7			T crítico	2.57	2.45	2.36	2.31	
				Desigualdad	9.98	9.04	8.44	8.03	

Figura 42: Estimación de las tasas de planta y réplicas necesarias. Modelo de propuesta N°1.

Fuente: Elaboración propia.

Validación: Modelo Propuesta N° 2									
Medicinales									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	3.2	t critico	2.032	Media	3.3	t critico 0	2.262		
S	0.409	R	35	S0	0.449	R0	10		
H	0.140	alfa	0.05	H	0.321	alfa	0.05		
Cota min	3.026	T disp [h]	342.9	e	0.158	Tasa max	15.4		
Cota max	3.307			Z	1.960	Tasa min	12.6		
Tasa min	26.4			R estimado	31.0				
Tasa max	24.2			R	31.0	32.0	33.0	34.0	
Tas amed	25.3			T critico	2.04	2.04	2.04	2.03	
				Desigualdad	33.63	33.54	33.46	33.38	
Monohierba									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	4.7	t critico	2.032	Media	4.5	t critico 0	2.262		
S	0.466	R	35	S0	0.506	R0	10		
H	0.160	alfa	0.05	H	0.362	alfa	0.05		
Cota min	4.501	T disp [h]	342.9	e	0.22925	Tasa max	20.8		
Cota max	4.821			Z	1.960	Tasa min	17.7		
Tasa min	17.8			R estimado	18.7				
Tasa max	16.6			R	19.0	20.0	21.0	22.0	
Tas amed	17.2			T critico	2.10	2.09	2.09	2.08	
				Desigualdad	21.46	21.30	21.16	21.03	
Multhierba									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	19.5	t critico	2.032	Media	19.4	t critico 0	2.262		
S	1.121	R	35	S0	1.380	R0	10		
H	0.385	alfa	0.05	H	0.987	alfa	0.05		
Cota min	19.099	T disp [h]	342.9	e	0.9902667	Tasa max	87.5		
Cota max	19.869			Z	1.960	Tasa min	79.0		
Tasa min	4.2			R estimado	7.5				
Tasa max	4.0			R	8.0	9.0	10.0	11.0	
Tas amed	4.1			T critico	2.36	2.31	2.26	2.23	
				Desigualdad	10.86	10.33	9.94	9.64	
Potes									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	21.4	t critico	2.032	Media	21.0	t critico 0	2.262		
S	2.364	R	35	S0	1.630	R0	10		
H	0.812	alfa	0.05	H	1.166	alfa	0.05		
Cota min	20.592	T disp [h]	342.9	e	1.0771833	Tasa max	94.9		
Cota max	22.216			Z	1.960	Tasa min	84.9		
Tasa min	3.9			R estimado	8.8				
Tasa max	3.6			R	9.0	10.0	11.0	12.0	
Tas amed	3.7			T critico	2.31	2.26	2.23	2.20	
				Desigualdad	12.18	11.72	11.37	11.10	
Fracos									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	2.2	t critico	2.032	Media	2.3	t critico 0	2.262		
S	0.528	R	35	S0	0.648	R0	10		
H	0.181	alfa	0.05	H	0.464	alfa	0.05		
Cota min	2.048	T disp [h]	342.9	e	0.1079167	Tasa max	11.8		
Cota max	2.410			Z	1.960	Tasa min	7.8		
Tasa min	39.1			R estimado	138.7				
Tasa max	33.2			R	139.0	140.0	141.0	142.0	
Tas amed	35.9			T critico	1.98	1.98	1.98	1.98	
				Desigualdad	141.13	141.11	141.09	141.07	
Blisteres									
Valor final				Estimación R = 10					
Media	17.0	t critico	2.032	Media	17.2	t critico 0	2.262		
S	0.965	R	35	S0	1.148	R0	10		
H	0.331	alfa	0.05	H	0.822	alfa	0.05		
Cota min	16.668	T disp [h]	342.9	e	0.9032333	Tasa max	77.3		
Cota max	17.331			Z	1.960	Tasa min	70.3		
Tasa min	4.8			R estimado	6.2				
Tasa max	4.6			R	7.0	8.0	9.0	10.0	
Tas amed	4.7			T critico	2.45	2.36	2.31	2.26	
				Desigualdad	9.68	9.04	8.60	8.27	

Figura 43: Estimación de las tasas de planta y réplicas necesarias. Modelo de propuesta N°2.

Fuente: Elaboración propia.

8.4 Rendimiento del fraccionado volumétrico

En el cuadro 39 se presenta el rango de variación que posee el rendimiento r del proceso de fraccionado, para cada familia de productos. Así, del número de unidades por paquete y la demanda mensual de paquetes por familia, surge la variación en la tasa de planta de referencia.

Familia	$\frac{\text{unidades}}{\text{paquete}}$	$r_{\text{mínimo}} [u]$	$r_{\text{máximo}} [u]$	S	$\bar{r} [\text{paquetes}]$	Demanda mensual situación base [paquetes]
Medicinal	6	2900	2980	2.2	490.0	5034
Monohierba	6	4000	4200	5.6	683.3	10075
Multihierba	6	2900	2980	2.2	490.0	31559
Potes	4	338	350	0.5	85.9	3895
Frascos	6	3100	3500	11.1	550.0	2389
Blísteres	6	3100	3500	11.1	550.0	20000

Cuadro 39: Relación entre el rendimiento del proceso de fraccionado y la tasa de planta, por familia de producto.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que la emisión de ordenes de producción modelada toma como referencia el rendimiento por lote más desfavorable para cada familia de producto.

8.5 Proceso analítico de jerarquías

8.5.1 Indicadores conglomerados de desempeño

A continuación, se presentan en los cuadros 40, 41, 42, y 43 los resultados obtenidos al conglomerar los valores de indicadores de desempeño para las seis familias de producto.

Principio: Distancia recorrida				
Distribución en planta	Familia de producto	D_{lote_i}	Promedios ponderados	D_{lote_i} conglomerado
Actual	Medicinal	584.4	459.3	422.9
	Monohierba	270.8		
	Multihierba	499.5		
	Potes	342.5	342.5	

	Frascos	456.7	467.0	
	Blísteres	468.3		
Propuesta N°1	Medicinal	593.7	494.7	390.2
	Monohierba	281.0		
	Multihierba	547.2		
	Potes	258.7	258.7	
	Frascos	373.3	417.1	
	Blísteres	422.6		
Propuesta N°2	Medicinal	857.0	699.0	535.4
	Monohierba	429.1		
	Multihierba	760.0		
	Potes	405.0	405.0	
	Frascos	490.6	502.3	
	Blísteres	503.8		

Cuadro 40: Indicadores conglomerados. Principio: Distancia recorrida.

Fuente: Elaboración propia.

Principio: Satisfacción y seguridad				
Distribución en planta	Familia de producto	PxD_i^k	Promedios ponderados	PxD_i^k conglomerado
Actual	Medicinal	139.2	123.4	216.9
	Monohierba	86.5		
	Multihierba	132.6		
	Potes	463.3	463.3	
	Frascos	97.4	63.9	
	Blísteres	59.7		
Propuesta N°1	Medicinal	147.5	132.4	153.4
	Monohierba	77.5		
	Multihierba	147.5		
	Potes	283.9	283.9	
	Frascos	61.5	43.9	
	Blísteres	41.7		
Propuesta N°2	Medicinal	209.6	205.6	249.7
	Monohierba	142.8		
	Multihierba	225.0		
	Potes	481.7	481.7	
	Frascos	97.8	61.7	
	Blísteres	57.2		

Cuadro 41: Indicadores conglomerados. Principio: Satisfacción y seguridad.

Fuente: Elaboración propia.

Principio: Circulación y flujo

Distribución en planta	Familia de producto	Cantidad de retrocesos	Promedios ponderados	Cantidad de retrocesos conglomerados
Actual	Medicinal	12	11.1	10.0
	Monohierba	8		
	Multihierba	12		
	Potes	8	8.0	
	Frascos	11	11.0	
	Blísteres	11		
Propuesta N°1	Medicinal	8	8.2	7.3
	Monohierba	6		
	Multihierba	9		
	Potes	6	6.0	
	Frascos	6	7.8	
	Blísteres	8		
Propuesta N°2	Medicinal	5	4.8	4.9
	Monohierba	4		
	Multihierba	5		
	Potes	5	5.0	
	Frascos	4	4.9	
	Blísteres	5		

Cuadro 42: Indicadores conglomerados. Principio: Circulación y flujo.

Fuente: Elaboración propia.

Principio: Flexibilidad				
Distribución en planta	Familia de producto	C_i^k	Promedios ponderados	C_i^k conglomerado
Actual	Medicinal	20.35%	17.2%	13.8%
	Monohierba	5.90%		
	Multihierba	20.35%		
	Potes	23.00%	23.0%	
	Frascos	1.30%	1.3%	
	Blísteres	1.30%		
Propuesta N°1	Medicinal	39.50%	40.9%	34%
	Monohierba	45.75%		
	Multihierba	39.50%		
	Potes	44.95%	45.0%	
	Frascos	19.75%	15.7%	
	Blísteres	15.20%		
Propuesta N°2	Medicinal	39.20%	40.4%	35%
	Monohierba	44.65%		
	Multihierba	39.20%		
	Potes	48.25%	48.3%	
	Frascos	21.20%	17.3%	
	Blísteres	16.80%		

Cuadro 43: Indicadores conglomerados. Principio: Flexibilidad.

Fuente: Elaboración propia.

8.5.2 Matrices de comparación pareadas y agregación de prioridades

A continuación, se observan en los cuadros 44 al 48, las matrices de comparaciones pareadas utilizadas para la evaluación de alternativas. Las mismas se llevaron a cabo mediante la plataforma online AHP Online System. La cota admisible considerada para la razón de consistencia es $RC \leq 0.1$.

Espacio cúbico	Actual	Propuesta N°1	Propuesta N°2
Actual	1	0.20	0.25
Propuesta N°1	5	1	2
Propuesta N°2	4	0.50	1
$RC = 0.026$			

Cuadro 44: Matriz de comparaciones pareadas. Criterio: Espacio cúbico.

Fuente: Elaboración propia.

Distancia recorrida	Actual	Propuesta N°1	Propuesta N°2
Actual	1	0.33	5
Propuesta N°1	3	1	8
Propuesta N°2	0.20	0.13	1
$RC = 0.046$			

Cuadro 45: Matriz de comparaciones pareadas. Criterio: Distancia recorrida.

Fuente: Elaboración propia.

Circulación y flujo	Actual	Propuesta N°1	Propuesta N°2
Actual	1	0.33	0.13
Propuesta N°1	3	1	0.25
Propuesta N°2	8	4	1
$RC = 0.019$			

Cuadro 46: Matriz de comparaciones pareadas. Criterio: Circulación y flujo.

Fuente: Elaboración propia.

Satisfacción y seguridad	Actual	Propuesta N°1	Propuesta N°2
Actual	1	0.17	3
Propuesta N°1	6	1	8
Propuesta N°2	0.33	0.13	1
$RC = 0.077$			

Cuadro 47: Matriz de comparaciones pareadas. Criterio: Satisfacción y seguridad.

Fuente: Elaboración propia.

Flexibilidad	Actual	Propuesta N°1	Propuesta N°2
Actual	1	0.14	0.14
Propuesta N°1	7	1	1
Propuesta N°2	7	1	1
$RC = 0$			

Cuadro 48: Matriz de comparaciones pareadas. Criterio: Flexibilidad.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, se presenta, en el cuadro 49, los resultados de la agregación de prioridades según cada criterio decisorio, y la prioridad total resultante para cada alternativa.

Agregación de prioridades según criterio			
Nivel 1	Actual	Propuesta N°1	Propuesta N°2
Espacio cúbico	0.003	0.018	0.010
Distancia mínima	0.044	0.107	0.011
Circulación y flujo	0.024	0.062	0.217
Satisfacción y seguridad	0.073	0.333	0.032
Flexibilidad	0.004	0.031	0.031
Prioridad total	0.148	0.551	0.301

Cuadro 49: Agregación de prioridades individuales según los criterios.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provistos por la empresa.