

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



**ESCUELA SUPERIOR DE FÍSICA
Y MATEMÁTICAS**



**ANÁLISIS DE DECISIONES Y EVALUACIÓN DE MEJORAS MEDIANTE
SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE AGROVIX**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:

LICENCIADO EN INGENIERÍA MATEMÁTICA

PRESENTAN:

**DANIEL SOTELO ISIDRO
HÉCTOR BARRERA LEÓN**

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN C. JORGE RUBÉN VILLANUEVA LÓPEZ

AGRADECIMIENTOS

Daniel Sotelo Isidro:

Quiero agradecer a mi tutor, el M. en C. Jorge Rubén Villanueva López, quien con su experiencia y conocimientos me guió para cumplir los objetivos de la presente tesis. Así mismo, agradezco a mi compañero y amigo Héctor Barrera León, por su compromiso, trabajo y dedicación para que este proyecto fuera posible.

También quiero agradecer a todo el equipo de trabajo de AGROVIX S.P.R. de R.L., especialmente al dueño de la empresa, Marco Antonio Sandoval Mendieta, por brindarnos la oportunidad de colaborar con ellos, así como toda su disposición, apoyo e interés para realizar el estudio de simulación.

Finalmente, agradezco a mi familia y amigos, quienes siempre me han apoyado y brindado ánimo, e hicieron valiosas aportaciones. En especial, agradezco a mis padres, por su apoyo incondicional, por sus palabras de aliento y por enseñarme que la vida está llena de retos, pero lo importante es siempre ser persistente para alcanzar las metas.

Héctor Barrera León:

Agradezco a mi padre, Gerardo Barrera Ornelas que esforzándose todos los días me ha impulsado a salir adelante y cumplir mis sueños, a mi madre, María de Lourdes León León quién me ha demostrado el amor más bonito, puro y sincero que existe, de quien he aprendido a tratar de aceptar con leve ánimo lo que ha de ser. A mis hermanos: Chicharito y Enrique, tíos: José Feliciano y Cecilia.

A mis abuelos Olivia Ornelas Guadián, Abelino Barrera Alcántar y muy en especial a mis abuelos Delfina León Mejía y José León Martínez.

A mi amigo Daniel y la familia Sotelo Isidro por permitirme trabajar junto a ellos esta tesis. Agradezco también a nuestro director de tesis Jorge Rubén Villanueva, a la maestra Vianey Urdapilleta por su valioso apoyo en la revisión de esta tesis y a mis amigos, quienes me han acompañado en mi formación académica.

CARTA CESIÓN DE DERECHOS AL IPN

Ciudad de México a 01 de diciembre de 2021

Los que suscriben:

C. Héctor Barrera León con número de boleta 2015330028 y

C. Daniel Sotelo Isidro con número de boleta 2015330303

Egresados del Programa Académico: Licenciatura en Ingeniería Matemática

que se imparte en la Escuela Superior de Física y Matemáticas, manifestamos que somos autores intelectuales del presente trabajo de tesis titulado:

Análisis de decisiones y evaluación de mejoras mediante simulación del sistema de producción de AGROVIX El cual fue desarrollado bajo la dirección de: M. en C. Jorge Rubén Villanueva López

Por lo anterior es de nuestro interés manifestar que **SI** cedemos los derechos del trabajo antes mencionado, al Instituto Politécnico Nacional, ello con el propósito de que lo ponga a disposición de la comunidad politécnica que requiera consultarlo con fines académicos y de investigación. Es importante aclarar que los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso de los autores y/o director del trabajo. Dicho permiso puede ser solicitado a las siguientes direcciones de correo electrónico: hbarreral1400@alumno.ipn.mx, dsoteloi1400@alumno.ipn.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Atentamente

Héctor Barrera León
Nombre y firma del alumno

Daniel Sotelo Isidro
Nombre y firma del alumno



AGROCOMPLEJO Y OVINOCULTORES
XOCOTEPETL S.P.R. DE R.L.
AOX071205MW9



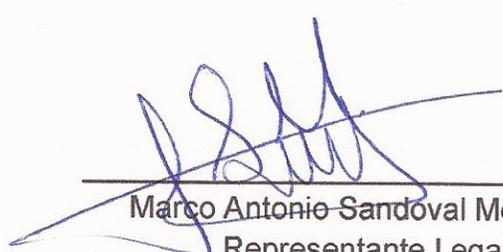
Jocotitlán, México a 21 de Diciembre de 2021

Asunto: Carta de autorización

A quien corresponda:

Por medio de este conducto permito al Instituto Politécnico Nacional el uso de mi nombre y Razón Social dentro del proyecto de Tesis "Análisis de decisiones y evaluación de mejoras mediante simulación del sistema de producción de AGROVIX"

agrovix
Alimentos balanceados



Marco Antonio Sandoval Mendieta
Representante Legal

NUTRICIÓN COMPLETA

AGROVIX S.P.R. DE R.L.
AUTOPISTA TOLUCA ATLACOMULCO
KM 44, COLONIA SAN JOAQUIN,
ESTADO DE MEXICO.
TEL 712 143 4774

AUTOPISTA TOLUCA-ATLACOMULCO KM. 42.5 S/N PASTEJÉ,
JOCOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO C.P. 50700

☎ 712 123 1835

☎ (044) 712 113 58 07

✉ ovinoxoco@live.com.mx

ÍNDICE

ÍNDICE.....	I
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABLAS.....	IX
LISTA DE ANEXOS.....	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	Pág. 1
1.1 Planteamiento del problema.....	Pág. 1
1.1.1 Formulación del problema.....	Pág. 4
1.1.2 Sistematización del problema.....	Pág. 4
1.2 Justificación.....	Pág. 4
1.3 Objetivos del proyecto.....	Pág. 6
1.3.1 Objetivo general.....	Pág. 6
1.3.2 Objetivos específicos.....	Pág. 6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	Pág. 7
2.1 Antecedentes del uso de ProModel®.....	Pág. 7
2.1.1 Antecedentes nacionales.....	Pág. 7
2.1.2 Antecedentes internacionales.....	Pág. 8
2.2 Bases teóricas.....	Pág. 10
2.2.1 Toma de decisiones.....	Pág. 10
2.2.1.1 Definición.....	Pág. 10

2.2.1.2	La toma de decisiones en las empresas...	Pág. 10
2.2.1.3	Proceso de toma de decisiones.....	Pág. 13
2.2.1.4	Análisis para la toma de decisiones en las empresas.....	Pág. 15
2.2.2	Simulación.....	Pág. 17
2.2.2.1	Definición.....	Pág. 17
2.2.2.2	Historia de la simulación.....	Pág. 18
2.2.2.3	Clasificación de los modelos de simulación.....	Pág. 21
2.2.2.4	Campos de aplicación de la simulación....	Pág. 22
2.2.2.5	Aplicación de la simulación en las empresas.....	Pág. 23
2.2.2.6	Etapas para realizar un estudio de simulación.....	Pág. 24
2.2.2.7	Ventajas y desventajas de la simulación.	Pág. 27
2.2.2.8	Softwares de simulación.....	Pág. 28
2.2.2.9	ProModel®.....	Pág. 30
2.3	Marco conceptual.....	Pág. 33
2.3.1	Sistema.....	Pág. 33
2.3.1.1	Estado del sistema.....	Pág. 33
2.3.1.2	Eventos.....	Pág. 33
2.3.2	Modelo.....	Pág. 34
2.3.3	Planeación estratégica	Pág. 34
2.3.3.1	Misión.....	Pág. 35
2.3.3.2	Visión.....	Pág. 35
2.3.4	Proceso.....	Pág. 35
2.3.5	Diagrama de flujo del proceso.....	Pág. 35
2.3.6	Estudio de tiempos y movimientos.....	Pág. 37
2.3.7	Gráfica de cajas.....	Pág. 39
2.3.8	Variable aleatoria.....	Pág. 40

2.3.9	Función de distribución y función de densidad.....	Pág. 40
2.3.10	Distribución de probabilidad.....	Pág. 42
2.3.10.1	Distribución normal.....	Pág. 42
2.3.10.2	Distribución lognormal.....	Pág. 43
2.3.10.3	Distribución exponencial.....	Pág. 44
2.3.10.4	Distribución uniforme.....	Pág. 44
2.3.11	Pruebas de hipótesis.....	Pág. 45
2.3.12	Criterio del p – valor.....	Pág. 46
2.3.13	Pruebas de bondad de ajuste Chi – cuadrada (χ^2)...	Pág. 47
2.3.14	Prueba de Kolmogorov – Smirnov.....	Pág. 49
2.3.15	Prueba de Anderson – Darling.....	Pág. 50
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....		Pág. 52
3.1	Definición del sistema bajo estudio.....	Pág. 52
3.1.1	Descripción general de la empresa.....	Pág. 52
3.1.2	Estructura organizacional.....	Pág. 53
3.1.3	Planeación estratégica.....	Pág. 54
3.1.4	Análisis FODA.....	Pág. 54
3.1.5	Distribución de la planta.....	Pág. 56
3.1.6	Proceso de producción.....	Pág. 58
3.2	Recolección y análisis de datos.....	Pág. 62
3.2.1	Recolección de datos.....	Pág. 62
3.2.2	Análisis de datos.....	Pág. 64
3.2.2.1	Análisis de los tiempos de duración de las operaciones del sistema de producción (Pruebas de bondad de ajuste).....	Pág. 64
3.2.2.2	Tiempo entre llegadas de los clientes, tipo de alimento demandado, cantidad de alimento y tiempos de atención.....	Pág. 79

3.3 Generación del modelo de simulación base (escenario actual).....	Pág. 84
3.4 Verificación y validación del modelo de simulación base.....	Pág. 92
3.5 Determinación de los escenarios para el análisis.....	Pág. 97
3.5.1 Primer escenario de mejora para incrementar la capacidad de producción: Implementación de un segundo productor.....	Pág. 98
3.5.2 Segundo escenario de mejora para incrementar la capacidad de producción: Instalación de tres tolvas adicionales.....	Pág. 100
3.5.3 Tercer escenario de mejora para incrementar la capacidad de producción: instalación de tres tolvas adicionales e implementación de dos productores.....	Pág. 104
3.6 Comparación de resultados (análisis de sensibilidad).....	Pág. 107
CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.....	Pág. 109
4.1 Conclusiones.....	Pág. 109
4.2 Sugerencias.....	Pág. 110
REFERENCIAS.....	Pág. 111
BIBLIOGRAFÍA.....	Pág. 114
ANEXOS.....	Pág. 115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Proceso para la toma de decisiones.....	Pág. 13
Figura 2: Etapas para realizar un estudio de simulación.....	Pág. 24
Figura 3: Módulos que componen a ProModel®.....	Pág. 31
Figura 4: Simbología para el diagrama de flujo del proceso.....	Pág. 36
Figura 5: Gráfica de cajas y sus elementos.....	Pág. 39
Figura 6: Distribución normal $N(0,1)$	Pág. 43
Figura 7: Distribución lognormal $L(0,1)$	Pág. 43
Figura 8: Distribución exponencial con $\lambda = 1$	Pág. 44
Figura 9: Distribución uniforme $U(-1,1)$	Pág. 45
Figura 10: Planta de producción de alimentos (Fuente: AGROVIX).....	Pág. 52
Figura 11: Organigrama de AGROVIX.....	Pág. 53
Figura 12: Distribución actual de la planta de AGROVIX S.P.R de R.L...	Pág. 57
Figura 13: Flujo de operaciones en la planta.....	Pág. 61
Figura 14a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP1 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 65
Figura 14b: Histograma de los tiempos de duración de OP1 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 65
Figura 15a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP2 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 66
Figura 15b: Histograma de los tiempos de duración de OP2 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 66
Figura 16a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP3 – Bloque 1 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 67
Figura 16b: Histograma de los tiempos de duración de OP3 – Bloque 1 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 67
Figura 17a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP3 – Bloque 2 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 68
Figura 17b: Histograma de los tiempos de duración de OP3 – Bloque 2 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 68

Figura 18a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP4 – Bloque 1 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 69
Figura 18b: Histograma de los tiempos de duración de OP4 – Bloque 1 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 69
Figura 19a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP4 – Bloque 2 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 70
Figura 19b: Histograma de los tiempos de duración de OP4 – Bloque 2 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 70
Figura 20a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP5 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 71
Figura 20b: Histograma de los tiempos de duración de OP5 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 71
Figura 21a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP6 – Bloque 1 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 72
Figura 21b: Histograma de los tiempos de duración de OP6 – Bloque 1 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 72
Figura 22a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP6 – Bloque 2 (captura de <i>STAT::FIT</i> ®).....	Pág. 73
Figura 22b: Histograma de los tiempos de duración de OP6 – Bloque 2 (captura de <i>STAT::FIT</i> ®).....	Pág. 73
Figura 23a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP7 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 74
Figura 23b: Histograma de los tiempos de duración de OP7 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 74
Figura 24a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP8 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 75
Figura 24b: Histograma de los tiempos de duración de OP8 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 75
Figura 25a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP9 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 76

Figura 25b: Histograma de los tiempos de duración de OP9 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 76
Figura 26a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP10 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 77
Figura 26b: Histograma de los tiempos de duración de OP10 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 77
Figura 27a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP11 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 78
Figura 27b: Histograma de los tiempos de duración de OP11 (captura de Minitab® 19).....	Pág. 78
Figura 28a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos entre llegadas de los clientes al sistema (captura de Minitab® 19).....	Pág. 80
Figura 28b: Histograma del comportamiento los tiempos entre llegadas de los clientes al sistema (captura de Minitab® 19).....	Pág. 80
Figura 29a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de atención (captura de Minitab® 19).....	Pág. 83
Figura 29b: Histograma del comportamiento los tiempos de atención (captura de Minitab® 19).....	Pág. 83
Figura 30: Representación de las entidades.....	Pág. 85
Figura 31: Representación de los recursos.....	Pág. 86
Figura 32: Diseño del modelo de simulación base.....	Pág. 92
Figura 33: Diseño del primer escenario de mejora.....	Pág. 98
Figura 34: Diseño del segundo escenario de mejora.....	Pág. 100
Figura 35a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP3 por kilogramo (captura de Minitab®).....	Pág. 101
Figura 35b: Histograma de los tiempos de duración de OP3 por kilogramo (captura de Minitab®).....	Pág. 101
Figura 36a: Pruebas para identificar la distribución de los tiempos de OP4 por kilogramo (captura de Minitab®).....	Pág. 102

Figura 36b: Histograma de los tiempos de duración de OP4 por kilogramo (captura de Minitab®).....	Pág. 102
Figura 37: Diseño del tercer escenario de mejora.....	Pág. 104
Figura 38a: Comparación de producción anual entre el modelo de simulación base y el registro histórico.....	Pág. 107
Figura 38b: Comparación de ventas anuales entre el modelo de simulación base y el registro histórico.....	Pág. 107
Figura 39: Resultados de un año de simulación del sistema de producción bajo el modelo de simulación base y los escenarios de mejora.....	Pág. 108

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Matriz FODA.....	Pág. 55
Tabla 2: Simbología de las operaciones del proceso de producción	Pág. 61
Tabla 3: Simbología de alimentos.....	Pág. 62
Tabla 4: Clasificación de los alimentos por bloques.....	Pág. 62
Tabla 5: Diagrama de flujo del proceso para el primer bloque de alimentos.....	Pág. 78
Tabla 6: Diagrama de flujo del proceso para el segundo bloque de alimentos.....	Pág. 79
Tabla 7: Venta de alimentos del año 2018 en porcentaje.....	Pág. 81
Tabla 8: Frecuencia de costales vendidos por cliente.....	Pág. 82
Tabla 9: Costales solicitados por cliente en porcentaje.....	Pág. 82
Tabla 10: Distribuciones de probabilidad del tiempo entre llegadas de los clientes al sistema y tiempos de atención por costal.....	Pág. 83
Tabla 11: Proceso 1.....	Pág. 87
Tabla 12: Proceso 2.....	Pág. 87
Tabla 13: Proceso 3.....	Pág. 88
Tabla 14: Proceso 4.....	Pág. 88
Tabla 15: Proceso 5.....	Pág. 88
Tabla 16: Proceso 6.....	Pág. 88
Tabla 17: Proceso 7.....	Pág. 88
Tabla 18: Proceso 8.....	Pág. 89
Tabla 19: Proceso 9.....	Pág. 89
Tabla 20: Proceso 10.....	Pág. 89
Tabla 21: Proceso 11.....	Pág. 89
Tabla 22: Proceso 12.....	Pág. 90
Tabla 23: Proceso 13.....	Pág. 90
Tabla 24: Proceso 14.....	Pág. 90
Tabla 25: Proceso 15.....	Pág. 90

Tabla 26: Proceso 16.....	Pág. 90
Tabla 27: Proceso 17.....	Pág. 91
Tabla 28: Proceso 18.....	Pág. 91
Tabla 29: Proceso 19.....	Pág. 91
Tabla 30: Resultados de producción.....	Pág. 94
Tabla 31: Resultados de ventas.....	Pág. 95
Tabla 32: Resultados de producción de la simulación del modelo de simulación base.....	Pág. 96
Tabla 33: Resultados de ventas anuales de la simulación del modelo de simulación base	Pág. 97
Tabla 34: División de operaciones del primer escenario.....	Pág. 98
Tabla 35: Comparación de resultados entre el modelo de simulación base y primer escenario de mejora.....	Pág. 99
Tabla 36: Distribuciones de probabilidad del tiempo de OP3 y OP4 por kilogramo.....	Pág. 103
Tabla 37: Comparación de resultados entre el modelo de simulación base y segundo escenario de mejora.....	Pág. 103
Tabla 38: División de operaciones si la recolección de materia prima es menor que 308.90 kilogramos.....	Pág. 105
Tabla 39: División de operaciones si la recolección de materia prima es mayor o igual que 308.90 kilogramos.....	Pág. 105
Tabla 40: Comparación de resultados entre el modelo de simulación base y el tercer escenario de mejora.....	Pág. 106

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Diagrama de flujo.....	Pág. 116
Anexo 2: Formato para la recolección de tiempos de las operaciones principales del proceso.....	Pág. 118
Anexo 3: Formato para registro del comportamiento de ventas.....	Pág. 119
Anexo 4: Formato para recolectar tiempos de llenar, etiquetar, sellar y estibar costales.....	Pág. 119
Anexo 5: Base de datos de los tiempos de las principales operaciones del proceso.....	Pág. 120
Anexo 6: Base de datos de los registros de ventas.....	Pág. 122
Anexo 7: Base de datos de los tiempos de llenar, etiquetar, sellar y estibar costales.....	Pág. 125
Anexo 8: Gráfica de cajas por operación.....	Pág. 126
Anexo 9: VIEW TEXT.....	Pág. 128
Anexo 10: Duración de las operaciones OP3 y OP4 por kilogramo.....	Pág. 131

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de tesis consiste en implementar un modelo de simulación como herramienta para mejorar el análisis en la toma de decisiones, mediante la evaluación de propuestas de mejora para incrementar la capacidad del sistema de producción de alimentos en la empresa AGROVIX S.P.R. de R.L.

Para el desarrollo del estudio de simulación se trabajó con la propuesta de metodología de García Dunna, García Reyes, Cárdenas Barrón y Coss Bu, en cuyas etapas principales se encuentra la definición del sistema, recolección y análisis de datos, generación del sistema de simulación base, verificación y validación del modelo, determinación de los escenarios de interés y análisis de sensibilidad; cada etapa se describió detalladamente en el marco teórico.

Se documentaron los tiempos de duración de cada una de las operaciones del proceso de producción y se estudió el comportamiento en la demanda de alimentos con apoyo de formatos personalizados por los autores para obtener la información que contribuyó al diseño y construcción del modelo de simulación con ayuda del software ProModel®.

Como resultado del análisis de la información recabada, se desarrolló un modelo de simulación base que imita principalmente el comportamiento actual del sistema de producción y permitió construir diferentes escenarios para representar y evaluar tres propuestas del interés de la empresa para incrementar la capacidad del sistema de producción, que consisten en contratar únicamente a un segundo productor, implementar tres nuevas tolvas manteniendo a un solo productor, y contratar a un segundo productor e implementar tres nuevas tolvas.

El estudio de simulación realizado por los autores resultó ser una herramienta de análisis factible para evaluar diferentes proyectos y fortalecer el análisis de alternativas para la toma de decisiones en la empresa AGROVIX.

ABSTRACT

This paper studies how to implement a simulation model as a tool with the objective to make better the decision analysis, this collecting and evaluating several proposals to increase the capacity of the food production system in the company AGROVIX S.P.R. by R.L.

For the development of the simulation we used the methodology proposed by García Dunna, García Reyes, Cárdenas Barrón and Coss Bu. In the main stages of the development are the definition of the system, data collection, creation of the main simulation system, verification and validation of the model, determination of the different scenarios of interest and sensitivity analysis; Each stage was described in detail in the theoretical framework.

The operating times of the process were documented and the behavior in the demand for food was studied with the support of personalized formats by the authors to obtain the information that contributed to the design and construction of the simulation model with help of the ProModel® software.

As a result of the analysis of the information collected, a main simulation model was developed that mimics the current behavior of the production system and allowed the construction of different scenarios to represent and evaluate three proposals of interest to the company to increase the production capacity of the system. Which consists of hiring just a second producer, implementing three new hoppers.

The simulation study carried out by the authors resulted in being a feasible analysis tool to evaluate different projects and strengthen the analysis of alternatives for the decisions in the AGROVIX Company.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Día a día cada empresa que existe en el mundo toma una serie de decisiones que le permiten encaminarse hacia el cumplimiento de sus metas y objetivos. Algunas de estas decisiones suelen ser sencillas, ya que no requieren de mucho análisis o simplemente no se consideran relevantes porque no afectan en gran medida los planes de la organización, sin embargo, existen decisiones que no se pueden tomar a la ligera, porque de ello puede depender el éxito o fracaso de la empresa y definir el destino de la misma, por consecuencia, resulta importante evaluar y analizar cuidadosamente cada una de las posibles alternativas de interés antes de seleccionar e implementar alguna de ellas.

En la actualidad existe un gran número de herramientas e indicadores para evaluar cada una de las alternativas y realizar el análisis adecuado en el proceso para la toma de decisiones, es así que principalmente las grandes empresas deciden contratar a especialistas, o emplear alguna herramienta de análisis para realizar una evaluación detallada de cada una de las alternativas, para tomar decisiones acertadas aprovechando mejor las oportunidades del mercado.

Sin embargo, la realidad es completamente diferente para la gran mayoría de las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES), quienes desconocen la existencia de este tipo de herramientas y no poseen las mismas facilidades para llevar a cabo estudios y evaluar proyectos como lo harían las grandes empresas, lo que limita la información que podría ser vital al momento de tomar decisiones.

De acuerdo a cifras del Consejo Internacional para la pequeña empresa, más del 90% del total de empresas en el mundo corresponden a Micro, Pequeñas y Medianas empresas (MIPYMES), además generan entre el 60% y 70% del empleo, y son responsables del 50% del PIB a nivel mundial.

En México el escenario es muy similar, los resultados publicados en julio de 2020 sobre el Censo Económico, llevado a cabo en 2019 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), revelan que en el país existían aproximadamente 6.3 millones de empresas, de las cuales el 94.9% eran Microempresas, el 4.9% pertenecían a Pequeñas y Medianas Empresas y el 0.2% restante estaban clasificadas como grandes empresas.

Estas cifras contrastan la importante presencia de MIPYMES en el país y su influencia en la economía nacional, sin embargo, la investigación “Esperanza de Vida de los Negocios en México” realizada por INEGI en 2015, expone que del total de los nuevos negocios que emprenden en el país, el 33% de ellos fracasa en el primer año, mientras que en un lapso aproximado de cinco años cerca del 68% habrá cerrado. Estos negocios corresponden principalmente a Microempresas y su esperanza de vida es en promedio de 7.8 años.

Los motivos principales que llevan a fracasar a una Micro, Pequeña o Mediana Empresa, se encuentran relacionados con una mala planeación y un escaso análisis en la evaluación de alternativas, que impide tomar buenas decisiones para que una empresa supere sus retos y se mantenga presente en el mercado.

La Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (ENAPROCE 2018), muestra que el 65% de las MIPYMES no monitorea el desempeño de su empresa con algún indicador, el 39.6% no planea acciones para hacer frente a problemas en su proceso de producción y el 22.5% de las empresas ya no planean crecer. Los resultados reflejan la falta capacidad gerencial en la mayoría de las empresas y desconocimiento de las herramientas con las que cuentan los emprendedores mexicanos para evaluar proyectos de inversión y gestionar adecuadamente a sus respectivas empresas.

El presente trabajo, estudia la situación actual en la empresa Agrocomplejo y Ovinocultores Xocotepetl S.P.R de R.L (AGROVIX), en la que a través de breves pláticas con cada uno de los miembros que integran al equipo de trabajo (desde la alta dirección hasta el empleado encargado de la producción de alimentos) es posible conocer información sobre el comportamiento actual de la empresa, así como experiencias del pasado y proyectos para el futuro orientados a incrementar la capacidad del sistema de producción. Con dicha información se identificó que la mayoría de las decisiones se han basado en la amplia experiencia de los directivos, lo que ha resultado provechoso para la empresa en numerosas ocasiones, sin embargo, con el apoyo de una herramienta que le permita a la alta dirección conocer o estimar los posibles resultados de implementar un proyecto de su interés en un futuro, la etapa de evaluación de alternativas para la toma de decisiones será más sencilla o simple de realizar.

Esto permitirá no descartar ninguna propuesta antes de conocer los resultados de implementar las distintas alternativas, se espera detectar proyectos que después de implementarlos posiblemente no brinden los resultados esperados por la empresa y de esta manera no invertir en ellos. Además de fomentar una cultura de prevención para evitar tomar decisiones sin un análisis detallado y considerando la mayor cantidad de información posible.

El aporte del presente trabajo, consiste en el desarrollo de un modelo de simulación con el software ProModel® en la empresa AGROVIX, para evaluar detalladamente cada escenario de mejora dentro del sistema de producción, obteniendo de forma anticipada los resultados que se pueden esperar de cada una de las alternativas. La información generada a través del modelo de simulación será fundamental para comparar cada propuesta y mejorar el análisis en el proceso de toma de decisiones.

1.1.1 Formulación del problema

¿Cómo se pueden evaluar diferentes alternativas de mejora encaminadas a incrementar la capacidad del sistema de producción y obtener información útil para el análisis en la toma de decisiones de la empresa AGROVIX S.P.R. de R.L.?

1.1.2 Sistematización del problema

- ☞ ¿Será posible generar un modelo de simulación base con el Software ProModel® que imite el comportamiento actual del sistema de producción de alimentos en la empresa AGROVIX?
- ☞ ¿Con el modelo de simulación base desarrollado, se podrá llevar a cabo la construcción y evaluación de distintos escenarios de mejora para incrementar la capacidad del sistema de producción?
- ☞ ¿El estudio de simulación permitirá obtener resultados fiables sobre cada uno de los posibles escenarios de mejora?
- ☞ ¿Los resultados obtenidos de cada escenario, serán de utilidad para apoyar a los directivos de la empresa con el análisis de alternativas en la toma de decisiones?

1.2 Justificación

En la actualidad se conocen diferentes métodos para la evaluación de proyectos, como el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), el método de periodo de recuperación y utilidades. Cada método, permite evaluar resultados e identificar si un determinado proyecto es viable en cuanto a costos de implementación, sin embargo, la estrategia de simulación permite bajo ciertos parámetros, representar fielmente el plan que se desea ejecutar, ya que, bajo un modelo de simulación base, es posible simular diferentes escenarios y no limitarse a generar sólo resultados en cuanto a costos del proyecto, sino que también permite observar cambios sobre la capacidad del sistema de producción que puede esperar la empresa con cada alternativa, si se trata de un proyecto encaminado a incrementar la producción.

La simulación es una herramienta que permite observar el resultado que se esperaría obtener después de repetir una gran cantidad de veces un experimento, esto brinda una ventaja económica para la empresa porque permite visualizar el impacto que tiene un plan antes de ejecutarse, del mismo modo evita un estudio sobre la población que se analiza y que implicaría un costo económico muy alto, sin tomar en cuenta también el largo tiempo en realizarlo.

Como ventajas del uso de un modelo de simulación se puede mencionar que, permite conocer el impacto de algún cambio en el sistema o proceso, resulta más económico realizar un estudio de simulación que hacer cambios en el sistema o proceso real, mejora en gran medida el conocimiento del sistema actual y permite desarrollar e idear diferentes escenarios en busca de obtener mejores resultados.

ProModel® es un software que permite simular líneas de ensamble, procesos de producción, líneas de espera, entre otras aplicaciones y su ventaja principal radica en contar con un ambiente animado que brinda una idea clara de lo que se está simulando, de esta manera logra que los directivos de cualquier empresa observen y validen el comportamiento del modelo de simulación, además, esta herramienta de animación permite ver cómo se comporta el proceso después de implementar una mejora, e identificar las zonas problemáticas del proceso, por ejemplo; detectar en que área se generan cuellos de botella.

Como se mencionó previamente, en México aproximadamente el 68% de los nuevos negocios cierran en los primeros cinco años, debido a una mala planeación y al desconocimiento de herramientas para evaluar el impacto de cada proyecto que puede definir su éxito o fracaso, por esa razón, en el presente trabajo se desarrolla un estudio de simulación en ProModel® que pueda ser utilizado como una herramienta de análisis confiable para evaluar diferentes proyectos de mejora orientados a incrementar la capacidad de producción de la empresa AGROVIX y le permitan visualizar los resultados que puede esperar si implementa alguno de los escenarios de interés, para realizar un análisis comparativo y sirva de apoyo a los

directivos para decidir cuál de los planes implementar de acuerdo a las necesidades de la empresa.

1.3 Objetivos del Proyecto

1.3.1 Objetivo General

Realizar un estudio de simulación con apoyo del software ProModel® para evaluar alternativas de mejora orientadas a incrementar la capacidad del sistema de producción en AGROVIX S.P.R de R.L, y con ello, fortalecer el análisis en la toma de decisiones de la empresa.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1) Generar un modelo de simulación base en ProModel® que represente el comportamiento del estado actual del sistema de producción.
- 2) Verificar y validar con los registros históricos el modelo simulación base.
- 3) Identificar escenarios de mejora factibles y de interés dentro del sistema de producción, que la empresa desea implementar.
- 4) Construir escenarios a partir del modelo de simulación base para evaluar los proyectos de mejora planteados por la empresa.
- 5) Analizar los resultados obtenidos de la simulación de los diferentes escenarios y realizar una comparación con el modelo de simulación base.
- 6) Generar información que sea de utilidad en el análisis de decisiones para incrementar la capacidad del sistema de producción de AGROVIX.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del uso de ProModel®

Los siguientes trabajos muestran algunos campos en los que se ha utilizado el software ProModel® y su importante aportación en el sector industrial. En el presente trabajo se utiliza al paquete de simulación para desarrollar una herramienta de apoyo en el análisis para la toma de decisiones y generar información sobre los posibles resultados de diferentes escenarios que son de interés para la empresa, orientados a incrementar la capacidad de producción.

2.1.1 Antecedentes nacionales

Hernández (2017). Modelación sistémica de un proceso metalmecánico por simulación del paradigma de producción esbelta.

El objetivo general es modelar sistémicamente un proceso metalmecánico por simulación en computadora, utilizando el paradigma de producción esbelta, con la finalidad de generar propuestas de mejora para dicho proceso. Se utilizó la metodología de sistemas suaves para determinar fallas y desperdicios, y para contrastar el modelo con la realidad se usa la metodología de simulación. Los resultados fueron satisfactorios al simular con el software ProModel la implementación de producción esbelta de fabricación en una empresa metalmecánica fabricante de escaleras de aluminio en México. En relación con la calidad obtenida y a la prueba de errores se mejora 5%, en el mantenimiento total, el tiempo medio se mejora 17%, el tiempo medio entre reparaciones se mejora 30% y en los cambios rápidos en las reparaciones se mejora el tiempo en tres minutos.

Torralba (2017). Modelo de simulación para el área de envasado de la purificadora manantial San Sebastián.

Como objetivo general se plantea, desarrollar un modelo de simulación utilizando ProModel para generar propuestas de mejora de la productividad en el área de envasado de la purificadora Manantial San Sebastián. Se aplica la metodología para realizar un estudio de simulación propuesta por Harrel, Ghosh y Bowden. Definición de objetivos, alcance y requerimientos, recolección y análisis de datos, construcción del modelo, validación del modelo, experimentación y resultados. Se elaboraron cuatro modelos de simulación alternativos al sistema actual y la elección del mejor escenario depende de la perspectiva de enfoque, es decir, si solamente se desea mejorar el proceso sin realizar una inversión considerable o aquel que genera el mayor número de salidas de garrafones de agua, sin importar el alto costo de implementación.

2.1.2 Antecedentes Internacionales

Diuza (2016). Diseño de una metodología para el uso de la simulación como herramienta para la enseñanza de la gestión de operaciones en la cadena de suministro.

El objetivo es proponer una metodología para el desarrollo de modelos de simulación aplicado a la enseñanza de gestión de operaciones en la cadena de suministro. Para validar la metodología se adaptaron dos modelos, uno de programación y ruteo, y otro de Picking, simulados en ProModel®, adaptándolos para el uso de la celda de manufactura flexible ubicada en el laboratorio de robótica de la Universidad Autónoma de Occidente. La metodología sirve de base para construir cualquier modelo de simulación sin importar el problema que se desea abordar, pues se desarrolló de forma general y aplicada a la enseñanza. El modelo de Picking fue validado, evidenciando que su comportamiento es semejante al sistema real. También se obtuvo que el número óptimo de réplicas debe ser 97 para obtener un margen de error del 10%. La variable número de fichas (productos) caídas (fallas) tuvo un intervalo de 1 a 2 fichas caídas con una confianza del 98%.

Y en relación a los tiempos del robot cartesiano y la banda transportadora no se obtuvo ningún resultado puesto que estas variables eran constantes.

Peinado (2018). Propuesta de mejora en el proceso de estudios de los proyectos de inversión, de la empresa SEDAM HUANCAYO.

Se ha propuesto como objetivo mejorar el proceso de elaboración de los estudios de los proyectos de Inversión Pública en una entidad del Estado, a fin de reducir sus tiempos. Los logros obtenidos durante el desarrollo de la tesis, después de aplicar la metodología de Gestión por Procesos fue en reducción del tiempo de elaboración de los estudios (en los subprocesos de Elaboración de Términos de Referencia y del Estudio de Indagaciones de Mercado) en 72 días, logrando una mejora en el proceso de 35% aproximadamente. Finalmente, se ha estimado que los beneficios económicos de la mejora (ahorros generados) son superiores a los costos que conllevan su implementación, por lo que la propuesta es económicamente viable. Se calcula que los ahorros generados por el pago de remuneraciones y gastos operativos ascienden a \$1 368 307 (un millón trescientos sesenta y ocho mil trescientos siete).

Reynoso (2018). Aplicación de la simulación de sistemas para reducir la formación de colas en Pizza Palace, Lima-2018.

El objetivo del proyecto, fue crear un modelo en ProModel® que representara el servicio a los clientes de Pizza Palace y detectar las causas que generan las colas en el servicio y que hacen que los clientes esperen mucho tiempo para ser atendidos, posteriormente simular un escenario propuesto que mejore el servicio de atención y que permita aminorar el problema y ayude a controlar la formación de colas. En el modelo propuesto, se puede observar que el tiempo de espera de los clientes se ha reducido significativamente: 0.71 minutos contra, 2.26 minutos del sistema actual. El modelo arroja que el integrar más personal para la atención a los clientes que piden el producto para llevar implica, que se reduzca el tiempo de permanencia en la cola después de haber solicitado en caja, aunque esto signifique una inversión adicional.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Toma de decisiones

2.2.1.1 Definición

La toma de decisiones es una actividad que los seres humanos realizan de forma natural, para Robbins y Coulter (2005) es un proceso a través del cual se elige una alternativa para resolver una situación. Por otro lado, Koontz, et al. (2012) definen la toma de decisiones como:

La selección de un curso de acción, entre varias alternativas. No puede decirse que existe un plan a menos que se haya tomado una decisión: que se hayan comprometido los recursos, la dirección o la reputación; hasta ese momento solo hay estudios de planeación y análisis. (p. 152)

Básicamente, es una elección entre las posibles soluciones a un problema y que origina un plan de implementación. Para Thompson y Strickland (1998), la toma de decisiones consiste en encontrar la conducta adecuada para resolver una situación problemática, en la que existe una serie de sucesos inciertos, es decir, se busca la solución que permita actuar de la mejor forma ante el problema, considerando que hay sucesos que pueden o no ocurrir.

2.2.1.2 La toma de decisiones en las empresas

Desde el punto de vista empresarial, la toma de decisiones resulta ser una acción importante y compleja. Implica prioridad, contar con información confiable y compromiso de la alta dirección, debido a que una organización prospera o fracasa como resultado de las decisiones que toma día a día.

Wiig (2003) escribe: “La toma de decisiones constituye un proceso que se desarrolla en toda organización y todos sus niveles: operativo, táctico y estratégico”. Esto significa que todas las empresas llevan a cabo un proceso para la toma de decisiones, en el que se ven involucrados todos sus elementos, y tiene impacto en el ámbito organizacional, económico y de desarrollo.

Es importante señalar, que no hay un método único que las empresas puedan seguir para tomar decisiones orientadas a resolver las situaciones que enfrentan, en ocasiones, tomar una decisión es un proceso de prueba y error, sin embargo, en otros casos puede resultar más certero y ofrecer resultados favorables.

A principios del siglo XX la mayoría de las empresas tomaba decisiones basadas en estadística operativa y de información interna, sin embargo, identificaron que las decisiones eran más complejas, por esta razón, incluyeron de forma significativa la opinión de expertos en aspectos jurídicos, mercadeo, ventas, producción y finanzas.

Moody (2003) opina que los buenos negocios en las empresas son resultado de buenas decisiones y por esa razón considera que son importantes los siguientes aspectos en la toma de decisiones:

- ☞ **Información:** Es necesario disponer de toda la información útil sobre el problema o situación presentada, para tomar una buena decisión.
- ☞ **Conocimiento:** Implica comprender las circunstancias y contexto del problema para seleccionar un plan de acción favorable.
- ☞ **Experiencia:** El conocimiento obtenido al afrontar situaciones del pasado, influye directamente en la manera de implementar decisiones, por ello, es importante documentar cada decisión, junto con sus resultados para emplear esa información en eventos futuros similares.
- ☞ **Análisis:** Consiste en emplear un método para analizar detalladamente el problema y evaluar cada una de las alternativas de solución.
- ☞ **Juicio:** Combina la información con los conocimientos, la experiencia y el análisis para elegir el plan de acción más adecuado.

La toma de decisiones se puede explorar desde tres puntos de vista: el descriptivo (lo que es), el normativo (lo que debe ser) y el prescriptivo (lo que guía a la gente para tomar mejores decisiones). Franklin (2011) menciona que las decisiones en la empresa se pueden tomar bajo tres condiciones: certidumbre, riesgo e incertidumbre.

Certidumbre se refiere conocer a profundidad el problema, identificar claramente cuáles son las posibles soluciones y conocer los resultados de implementarlas. En condición de certidumbre la empresa se limita a elegir la alternativa que considera más viable.

En condición de riesgo la empresa especifica la probabilidad de ocurrencia de ciertos hechos, e identifica alternativas de solución, estableciendo también la probabilidad de que cada solución lleve a un resultado. En general, el riesgo es una consecuencia incierta del resultado de una decisión. Para esta condición la probabilidad que se asigna a los hechos y a los resultados puede ser objetiva o subjetiva. En la probabilidad objetiva se asigna la posibilidad de ocurrencia de acuerdo a datos históricos, se fundamenta en cifras y hechos innegables, mientras que la subjetiva se establece con la experiencia de los individuos en casos similares, juicios personales, esta probabilidad depende de la intuición de cada uno de los involucrados.

La incertidumbre está presente cuando no se conoce información para adjudicar probabilidades a los resultados de las alternativas de solución, y no es posible medir el impacto de los resultados, por lo tanto, una “buena” decisión no siempre garantiza tener un buen resultado final.

Dentro de una empresa hay diferentes tipos de decisión, en relación directa con la complejidad de la situación a resolver, partiendo de soluciones ya conocidas y bien establecidas u otras nuevas en su totalidad. Franklin (2011) señala la existencia de tres tipos de decisiones en una empresa.

- ☞ **Decisiones de rutina:** Son aquellas que se realizan de forma habitual en situaciones comunes sin mayor complicación, y generalmente se encuentran establecidas en normas, procedimientos operativos dentro de la empresa que especifican cómo actuar en cierta situación.
- ☞ **Decisiones de adaptación:** Se refiere a situaciones donde se combinan factores que se salen un poco de lo habitual y esto implica mejorar o modificar las decisiones de rutina.

☞ **Decisiones innovadoras:** Se basan en el descubrimiento, la identificación y el diagnóstico de problemas inusuales y el desarrollo de soluciones únicas. Casi nunca se presentan en secuencia lógica y ordenada, generalmente se basan en información que cambia muy rápido y para lograr la efectividad de la solución se debe poner mucha atención en definir correctamente el problema.

2.2.1.3 Proceso para la toma de decisiones

El proceso para tomar una decisión, es el conjunto de pasos que se realizan de forma consciente o inconsciente y guían a un individuo u organización a seleccionar una alternativa viable para dar solución a un problema o simplemente cambiar la condición actual de una situación específica.

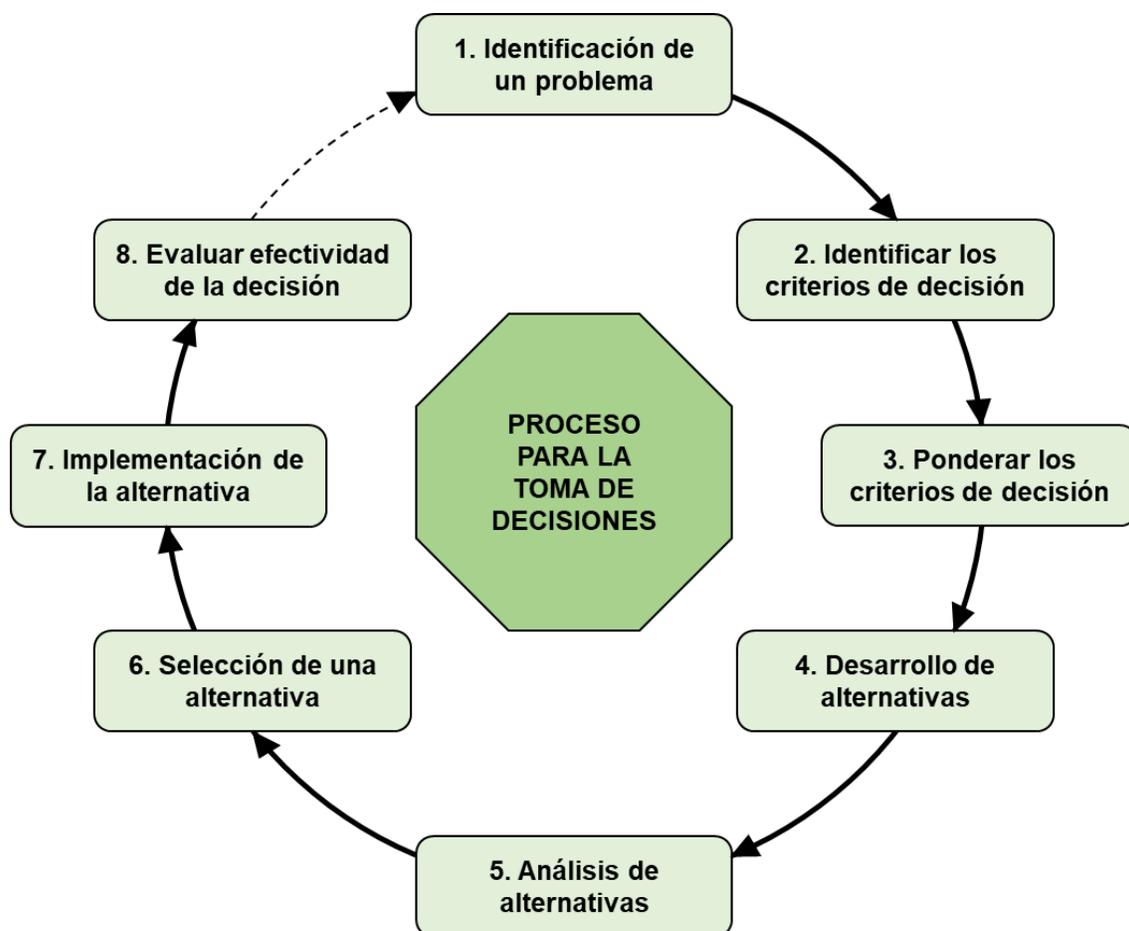


Figura 1. Proceso para la toma de decisiones (elaboración propia).

Son numerosos los autores que definen los pasos que implica este proceso, sin embargo, la mayoría concuerda con el esquema planteado en la **figura 1**, a través del cual se pueden identificar ocho etapas de acuerdo con Robbins y Coulter (2005).

Es necesario aclarar que a pesar de que el esquema expone el proceso general para tomar una decisión, la implementación de las etapas que lo componen dependerá directamente del contexto al que se enfrenta el individuo u organización y sus propósitos.

A continuación, se presenta una breve descripción de cada una de las etapas del proceso para la toma de decisiones.

➤ **Etapas 1.** Identificar un problema

El proceso comienza con la detección de un problema o una situación que exige tomar una decisión, de forma más específica, identificar una diferencia entre la situación actual y la situación deseada.

➤ **Etapas 2.** Identificar los criterios de decisión

Una vez que se ha detectado claramente la existencia de un problema, el siguiente paso es analizar el contexto de la situación, para establecer objetivos y reconocer todos los aspectos que serán de importancia para tomar una decisión, y que permitirán evaluar cada una de las alternativas posibles.

➤ **Etapas 3.** Ponderar los criterios de decisión

Si los criterios considerados no tienen la misma importancia, quién toma la decisión tiene que ponderarlos en forma ordenada para asignarles la prioridad correcta en la decisión. Un método muy simple para ponderar, es asignar al criterio más importante un valor de diez y reducir gradualmente el valor para los siguientes criterios de menor importancia.

➤ **Etapas 4.** Desarrollar las alternativas

Durante esta etapa se realiza una recolección y se enlistan todas las alternativas viables o propuestas de solución para afrontar la situación planteada en un inicio.

➤ **Etapa 5.** Análisis de las alternativas

Una vez que se han reunido todas las alternativas, se analizan críticamente y se evalúan de acuerdo a los criterios establecidos, para realizar una comparación entre todas las propuestas, e identificar las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas, por esa razón, es considerada quizás como la etapa más importante dentro del proceso para la toma de decisiones.

➤ **Etapa 6.** Seleccionar una alternativa

Después de realizar la evaluación con apoyo de los criterios de decisión y de analizar cuidadosamente cada una de las alternativas, se elige aquella que resulte ser la mejor de entre todas las opciones posibles, apegándose a los objetivos establecidos en un principio.

➤ **Etapa 7.** Implementar la alternativa

Ya que se ha tomado la decisión, es hora de ponerla en marcha, pero antes es importante comunicarla a los afectados y lograr que se comprometan con ella. Si las personas que deben implementar la decisión participan en el proceso, es posible que se logre un mejor resultado.

➤ **Etapa 8.** Evaluar la eficacia de la decisión

Es la última etapa en el proceso para tomar una decisión, y consiste en establecer mecanismos para controlar y evaluar los resultados obtenidos al implementar una decisión y averiguar si la alternativa seleccionada ha resuelto la situación o, por el contrario, si el problema persiste, iniciar nuevamente todo el proceso corrigiendo los errores observados.

2.2.1.4 Análisis para la toma de decisiones en las empresas

La toma de decisiones se realiza con frecuencia dentro de las empresas y con un poco de análisis es posible mejorar cualquier decisión. El objetivo principal del análisis de decisiones es evaluar todas las alternativas posibles para elegir la solución óptima, que será aquella de la que se esperan los mejores resultados.

El proceso para la toma de decisiones permite analizar la situación actual de una organización para plantear propuestas que mejoren las condiciones que vive y definir el plan que le permita alcanzar sus objetivos a corto, mediano y largo plazo.

En la actualidad, las empresas rivalizan unas contra otras por alcanzar mayores beneficios y para conseguirlo es necesario desarrollar proyectos que le permitan competir estratégicamente en el mercado en el que se desenvuelve, por ese motivo resulta importante realizar el análisis de decisiones con suma cautela para seleccionar el proyecto del que se esperen los mejores resultados.

Actualmente existe una gran cantidad de herramientas matemáticas u otros métodos con el propósito de orientar el análisis en la toma de decisiones para obtener información útil, que permite seleccionar la alternativa de acuerdo al cumplimiento de los objetivos establecidos. Algunas de las herramientas matemáticas más conocidas son:

- PERT probabilístico.
- Procesos de Markov.
- Teoría de líneas de espera.
- Programación dinámica.
- Programación lineal.
- Programación entera.
- Simulación.
- Otros.

Pilar (2011) comenta que históricamente la investigación de operaciones es la ciencia que estudia las decisiones y las herramientas de análisis para obtener resultados óptimos, y sus primeras aplicaciones se remontan a la antigua Grecia.

Cuando se toman decisiones en condición de riesgo, una de las técnicas más utilizadas para tomar una decisión consiste en determinar el valor esperado de los beneficios para cada decisión posible y elegir aquella que maximice este valor. Algunas técnicas para elegir la mejor alternativa bajo este enfoque, son:

- Criterio de Laplace. Si nada se conoce respecto al futuro, todas las situaciones posibles tienen la misma probabilidad de ocurrir, y se emplea el valor esperado para evaluar los beneficios por cada situación.

- ☞ Criterio Maximin. Consiste en evaluar para cada situación la peor de las consecuencias, y luego elegir aquella cuyo impacto sea el menor de la lista de peores consecuencias, es decir, el máximo de los mínimos.
- ☞ Criterio Maximax. Esta técnica considera la mejor opción como aquella que genera el mayor beneficio entre los máximos encontrados.
- ☞ Criterio Minimax. También conocido como criterio de arrepentimiento, toma como referencia la mejor de las consecuencias para cada futuro posible y evalúa el arrepentimiento asociado de adoptar la decisión que no maximice los beneficios, es decir, es el máximo resultado asociado a cada futuro.

Las técnicas Maximin y Maximax pueden llevar a tomar decisiones desfavorables si antes de su aplicación no se realiza un análisis profundo de la información disponible. Por esa razón, Rivera Rodríguez (2016) propone, que la ciencia computacional es sumamente útil para analizar el impacto y conocer los posibles resultados de las diferentes alternativas para hacer frente a una situación, a través de la simulación de modelos organizacionales. Pérez Rodríguez y Hernández Aguirre (2018) consideran que la simulación de eventos discretos es una herramienta práctica y útil para el análisis en la toma de decisiones.

Es así que la simulación se puede emplear en condiciones de incertidumbre para analizar diferentes alternativas, esto permite reducir el riesgo de no obtener los resultados esperados asociados con una decisión.

2.2.2 Simulación

2.2.2.1 Definición

Una de las definiciones más relevantes sobre el significado de la simulación, es la de Naylor (1982), quien se refiere al concepto como una técnica numérica para desarrollar experimentos que comprenden ciertas relaciones lógicas y matemáticas, necesarias para describir el comportamiento y estructura de sistemas complejos del mundo real en un lapso de tiempo a través de una computadora.

Shannon (1988), otro experto en la materia, define a la simulación como un proceso mediante el cual se diseña y construye el modelo computarizado para representar un sistema, con el objetivo de apoyar en la realización de experimentos que permitan entender el comportamiento del sistema de interés, o simplemente evaluar diferentes estrategias bajo las cuales puede operar el mismo.

Así mismo García Dunna, et al. (2013) conciben a la simulación como “Un gran conjunto de métodos y aplicaciones que buscan imitar el comportamiento de sistemas reales, generalmente por medio de una computadora con un software apropiado” (p. 2).

Así, se entiende por simulación al proceso de generar un modelo a través de herramientas lógicas y matemáticas, que, con apoyo de un software especializado de computación, permite describir e imitar el comportamiento de un sistema o proceso del mundo real, para realizar diferentes experimentos con el propósito de estudiar, analizar e identificar las relaciones entre sus componentes, además de proyectar los resultados asociados a posibles cambios sobre el sistema.

2.2.2.2 Historia de la simulación

Se podría pensar que el origen de la simulación da inicio con el auge de las computadoras en el siglo XX, ciertamente su evolución va muy de la mano con la evolución de la informática, sin embargo, sus orígenes son un poco más remotos.

Para Goldsman et al. (2009), la historia de la simulación se puede clasificar en tres grandes etapas: El periodo antes de las computadoras (1777 – 1943), el periodo formativo o de desarrollo (1945 – 1970) y el periodo de expansión (1970 – 1981).

En el año 1777, Georges Louis Leclerc (Conde de Buffon) plantea el problema de la “Aguja de Buffon”, que es un método matemático sencillo, mediante el cual se puede aproximar el valor del número π a través de ensayos sucesivos, así este hecho marca el nacimiento de las técnicas de simulación. Años más tarde, Pierre Laplace en 1812, corrige el error en la solución publicada por Buffon y desde entonces el método se conoció como “Solución Buffon – Laplace”.

A principios del siglo XX, el matemático William Sealy Gosset que trabajaba en la destilería de Arthur Guinness, analizó desde un punto de vista estadístico el proceso de elaboración de la cerveza, y la necesidad de desarrollar toda una teoría para estudiar muestras pequeñas, lo llevo a descubrir la distribución “t de Student”. Sin embargo, debido a que Gosset tenía resultados analíticos incompletos, empleo una forma de simulación manual para verificar su conjetura sobre la forma exacta de la función de densidad de probabilidad para la distribución t de Student. Esta aplicación de la simulación convierte a Gosset como precursor de la aplicación práctica de la simulación en el campo de control de procesos industriales.

Durante de la década de 1940, dos acontecimientos importantes definen el inicio del periodo de formación, y sientan las bases para la rápida evolución del campo de la simulación. El primero de ellos es la aparición del primer computador electrónico en 1946, conocido como ENIAC; el segundo acontecimiento es el desarrollo del método de Montecarlo por los matemáticos Stanislaw Ulam y John Von Neumann, para conducir experimentos mediante simulación en computadoras y resolver problemas sobre el comportamiento de los neutrones en el desarrollo de la bomba de hidrogeno durante la Segunda Guerra Mundial.

A partir de ese momento los experimentos de simulación realizados a través de una computadora, demostraron ser mucho más económicos y brindar una solución a problemas realmente complejos de resolver de forma analítica.

Para el año 1958, el profesor Keith Douglas Tocher, diseña el primer programa de simulación, llamado GSP (General Simulation Program), como una herramienta para simular el funcionamiento de una planta industrial, representando cíclicamente los estados de las maquinas (disponible, ocupado, ocioso y fallo). Aprovechando la experiencia adquirida en el desarrollo de GSP, Tocher publica en 1963 el primer libro de texto sobre simulación titulado “The art of simulation”.

Durante los años 1960 y 1961, el Gerente de Desarrollo de Simulación en IBM, Geoffrey Gordon, introduce GPSS (General Purpose Simulation System), que fue concebido para facilitar la simulación de sistemas de teleprocesamiento como:

control de tráfico urbano, gestión de llamadas telefónicas, reserva de vuelos, etc. La facilidad de uso y la campaña de marketing por parte de IBM, lo colocaron como el lenguaje de simulación más popular de su época en los Estados Unidos.

En 1961, Royal Norwegian Computing Center con un fuerte apoyo de UNIVAC, da inicio al desarrollo de SIMULA. Es así como Kristen Nygaard y Ole – Johan Dahl suman esfuerzos, obteniendo como resultado a SIMULA I, que sin duda se convirtió en el lenguaje de programación más influyente en la historia de la computación, por ser el primer antecedente de la programación orientada a objetos.

Por otra parte, en 1963, la compañía RAND Corporation presenta la primera versión del lenguaje de simulación SIMSCRIPT como una alternativa de GPSS, basado en lenguaje de programación FORTRAN. El objetivo fue diseñar un simulador sencillo de emplear, destinado a usuarios que no necesariamente fueran expertos en computación.

En 1967 se celebró la Conferencia sobre Aplicaciones de la Simulación Usando el Sistema de Simulación de Propósito General (GPSS), posteriormente cambiaría su nombre a Conferencia de Simulación de Invierno o Winter Simulation Conference (WSC), que se lleva a cabo de forma anual a partir de entonces, y es el principal foro internacional donde se difunden y comparten todos aquellos avances en el campo de la simulación.

Después de la década de 1970, da inicio el periodo de expansión científica que de acuerdo a De la Peña Zarzuelo (2018), se distingue principalmente por el desarrollo de mejores y avanzadas herramientas en modelación, optimización, análisis y representación de resultados, que permiten llevar la aplicación de la simulación a otros sectores. Además, la presentación de resultados a través de gráficos, el uso de imágenes o incluso animación, en lugar de las matrices o tablas que solían emplearse para mostrar los datos de salida, facilitó el entendimiento de los nuevos simuladores, ya que los usuarios percibían mejor los cambios y variaciones en la simulación de sistemas.

Durante las últimas décadas, el campo de la simulación se ha beneficiado y progresado notablemente gracias a los avances tecnológicos, además, por las contribuciones realizadas en diferentes campos, ha sido tal el grado de aceptación, que se ha desarrollado una gran variedad de paquetes comerciales y softwares especializados de simulación, diseñados para atender las necesidades de diferentes sectores.

2.2.2.3 Clasificación de los modelos de simulación

Los modelos de simulación permiten imitar el comportamiento de un sistema real, y para representar correctamente a cada uno de ellos es indispensable desarrollar diferentes modelos, adecuados a cada situación. Los modelos de simulación, se pueden categorizar de acuerdo a las características y propiedades del sistema que describen. García Dunna, et al. (2013), presentan una clasificación en tres grupos.

↻ Modelos determinísticos y estocásticos

Los modelos determinísticos poseen variables que no presentan aleatoriedad, es decir, usan valores constantes para cada parámetro, de tal forma que, para cada conjunto de datos de entrada, existe solo un conjunto de datos de salida posible. Todo lo contrario, ocurre en los modelos estocásticos, donde las variables son aleatorias y se requiere de alguna función probabilística para describir su comportamiento, por ende, en este tipo de modelos el número de salidas también se vuelve aleatorio.

↻ Modelos estáticos y dinámicos

En los modelos estáticos, el tiempo es una variable que no influye en la evolución del sistema, mostrando un resultado del sistema bajo ciertas condiciones determinadas. Comúnmente se suele conocer como simulación de Montecarlo. Por otro lado, en los modelos dinámicos, la variable temporal es de gran importancia, porque la evolución del sistema y sus estados están directamente relacionadas con un cambio en el tiempo.

☞ Modelos continuos y discretos

Begoña (2012) explica que, en los modelos de simulación continua, las variables de estado del sistema cambian continuamente con respecto al tiempo, así que, para poder conocer el comportamiento de estas variables, es necesario emplear ecuaciones diferenciales.

Por otra parte, en los modelos de simulación discreta, los cambios en las variables de estado ocurren solo en determinados instantes de tiempo. Estos cambios suelen atribuirse a sucesos conocidos como eventos.

2.2.2.4 Campos de aplicación de la simulación

La simulación en un principio fue de uso exclusivo para la industria militar y hasta hace algunas décadas su aplicación se limitaba al ámbito de las universidades o grandes corporaciones, pero la aparición y evolución de las computadoras con mayor capacidad a costos más accesibles, permitió el uso de la simulación en múltiples sectores.

En la actualidad, los campos de aplicación de la simulación son bastante amplios, por mencionar algunos: medicina, educación, economía, finanzas, ingeniería, investigación, transporte, industria, defensa y tácticas militares, entre otros. Coss Bu (2003), opina que las técnicas de simulación pueden ser aplicadas en distintas áreas. A continuación, se exponen solo algunos ejemplos:

- ☞ Simulación de un sistema de colas: Con el uso de la simulación, el estudio y análisis de un sistema de líneas de espera se vuelve más sencillo, que trabajar con una representación matemática.
- ☞ Simulación de un sistema de inventarios: A través de simulación es más fácil realizar el análisis de un sistema de inventarios cuyos parámetros son estocásticos.
- ☞ Simulación de proyectos de inversión: En la práctica existe una gran cantidad de proyectos de inversión donde la incertidumbre de los flujos de efectivo, que el proyecto genera con respecto a las tasas de interés o inflación,

dificultan el análisis de forma analítica para esta situación, por lo que el optar por un modelo de simulación, puede resultar conveniente.

- ☞ Simulación de sistemas económicos: En el ámbito económico, la simulación puede ser empleada para evaluar el efecto de ciertas variables como la devaluación de la moneda sobre otras en el entorno macroeconómico, por ejemplo, inflación, el PIB, etc.
- ☞ Simulación de estados financieros: La simulación permite analizar y evaluar diferentes estrategias de crecimiento dentro de una organización, con el objetivo de seleccionar aquella que permita a la empresa alcanzar sus metas y objetivos de corto, mediano y largo plazo.

2.2.2.5 Aplicación de la simulación en las empresas

La aplicación de la simulación es bastante amplia, y dentro de una empresa se presenta la misma situación. Se puede desempeñar en diferentes ámbitos, por ejemplo, en el control de inventarios, capacitación de personal especializado, apoyo en la planeación de la producción, logística, diseño de nuevos procesos, como una herramienta en la búsqueda de soluciones a diferentes problemas, optimización, etc. Pero quizás su aplicación más importante, es como herramienta para la elección de estrategias, y como soporte en el diseño y adaptación de las organizaciones.

Fullana Belda y Urquía Grande (2009), afirman que la simulación es una herramienta básica dentro de la planificación y el control estratégico en una empresa, porque permite evaluar los procesos existentes, y también proyectar los resultados sobre el comportamiento que puede adoptar el sistema con la implementación de diferentes estrategias, sin correr el riesgo asociado a ejecutarlas en la realidad.

Es así, que en la búsqueda de nuevas alternativas para innovar un sistema o mejorarlo, la simulación permite elegir escenarios para alcanzar un mayor grado de eficiencia y eficacia en los procesos que garanticen los resultados deseados por una empresa y, por ende, el éxito en el cumplimiento de objetivos.

2.2.2.6 Etapas para realizar un estudio de simulación

Para realizar un estudio de simulación, es necesario seguir una serie de pasos para guiar adecuadamente el trabajo. Los autores Coss Bu (2003) y García Dunna, et al. (2013), opinan que las etapas a seguir son las que se muestran en la **figura 2**, sin embargo, se debe aclarar que la ejecución de las mismas dependerá del sistema y tipo de estudio que se esté desarrollando.

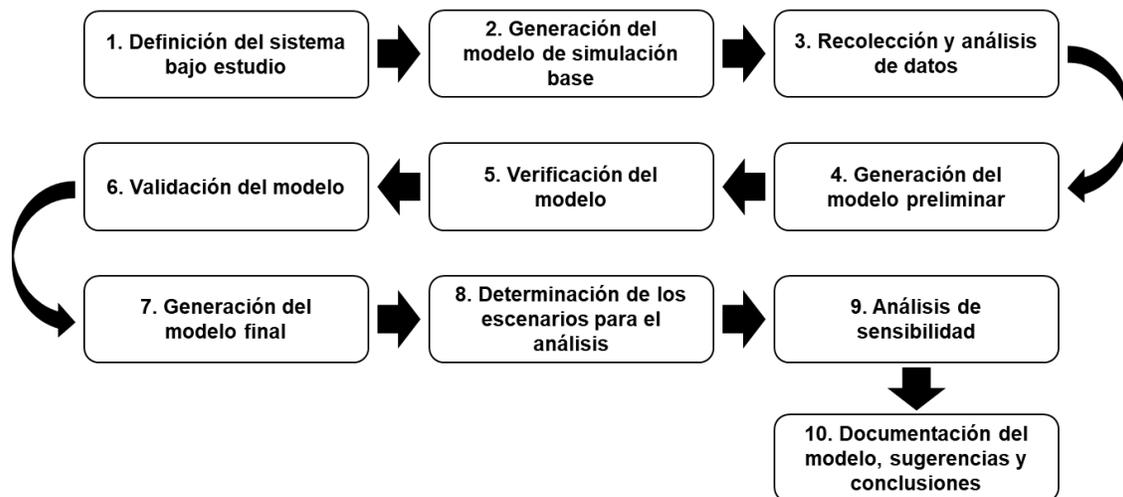


Figura 2. Etapas para realizar un estudio de simulación (elaboración propia)

☞ **Etapa 1.** Definición del sistema bajo estudio

Durante esta etapa se debe conocer exactamente el sistema que se planea simular a través de un análisis preliminar, que permita identificar la interrelación con otros sistemas, definir claramente las variables más importantes que forman parte del modelo junto con sus relaciones lógicas, además de establecer las limitaciones y alcances esperados del mismo. Es recomendable que una vez que se reúna la información suficiente, se realice un esquema conceptual que describa de forma general el comportamiento del sistema.

☞ **Etapa 2.** Generación del modelo de simulación base

Una vez que se ha definido al sistema, el siguiente paso es traducir a un lenguaje de simulación el modelo plasmado en el esquema previamente realizado, cabe señalar que este primer modelo de simulación no necesariamente debe ser

demasiado detallado, ya que se requiere de mucho más información para conseguirlo, la cual se estará anexando a lo largo de las etapas posteriores, lo único que se solicita es realizar el primer esbozo del modelo, que incluya las relaciones lógicas entre las variables, subsistemas y procesos.

➤ **Etapas 3.** Recolección y análisis de datos

Para llevar a cabo este paso, es importante primero haber definido con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados. Durante la recolección, se establece que información es útil para describir el comportamiento de cada variable necesaria en la simulación. Los autores expresan que en algunos casos la recopilación de datos será sencilla, por la existencia de registros contables, bases de datos, etc., sin embargo, en caso de que no exista tal información o sea poco fiable, será necesario realizar un estudio sobre las variables de interés. Una vez que se cuente con la información suficiente, se procede con el análisis para determinar por medio de pruebas estadísticas, la distribución de probabilidad de cada una de las variables del modelo.

➤ **Etapas 4.** Generación del modelo preliminar

Después de realizar el análisis de datos, el siguiente paso es incorporar al modelo, la información sobre el comportamiento de las variables, así como todos los supuestos y datos necesarios, con el propósito de crear un modelo que represente adecuadamente el comportamiento real del sistema bajo estudio.

➤ **Etapas 5.** Verificación del modelo

Una vez que se ha programado el modelo de simulación, es necesario llevar a cabo un proceso de inspección sobre el mismo, para identificar defectos en la programación, comprobar que las relaciones lógicas están correctamente establecidas y la información que se ha incorporado es apropiada, en general, se debe verificar que el modelo realmente se comporte como el sistema que se está estudiando. En este paso también se realizan las correcciones necesarias al modelo en caso de la existencia de errores que afecten el comportamiento del mismo.

➤ **Etapa 6.** Validación del modelo

La validación del modelo es una de las etapas más importantes en el estudio de simulación. Es posible detallar las deficiencias aún existentes en el modelo y realizar una serie de pruebas de simulación con información real para estudiar su comportamiento y analizar los resultados.

Las formas más comunes para validar un modelo son las siguientes:

- De acuerdo a la opinión de los expertos sobre los resultados de la simulación.
- Comprobar que los resultados obtenidos de la simulación son muy aproximados o semejantes a los registros históricos del sistema real.
- Verificar que la predicción de resultados futuros por simulación es similar a la opinión de los encargados del sistema, sobre el comportamiento real esperado en un futuro.
- Comprobar la falla en el modelo, al simular su comportamiento con datos que hacen fallar al sistema real.
- La aceptación y confianza en el modelo por parte del cliente o usuario que hará uso de los resultados de la simulación.

➤ **Etapa 7.** Generación del modelo final

Con la validación del modelo de simulación, ahora se pueden realizar diferentes pruebas para estudiar el comportamiento actual del sistema, además de que este modelo será considerado como modelo raíz, y a partir del mismo se podrán construir y comparar los diferentes escenarios.

➤ **Etapa 8.** Determinación de los escenarios para el análisis

A partir del modelo final generado después de la validación, lo siguiente es diseñar y construir diferentes escenarios para representar las diferentes alternativas que se desean analizar, y estos escenarios deben ser acordados con el cliente o usuario.

Durante esta etapa, los investigadores pueden sugerir algunos escenarios que consideren importantes de acuerdo al propósito del proyecto.

☞ **Etapa 9.** Análisis de sensibilidad

Después de construir los escenarios de interés, se procede con la simulación de los mismos. Con los resultados obtenidos, se pueden efectuar pruebas estadísticas que permitan comparar los distintos escenarios, a fin de generar la información suficiente para seleccionar de entre los candidatos a aquel cuyos resultados sean los mejores y le permitan al cliente o usuario tomar mejores decisiones.

☞ **Etapa 10.** Documentación del modelo, sugerencias y conclusiones

La parte final del estudio de simulación corresponde a realizar la documentación del modelo, ya que además de proporcionar la información necesaria para el uso del modelo al usuario o cliente, también es de utilidad en caso de que se requieran ajustes futuros. En la documentación se deben incluir los supuestos del modelo, las distribuciones asociadas a las variables, los alcances y limitaciones, el reporte de resultados, así como incluir las sugerencias y conclusiones del proyecto.

2.2.2.7 Ventajas y desventajas de la simulación

La simulación es una herramienta de gran utilidad para evaluar diferentes alternativas o estrategias dentro de una organización, sin embargo, para establecer si es apta para resolver una situación específica, es importante contemplar las ventajas y desventajas que presenta.

García Dunna, et al. (2013), exponen que las ventajas más comunes de un modelo de simulación discreta, son las siguientes:

- ☞ Es una herramienta perfecta para conocer el impacto asociado a cambios dentro de los procesos, sin necesidad de llevarlos a la práctica.
- ☞ La observación sobre el comportamiento del modelo bajo diferentes escenarios mejora el entendimiento del sistema actual y permite detectar las variables más importantes y sus interrelaciones.
- ☞ Puede emplearse como medio de capacitación en la toma de decisiones, así como instrumento pedagógico para instruir a estudiantes en el análisis, estadístico, teórico, etc.

- ☞ Resulta más económico realizar un estudio de simulación, que efectuar varios cambios en la realidad al sistema o proceso.
- ☞ Permite experimentar con diferentes escenarios sobre los cuales se tiene poca o nula información, para mejorar las condiciones de trabajo actuales.
- ☞ Genera buenas soluciones ante problemas de gran complejidad, cuyo tratamiento analítico es sumamente complicado.
- ☞ La evolución de softwares de simulación, permite que hoy en día sea mucho más sencillo trabajar con algún paquete, sin ser un experto en informática.
- ☞ La animación de la mayoría de los paquetes de simulación, permite observar y entender con mayor facilidad el comportamiento de los sistemas con los que se trabaja, identificando cuellos de botella u otros problemas.

A pesar de las ventajas que posee la simulación, no se deben dejar de lado las desventajas asociadas a esta herramienta, las cuales son:

- ☞ Tener presente que la simulación no es una herramienta de optimización, y se limita a evaluar únicamente una serie de alternativas.
- ☞ La simulación puede ser costosa, si se desea aplicar en la solución de problemas relativamente sencillos de resolver de forma analítica.
- ☞ Se requiere de bastante tiempo para realizar un buen estudio de simulación.
- ☞ Es posible que los clientes tengan falsas expectativas y no entiendan la técnica de simulación, descartando la idea.

2.2.2.8 Softwares de simulación

Desde la primera vez que se empleó un computador para apoyar el trabajo de simulación, se ha creado una extensa gama de técnicas de simulación. De la Peña Zarzuelo (2018), realiza una clasificación de dichas técnicas en tres grandes bloques, que son los siguientes:

- 1) Técnicas que se basan directamente en lenguajes de programación de propósito general.
- 2) Técnicas que emplean entornos específicos de simulación, denominados lenguajes de simulación.

- 3) Técnicas que se basan en herramientas personalizadas, y que no requieren de conocimientos avanzados de programación o conocimientos teóricos. Se conocen también como paquetes de simulación o “simuladores”.

Los lenguajes de programación de propósito general como Python, R, FORTRAN, Algol, C/C++, etc. Son entornos abiertos que suelen ofrecer mayor rendimiento y velocidad, además, su flexibilidad permite adaptar un modelo a cualquier tipo de problema o situación, sin embargo, al no estar diseñados para realizar simulaciones, la construcción del modelo requiere de una mayor cantidad de tiempo y es necesario poseer conocimientos en programación, limitando su aplicación a un número reducido de profesionales que no siempre conocen todos los detalles del sistema real que se desea simular.

Por su parte los lenguajes de simulación son el punto intermedio entre los lenguajes de programación y los paquetes de simulación, de tal forma que son entornos de desarrollo específico, diseñados para trabajos de simulación, sin embargo, exigen cierto grado de conocimientos en programación, pero cuentan con herramientas básicas para facilitar esa tarea, lo que reduce el tiempo en la construcción de un modelo de simulación. Algunos lenguajes de simulación son SIMSCRIPT, GASP, SLAM, SIMAN, SIMULA, CSIM, GPSS, MODSIM y SLX. Es importante mencionar que los lenguajes de simulación se basan principalmente en lenguajes de programación de propósito general como FORTRAN, C/C++, o Java.

Finalmente, los paquetes de simulación son herramientas que se desarrollan para entornos muy específicos y poseen una estructura más sencilla, que permite su utilización por un mayor número de usuarios, además su interfaz gráfica permite incorporar imágenes e incluso animación.

Hoy en día existe una amplia variedad de paquetes de simulación para abordar casi cualquier proyecto de simulación sin la necesidad de poseer demasiados conocimientos en programación. Los paquetes comerciales más populares son: ARENA, ExtendSIM®, Taylor II y Enterprise Dynamics (ED), Visual SLAM / Awesim, SIMIO®, FlexSim® y ProModel®.

2.2.2.9 ProModel®

De la Peña Zarzuelo (2018), narra que en 1988 se funda la compañía Promodel Corporation, por William B. Nordgren y Charles Harrell, lanzando al mercado el paquete de simulación ProModel®, que seguramente es el primer software de simulación con propósitos comerciales que incorporó animación gráfica y aplicaciones de optimización en los modelos de simulación, además de ser desarrollado para trabajar sobre el sistema operativo de Microsoft Windows.

Sus orígenes se remontan a 1976, en aquel momento Charles Harrell trabajaba como ingeniero de producción para Ford Motor Company, y observó las deficiencias existentes para elaborar un estudio de simulación, como los largos tiempos que demoraba la preparación de los modelos y los errores de conceptualización de los mismos, porque quienes se encargaban de programar los modelos eran únicamente especialistas en programación, y no estaban familiarizados con el sistema que se estaba simulando. Viendo los inconvenientes de la simulación y deseando usarla como una herramienta para planificar sus líneas de producción, la directiva de Ford tomo la decisión de formar a un ingeniero de producción en técnicas de simulación, es así que se designó a Charles Harrell para el ambicioso proyecto.

Después de que Charles Harrell tomará un curso de GPSS, comenzó a trabajar en conjunto con un programador llamado Harry Truax, con el propósito de crear un nuevo software que fuera sencillo de emplear para los ingenieros en las líneas de producción, como resultado nació GENTLE (GENeral Transfer Line Emulator).

El software de simulación resultó ser sumamente efectivo, resolviendo las deficiencias que existían hasta el momento, así Ford adoptó a GENTLE para continuar estudiando y modelando sus líneas de producción durante muchos años.

Charles Harrell continuó preparándose y partiendo de su experiencia en el desarrollo de GENTLE, decidió crear un software de simulación de propósito general, que no presentara las mismas limitaciones que observó en GENTLE y fuese más flexivo, como producto de ese trabajo surgiría ProModel®.

De acuerdo a García Dunna et al. (2013) ProModel® en la actualidad es uno de los paquetes de simulación de eventos discretos más usados, además sus herramientas de análisis y diseño, en conjunto con la animación de los sistemas bajo estudio, permiten al analista tener una visión más completa para tomar mejores decisiones. Este software se enfoca especialmente a la modelación de procesos de producción, líneas de ensamble y de transformación, entre otros.

ProModel® es un paquete de simulación que se compone por un conjunto de módulos para apoyar al analista con el desarrollo de estudios más completos sobre los sistemas que desea simular y que hacen del software uno de los mejores en el mercado. En la **figura 3**, se puede observar una breve descripción de cada uno de los módulos que integran al paquete.

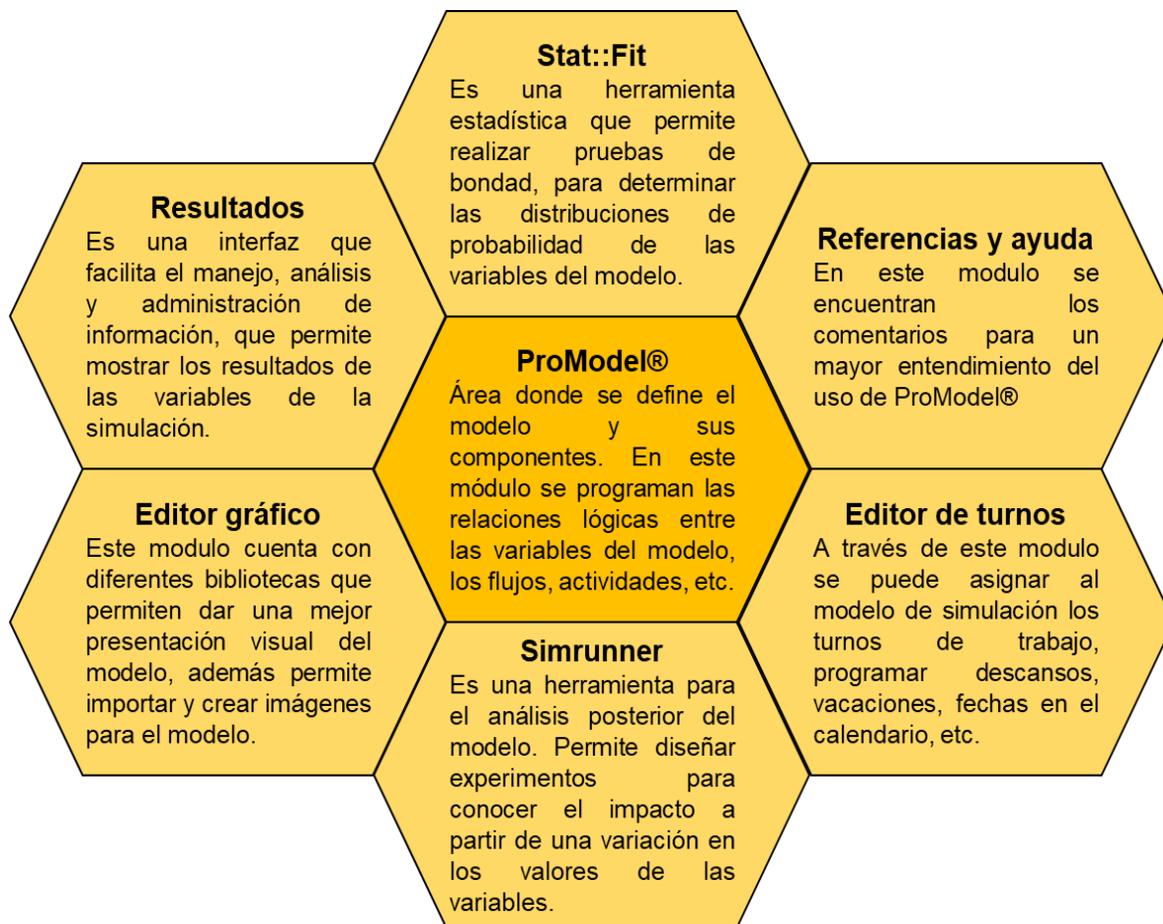


Figura 3. Módulos que componen a ProModel® (elaboración propia)

Además de los módulos, ProModel® cuenta con un conjunto de herramientas que permite representar cada uno de los elementos del sistema bajo estudio en la construcción del modelo de simulación. Enseguida se describe cada componente.

- ☞ **Entidad:** Es un elemento que permite representar los flujos de entrada y salida del sistema y es responsable de que el estado del sistema cambie. Por ejemplo, un cliente que arriba a un sistema, o una pieza que se encuentra en una línea de producción, etc.

- ☞ **Localizaciones:** Son todos aquellos lugares en los que la entidad puede detenerse para ser transformada o esperar a serlo. Pueden ser, almacenes, bandas transportadoras, máquinas, estaciones de inspección, etc.

- ☞ **Recursos:** Son aquellos elementos (diferentes de las localizaciones) necesarios para llevar a cabo una operación. Por ejemplo, un empleado que realiza una inspección o un montacargas encargado de transportar piezas.

- ☞ **Atributos:** Permiten representar las características de las entidades, por ejemplo, color, tamaño, peso, etc. Lo que ayuda a diferenciar entidades fácilmente dentro del modelo, sin la necesidad de crear una nueva.

- ☞ **Variables:** Son condiciones cuyos valores se crean y modifican por medio de ecuaciones matemáticas y relaciones lógicas. Pueden ser continuas (empleadas para representar costos en el sistema, por ejemplo) o discretas (útiles en el conteo del número de piezas terminadas entre otros).

- ☞ **Reloj de simulación:** Proporciona información sobre el tiempo transcurrido de simulación. Se puede hablar de dos tipos de reloj: absoluto (El tiempo es definido desde el principio) y relativo (Considera el lapso entre dos eventos).

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Sistema

García Dunna, et al. (2013) definen al sistema como un “conjunto de elementos que se interrelacionan entre sí para funcionar como un todo” (p. 4). Complementando esta idea, Begoña (2012) opina que un sistema es un “conjunto de objetos o ideas que están interrelacionadas entre sí como una unidad para la consecución de un fin” (p. 3)

Por otra parte, Fullana Belda y Urquía Grande (2009) se refieren al sistema como “el conjunto de componentes (hardware, procedimientos, funciones humanas y otros recursos) unidos por una especie de interacción regulada para formar un todo organizado. Un sistema es un grupo de procesos clave relacionados que pueden o no pueden estar conectados” (p. 3).

Entonces, se entiende por sistema al conjunto de elementos ya sean físicos o abstractos, que se relacionan e interactúan entre sí para contribuir con un propósito en común.

2.3.1.1 Estado del sistema

Para García Dunna, et al. (2013) el estado del sistema es la “condición que guarda el sistema bajo estudio en un momento de tiempo determinado” (p. 3). Es decir, permite describir el comportamiento de los elementos que integran al sistema y conocer el valor de sus variables en un punto de tiempo definido, como si fuese una fotografía que permite observar lo que ocurre en el sistema en cierto instante.

2.3.1.2 Eventos

Begoña (2012) explica que los eventos son aquellos sucesos que producen un cambio en el estado actual del sistema. Por ejemplo, la llegada de un cliente a una fila del banco, la finalización de un proceso en un equipo o la descompostura de una máquina. Se puede realizar una clasificación de los eventos en dos categorías: eventos actuales y eventos futuros (García Dunna, et al., 2013)

Los eventos actuales, son aquellos que están ocurriendo en el sistema en un momento dado. Por otra parte, los eventos futuros están asociados a cambios que se presentarán en el sistema después de un tiempo.

2.3.2 Modelo

Un modelo puede definirse de forma general, como la representación simplificada de un sistema a través de una abstracción de la realidad (Begoña, 2012). Los modelos son útiles para reducir la complejidad de los sistemas bajo estudio, esto facilita la comprensión de sus propiedades y permite estudiar el comportamiento de las variables involucradas, para dar respuesta a interrogantes y realizar inferencias sobre el sistema.

En simulación, un modelo es la representación de un sistema por medio de relaciones lógicas y matemáticas que permiten describir su estructura, para realizar experimentos y conocer sus reacciones ante cambios en las variables, o predecir la evolución del sistema (De la Peña Zarzuelo, 2018). Lo que caracteriza a los modelos de simulación, es dar una solución a problemas de gran complejidad, empleando métodos numéricos.

2.3.3 Planeación estratégica

La planeación estratégica permite a una empresa conocerse y evaluar el entorno en el que se desenvuelve, así como trazar el camino a seguir para enfocar cada acción en el cumplimiento de metas y objetivos.

La Norma ISO 9001:2015 considera que para cumplir con los objetivos de la calidad es preciso que una organización trace un plan de acción y determine aspectos fundamentales como el propósito de la misma, los recursos necesarios, los responsables, fechas, indicadores, etc.

Es así que, a través de la planeación estratégica se establecen objetivos a corto, mediano y largo plazo, basados en la misión y visión de una organización, en otras palabras, define el camino que debe recorrer y el que hacer de la empresa.

2.3.3.1 Misión

De acuerdo con la Norma ISO 9000:2015, la misión se define como el propósito de la existencia de la organización, tal como lo expresa la alta dirección.

2.3.3.2 Visión

La Norma ISO 9000:2015 define la visión como la aspiración de aquello que una organización querría llegar a ser, tal como lo expresa la alta dirección.

2.3.4 Proceso

La Norma Internacional ISO 9000:2015 define proceso como un conjunto de actividades mutuamente relacionadas que utilizan las entradas para proporcionar un resultado previsto. Desde un enfoque similar, Moreira Delgado (2007) define que un proceso es el conjunto de acciones que intervienen y se relacionan en el sistema, permitiendo el flujo y la evolución de la información, donde las entradas a un proceso del sistema pueden representar las salidas de otro y viceversa.

De una forma más simple Aguilar Coto (2013) describe un proceso como un conjunto de actividades que se relacionan mutuamente para transformar insumos en resultados. Entonces, un proceso es un conjunto de actividades que se realizan y se relacionan entre sí, siguiendo una secuencia para lograr un resultado.

2.3.5 Diagrama de flujo del proceso

Para Gutiérrez Pulido (2010), los diagramas de flujo del proceso son una herramienta gráfica de gran utilidad para entender, representar y analizar la secuencia de pasos u operaciones implicadas dentro de un proceso, a través del cual se pueden observar sus interrelaciones y comprender su funcionamiento.

Niebel y Freivalds (2009) aseguran que la construcción de un diagrama de flujo del proceso, requiere de una serie de símbolos para facilitar el entendimiento y representar cada una de las operaciones involucradas. La simbología de acuerdo con el estándar ASME se puede apreciar en la **figura 4**, así también se incluyen símbolos no estándar que se suelen emplear.

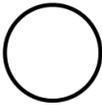
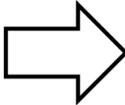
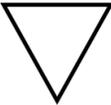
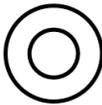
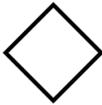
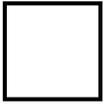
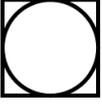
Símbolos estándar ASME			Símbolos no estándar		
 Operación	 Transporte	 Almacén	 Registro	 Decisión	 Información a un registro
 Demora	 Inspección	 Inspección en conjunto con una operación		 Operación y transporte se realizan de forma simultanea	

Figura 4. Simbología para el diagrama de flujo del proceso (elaboración propia)

El círculo simboliza una operación, mientras que el cuadrado representa una inspección, la flecha representa el transporte de un objeto o material de un lugar a otro. El símbolo con forma de D, corresponde a las demoras, retrasos, pausas o interrupciones en el proceso, que ocurren cuando una pieza tiene que esperar porque no puede ser procesada inmediatamente en la próxima estación de trabajo. El triángulo equilátero simboliza el almacén para guardar y proteger en un determinado lugar la materia prima, producto en proceso o final. Además de estos cinco símbolos, también se incluyen otros símbolos no estándar, utilizados para señalar actividades administrativas o de papeleo. En la actualidad se emplean dos tipos de diagramas de flujo del proceso:

- ☞ Diagramas de flujo de productos o materiales. Proporciona detalles de los eventos que involucran un producto o material.
- ☞ Diagrama de flujo de personas u operativos. Describe como una persona desarrolla una secuencia de actividades.

En un diagrama de flujo del proceso, se pueden incluir algunos elementos como el título y número del diagrama, la descripción del proceso y trabajo, identificar si se representa el método actual o el método propuesto, fecha y nombre del analista. En la plantilla se describirá cada evento del proceso, después se encerrará o marcará el símbolo adecuado del diagrama de procesos para finalmente indicar los tiempos asignados para cada evento y las distancias de transporte.

2.3.6 Estudio de tiempos y movimientos

Para Meyers (1999/2000), el estudio de tiempos y movimientos es una de las técnicas más utilizadas para entender la naturaleza y el costo del trabajo en la industria moderna, con el propósito de reducir y controlar costos, mejorar las condiciones de trabajo y el entorno, incrementar la capacidad de producción, etc.

Es importante explicar que el estudio de tiempos y movimientos se compone por técnicas de análisis de movimientos y técnicas de análisis de tiempos, así que, para llevar a cabo un estudio de este tipo, es preciso iniciar con un estudio de movimientos, los cuales se consideran en dos niveles:

- ☞ Estudio de macromovimientos. Contempla los aspectos generales de una planta o línea de producción, como operaciones, inspecciones, transporte, demoras y almacenamiento, así como las relaciones que existen entre estas. Los ahorros en este tipo de estudio son más notables y el tiempo que implica su desarrollo no es muy elevado. Hay cuatro herramientas que pueden ser de utilidad en este tipo de estudio:
 - Diagrama de flujo.
 - Hoja de operaciones.
 - Diagrama de proceso.
 - Diagrama de flujo del proceso.
- ☞ Estudio de micromovimientos. Es el más conocido y para desarrollarse es necesario invertir una mayor cantidad de tiempo y recursos, porque examina el segmento más pequeño de cada trabajo, y las modificaciones se realizarán a ese nivel. Desglosan al trabajo en movimientos como alcanzar, mover, tomar, colocar, etc., y se mide el tiempo en milésimas de minuto. Algunas técnicas para apoyar el estudio de micromovimientos son:
 - Diagrama de análisis de operaciones.
 - Diagrama de operador máquina.
 - Diagrama de equipos.
 - Diagrama multimáquina.

- Reglas de economía de movimientos.
- Patrones de movimiento.
- Sistema de estándares de tiempo predeterminado (PTSS por sus siglas en inglés) o bien, mediciones del tiempo del método.
- Formulario PTSS

En los estudios de tiempo se establecen con precisión estándares para identificar el tiempo requerido para ejecutar una actividad específica, midiendo los tiempos de un operador calificado y bien capacitado, que trabaja a un ritmo normal y realiza una tarea específica. El equipo necesario para desarrollar un estudio de tiempos de acuerdo con Niebel y Freivalds (2009) es el siguiente:

- Cronometro. Es un elemento indispensable para realizar las mediciones de tiempo de cada una de las actividades bajo estudio.
- Cámaras de videograbación. Son ideales para grabar los métodos del operador y su tiempo, eso permite observar detalladamente los micromovimientos.
- Tablero. Este tablero debe ser resistente y ligero, para servir de apoyo al momento de realizar un registro en las formas o tablas.
- Formas o tablas para el estudio de tiempos. En estas tablas el analista realizará el registro de los tiempos observados en el estudio.
- Software para el estudio de tiempos y movimientos. Son herramientas útiles para realizar el registro de las actividades y posteriormente vaciar los datos en un ordenador para su posterior análisis.

2.3.7 Gráfica de cajas

Una gráfica de cajas o también conocida como gráfica de bigotes, es comúnmente empleada para observar y analizar el comportamiento de un conjunto de datos, ya que resulta útil para revelar información como la tendencia central, dispersión, la distribución, e identificar valores extremos o atípicos (Triola, 2008/2009).

Para realizar esta gráfica es necesario identificar el valor mínimo, el valor máximo, el primer y tercer cuartil (son los valores que se encuentran aproximadamente en la posición $n/4$, y $3n/4$ respectivamente de la muestra de tamaño n), y la mediana.

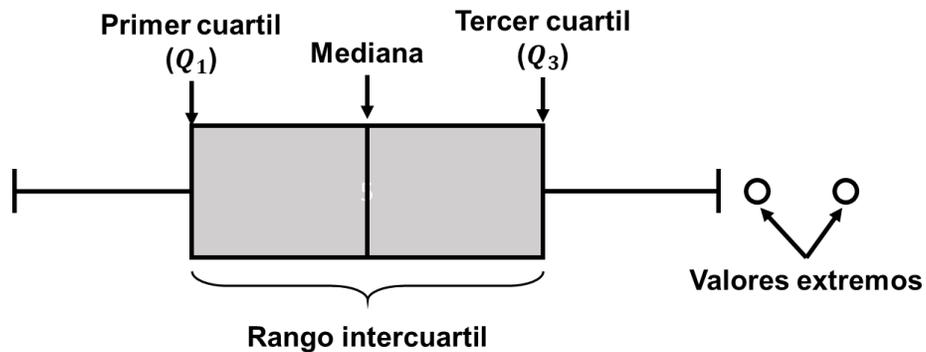


Figura 5. Gráfica de cajas y sus elementos (elaboración propia)

Esta gráfica encierra el rango intercuartil ($Q_3 - Q_1$) de los datos en un recuadro como se muestra en la **figura 5**, y se trazan las extensiones que señalan valores alejados de la muestra.

Walpole et al. (2007) explican que con ayuda de esta gráfica se puede realizar un diagnóstico sobre los datos para identificar visualmente valores extremos que son observaciones inusuales. El procedimiento común y empleado por muchos softwares, consiste en usar 1.5 como un múltiplo del rango intercuartil, y emplear el siguiente criterio:

- ☞ Si la distancia entre el cuartil Q_3 y el valor observado, excede en 1.5 veces el rango del intercuartil, dicho valor es considerado extremo.
- ☞ Si la distancia entre el cuartil Q_1 y el valor observado, se encuentra por debajo de 1.5 veces el rango del intercuartil, dicho valor es considerado extremo.

2.3.8 Variable aleatoria

Una variable aleatoria es aquella a la que se le asigna un valor numérico determinado por el azar, como resultado de la ejecución de un experimento (Triola, 2008/2009). La definición formal de acuerdo con Meyer (1970/1992) es la siguiente: “Sea ε un experimento y S el espacio muestral asociado con él. Una función X que asigna a cada uno de los elementos $s \in S$, un número real $X(s)$, se llama variable aleatoria” (p. 70).

Es así que una variable aleatoria es una forma de asignar números a los eventos asociados a un experimento donde el azar está involucrado. Al abordar el concepto de variable aleatoria, se pueden realizar dos distinciones: variables aleatorias discretas y continuas.

Se dice que una variable aleatoria es discreta si tiene un número finito de valores, o el total de resultados posibles es un conjunto contable, es decir, puede existir un número infinito de valores, pero pueden asociarse a un proceso de conteo.

Por el contrario, una variable aleatoria es continua si tiene un número infinito de valores que se asocian con mediciones en una escala continua, en la que no existen huecos o interrupciones (Triola, 2008/2009).

2.3.9 Función de distribución y función de densidad

Para Mood, et al. (1970), la función de distribución (también conocida como función de distribución acumulada) de una variable aleatoria X , se denota como $F_X(\cdot)$ y es aquella función con dominio en el conjunto de los números reales \mathbb{R} y contradominio el intervalo $[0,1]$, que satisface $F_X(x) = P(X \leq x)$. Puede emplearse para determinar probabilidades de eventos definidos en términos de su correspondiente variable aleatoria. Las propiedades de la función de distribución son las siguientes:

- I) $\lim_{x \rightarrow +\infty} F_X(x) = 1$, y $\lim_{x \rightarrow -\infty} F_X(x) = 0$
- II) $F_X(\cdot)$ es creciente, eso significa que si $a \leq b$, entonces $F_X(a) \leq F_X(b)$
- III) $F_X(\cdot)$ es continua por la derecha, es decir, $\lim_{h \rightarrow 0^+} F_X(x+h) = F_X(x)$

La función de distribución es definida de forma única para cada variable aleatoria y permite determinar si la variable es discreta o continua.

Caso discreto

Si X es una variable aleatoria discreta, cuyos valores son x_1, x_2, \dots, x_n , entonces su función de distribución es:

$$F_X(x) = \sum_{j: x_j \leq x} f_X(x_j)$$

Donde $f_X(\cdot)$ es la función de densidad de X , por esa razón también se denomina como función de densidad discreta y se define como:

$$f_X(x) = \begin{cases} P[X = x_j] & \text{Si } x = x_j, \text{ para } j = 1, 2, \dots, n \\ 0 & \text{Si } x \neq x_j \end{cases}$$

En términos más simples, la función de densidad discreta es equivalente a la probabilidad de que la variable aleatoria X tome el valor de alguno de los elementos del espacio muestral. Las propiedades de la función de densidad discreta son:

- I) $f_X(x_j) > 0$ para $j = 1, 2, \dots$
- II) $f_X(x_j) = 0$ para $x \neq x_j$
- III) $\sum f_X(x_j) = 1$, donde $x_j = x_1, x_2, \dots$

Caso continuo

Una variable aleatoria X es continua si existe una función $f_X(\cdot)$ tal que la función de distribución $F_X(\cdot)$ se puede definir como:

$$F_X(x) = \int_{-\infty}^x f_X(t) dt$$

Para este caso, $f_X(\cdot)$ es la función de densidad de probabilidad que satisface las siguientes condiciones:

- I) $f_X(x) \geq 0$ para toda x
- II) $\int_{-\infty}^{+\infty} f_X(x) dx = 1$

III) Para cualquier a, b , tal que $-\infty < a \leq b < +\infty$, se tiene que

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f_X(x) dx$$

La función de densidad $f_X(x)$ se puede obtener a partir de la función de distribución $F_X(\cdot)$, siempre y cuando esta sea derivable.

$$f_X(x) = \frac{dF_X(x)}{dx} = F_X'(x)$$

2.3.10 Distribución de probabilidad

La distribución de probabilidad se entiende como una lista de todos los resultados posibles de un experimento y la probabilidad asociada a cada uno de ellos, describe la probabilidad de que un evento ocurra en el futuro.

Triola (2009) define una distribución de probabilidad como una distribución que indica la probabilidad de cada valor de la variable aleatoria, al igual que las variables aleatorias, una distribución de probabilidad puede ser discreta o continua y esto depende del tipo de variable aleatoria de estudio.

2.3.10.1 Distribución normal

Se dice que una variable aleatoria X tiene una distribución normal si su función de densidad está dada por la siguiente expresión:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2},$$

Donde μ está en los reales y $\sigma > 0$ son dos parámetros. Se escribe entonces $X \sim N(\mu, \sigma^2)$. Gráficamente se puede observar el comportamiento de esta distribución similar a la forma de una campana, e incluso también se le conoce como la campana de Gauss. En la **figura 6** se observa el comportamiento gráfico de la distribución normal con $\mu = 0$ y $\sigma^2 = 1$.

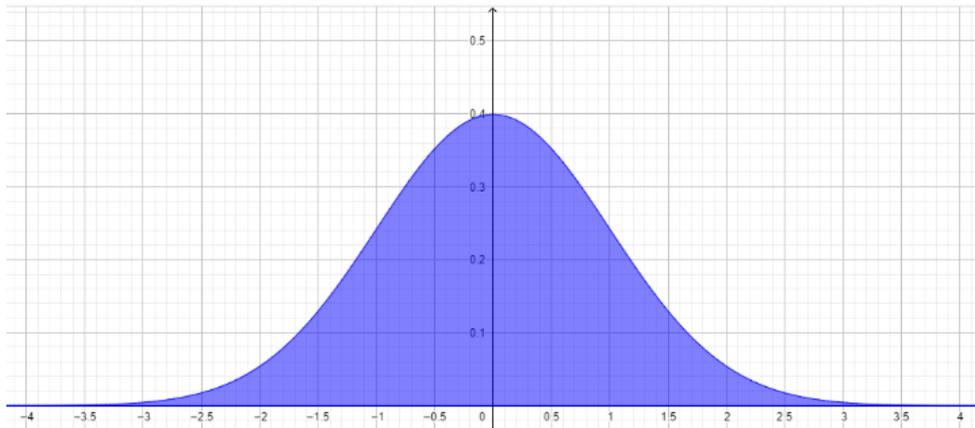


Figura 6. Distribución normal $N(0,1)$ (elaboración propia)

2.3.10.2 Distribución lognormal

Se dice que una variable aleatoria X tiene una distribución lognormal si su función de densidad está dada por la siguiente expresión:

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(\ln x - \mu)^2 / 2\sigma^2} \text{ para } x > 0$$

La esperanza de X es $E(X) = e^{\mu + \sigma^2/2}$ y $Var(X) = (e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu + \sigma^2}$. En la **figura 7** se puede apreciar el comportamiento de la distribución lognormal de $\mu = 0$ y $\sigma^2 = 1$.

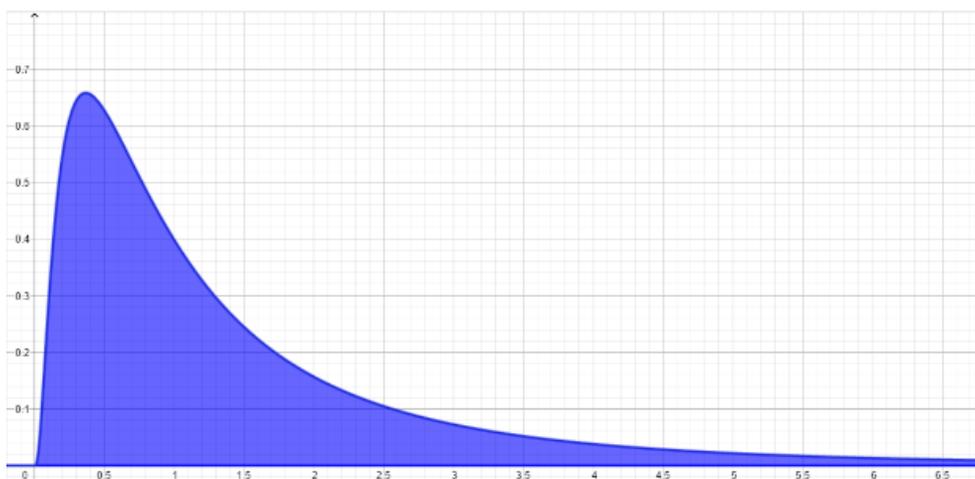


Figura 7. Distribución lognormal $L(0,1)$ (elaboración propia)

2.3.10.3 Distribución exponencial

Se dice que una variable aleatoria X tiene una distribución exponencial con parámetro $\lambda > 0$, y se escribe $X \sim \text{exp}(\lambda)$ cuando su función de densidad es:

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & \text{si } x > 0 \\ 0 & \text{si } x \leq 0 \end{cases}$$

La esperanza de X es $E(X) = \frac{1}{\lambda}$ y $\text{Var}(X) = \frac{1}{\lambda^2}$.

En la **figura 8** se observa el comportamiento gráfico de la distribución exponencial de parámetro $\lambda = 1$.

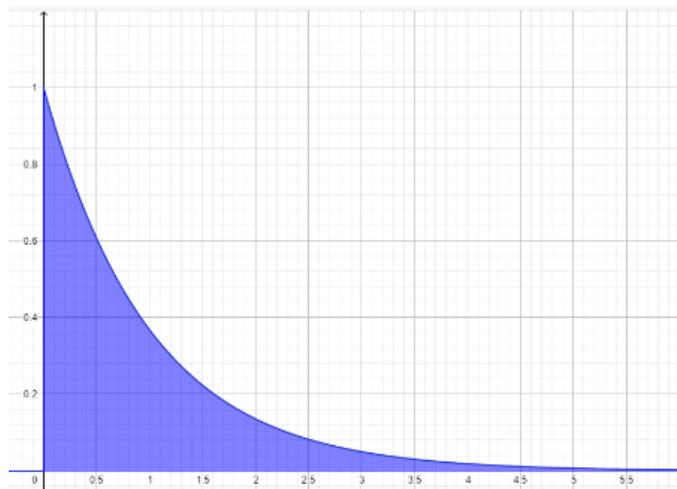


Figura 8. Distribución exponencial con $\lambda = 1$ (elaboración propia)

2.3.10.4 Distribución uniforme

Una variable aleatoria X tiene una distribución uniforme continua en el intervalo (a, b) , y se escribe $X \sim \text{unif}(a, b)$, cuando su función de densidad es:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{si } x \in (a, b) \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

La esperanza de esta distribución es $E(X) = \frac{a+b}{2}$ y $\text{Var}(X) = \frac{(b-a)^2}{12}$. En la **figura 9** se observa el comportamiento de una distribución uniforme $U(-1,1)$.

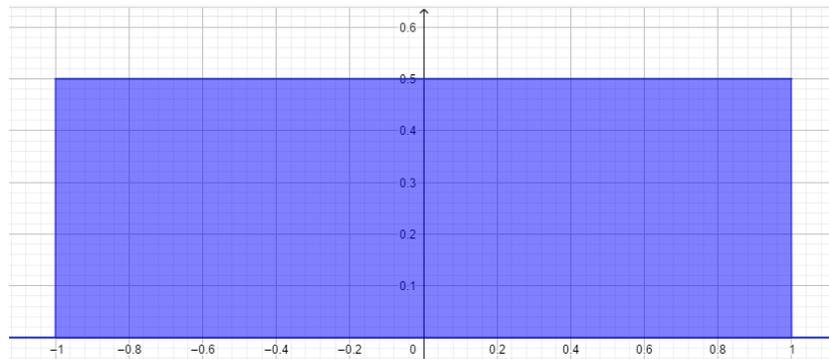


Figura 9. Distribución uniforme $U(-1,1)$ (elaboración propia)

2.3.11 Pruebas de hipótesis

Uno de los objetivos de la estadística es realizar inferencias sobre los parámetros de una población a partir de la información obtenida de un pequeño subconjunto de la misma. Esa inferencia debe ser útil para tomar decisiones y establecer conclusiones sobre el comportamiento de la población o conjunto de datos bajo estudio. Triola (2008/2009) define una hipótesis estadística como una aseveración o conjetura sobre una característica o propiedad de una población y el proceso estándar para probar esa aseveración es conocido como prueba de hipótesis.

La hipótesis nula se denota como H_0 , es la hipótesis que se debe comprobar y corresponde a la afirmación de que el valor de algún parámetro o característica de un conjunto de datos posee un valor aseverado. Es puesta a prueba de forma directa y se llega a la conclusión de rechazar H_0 , o no rechazar H_0 .

La hipótesis alternativa se denota como H_1 , es la afirmación de que el parámetro o característica de la población, difiere con lo propuesto en la hipótesis nula, y por ende representa a la conclusión cuando H_0 es rechazada. La hipótesis alternativa suele emplear los símbolos de menor ($<$), mayor ($>$), o diferente (\neq).

El estadístico de prueba es otro elemento importante en la prueba de hipótesis, y es una función que depende de la información muestral y se emplea para tomar la decisión de rechazar o no la hipótesis nula H_0 .

La región crítica es el conjunto de todos los valores del estadístico de prueba para el cual se rechazaría la hipótesis nula H_0 , mientras que el valor crítico es cualquier valor que separa la región crítica de los valores del estadístico de prueba que no conducen al rechazo y este depende de la naturaleza de la hipótesis nula H_0 y el nivel de significancia α que establezca el investigador.

Finalmente, el nivel de significancia que se denota como α , es la probabilidad de tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula H_0 , cuando realmente era cierta, es decir, es la probabilidad de que el estadístico de prueba se encuentre en la región crítica, cuando la hipótesis nula era verdadera.

2.3.12 Criterio del p – valor

Para Triola (2008/2009), el p – valor es la probabilidad de que el estadístico de prueba obtenga un valor que sea al menos tan extremo como el que representa a los datos en la muestra, suponiendo que la hipótesis nula es verdadera. En otras palabras, el p – valor es la probabilidad de observar el resultado que se ha obtenido, bajo el supuesto de que la hipótesis nula es verdadera. El p – valor resulta útil en las pruebas de hipótesis.

Triola (2008/2009) afirma que “en años recientes el uso del método del valor p ha aumentado, junto con la inclusión de valores p en los resultados de programas de cómputo” (p. 395).

Para emplear este método, se establece un nivel de significancia α , después se determina el p – valor y se toma una decisión considerando los siguientes criterios:

- ☞ Rechazar la hipótesis nula (H_0) si el p – valor es menor o igual que α
- ☞ No rechazar la hipótesis nula (H_0) si el p – valor es mayor que α

Es importante señalar que cuanto más pequeño sea el p – valor, la hipótesis nula (H_0), puede ser rechazada con más fuerza, y de ahí que también se interprete como el nivel de significancia más pequeño, para el que se rechaza la hipótesis nula (Wackerly, et al., 2008/2010).

2.3.13 Pruebas de bondad de ajuste Chi – Cuadrada (χ^2)

Walpole et al. (2007) explican que una prueba de bondad de ajuste o prueba χ^2 , determina si un conjunto de datos posee una distribución teórica específica, y se basa en probar la hipótesis sobre el ajuste o coincidencia de la frecuencia de los datos observados y la frecuencia esperada de una distribución teórica. Para realizar esta prueba es preciso introducir la siguiente notación:

- ∞ El valor n representa el número total de observaciones o datos estudiados.
- ∞ El número de categorías o clases diferentes se representa como k y se suele obtener como $k = \sqrt{n}$.
- ∞ Los valores o_1, o_2, \dots, o_k corresponden a la frecuencia observada para cada una de las clases k .
- ∞ Los valores e_1, e_2, \dots, e_k corresponden a la frecuencia teórica o frecuencia esperada para cada una de las clases k , donde la i – ésima frecuencia se obtiene como $e_i = n \cdot p$, donde p es la probabilidad asociada a cada categoría.

Esta prueba se puede utilizar para realizar contrastes sobre distribuciones teóricas discretas y continuas, pero es importante verificar que se cumplan las siguientes condiciones antes de aplicarla.

- ∞ El conjunto de datos debe de contar con al menos 30 elementos ($n \geq 30$).
- ∞ Todas las categorías (k) deben cubrir los resultados posibles y ninguna puede quedarse sin valores ($o_i > 0, \forall i = 1, 2, \dots, k$).
- ∞ Para cada categoría (k), la frecuencia esperada teórica (e_i) debe de ser de al menos cinco ($e_i \geq 5, \forall i = 1, 2, \dots, k$).

Este tipo de prueba es de un solo extremo, específicamente extremo derecho, y el estadístico de prueba se obtiene como:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$$

Donde χ^2 es el valor de una variable aleatoria cuya distribución muestral se aproxima bastante a la distribución Chi – cuadrada con $\nu = k - 1$ grados de libertad.

Además, si χ_0^2 es el valor del estadístico de contraste, entonces el p – valor se calcula como $P(\chi_{k-1}^2 \geq \chi_0^2)$. De acuerdo con García Dunna, et al. (2013), los pasos para realizar este contraste de hipótesis son los siguientes:

- I) Clasificar los n valores observados en k clases, obtener las frecuencias observadas para cada clase (o_i) y construir un histograma.
- II) Establecer explícitamente las hipótesis mediante una distribución de probabilidad X de la siguiente manera:
 - H_0 : La distribución X es del tipo X_0
 - H_1 : La distribución X no es del tipo X_0
- III) Calcular los valores de la frecuencia esperada e_i con la función de probabilidad propuesta.
- IV) Calcular el valor del estadístico de prueba χ_0^2 .
- V) Se establece un nivel de significancia α y con él se calcula el valor crítico como $\chi_{\alpha, k-1}^2$.
- VI) Se realiza una comparación entre el estadístico de prueba y el valor crítico y se toma una decisión basada en los criterios:
 - Rechazar la hipótesis nula H_0 si el estadístico de prueba es mayor que el valor crítico ($\chi_0^2 > \chi_{\alpha, k-1}^2$).
 - No rechazar la hipótesis nula H_0 si el estadístico de prueba es menor o igual que el valor crítico ($\chi_0^2 \leq \chi_{\alpha, k-1}^2$).

2.3.14 Prueba de Kolmogorov – Smirnov

Llinás Solano (2010) expone que la prueba de Kolmogorov – Smirnov, es una prueba no paramétrica y una alternativa de la prueba Chi – cuadrada (χ^2). Sirve para determinar la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a un conjunto de datos, probando que no hay diferencia entre la distribución de frecuencias observadas y la distribución de frecuencias teóricas, sin embargo, este test es apropiado únicamente para realizar contrastes sobre distribuciones continuas.

Los valores de los n datos ordenados de forma creciente se denotan como $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$ y la función de distribución acumulada observada $F_n(x)$ se define como la proporción del número de valores en el conjunto de datos estudiado que son menores o iguales que x , es decir:

$$F_n(x) = \frac{(\text{Número de observaciones} \leq x)}{n}$$

Mientras que la distribución teórica $F(x)$ es especificada y es propuesta bajo la hipótesis nula. Es así que el estadístico de prueba se calcula como:

$$D_n = \max_x |F_n(x) - F(x)|$$

Cuya distribución depende del tamaño de muestra cómo se puede observar, es así que D_n representa la máxima diferencia entre la función de distribución acumulada muestral $F_n(x)$ y la función de distribución acumulada teórica $F(x)$.

Es visible que el valor que adoptará D_n será relativamente pequeño si la hipótesis nula H_0 no se rechaza, pero si ocurre lo contrario, el valor para D_n tenderá a ser grande.

Para hallar el valor crítico, se debe encontrar el valor de c tal que:

$$P\left(D_n \geq \frac{c}{\sqrt{n}}\right) = \alpha$$

Entonces la región crítica de la prueba será $D_n \geq \frac{c}{\sqrt{n}}$.

Los pasos para llevar a cabo esta prueba son los siguientes de acuerdo con García Dunna, et al. (2013):

- I) Establecer el contraste de hipótesis como:
 - H_0 : La distribución X es del tipo X_0
 - H_1 : La distribución X no es del tipo X_0
- II) Ordenar de forma creciente el conjunto de datos a estudiar con sus respectivas frecuencias observadas.
- III) Calcular el valor de la función de distribución acumulada observada y la función de distribución teórica para cada uno de los datos.
- IV) Determinar el valor del estadístico de prueba D_n
- V) Definir el nivel de significancia α y junto con el valor n , establecer el valor crítico de la prueba $D_{\alpha,n}$, con las tablas correspondientes.
- VI) Comparar el estadístico de prueba con el valor crítico y tomar la decisión de acuerdo con los siguientes criterios:
 - Rechazar la hipótesis nula H_0 si el estadístico de prueba es mayor que el valor crítico ($D_n > D_{n,\alpha}$).
 - No rechazar la hipótesis nula H_0 si el estadístico de prueba es menor o igual que el valor crítico ($D_n \leq D_{n,\alpha}$).

Llinás Solano (2010) opina que la prueba de Kolmogorov – Smirnov es una prueba superior con respecto a la prueba Chi – cuadrada, cuando se analizan datos que involucran una variable aleatoria continua.

2.3.15 Prueba de Anderson – Darling

García Dunna et al (2013), explican que la prueba de Anderson Darling se trata de una modificación de la prueba de Kolmogorov – Smirnov y trata de corregir una de las desventajas que presentaba dicha prueba, ya que con este nuevo test se detectan las discrepancias en los extremos de las distribuciones, sin embargo, los autores expresan que es necesario calcular los valores de puntos críticos para cada distribución. El procedimiento para realizar el contraste de hipótesis es el siguiente:

- I) Organizar el conjunto de n datos de forma ascendente y asignarlo a un nuevo conjunto: Y_i para $i = 1, \dots, n$.
- II) Organizar posteriormente al conjunto de n datos de forma descendente y asignarlo a un nuevo conjunto: Y_{n+1-i} para $i = 1, \dots, n$.
- III) Establecer el contraste de hipótesis y proponer la distribución de probabilidad teórica.
 - H_0 : La distribución X es del tipo X_0
 - H_1 : La distribución X no es del tipo X_0
- IV) Calcular la función de distribución acumulada teórica para cada elemento del conjunto Y_i y el conjunto Y_{n+1-i} , es decir, calcular $F(Y_i)$ y $F(Y_{n+1-i})$, a partir de la distribución de probabilidad propuesta.
- V) Calcular el estadístico de prueba de la siguiente manera:

$$A_n^2 = - \left[n + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) [\ln F(Y_i) + \ln(1 - F(Y_{n+1-i}))] \right]$$

- VI) Ajustar el estadístico de prueba de acuerdo con la distribución de probabilidad propuesta.
- VII) Establecer un nivel de significancia α y en conjunto con el valor n , determinar el valor crítico $A_{n,\alpha}^2$.
- VIII) Comparar el estadístico de prueba con el valor crítico y tomar una decisión, tomando en cuenta los criterios:
 - Rechazar la hipótesis nula H_0 si el estadístico de prueba es mayor que el valor crítico ($A_n^2 > A_{n,\alpha}$).
 - No rechazar la hipótesis nula H_0 si el estadístico de prueba es menor o igual que el valor crítico ($A_n^2 \leq A_{n,\alpha}$).

CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Definición del sistema bajo estudio

3.1.1 Descripción general de la empresa

La empresa objeto de estudio es *Agrocomplejo Y Ovinocultores Xocotepetl S. P. R de R. L.*, conocida como AGROVIX. Esta empresa se encuentra ubicada sobre la autopista Toluca – Atlacomulco, a la altura del kilómetro 42.5, en la zona de Pastejé, municipio de Jocotitlán, Estado de México.



Figura 10. Planta de producción de alimentos (Fuente: AGROVIX).

AGROVIX es una empresa cuya actividad principal es la producción de diferentes tipos de alimento para animales de abasto, es importante señalar que la crianza de algunos de esos animales forma parte de su actividad económica, por lo que la producción de alimentos también abastece ese sector, es decir, la empresa elabora 16 alimentos destinados para la venta al público en general y 3 alimentos para el consumo interno.

3.1.2 Estructura organizacional

AGROVIX es una pequeña empresa que no requiere de personal especializado para la producción de alimento, basta con una corta capacitación a los trabajadores para que logren realizar las operaciones requeridas.

Es importante mencionar, que a un solo trabajador le son asignadas distintas y diferentes tareas, por lo que la estructura de la empresa se puede definir de la siguiente forma:

- ☞ Dirección: Toma las decisiones sobre el rumbo de la empresa, negocia diferentes proyectos para lograr concretarlos y le sean concedidos.
- ☞ Responsables por departamento: Encargados de gestionar las operaciones que integran cada departamento para su correcto desempeño. Sus funciones consisten en establecer relaciones con los clientes, evaluar costos de adquisición en insumos, llevar a cabo un registro del consumo diario de materia prima, producción y ventas, y apoyar a la dirección para establecer planes de producción e inversión en materia prima o infraestructura.
- ☞ Operarios: Personal encargado de realizar las operaciones que corresponden a la producción de alimento (productor) u otras ajenas al proceso como el apoyo en operaciones externas (ayudante general).

El organigrama de AGROVIX queda definido como sigue:

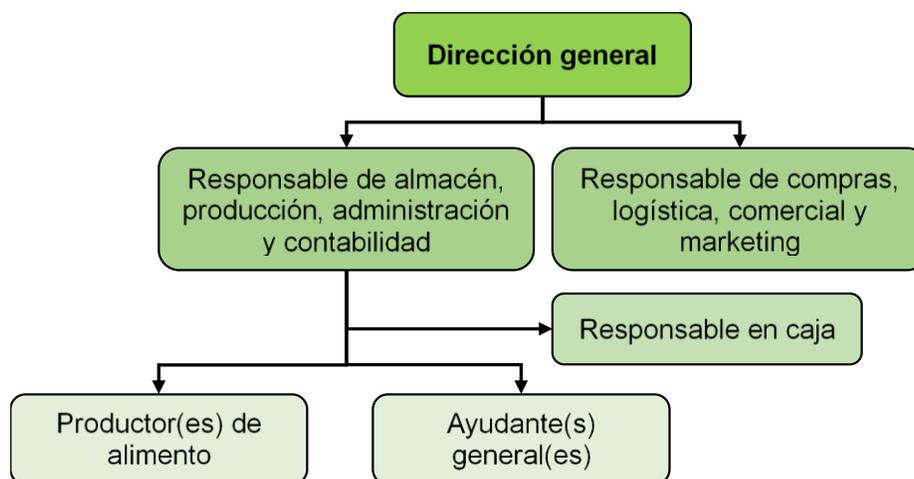


Figura 11. Organigrama de AGROVIX (Elaboración propia)

3.1.3 Planeación estratégica

Los directivos de AGROVIX, han definido como parte de su planeación estratégica, una misión que contempla la razón de ser de la empresa; una visión que refleja su deseo de superación en el futuro; información sobre la empresa, que se difunde y comparte a todos sus clientes; finalmente una frase de su propiedad y autoría, que impulsa el trabajo de todo el equipo en el cumplimiento de sus objetivos.

∞ Misión

Elaborar alimentos de gran calidad para satisfacer las necesidades de cada especie de acuerdo a su estado fisiológico y de esa forma mantener contento al cliente.

∞ Visión

Posicionarnos en el mercado como una de las mejores empresas productoras de alimento y adquirir una mayor cantidad de clientes que con el paso del tiempo nos ayudarán a contar con más sucursales.

∞ Información

Proporcionar alimento de alta calidad para que los animales de abasto, alcancen el peso óptimo para su venta y generen mayor ganancia al productor.

∞ Propiedad y Autoría:

“De lo natural a la excelencia”

3.1.4 Análisis FODA

Para Gutiérrez Pulido (2010), el análisis FODA es una herramienta que permite evaluar la condición de una empresa, para identificar los aspectos en los que es fuerte y en donde radican sus mayores debilidades, además de conocer las oportunidades que su entorno ofrece, así como, las amenazas y peligros a los que se encuentra expuesta.

A partir del análisis FODA es posible establecer estrategias que permiten trabajar sobre las áreas de mejora dentro de la empresa para convertir las debilidades en

fortalezas, aprovechar las oportunidades de su entorno y mitigar los efectos de las amenazas.

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ol style="list-style-type: none"> 1) Compromiso del personal y la alta dirección para implementar proyectos de mejora sobre el sistema de producción. 2) Contar con los recursos suficientes para automatizar y dar mantenimiento a una parte del sistema de producción. 3) Contar con el espacio suficiente para almacenar materia prima y producto terminado. 4) Producción de alimento de alta calidad para animales de abasto. 5) Amplia experiencia de los directivos para la gestión de la empresa. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Mediante el uso de la tecnología implementar una herramienta de análisis para evaluar propuestas de mejora en el sistema de producción. 2) Ser seleccionados para abastecer programas agrícolas ofrecidos por el gobierno federal. 3) Adquirir materia prima a menor precio por temporada. 4) Ser el proveedor predilecto de alimento para animales de abasto en numerosas forrajeras y grupos ganaderos de la zona norte del Estado de México.
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ol style="list-style-type: none"> 1) Desconocimiento de herramientas para evaluar proyectos de mejora sobre el sistema de producción. 2) Poco personal encargado del sistema de producción. 3) Falta de estudios para identificar y medir el comportamiento de las diferentes operaciones del sistema de producción. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Incremento en las tasas de interés en créditos a PYMES. 2) Crisis económica ocasionada por la pandemia de COVID – 19. 3) Incremento en los precios de la materia prima, por las fuertes sequías que han afectado a numerosos agricultores.

Tabla 1. Matriz FODA (elaboración propia)

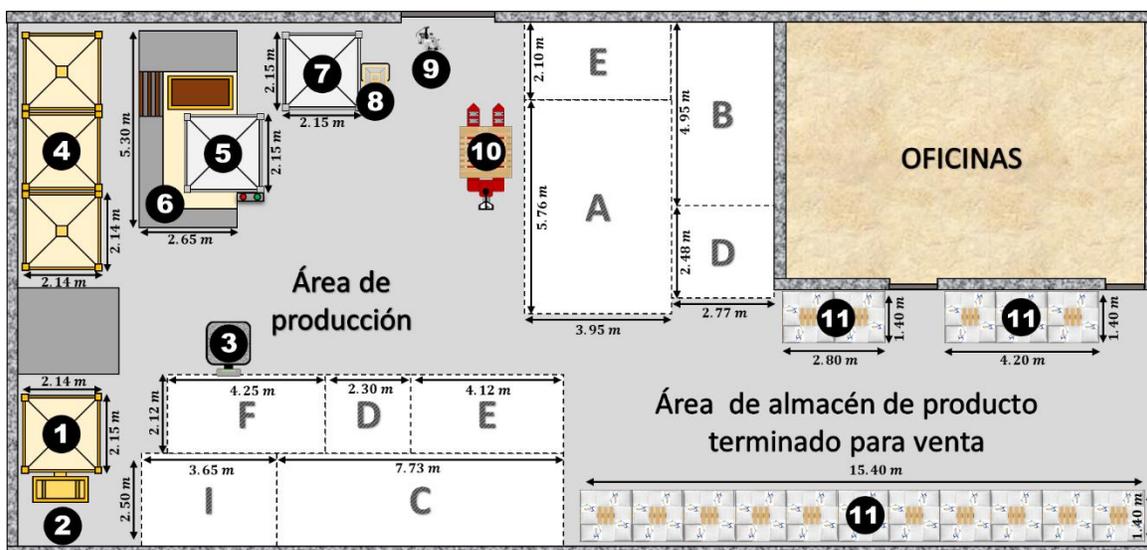
A través de breves pláticas con el personal de la empresa AGROVIX se realizó una lluvia de ideas y se obtuvo información suficiente sobre el sistema de producción para desarrollar el análisis FODA que se muestra en la **tabla 1**, a través del cual es posible establecer las estrategias de mejora a seguir.

- a) Usar la tecnología en el desarrollo un modelo de simulación como una herramienta para mejorar el análisis en la evaluación de propuestas sobre el incremento en la capacidad del sistema de producción.
- b) Asignar mayor cantidad de operadores al sistema de producción para distribuir la carga de trabajo y mitigar los efectos de la ausencia de alguno.
- c) Con los recursos de la empresa, automatizar parte del sistema de producción mediante la instalación de nuevas tolvas.

3.1.5 Distribución de la planta

Para llevar a cabo la producción de alimentos, la empresa cuenta con recursos que se describen a continuación:

- ☞ Un silo destinado para guardar maíz en grano, con una capacidad para almacenar 150,000 kilogramos. El silo no se contempla dentro del plano de la **figura 12**, porque este se encuentra fuera de la bodega.
- ☞ Un molino con tolva incorporada, cuyo volumen aproximado es de 13.12 metros cúbicos, y permite almacenar cerca de 10,150 kilogramos de maíz en grano.
- ☞ Tres tolvas destinadas para almacenar materia prima, cuyo volumen es de 13.77 metros cúbicos.
- ☞ Una báscula digital para pesar la cantidad necesaria de cada materia prima proveniente de las tolvas de almacenamiento.
- ☞ Una tolva de envasado con volumen de 15.79 metros cúbicos, que está equipada con envasadora y báscula que permiten realizar el envasado del alimento en costales de 40 kilogramos.
- ☞ Una mezcladora o revolvedora, con capacidad para mezclar 500 kilogramos de materia prima, y elaborar los diferentes alimentos.



SIMBOLOGÍA	
Concepto	Símbolo
Tolva del molino	①
Molino de maíz	②
Báscula manual	③
Tolva de almacén	④
Báscula digital	⑤
Mezcladora	⑥

SIMBOLOGÍA	
Concepto	Símbolo
Tolva de envasado	⑦
Envasadora	⑧
Máquina de coser	⑨
Patín hidráulico	⑩
Producto terminado	⑪
Materia prima	A,B,C,D,E,F,I

Figura 12. Distribución actual de la planta de AGROVIX S.P.R. de R.L. (elaboración propia).

En la **figura 12**, se muestra la distribución de la planta y los espacios ocupados por los recursos fijos antes mencionados, así como los espacios empleados para almacenar cada materia prima.

Con el propósito de respetar lo establecido en la carta de confidencialidad firmada con AGROVIX, durante la elaboración del presente trabajo, la materia prima se representa con las letras mayúsculas de la **A**, a la **V**.

En el plano, la ubicación de las materias primas, de la **J** a la **V** se encuentra debajo de las tolvas de almacenamiento (④), mientras que las materias **G** y **H** se guardan en espacios fuera de esta bodega y por esta razón no se muestran en el plano actual de AGROVIX.

3.1.6 Proceso de producción

La construcción del modelo de simulación base tiene como finalidad imitar el comportamiento real del sistema de producción en la empresa AGROVIX. Para conseguirlo fue necesario observar cómo se realiza el proceso de producción y las operaciones implicadas.

Gracias al acercamiento con la empresa, se observó que el proceso de producción es en general el mismo para los diferentes productos que están disponibles para venta y consumo propio, los factores que hacen la diferencia son el tipo y cantidad de materia prima que se emplea en la elaboración de cada alimento.

Actualmente, todas las operaciones que comprenden el proceso de producción son llevadas a cabo por un solo operador (productor), salvo en algunos casos especiales en los que se requiera de mayor personal. Diariamente el trabajo inicia a las 9 horas, se realiza una pausa correspondiente al horario de comida de las 14 a las 15 horas, y la jornada termina a las 18 horas.

Antes de dar inicio al proceso de producción, se realiza una inspección y revisión del inventario de alimento terminado disponible para venta, con el fin de establecer el tipo y cantidad de alimento que se requiere elaborar. El productor revisa la receta y determina la cantidad de materia prima necesaria para dar inicio a la elaboración de cada alimento. Es importante aclarar que la producción de alimento se lleva a cabo por **corridas de 500 kilogramos**, debido a la capacidad de la mezcladora.

El diagrama presentado en el **anexo 1**, describe la secuencia de operaciones implicadas en proceso de producción de la empresa, que se describen a continuación:

☞ **Operación 1.** Limpieza de la mezcladora

Es necesario realizar una limpieza de la mezcladora para comenzar el proceso de producción, con el objetivo de eliminar residuos de producciones anteriores que puedan alterar la composición del alimento a elaborar.

☞ **Operación 2.** Limpieza de la tolva de envasado

Dado que los residuos de la mezcladora son enviados a través de los elevadores a la tolva de envasado, es preciso también realizar una limpieza sobre la misma, para eliminar completamente todos los residuos y dejar listo el equipo.

☞ **Operación 3.** Recolección, acarreo y pesaje de materia prima (Manual).

El productor se abastece de forma manual de materia prima necesaria en la orden de producción y que no se encuentra almacenada en las tolvas, así que la materia prima se acarrea del área de almacén a la báscula manual, se pesan las cantidades establecidas por la receta y se deja lista para, posteriormente, vaciarse en la mezcladora.

☞ **Operación 4.** Vaciar materia prima de acarreo manual.

Esta operación al igual que la anterior, siempre es llevada a cabo y consiste únicamente en vaciar dentro de la mezcladora toda la materia prima que fue previamente recolectada y pesada de forma manual.

☞ **Operación 5.** Vaciar materia prima de las tolvas de almacén

Esta operación se realiza, si en las tolvas de almacén se encuentra la materia prima que se ocupa en la elaboración del alimento en turno, en caso contrario, no es ejecutada. El desplazamiento de la materia prima de las tolvas de almacenamiento a la báscula digital es controlado mediante un tablero electrónico. Cuando la cantidad de materia prima cumple con el peso establecido de acuerdo con la receta del alimento, esta se envía a la mezcladora.

☞ **Operación 6.** Mezclar materia prima

Al terminar de vaciar toda la materia prima necesaria, la mezcladora se enciende por medio del tablero central y se deja trabajando por un tiempo aproximado de 2 a 3 minutos dependiendo del tipo de alimento, para combinar la materia prima y producir el alimento solicitado.

☞ **Operación 7.** Vaciar Mezcladora

A través del tablero se abren las compuertas y se enciende el elevador que transporta el alimento de la mezcladora a la tolva de envasado. Si en esta etapa, aún no se ha cumplido con la cantidad de alimento solicitado, nuevamente se realizan las operaciones previas para producir 500 kilogramos más de alimento. En caso contrario, el productor procede con la operación que comprende el envasado del alimento.

☞ **Operación 8.** Llenar costales de alimento

Cuando el alimento se encuentra en la tolva de envasado, se llenan costales con 40 kilogramos de alimento de forma semiautomática con apoyo de la envasadora, así el llenado del costal es controlado por el productor.

☞ **Operación 9.** Etiquetar y sellar el costal

Una vez que se ha llenado un costal, se coloca la etiqueta correspondiente si es alimento para venta al público y se cose con una máquina para sellar el costal, si el alimento es para consumo interno el costal se sella sin etiqueta.

☞ **Operación 10.** Estibar costales

Finalmente se estiba el costal sobre una tarima, destinada a soportar aproximadamente dos toneladas de alimento, y se repiten las operaciones de llenar, etiquetar y sellar costales, hasta que ya no haya alimento en la tolva de envasado.

☞ **Operación 11.** Interrupción y pausas del proceso

El proceso de producción se puede interrumpir por algunos momentos debido a que el productor también es encargado de cargar y entregar el pedido a los clientes que lleguen durante el día, así como apoyar en actividades ajenas al proceso de producción, que pueden demandar su presencia.

Para terminar el proceso, cuando el alimento elaborado se encuentra estibado sobre una tarima se hace uso del patín hidráulico que permite mover hasta 2,000 kilogramos de alimento envasado hasta su lugar destinado en el área de ventas.

Con el propósito de generar una mayor fluidez en las anotaciones, el análisis de los datos y representar las operaciones dentro del estudio de simulación, se empleó la simbología que puede consultarse en la **tabla 2** para referirse a cada operación.

SIMBOLOGÍA DE LAS OPERACIONES A ANALIZAR	
Operación	Simbología
Operación 1. Limpieza de la mezcladora	OP1
Operación 2. Limpieza de la tolva de envasado	OP2
Operación 3. Recolección, acarreo y pesaje de materia (Manual)	OP3
Operación 4. Vaciar materia prima del acarreo manual	OP4
Operación 5. Vaciar materia prima de las tolvas de almacén	OP5
Operación 6. Mezclar la materia prima	OP6
Operación 7. Vaciar la mezcladora	OP7
Operación 8. Llenar los costales con el alimento	OP8
Operación 9. Etiquetar y sellar los costales	OP9
Operación 10. Estibar los costales	OP10
Operación 11. Interrupción y pausas del proceso	OP11

Tabla 2. Simbología de las operaciones del proceso de producción (Elaboración propia).

La **figura 13** ilustra el flujo de las operaciones en la planta, así como la trayectoria que recorren actualmente el productor y el patín para realizar cada operación involucrada en el sistema de producción, la simbología empleada puede consultarse en la **tabla 2**.

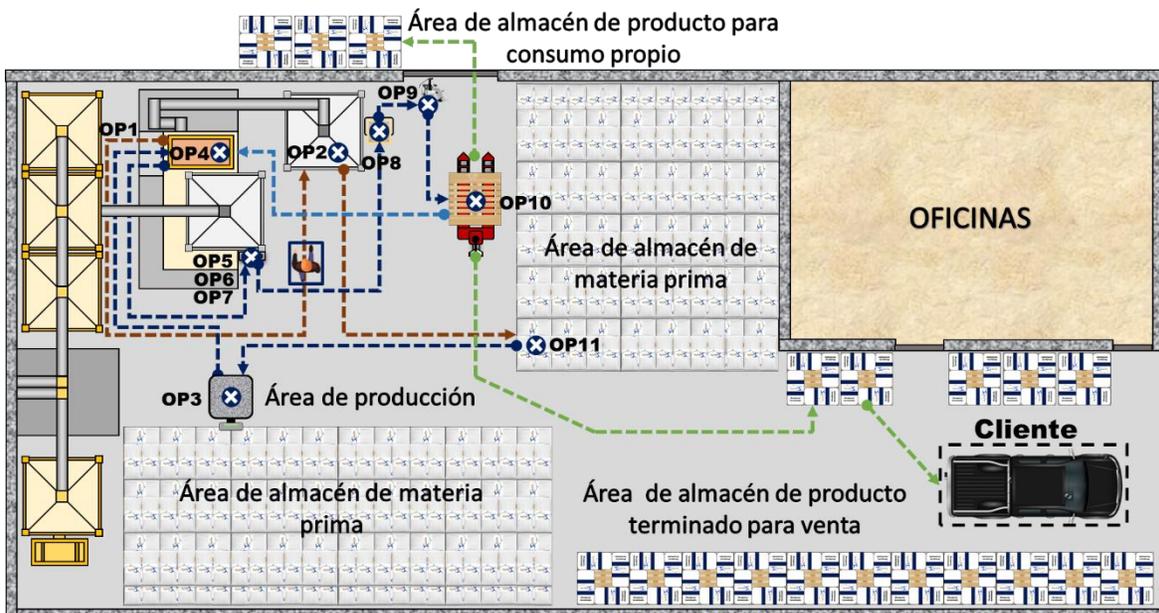


Figura 13. Flujo de operaciones en la planta (elaboración propia)

3.2 Recolección y análisis de datos

3.2.1 Recolección de datos

Como se mencionó previamente, la empresa elabora 19 tipos de alimentos y para poder representarlos dentro del estudio de simulación, se emplea la simbología que se presenta en la **tabla 3**.

Simbología	Alimento	Simbología	Alimento
①	Caballo 12%	⑪	Ovino 34%
②	Caballo 14%	⑫	Ovino Flushing
③	Cerdo crecimiento	⑬	Pollo mantenimiento
④	Cerdo desarrollo	⑭	Toro 14%
⑤	Cerdo finalizador	⑮	Toro 34%
⑥	Cerdo gestación	⑯	Vaca lechera
⑦	Cerdo inicio	⑰	Ovino 14% M/S
⑧	Cerdo lactancia	⑱	Toro 14% M/S
⑨	Ovino 14%		
⑩	Ovino 20%		

Tabla 3. Simbología de alimentos (elaboración propia)

Una vez que se han definido las operaciones que están involucradas en el sistema de producción, el siguiente paso es realizar la recopilación de información para conocer el comportamiento de cada operación, sin embargo, es necesario clasificar los 19 tipos de alimentos en dos bloques considerando el tipo de materia prima que se emplea y la similitud en los tiempos de producción de cada alimento.

CLASIFICACIÓN DE ALIMENTOS POR BLOQUES	
Bloque 1	Bloque 2
☞ ② Caballo 14%	☞ ① Caballo 12%
☞ ③ Cerdo crecimiento	☞ ⑨ Ovino 14%
☞ ④ Cerdo desarrollo	☞ ⑩ Ovino 20%
☞ ⑤ Cerdo finalizador	☞ ⑪ Ovino 34%
☞ ⑥ Cerdo gestación	☞ ⑫ Ovino Flushing
☞ ⑦ Cerdo inicio	☞ ⑬ Pollo mantenimiento
☞ ⑧ Cerdo lactancia	☞ ⑭ Toro 14%
	☞ ⑮ Toro 34%
	☞ ⑯ Vaca lechera
	☞ ⑰ Ovino 14% M/S
	☞ ⑱ Toro 14% M/S
	☞ ⑲ Ovino Flushing M/S

Tabla 4. Clasificación de los alimentos por bloques (elaboración propia)

Esta clasificación resulta útil para conocer el comportamiento en la duración de los tiempos de las siguientes operaciones del sistema de producción:

- ☞ Recolección, acarreo y pesaje de materia prima, manualmente (OP3).
- ☞ Vaciar materia prima del acarreo manual (OP4).
- ☞ Mezclar la materia prima (OP6).

Para las operaciones: limpieza de la mezcladora (OP1), limpieza de la tolva de envasado (OP2), vaciar materia prima de las tolvas de almacén (OP5), vaciar la mezcladora (OP7), llenar los costales con el alimento (OP8), etiquetar, sellar y coser los costales (OP9), estibar los costales (10), interrupción y pausas en el proceso (OP11); esta clasificación se omite, debido a que el tipo de alimento elaborado, no altera el comportamiento de sus tiempos de duración.

Para llevar a cabo la recolección de datos, se estableció un acuerdo con la empresa, la cual accedió a que se realizaran las observaciones necesarias, en un periodo comprendido por 54 horas hábiles aproximadamente, debido a la contingencia sanitaria por COVID – 19. Del total de las 54 horas disponibles, se emplearon cerca de 6 horas, para conocer el sistema de producción, identificar sus operaciones y familiarizarse con la forma de trabajo en la planta. En las 48 horas restantes, el trabajo consistió en recabar la mayor cantidad de información posible, a través de un estudio semejante al de tiempos y movimientos para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a cada una de las operaciones del sistema de producción.

Los instrumentos empleados para realizar el registro de las observaciones fueron, un par de cronómetros digitales, dos cuadernos para incluir notas, un flexómetro y los formatos diseñados por los autores de este trabajo, para registrar los tiempos de las principales operaciones implicadas en el proceso (**anexo 2**), así como para registrar el comportamiento de las ventas (**anexo 3**) y los tiempos para las operaciones de llenar, sellar y estibar costales, de forma individual (**anexo 4**).

Es así que, para iniciar con esta etapa, se informó al personal de la empresa sobre los tipos de mediciones empleados para recabar la información necesaria y construir el modelo de simulación base.

Durante las 48 horas disponibles, se alimentó especialmente la base de datos correspondiente a los tiempos de las operaciones principales del sistema de producción (**anexo 5**), para la cual se logró recabar un total de **58 registros**. Para la base que describe el comportamiento de tiempo de entradas y salidas de los clientes, con sus respectivos pedidos (**anexo 6**), se consiguió un total de **73 registros**. Finalmente, la base de datos que contempla a las operaciones de llenar, sellar y estibar costales (**anexo 7**), cuenta con **53 datos**. Además de la información obtenida a través de las mediciones sobre el proceso, la alta dirección de la empresa compartió con los autores del presente trabajo, algunos registros históricos sobre producción y ventas.

3.2.2 Análisis de datos

Después de recolectar los datos, el siguiente paso es analizar la información recabada para conocer las distribuciones de probabilidad a las que mejor se ajustan los datos y que describen adecuadamente el comportamiento de cada operación para el estudio de simulación.

Muchos autores señalan que, para pruebas de hipótesis, se establezca un nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Sin embargo, para tomar una decisión definitiva sobre la distribución a la que mejor se ajustan los datos, se consideró que el valor obtenido con cada prueba sea $p - \text{valor} > 0.1$, para evitar caer en la región crepuscular.

3.2.2.1 Análisis de los tiempos de duración de las operaciones del sistema de producción (Pruebas de bondad de ajuste)

Para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a cada una de las operaciones implicadas en el sistema de producción, es necesario identificar su distribución de probabilidad (ver página 41) a través de las pruebas de bondad de ajuste (ver página 46).

En el presente trabajo, se emplea al software Minitab® para identificar el ajuste de los datos con alguna distribución de probabilidad (comportamiento de los tiempos de cada operación). El software presenta una gráfica de probabilidad, que evalúa el

grado en que los datos se ajustan a una distribución, es decir, que, si los tiempos de duración asociados a una operación presentan cierto comportamiento, gráficamente los puntos deben ubicarse cerca de la línea intermedia. Además de esa gráfica, Minitab® brinda información respecto al p – valor (ver página 45), así como el estadístico de Anderson Darling (AD). A continuación, se presenta el análisis realizado para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a cada una de las operaciones del sistema de producción.

Operación 1. Limpieza de la mezcladora (OP1)

Se posee un registro total de 26 tiempos para esta operación, y después de realizar la gráfica de cajas (**anexo 8.1**) se observó un valor inusual que corresponde al registro número 3, por lo tanto, para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a limpieza de la mezcladora, las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando **25 datos**.

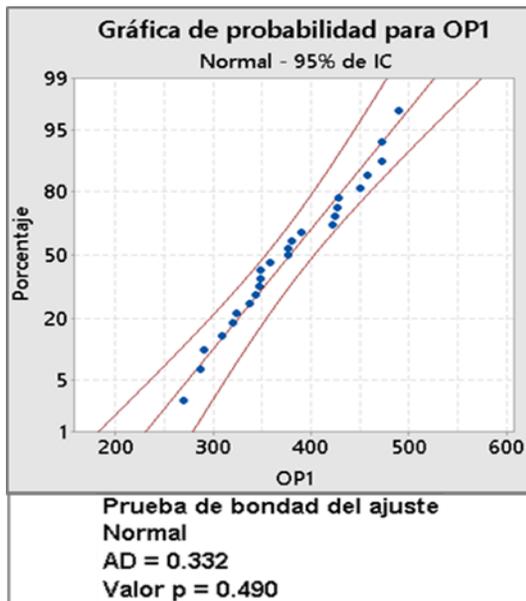


Figura 14a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP1 (Captura de Minitab® 19).

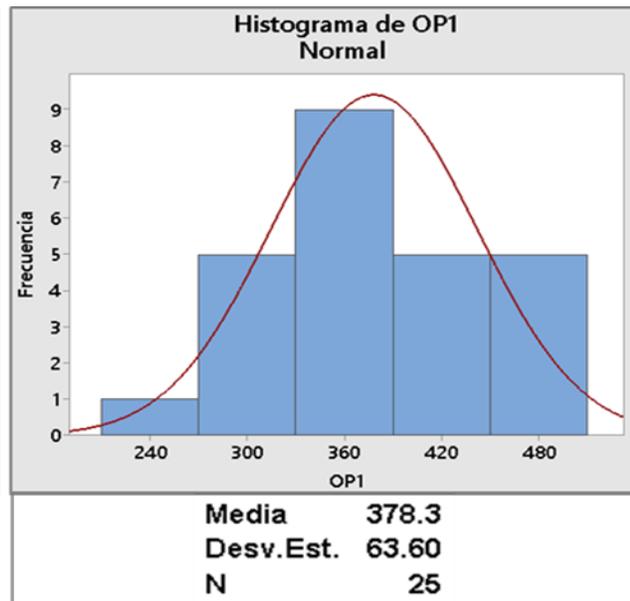


Figura 14b. Histograma de los tiempos de duración de OP1 (Captura de Minitab® 19).

De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 14a**), con un p – *valor* = **0.490**, se estableció que los tiempos de duración para OP1, se ajustan a una distribución

normal (ver página 42), con parámetros $\mu = 378.316$ y $\sigma = 63.59616$, es decir, que el tiempo empleado para realizar la limpieza de la mezcladora presenta un comportamiento normal $N(378.316, 63.59616)$, como se puede apreciar en el histograma de la **figura 14b**.

Operación 2. Limpieza de la tolva de envasado (OP2)

Se posee un registro total de 26 tiempos para esta operación, y después de realizar la gráfica de cajas (**anexo 8.2**) se observó un valor inusual que corresponde al registro número 3, por lo tanto, para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a la limpieza de la tolva de envasado, las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando **25 datos**.

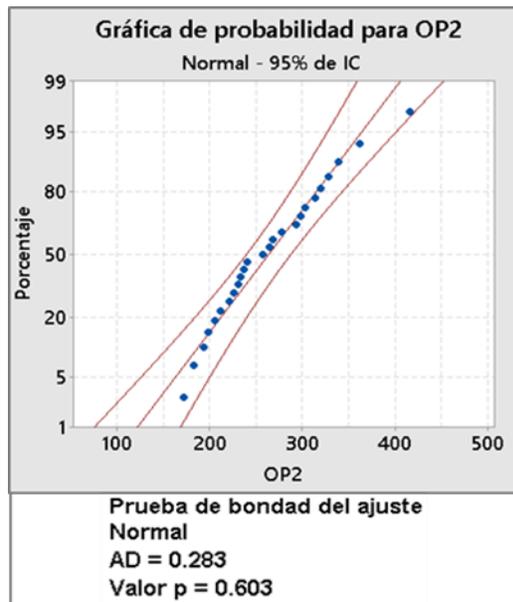


Figura 15a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP2 (Captura de Minitab® 19).

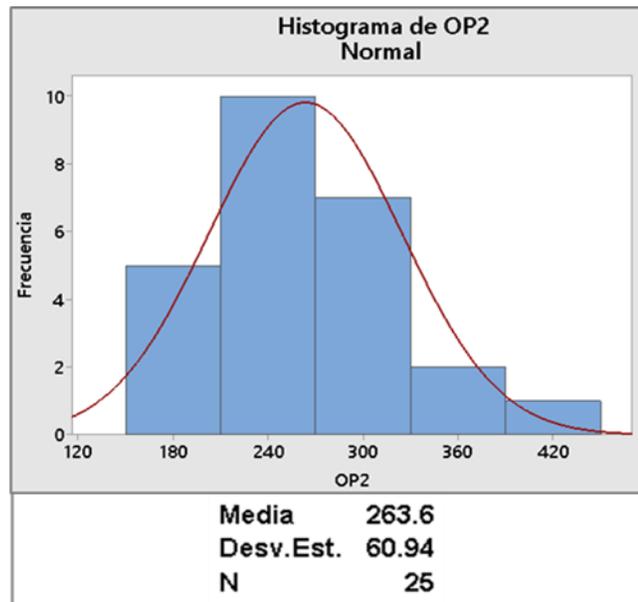


Figura 15b. Histograma de los tiempos de duración de OP2 (Captura de Minitab® 19).

De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 15a**), con un $p - valor = 0.603$, se estableció que los tiempos de duración para OP2, se ajustan a una distribución normal (ver página 42), con parámetros $\mu = 263.634$ y $\sigma = 60.936$, es decir, que el tiempo empleado para realizar la limpieza de la tolva de envasado presenta un comportamiento normal $N(263.634, 60.936)$, como se puede apreciar en el histograma de la **figura 15b**.

Operación 3. Recolectar, acarrear y pesar materia manual (OP3)

En esta operación se observó que el tipo de alimento elaborado es el factor que impacta sobre el comportamiento de sus tiempos de duración, así que, mediante la división por bloques se realiza el análisis para conocer dicho comportamiento.

∞ Análisis de OP3 – Bloque 1

Se posee un registro total de 28 tiempos para esta operación, y después de realizar la gráfica de cajas (**anexo 8.3**) no se observó algún valor inusual, por lo tanto, para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a recolectar, acarrear y pesar materia manual del primer bloque de alimentos (OP3 - Bloque 1), las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando **28 datos**.

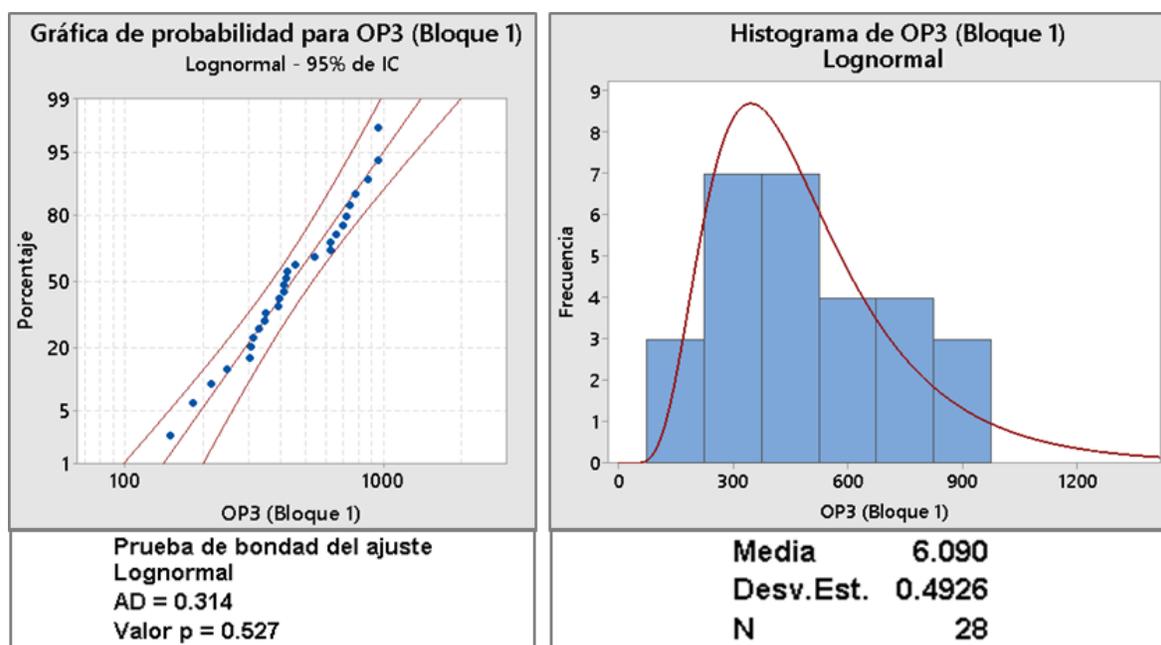


Figura 16a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP3 – Bloque 1 (Captura de Minitab® 19).

Figura 16b. Histograma de los tiempos de duración de OP3 – Bloque 1 (Captura de Minitab® 19).

De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 16a**), con un $p - valor = 0.527$, se estableció que los tiempos de duración para OP3 – Bloque 1, se ajustan a una distribución lognormal (ver página 42), con parámetros $\mu = 6.09003$ y $\sigma = 0.49259$, es decir, que el tiempo empleado para recolectar, acarrear y pesar materia manual

del primer bloque de alimentos, presenta un comportamiento lognormal $L(6.09003, 0.49259)$, como se puede apreciar en el histograma de la **figura 16b**.

∞ Análisis de OP3 – Bloque 2

Se posee un registro total de 28 tiempos para esta operación, y después de realizar la gráfica de cajas (**anexo 8.4**) no se observó un valor inusual, por lo tanto, para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a recolectar, acarrear y pesar materia manual del segundo bloque de alimentos (OP3 - Bloque 2), las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando **28 datos**.

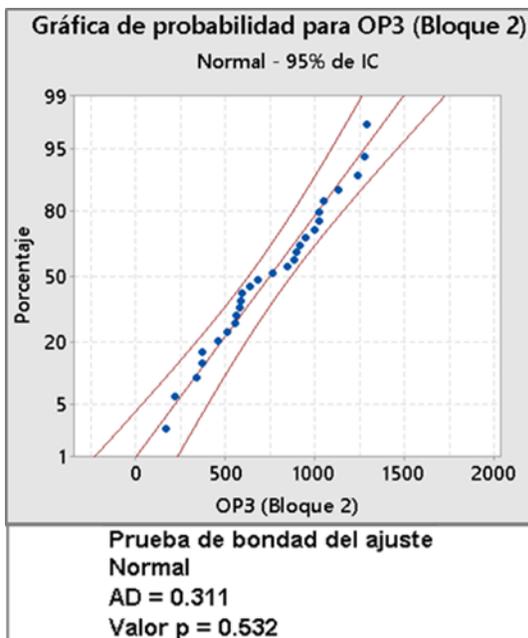


Figura 17a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP3 – Bloque 2 (Captura de Minitab® 19).

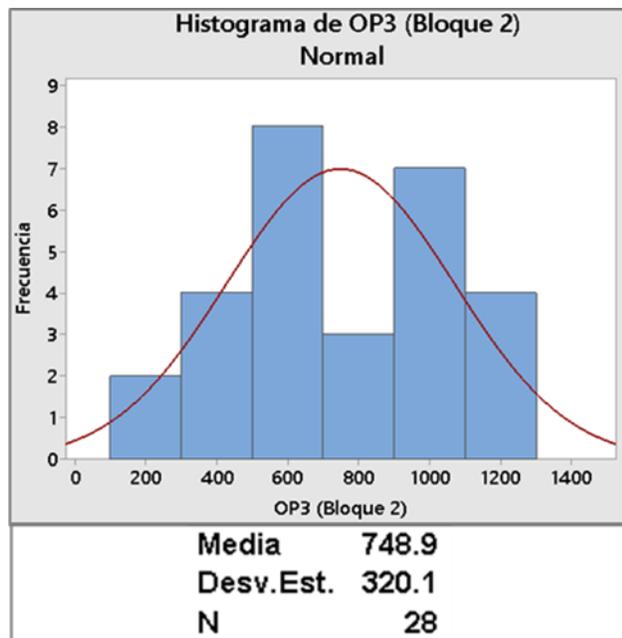


Figura 17b. Histograma de los tiempos de duración de OP3 – Bloque 2 (Captura de Minitab® 19).

De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 17a**), con un $p - valor = 0.532$, se estableció que los tiempos de duración para OP3 – Bloque 2, se ajustan a una distribución normal (ver página 42), con parámetros $\mu = 748.870$ y $\sigma = 320.150$, es decir, que el tiempo empleado para recolectar, acarrear y pesar materia manual del segundo bloque de alimentos, presenta un comportamiento normal $N(748.870, 320.150)$, como se puede apreciar en el histograma de la **figura 17b**.

Operación 4. Vaciar materia prima del acarreo manual (OP4)

En esta operación se observó que el tipo de alimento elaborado es el factor que impacta sobre el comportamiento de sus tiempos de duración, así que, mediante la división por bloques se realiza el análisis para conocer dicho comportamiento

∞ Análisis OP4 – Bloque 1

Se posee un registro total de 28 tiempos para esta operación, y después de realizar la gráfica de cajas (**anexo 8.5**) se observaron tres valores inusuales, correspondientes a los registros 37, 38 y 39, por lo tanto, para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a vaciar materia prima del acarreo manual del primer bloque de alimentos (OP4 - Bloque 1), las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando **25 datos**.

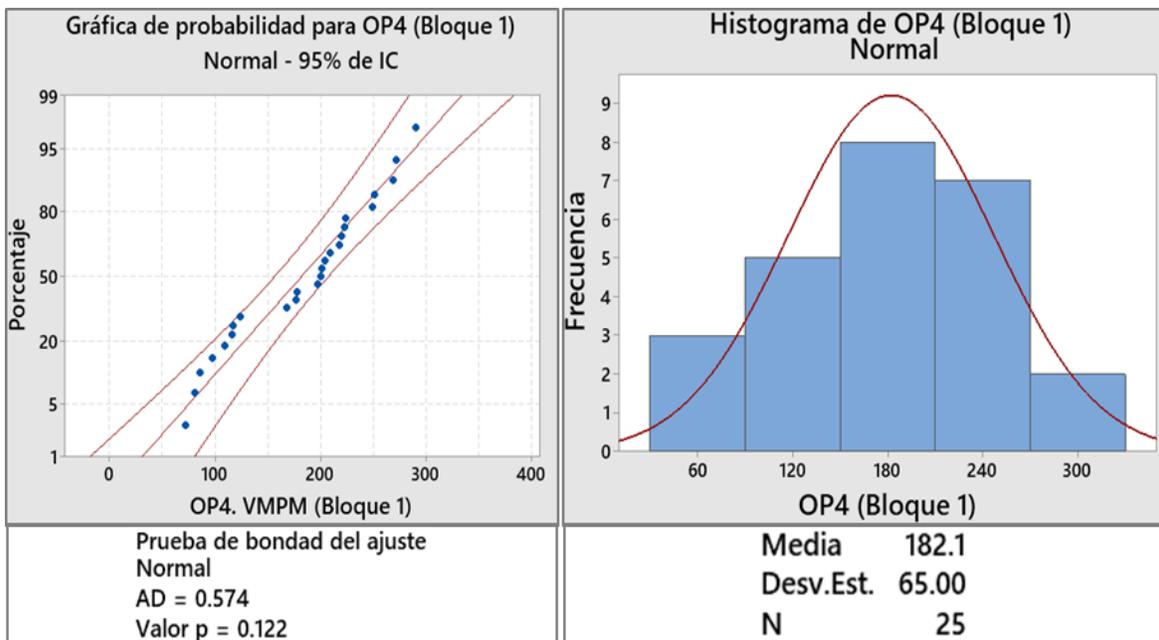


Figura 18a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP4 – Bloque 1 (Captura de Minitab® 19).

Figura 18b. Histograma de los tiempos de duración de OP4 – Bloque 1 (Captura de Minitab® 19).

De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 18a**), con un $p - valor = 0.122$, se estableció que los tiempos de duración para OP4 – Bloque 1, se ajustan a una distribución normal (ver página 42), con parámetros $\mu = 182.1348$ y $\sigma = 65.00376$,

es decir, que el tiempo empleado para vaciar materia prima del acarreo manual del primer bloque de alimentos, presenta un comportamiento normal $N(182.135, 65.004)$, como se puede apreciar en el histograma de la **figura 18b**.

∞ Análisis OP4 – Bloque 2

Se posee un registro total de 29 tiempos para esta operación, y después de realizar la gráfica de cajas (**anexo 8.6**) no se observó algún valor inusual, por lo tanto, para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a vaciar materia prima del acarreo manual del segundo bloque de alimentos (OP4 – Bloque 2), las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando **29 datos**.

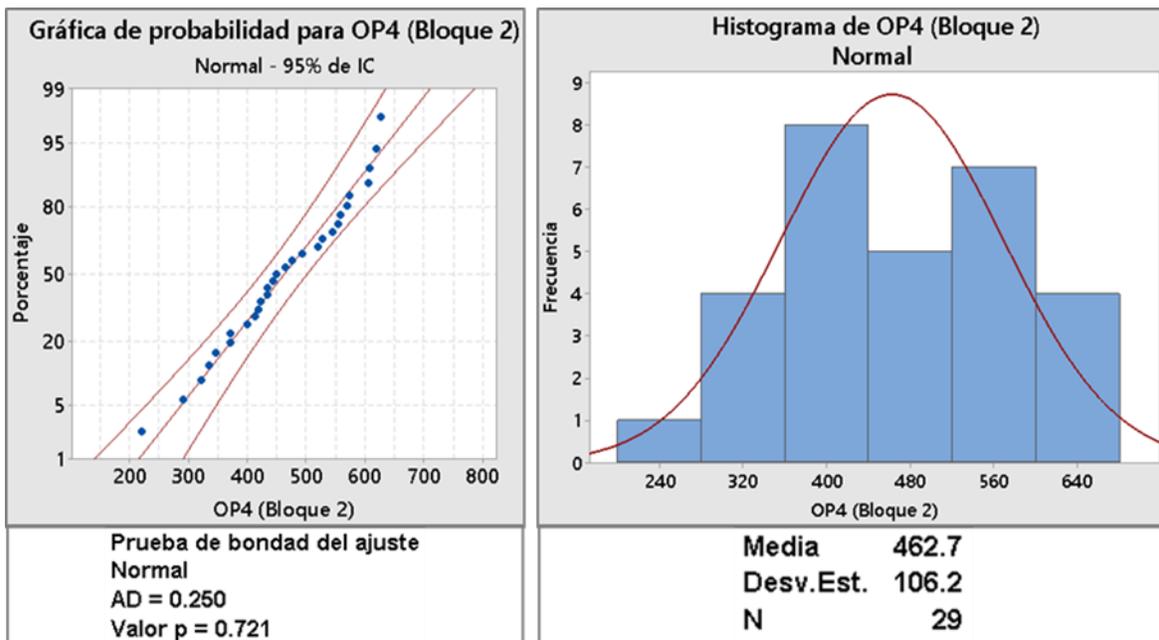


Figura 19a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP4 – Bloque 2 (Captura de Minitab® 19).

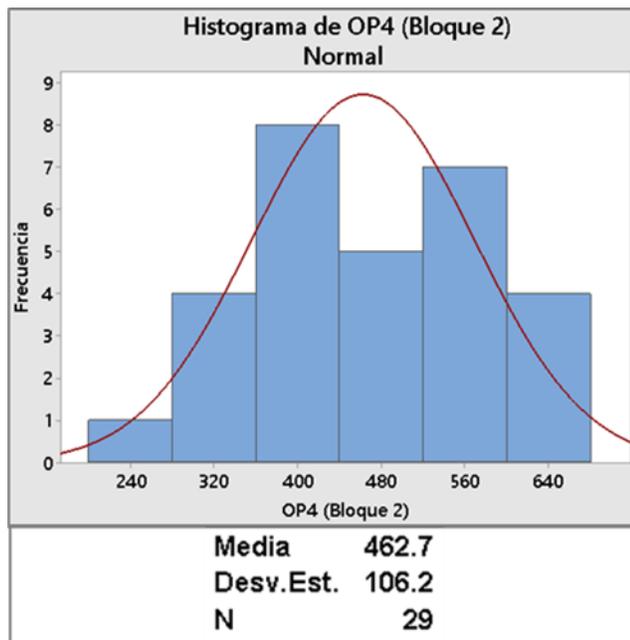


Figura 19b. Histograma de los tiempos de duración de OP4 – Bloque 2 (Captura de Minitab® 19).

De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 19a**), con un p – *valor* = **0.721**, se estableció que los tiempos de duración para OP4 – Bloque 2, se ajustan a una distribución normal (ver página 42), con parámetros $\mu = 462.729$ y $\sigma = 106.173$, es decir, que el tiempo empleado para vaciar materia prima del acarreo manual del segundo bloque de alimentos, presenta un comportamiento normal $N(462.729, 106.173)$, como se puede apreciar en el histograma de la **figura 19b**.

Operación 5. Vaciar materia prima de las tolvas de almacén (OP5)

Se posee un registro total de 38 tiempos para esta operación, y después de realizar la gráfica de cajas (**anexo 8.7**) no se observó algún valor inusual, por lo tanto, para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a vaciar materia prima de las tolvas, las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando **38 datos**.

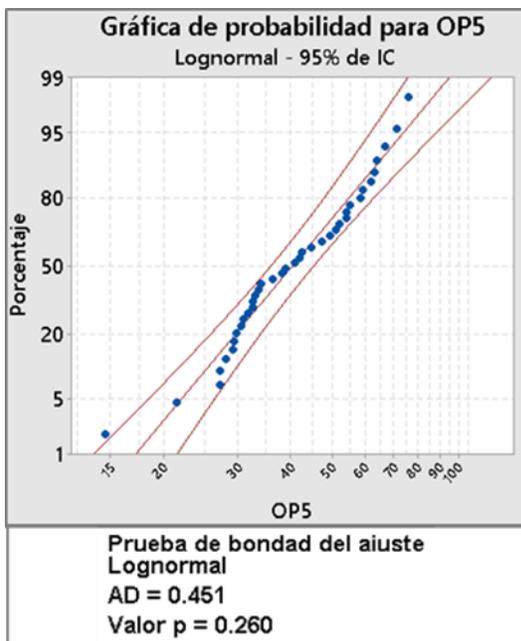


Figura 20a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP5 (Captura de Minitab® 19).

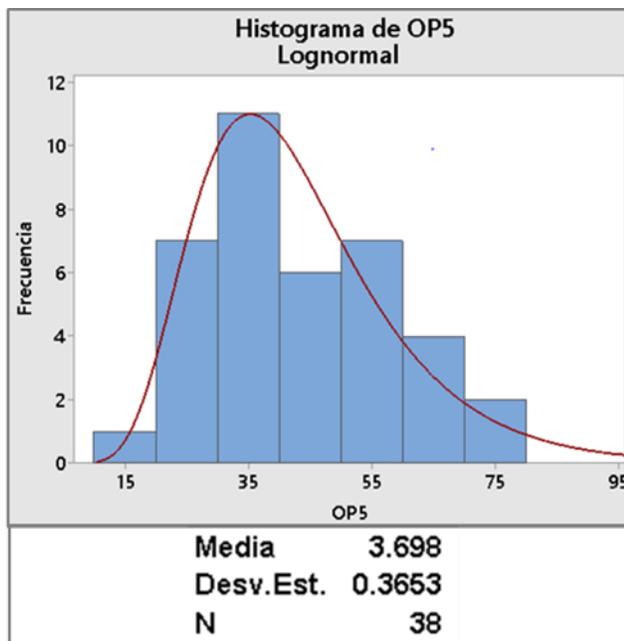


Figura 20b. Histograma de los tiempos de duración de OP5 (Captura de Minitab® 19).

De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 20a**), con un p – *valor* = **0.260**, se estableció que los tiempos de duración para vaciar materia prima de las tolvas se ajustan a una distribución lognormal (ver página 42), con parámetros $\mu = 3.69820$ y $\sigma = 0.36534$ es decir, que el tiempo empleado para vaciar materia prima de las tolvas presenta un comportamiento normal $L(3.69820, 0.36534)$, como se puede apreciar en el histograma de la **figura 20b**.

Operación 6. Mezclar materia prima (OP6)

En esta operación se observó que el tipo de alimento elaborado es el factor que impacta sobre el comportamiento de sus tiempos de duración, así que, mediante la división por bloques se realiza el análisis para conocer dicho comportamiento.

🌀 Análisis de OP6 – Bloque 1

Se posee un registro total de 28 tiempos para esta operación, y después de realizar la gráfica de cajas (**anexo 8.8**) no se observó algún valor inusual, por lo tanto, para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a la operación mezclar materia prima del primer bloque de alimentos (OP6 – Bloque 1), las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando los **28 datos**.

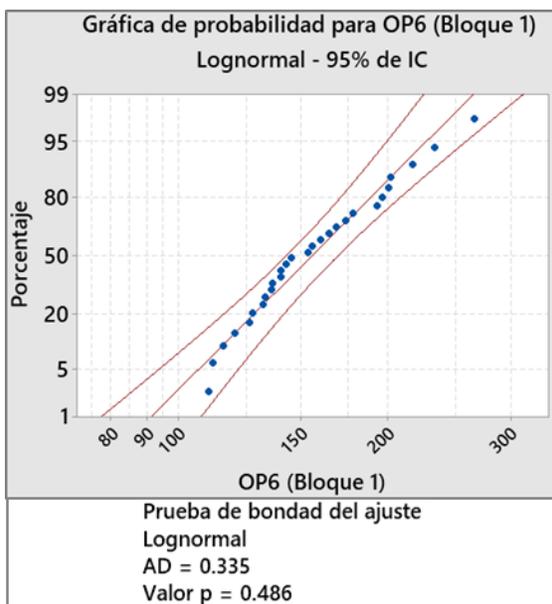


Figura 21a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP6 – Bloque 1 (Captura de Minitab® 19).

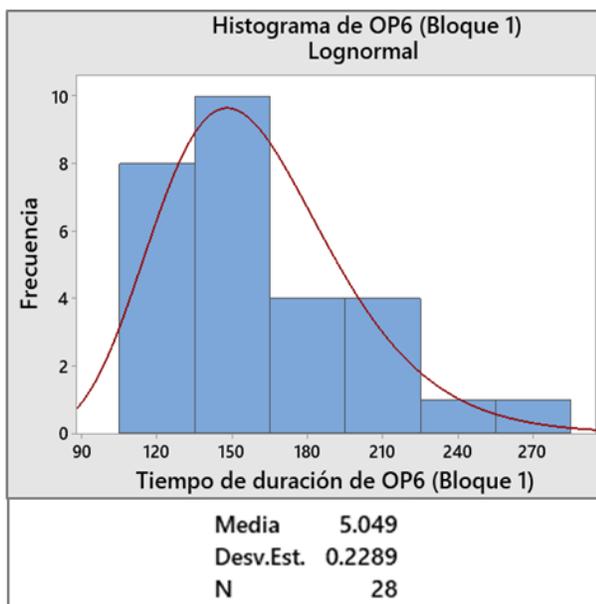


Figura 21b. Histograma de los tiempos de duración de OP6 – Bloque 1 (Captura de Minitab® 19).

De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 21a**), con un p – *valor* = **0.486**, se estableció que los tiempos de duración para OP6 – Bloque 1, se ajustan a una distribución lognormal (ver página 42), con parámetros $\mu = 5.04898$ y $\sigma = 0.22885$, es decir, que el tiempo empleado para mezclar la materia prima del primer bloque de alimentos, presenta un comportamiento lognormal $L(5.04898, 0.22885)$, como se puede apreciar en el histograma de la **figura 21b**.

🌀 Análisis de OP6 – Bloque 2

Se posee un registro total de 29 tiempos para esta operación, y después de realizar la gráfica de cajas (**anexo 8.9**) no se observó algún valor inusual, por lo tanto, para

conocer el comportamiento de los tiempos asociados a la operación mezclar materia prima del segundo bloque de alimentos (OP6 – Bloque 2), las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando los **29 datos**.

Al realizar las pruebas con Minitab®, no fue posible identificar la distribución a la que mejor se ajusta el conjunto de datos, por esa razón, para analizar el comportamiento de los tiempos de duración de esta operación se empleó el módulo *STAT::FIT*® incorporado en ProModel®.

Auto::Fit of Distributions

distribution	rank	acceptance
Uniform(107, 262)	100	do not reject
Lognormal(107, 4.2, 0.831)	13.	reject
Triangular(106, 311, 106)	1.71	do not reject

Uniform		
minimum =	107. [fixed]	
maximum =	262.	
Kolmogorov-Smirnov		
data points	29	
ks stat	0.119	
alpha	5.e-002	
ks stat(29,5.e-002)	0.246	
p-value	0.76	
result	DO NOT REJECT	

Figura 22a Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP6–Bloque 2 (Captura de *STAT::FIT*®).

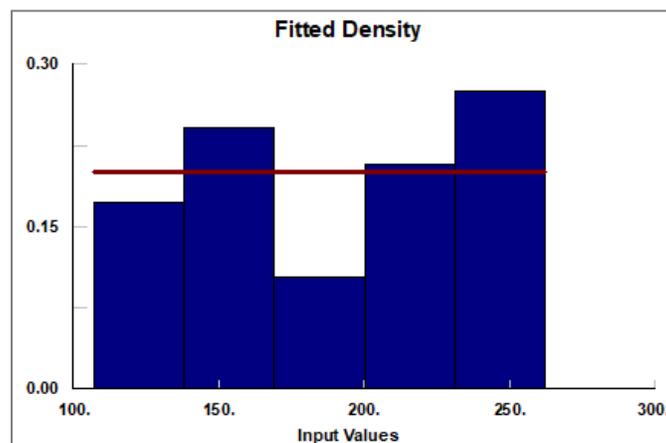


Figura 22b Histograma de los tiempos de duración de OP6 – Bloque 2 (Captura de *STAT::FIT*® 19).

De las pruebas realizadas en *STAT::FIT*® (**figura 22a**), con $p - valor = 0.76$ obtenido de la prueba de Kolmogorov – Smirnov, se estableció que los tiempos de duración para OP6 – Bloque 2, se ajustan a una distribución uniforme (página 44) con parámetros $a = 107$ y $b = 262$, es decir, que el tiempo empleado para mezclar la materia prima del segundo bloque de alimentos (OP6 – Bloque 2) presenta un comportamiento uniforme $U(107, 262)$, como se puede apreciar en la **figura b**.

Operación 7. Vaciar la mezcladora (OP7)

Se posee un registro total de 58 tiempos para esta operación, y después de realizar la gráfica de cajas (**anexo 8.10**) no se observó algún valor inusual, por lo tanto, las pruebas de bondad de ajuste para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a vaciar la mezcladora, se llevan a cabo considerando los **58 datos**.

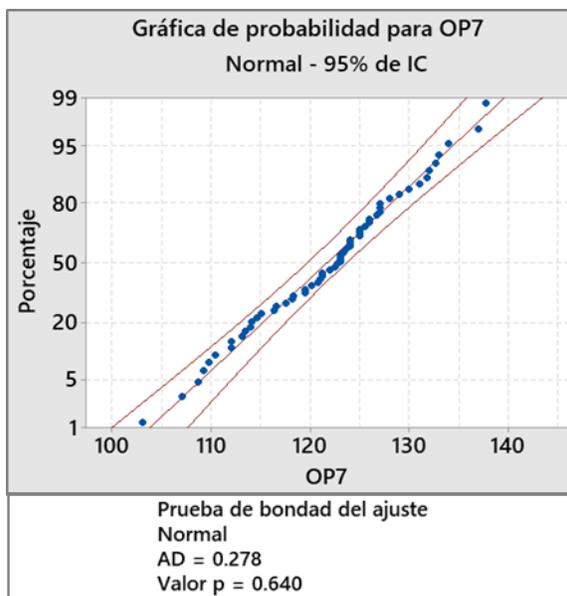


Figura 23a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP7 (Captura de Minitab® 19).

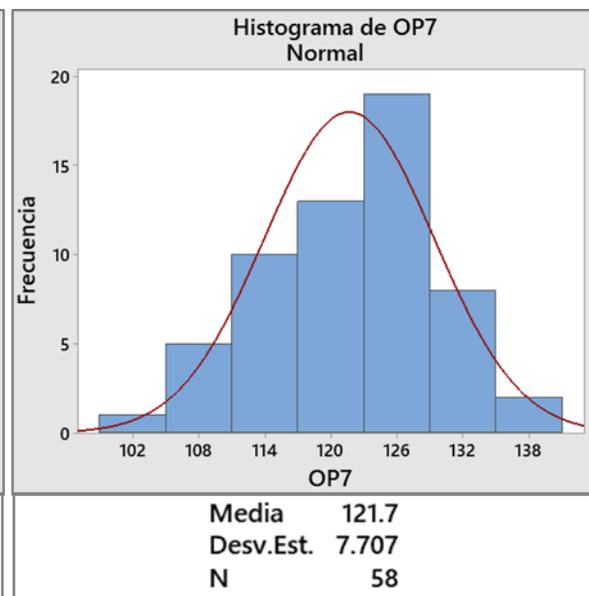


Figura 23b. Histograma de los tiempos de duración de OP7 (Captura de Minitab® 19).

De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 23a**), con un $p - valor = 0.640$, se estableció que los tiempos de duración para OP7, se ajustan a una distribución normal (ver página 42), con parámetros $\mu = 121.68621$ y $\sigma = 7.70696$, es decir, que el tiempo empleado en vaciar la mezcladora, presenta un comportamiento normal $N(121.686, 7.707)$, como se puede ver en el histograma de la **figura 23b**.

Operación 8. Llenar los costales con el alimento (OP8)

Se posee un registro total de 53 tiempos para esta operación, y después de realizar la gráfica de cajas (**anexo 8.11**) se observaron tres valores inusuales que corresponden a los registros número 6, 7 y 15, por lo tanto, para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a llenar los costales con el alimento, las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando **50 datos**.

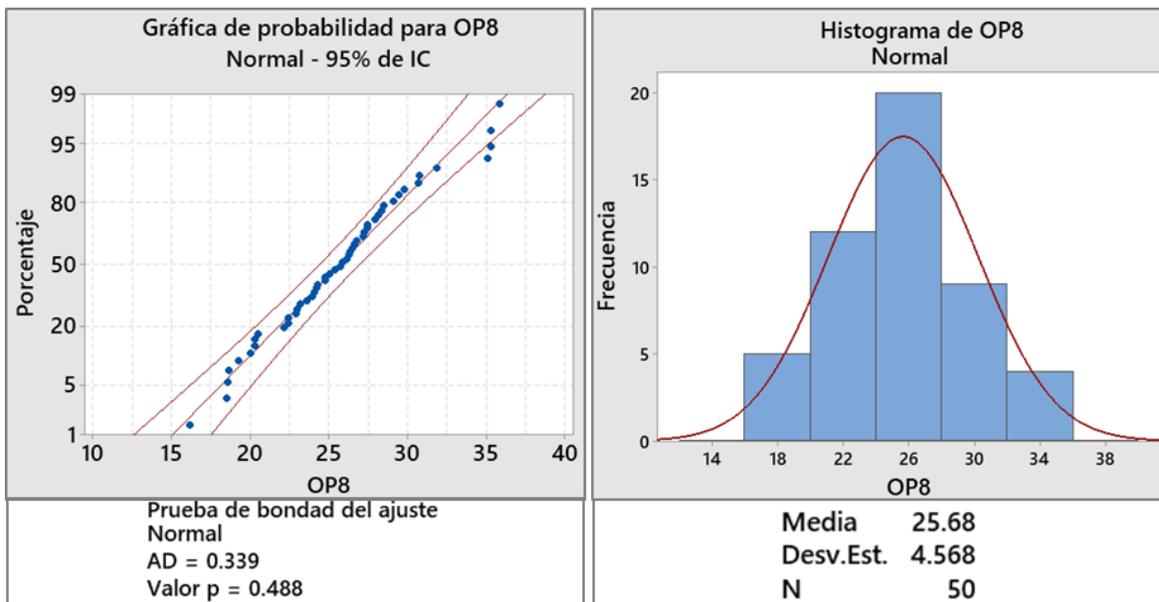


Figura 24a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP8 (Captura de Minitab® 19).

Figura 24b. Histograma de los tiempos de duración de OP8 (Captura de Minitab® 19).

De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 24a**), con un p – *valor* = **0.488**, se estableció que los tiempos de duración para OP8, se ajustan a una distribución normal (ver página 42), con parámetros $\mu = 25.6754$ y $\sigma = 4.56831$, es decir, que el tiempo empleado para llenar cada costal con alimento presenta un comportamiento normal $N(25.675, 4.568)$, como se puede apreciar en el histograma de la **figura 24b**.

Operación 9. Etiquetar, sellar y coser los costales (OP9)

Se posee un registro total de 53 tiempos para esta operación, y después de realizar la gráfica de cajas (**anexo 8.12**) se observaron tres valores inusuales que

corresponden a los registros número 4, 10 y 41, por lo tanto, para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a etiquetar, sellar y coser los costales, las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando **50 datos**.

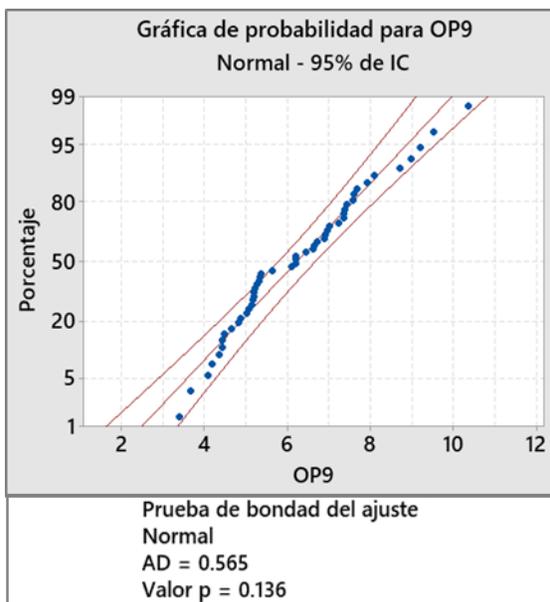


Figura 25a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP9 (Captura de Minitab® 19).

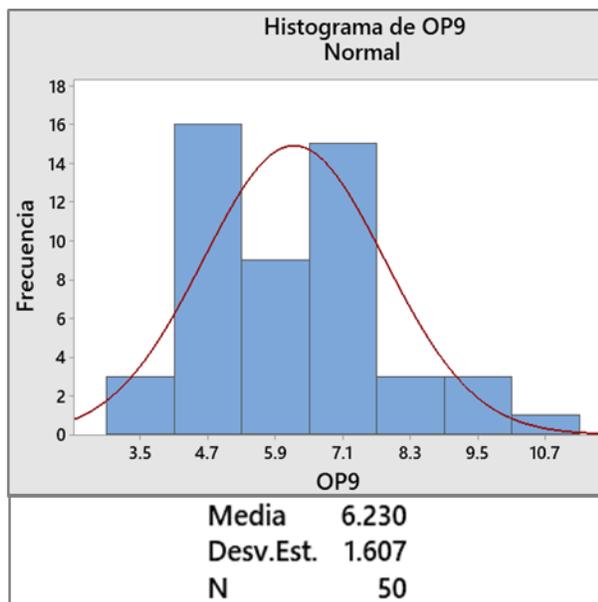


Figura 25b. Histograma de los tiempos de duración de OP9 (Captura de Minitab® 19).

De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 25a**), con un $p - valor = 0.136$, se estableció que los tiempos de duración para OP9, se ajustan a una distribución normal (ver página 42), con parámetros $\mu = 6.2296$ y $\sigma = 1.60737$, es decir, que el tiempo empleado para etiquetar, sellar y coser cada costal, presenta un comportamiento normal $N(6.2296, 1.60737)$, como se puede apreciar en el histograma de la **figura 25b**.

Operación 10. Estibar costales (OP10)

Se posee un registro total de 53 tiempos para esta operación, y después de realizar la gráfica de cajas (**anexo 8.13**) no se observó algún valor inusual, por lo tanto, para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a estibar costales, las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando los **53 datos**.

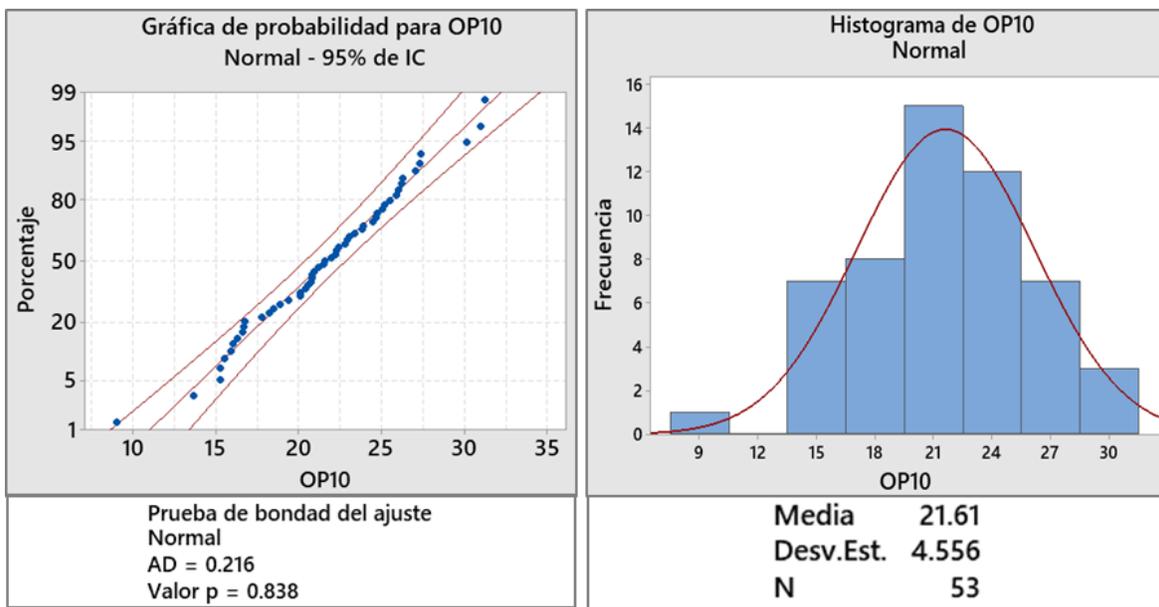


Figura 26a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP10 (Captura de Minitab® 19).

Figura 26b. Histograma de los tiempos de duración de OP10 (Captura de Minitab® 19).

De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 26a**), con un $p - valor = 0.838$, se estableció que los tiempos de duración para OP10, se ajustan a una distribución normal (ver página 42), con parámetros $\mu = 21.60604$ y $\sigma = 4.55554$, es decir, que el tiempo empleado para estibar cada costal, presenta un comportamiento normal $N(21.606, 4.556)$, como se puede apreciar en el histograma de la **figura 26b**.

Operación 11. Interrupción y pausas del proceso de producción (OP11)

Se posee un registro total de 57 tiempos para esta operación, por lo tanto, para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a la interrupción y pausas del proceso de producción, las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando los **57 datos**.

De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 27a**), con un $p - valor = 0.327$, se estableció que los tiempos de duración para OP11, se ajustan a una distribución lognormal (ver página 42), con parámetros $\mu = 5.70355$ y $\sigma = 1.08149$, es decir, que el tiempo asociado a interrupción y pausas del proceso de producción, presenta un comportamiento lognormal $L(5.70355, 1.08149)$, como se puede apreciar en el histograma de la **figura 27b**.

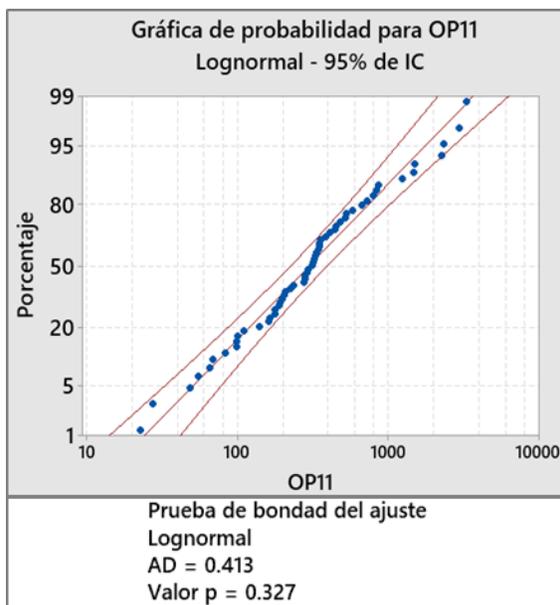


Figura 27a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP11 (Captura de Minitab® 19).

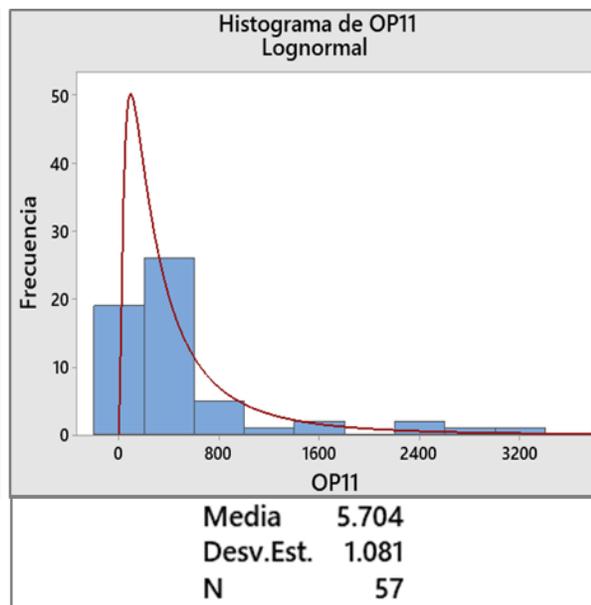


Figura 27b. Histograma de los tiempos de duración de OP11 (Captura de Minitab® 19).

Diagramas del flujo del proceso

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PARA ALIMENTOS DEL BLOQUE 1						
Descripción de los eventos	Símbolo					Tiempo (segundos)
Limpieza de la mezcladora	①	⇒	D	□	▽	378.316
Limpieza de la tolva de envasado	②	⇒	D	□	▽	263.634
Recolección, acarreo y pesaje de materia prima de forma manual	③	⇒	D	□	▽	498.375
Vaciar materia prima de acarreo manual	○	⇒	D	□	▽	182.135
Vaciar materia prima de tolvas	○	⇒	D	□	▽	43.161
Mezclar la materia prima	⑥	⇒	D	□	▽	159.999
Vaciar la mezcladora	○	⇒	D	□	▽	121.686
Llenar costales de alimento	⑧	⇒	D	□	▽	320.943
Etiquetar y sellar el costal	⑨	⇒	D	□	▽	77.870
Estibar costales	⑩	⇒	D	□	▽	270.076
Interrupción y pausas del proceso	○	⇒	□	▽		538.270

Tabla 5. Diagrama de flujo del proceso para el primer bloque de alimentos (elaboración propia).

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PARA ALIMENTOS DEL BLOQUE 2						
Descripción de los eventos	Símbolo					Tiempo (segundos)
Limpieza de la mezcladora	①	⇒	D	□	▽	378.316
Limpieza de la tolva de envasado	②	⇒	D	□	▽	263.634
Recolección, acarreo y pesaje de materia prima de forma manual	③	⇒	D	□	▽	748.870
Vaciar materia prima de acarreo manual	○	⇒ ⁴	D	□	▽	462.729
Vaciar materia prima de tolvas	○	⇒ ⁵	D	□	▽	43.161
Mezclar la materia prima	⑥	⇒	D	□	▽	184.500
Vaciar la mezcladora	○	⇒ ⁷	D	□	▽	121.686
Llenar costales de alimento	⑧	⇒	D	□	▽	320.943
Etiquetar y sellar el costal	⑨	⇒	D	□	▽	77.870
Estibar costales	⑩	⇒	D	□	▽	270.076
Interrupción y pausas del proceso	○	⇒ ¹¹	□	□	▽	538.270

Tabla6. Diagrama de flujo del proceso para el segundo bloque de alimentos (elaboración propia).

En la **tabla 5** y la **tabla 6** se presentan los diagramas de flujo de proceso por cada bloque de alimentos, que resumen la información sobre el comportamiento en los tiempos de cada una de las operaciones implicadas en el sistema de producción, es decir, el valor esperado de los tiempos de duración asociados a cada operación de acuerdo a las pruebas de bondad de ajuste realizadas.

3.2.2.2 Tiempo entre llegadas de los clientes, tipo de alimento demandado, cantidad de alimento, y tiempos de atención

Para verificar y validar el modelo de simulación base, se integró el sistema de ventas, debido a que la atención de cada cliente que arriba a la empresa genera demoras en el proceso de elaboración de alimentos, porque el productor también es responsable de entregar el pedido solicitado, por esa razón, es importante considerar el comportamiento del sistema de ventas para generar el modelo de simulación base. Para estudiar el sistema de ventas, es preciso analizar cuatro variables importantes: El tiempo que transcurre entre las llegadas de los clientes al

sistema; el tipo de alimento solicitado por cada cliente; la cantidad de alimento demandado; tiempos de atención por unidad vendida.

∞ Tiempo entre llegadas de los clientes

Con la información obtenida a través de las observaciones de campo (**anexo 6**), es posible analizar el comportamiento del tiempo entre llegadas de los clientes, cuyo conjunto de datos, se integra por 64 registros, pero después de hacer una gráfica de cajas, se descartan cuatro valores inusuales que corresponden a las muestras 4, 29, 31 y 71. Entonces, las pruebas de bondad de ajuste, se realizan con **60 datos**.

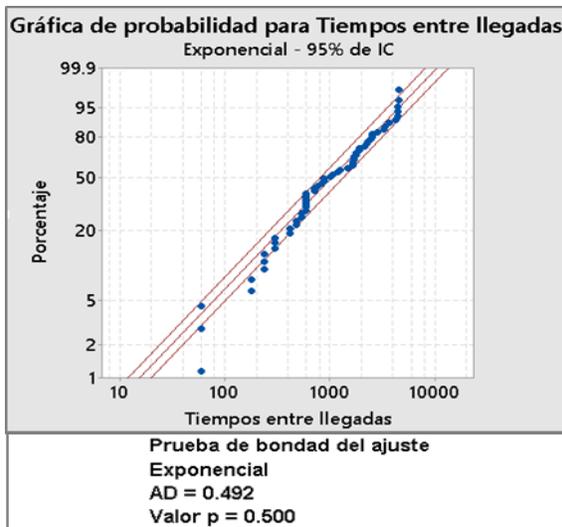


Figura 28a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos entre llegadas de los clientes al sistema. (Captura de Minitab® 19).

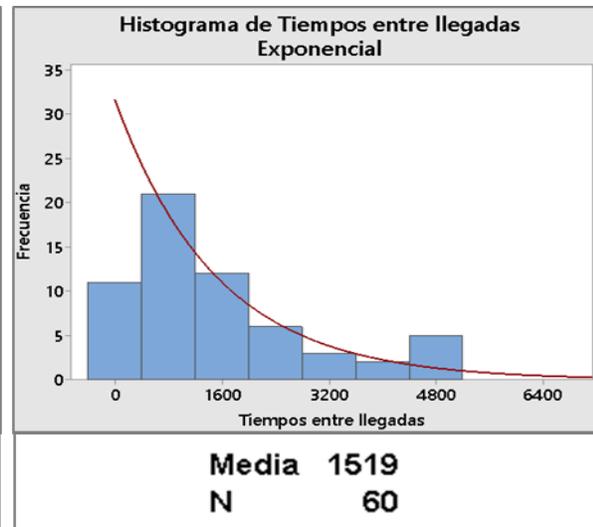


Figura 28b. Histograma del comportamiento de los tiempos entre llegadas de los clientes al sistema (Captura de Minitab® 19).

De las pruebas realizadas con Minitab® (**figura 28a**), con un $p - valor = 0.50$ se establece que los tiempos entre llegadas de los clientes, se ajustan a una distribución exponencial (ver página 43) con parámetro $\lambda = 1/1519$, como se aprecia en el histograma de la **figura 28b**, de esto se obtiene que el número de clientes que arriban al sistema cada hora, es en promedio:

$$\lambda \cdot t = \frac{3600 \text{ segundos/hora}}{1519 \text{ segundos/cliente}} = 2.37 \text{ clientes/hora}$$

En términos simples, a la empresa llegan aproximadamente tres clientes cada hora.

☞ Tipo de alimento demandado

Es importante considerar como se demanda cada tipo de alimento para representar el sistema de ventas dentro del modelo de simulación base. Para simular el comportamiento en la elección de alimentos, resulta conveniente trabajar con la información como se muestra en la **tabla 7**, que presenta el porcentaje de ventas por cada tipo de alimento del año 2018, ya que el paquete de simulación Promodel® permite crear distribuciones definidas por el usuario en términos de porcentaje.

Alimento	Venta en porcentaje
Caballo 12%	1.33 %
Caballo 14%	4.73 %
Cerdo crecimiento	9.22 %
Cerdo desarrollo	9.73 %
Cerdo finalizador	14.27 %
Cerdo gestación	1.88 %
Cerdo inicio	3.51 %
Cerdo lactancia	0.68 %
Ovino 14%	17.24 %
Ovino 20%	5.06 %
Ovino 34%	4.30 %
Ovino Flushing	3.85 %
Pollo mantenimiento	6.79 %
Toro 14%	11.75 %
Toro 34%	5.30 %
Vaca lechera	0.36 %
Total	100 %

Tabla 7. Venta de alimentos del año 2018 en porcentaje (elaboración propia).

☞ Cantidad de alimento

Esta variable, representa el número de costales de 40 kilogramos solicitados por el cliente. El estudio y análisis, se realiza con ayuda de la base de datos del **anexo 6**, de la cual, se obtienen las frecuencias mostradas en la **tabla 8**, este análisis es importante para conocer el tiempo que va a emplear el productor en la atención al cliente, ya que está en función de la cantidad de producto solicitado.

Costales vendidos	Frecuencia
1	21
2	20
3	13
4	8
5	4
6	2
≥ 7	5
Total	73

Tabla 8. Frecuencia de costales vendidos por cliente (elaboración propia).

La última clase muestra ventas mayores o iguales que 7, pero no se especifica un límite superior en la tabla, sin embargo, en la práctica el número máximo de costales observados que un cliente solicitó fue 25 y ese límite es el que se establece para el análisis. Es conveniente trabajar con la información en términos de porcentaje como se muestra en la **tabla 9**, para crear una distribución definida por el usuario en Promodel®.

Costales vendidos	Porcentaje
1	28.77
2	27.40
3	17.81
4	10.96
5	5.48
6	2.74
≥ 7	6.84
Total	100

Tabla 9. Costales solicitados por cliente en porcentaje (elaboración propia).

∞ Tiempos de atención

Se posee un registro total de 73 observaciones, y después de realizar la gráfica de cajas (**anexo 8**) no se observó algún valor inusual, por lo tanto, para conocer el comportamiento de los tiempos de atención por costal vendido, las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando los **73 datos**.

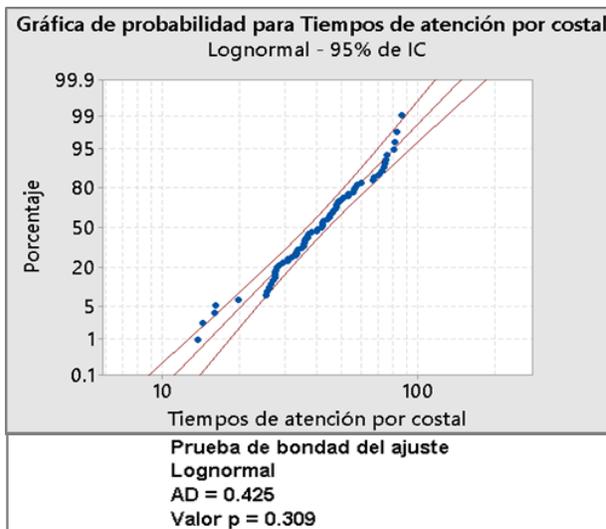


Figura 29a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de atención (Captura de Minitab® 19).

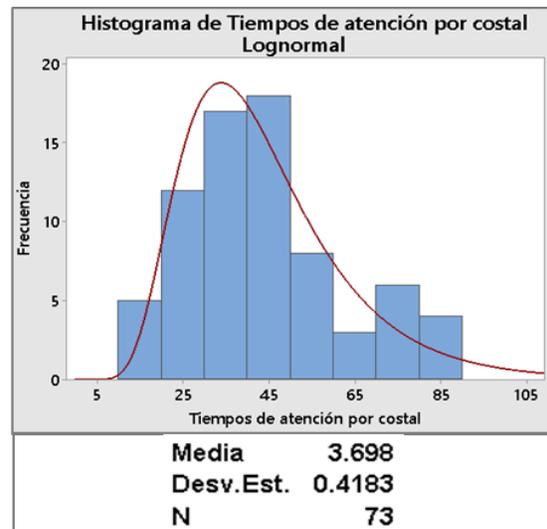


Figura 29b. Histograma del comportamiento de los tiempos de atención (Captura de Minitab® 19).

De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 29a**), con un $p - valor = 0.309$, se estableció que los tiempos de atención por costal vendido, se ajustan a una distribución lognormal (ver página 42), con parámetros $\mu = 3.698$ y $\sigma = 0.4183$, es decir, que estos tiempos presentan un comportamiento lognormal $L(3.698, 0.4183)$ como se puede apreciar en el histograma de la **figura 29b**.

Comportamiento del sistema de ventas.

La **tabla 10** presenta la información resumida respecto al análisis del tiempo entre cada llegada de los clientes a la empresa, así como el tiempo de atención por costal vendido. Con respecto a la elección del alimento y la cantidad demandada, esa información se puede consultar en las **tablas**.

Concepto	Comportamiento del tiempo (segundos)	Valor esperado
Tiempo entre llegadas de los clientes	$Exp\left(\frac{1}{1519}\right)$	1519.00 segundos
Tiempos de atención por costal vendido	$L(3.698, 0.4183)$	44.06 segundos

Tabla 10. Distribuciones de probabilidad del tiempo entre llegadas de los clientes al sistema y tiempos de atención por costal (elaboración propia)

3.3 Generación del modelo de simulación base (escenario actual)

Una vez definido el sistema para identificar las relaciones entre sus componentes y después de realizar el análisis para conocer el comportamiento del sistema de producción y ventas, el siguiente paso fue generar el modelo de simulación base para imitar el estado actual de la empresa con ayuda del paquete de simulación ProModel®, empleando los siguientes elementos: localizaciones, entidades, recursos y variables globales.

Localizaciones

- ∞ **Tolva_Almacen:** Representa las tres tolvas para almacenar materia prima, y están conectadas por medio de un ducto con la báscula digital.
- ∞ **Estiba_MP:** Espacio donde se encuentra la materia prima envasada y almacenada en la bodega.
- ∞ **Bascula:** Equipo para pesar la materia prima recolectada manualmente.
- ∞ **Bascula_Digital:** Lugar para pesar la materia prima solicitada que proviene de las tolvas de almacén y que se opera con el tablero central.
- ∞ **Mezcladora:** Máquina encargada de mezclar la materia prima para llevar a cabo la elaboración del alimento.
- ∞ **Vaciar_MP:** Representa el espacio en la mezcladora y que aguarda temporalmente hasta que se reúna toda la materia prima.
- ∞ **Elevador_Envasado:** Es el ducto que transporta el alimento elaborado, de la mezcladora a la tolva de envasado.
- ∞ **Tolva_Envasado:** Tolva que almacena momentáneamente el alimento elaborado, y que se encuentra en espera para ser envasado.
- ∞ **Envasadora:** Máquina incorporada a la tolva de envasado, que trabaja de forma semiautomática para llenar los costales con alimento.
- ∞ **Maquina_de_coser:** Máquina empleada para sellar los costales de alimento.
- ∞ **Tarima:** Lugar para estibar de 25 a 50 costales de alimento para que ser trasladados al lugar asignado en bodega.

- ⌘ **Estiba_CONSUMO:** A este espacio se traslada el alimento que se produce en la planta, destinado para el consumo interno.
- ⌘ **Estiba_VENTA:** Es el espacio destinado en donde se acomoda el alimento para venta al público en general.
- ⌘ **Línea_clientes:** Representa la línea de espera para el arribo de clientes.
- ⌘ **Atencion:** En este espacio se le entrega el pedido a cada cliente.

Entidades

- ⌘ **Mat_Prima:** Representa la materia prima que se encuentra envasada en la bodega y que debe ser recolectada de forma manual.
- ⌘ **MP_Tolva:** Corresponde a la materia prima almacenada en las tolvas.
- ⌘ **Alimento:** Esta entidad es resultado de mezclar la materia prima.
- ⌘ **Costal:** Se crea una vez que se almacena el alimento por 40 kilogramos.
- ⌘ **Estiba:** Representa el agrupamiento de 25 costales.
- ⌘ **Cliente:** Como su nombre lo indica, esta entidad representa a los clientes que arriban al sistema para comprar alimento.

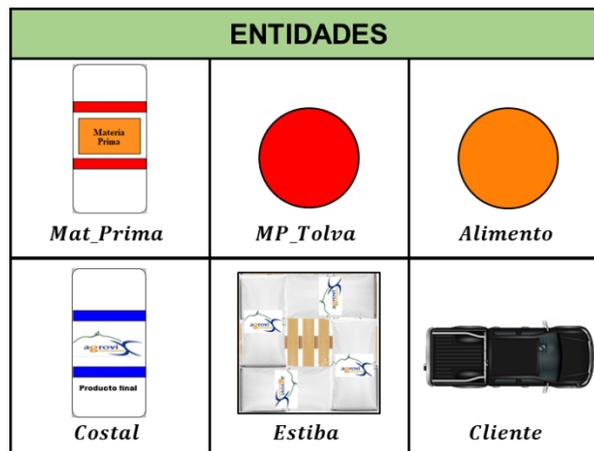


Figura 30. Representación de las entidades (elaboración propia).

Recursos

- ⌘ **Productor:** Responsable de realizar todas las operaciones involucradas en el sistema de producción y operar los equipos.

- ⊗ **Patin:** Herramienta utilizada para trasladar las estibas con el producto terminado de la zona de envasado a las áreas de venta y de consumo.

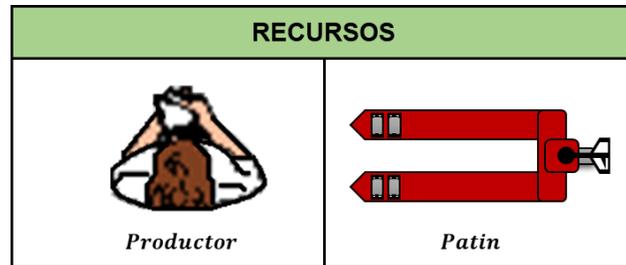


Figura 31. Representación de los recursos (elaboración propia).

Variables Globales

- ⊗ **Bloque:** Variable que asigna el bloque al que pertenece cada alimento que se está elaborando en un momento determinado.
- ⊗ **Tipo:** Variable que fija el tipo de alimento que se debe producir.
- ⊗ **Tipo_carga:** Toma el valor del alimento que se carga en la tarima.
- ⊗ **Orden_Urgente:** Variable que señala cual es el tipo de alimento en ventas que es necesario producir, si la cantidad en la estiba es baja.
- ⊗ **Mat_A, Mat_B, ... , Mat_V:** Este conjunto de variables, lleva el registro de consumo de cada materia prima de la **A**, a la **V**.
- ⊗ **Alimento_1, ... , Alimento_19:** Se encargan del registro de la producción de cada uno de los 19 tipos de alimento.
- ⊗ **C1, C2, ... , C19:** Este conjunto de variables define la cantidad de costales que se encuentra en cada una de las estibas de alimento terminado.
- ⊗ **VENTAS_1, VENTAS_2, ... , VENTAS_16:** Este conjunto de variables, registra las ventas de cada tipo de alimento.
- ⊗ **Cant_Clientes:** Es un contador de los clientes que llegan al sistema.
- ⊗ **Cantidad_Demanda:** Cantidad de alimento en costales, que es demandada por cada cliente que arriba al sistema
- ⊗ **Tipo_demanda:** Esta variable representa la decisión de los tipos de alimento que el cliente solicita en su compra.
- ⊗ **Cant_costales:** Número de costales que se deben envasar con alimento.

Programación del modelo de simulación base con ProModel®

En ProModel® se generó el modelo de simulación base para imitar el estado actual de la empresa, para ello, a través de un lenguaje de simulación se plasmaron las relaciones y el comportamiento de los componentes del sistema de producción y ventas. De la **tabla 10** a la **tabla 28** se presenta el *procesing* que incluye las instrucciones de programación del modelo de simulación base, el informe completo que brinda el simulador llamado *view text* se puede observar en el **anexo 8**.

Process 1				
Entity		Location		Operation
Mat_Prima		Estiba_MP		---
Routing 1				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
1	Mat_Prima	Bascula	FIRST 1	<pre> GET Productor WAIT N(378.316,63.596) SEC WAIT N(263.634,60.936) SEC WAIT EXP(N(5.70355,1.08149)) SEC Cant_costales = CONTENTS (Envasadora, Costal) IF Tipo = 1 THEN BEGIN Bloque = 2 INC Alimento_1,500 INC Mat_H,19 INC Mat_F,175 INC Mat_I,60 INC Mat_C,50 INC Mat_G,25 END ELSE IF Tipo = 19 THEN BEGIN Bloque = 2 INC Alimento_16,500 INC Mat_A,125 INC Mat_F,25 INC Mat_E,100 INC Mat_C,140 INC Mat_B,50 INC Mat_T,20 INC Mat_G,40 END MOVE WITH Productor </pre>

Tabla 11. Proceso 1 (elaboración propia).

Process 2				
Entity		Location		Operation
Mat_Prima		Bascula		<pre> IF Bloque = 1 THEN BEGIN WAIT EXP(N(6.09003 , 0.49259)) SEC END ELSE BEGIN WAIT N(748.870,320.150) SEC END </pre>
Routing 2				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
1	Mat_Prima	Vaciar_MP	FIRST 1	MOVE WITH Productor

Tabla 12. Proceso 2 (elaboración propia).

Process 3				
Entity		Location		Operation
Mat_Prima		Vaciar_MP		<pre> IF Bloque = 1 THEN BEGIN WAIT N(182.135,65.004) SEC FREE Productor END ELSE BEGIN WAIT N(462.729,106.173) SEC FREE Productor END </pre>
Routing 3				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
1	Mat_Prima	Mezcladora	JOIN 1	---

Tabla 13. Proceso 3 (elaboración propia).

Process 4				
Entity		Location		Operation
MP_Tolva		Tolva_Almacen		---
Routing 4				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
1	MP_Tolva	Bascula_Digital	FIRST 1	GET Productor

Tabla 14. Proceso 4 (elaboración propia).

Process 5				
Entity		Location		Operation
MP_Tolva		Bascula_Digital		WAIT EXP(N(3.69820,0.36534)) SEC
Routing 5				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
1	MP_Tolva	Mezcladora	FIRST 1	---

Tabla 15. Proceso 5 (elaboración propia).

Process 6				
Entity		Location		Operation
MP_Tolva		Mezcladora		<pre> JOIN 1 Mat_Prima IF Bloque = 1 THEN BEGIN WAIT EXP(N(5.049,0.229)) SEC END ELSE BEGIN WAIT U(184.5,77.5) SEC END </pre>
Routing 6				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
1	Alimento	Elevador_Envasado	FIRST 1	MOVE WITH Productor

Tabla 16. Proceso 6 (elaboración propia).

Process 7				
Entity		Location		Operation
Alimento		Elevador_Envasado		<pre> WAIT N(121.686,7.707) SEC FREE Productor </pre>
Routing 7				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
1	Alimento	Tolva_Envasado	FIRST 1	---

Tabla 17. Proceso 7 (elaboración propia).

Process 8				
Entity		Location		Operation
Alimento		Tolva_Envasado		ACCUM 2
Routing 8				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
---	---	---	---	---

Tabla 18. Proceso 8 (elaboración propia).

Process 9				
Entity		Location		Operation
Alimento		Tolva_Envasado		---
Routing 9				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
1	Alimento	Envasadora	FIRST 500	---

Tabla 19. Proceso 9 (elaboración propia).

Process 10				
Entity		Location		Operation
Alimento		Envasadora		GROUP 40 AS Costal
Routing 10				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
---	---	---	---	---

Tabla 20. Proceso 10 (elaboración propia).

Process 11				
Entity		Location		Operation
Costal		Envasadora		<pre> IF (C1 <=12) THEN BEGIN Orden_urgente = 1 END : ELSE IF (C16<=12) THEN BEGIN Orden_urgente = 16 END ELSE BEGIN Orden_urgente = 0 END Cant_costales = CONTENTS(Envasadora, Costal) Tipo_carga = Tipo IF Cant_costales = 25 THEN BEGIN IF Orden_urgente = 0 THEN BEGIN Tipo = Distribucion_1() END ELSE BEGIN Tipo = Orden_urgente END END END GRAPHIC 1 GET Productor WAIT N(25.675,4.568) SEC </pre>
Routing 11				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
1	Costal	Maquina_de_coser	FIRST 1	<pre> MOVE WITH Productor Cant_costales = CONTENTS(Envasadora, Costal) </pre>

Tabla 21. Proceso 11 (elaboración propia).

Process 12				
Entity		Location		Operation
Costal		Maquina_de_coser		GRAPHIC 1 WAIT N(6.2296 , 1.60737)) SEC
Routing 12				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
1	Costal	Tarima	FIRST 1	MOVE WITH Productor

Tabla 22. Proceso 12 (elaboración propia).

Process 13				
Entity		Location		Operation
Costal		Tarima		GRAPHIC 5 WAIT N(21.60604,4.5555) SEC FREE Productor
Routing 13				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
---	---	---	---	---

Tabla 23. Proceso 13 (elaboración propia).

Process 14				
Entity		Location		Operation
Costal		Tarima		GROUP 25 AS Estiba
Routing 14				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
---	---	---	---	---

Tabla 24. Proceso 14 (elaboración propia).

Process 15				
Entity		Location		Operation
Estiba		Tarima		IF (Tipo_carga = 17 OR Tipo_carga = 18 OR Tipo_carga = 19) THEN BEGIN ROUTE 2 END ELSE BEGIN ROUTE 1 END
Routing 15				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
1	Estiba	Estiba_VENTA	RANDOM 1	GET Patin MOVE WITH Patin
2	Estiba	Estiba_CONSUMO	RANDOM 1	GET Patin MOVE WITH Patin

Tabla 25. Proceso 15 (elaboración propia).

Process 16				
Entity		Location		Operation
Estiba		Estiba_VENTA		IF Tipo_carga = 1 THEN BEGIN INC C1,25 END : ELSE IF Tipo_carga = 16 THEN BEGIN INC C16,25 END FREE Patin
Routing 16				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
1	Estiba	EXIT	FIRST 1	---

Tabla 26. Proceso 16 (elaboración propia).

Process 17				
Entity		Location		Operation
Estiba		Estiba_CONSUMO		IF Tipo_carga = 17 THEN BEGIN INC C17,25 END : ELSE IF Tipo_carga = 19 THEN BEGIN INC C19,25 END FREE Patin
Routing 17				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
1	Estiba	EXIT	FIRST 1	---

Tabla 27. Proceso 17 (elaboración propia).

Process 18				
Entity		Location		Operation
Cliente		Linea_clientes		GRAPHIC 2 INC Cant_clientes
Routing 18				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
1	Cliente	Atención	FIRST 1	MOVE FOR 15 SEC

Tabla 28. Proceso 18 (elaboración propia).

Process 19				
Entity		Location		Operation
Cliente		Atención		GRAPHIC 1 INT Contador = 0 Cantidad_Demanda = Distribucion_3() WHILE Contador < Cantidad_Demanda DO BEGIN Tipo_demanda = Distribucion_2() IF Tipo_demanda = 1 THEN BEGIN DEC C1 INC VENTAS_1 END : ELSE IF Tipo_demanda = 16 THEN BEGIN INC VENTAS_16 DEC C16 END WAIT EXP(N(3.69840,0.837264)) SEC IF Contador = 0 THEN BEGIN GRAPHIC 3 END ELSE IF Contador = 1 THEN BEGIN GRAPHIC 4 END ELSE IF Contador = 2 THEN BEGIN GRAPHIC 5 END ELSE BEGIN GRAPHIC 6 END INC Contador END
Routing 19				
Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
1	Cliente	EXIT	FIRST 1	---

Tabla 29. Proceso 19 (elaboración propia).

Como resultado del trabajo de programación, la **figura 32** ilustra el diseño del modelo de simulación base que imita el comportamiento del sistema de producción actual de la empresa, e integra: variables, recursos, entidades y localizaciones.

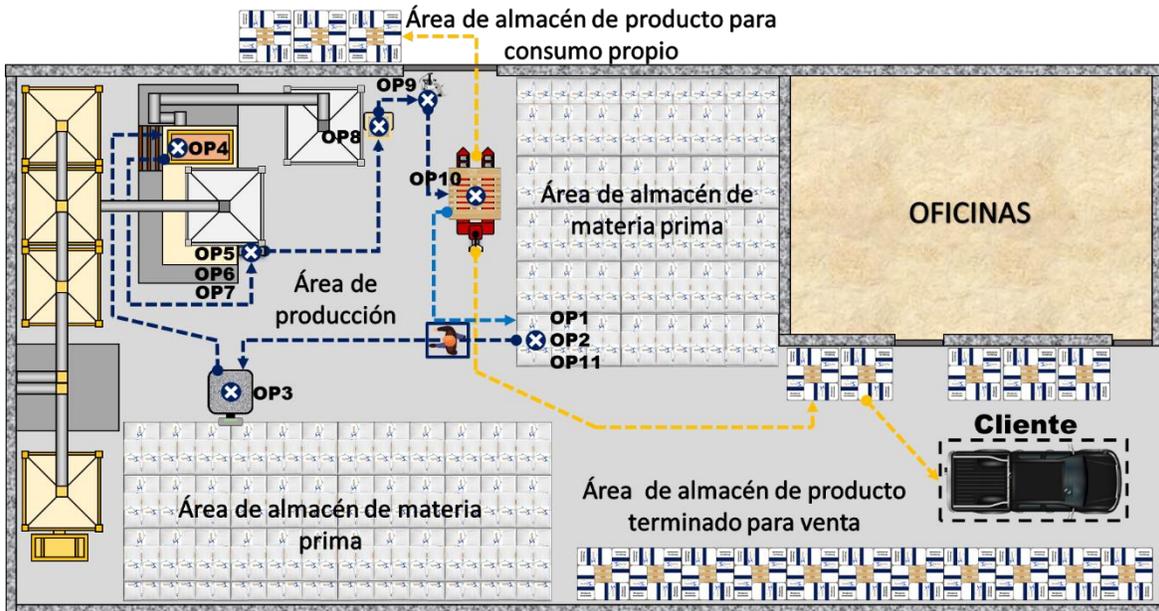


Figura 32. Diseño del modelo de simulación base (elaboración propia)
La simbología de las operaciones se encuentra en la **tabla 2** (pág.60)

3.4 Verificación y validación del modelo de simulación base

Una vez que se ha desarrollado el modelo de simulación base, en el que un solo productor, es encargado de llevar a cabo las operaciones del proceso de producción y también existen tres tolvas para almacenar materia prima, es momento, de realizar los experimentos sobre el modelo base, para comprobar que representa realmente el comportamiento del sistema de producción, comparando los resultados obtenidos a través del modelo, con los registros históricos de producción y ventas.

Los resultados obtenidos respecto a ventas se emplean únicamente para verificar y validar que, el modelo de simulación base imita adecuadamente el comportamiento actual de la planta a través de la comparación con los registros históricos de ventas del año 2018. Por lo que las ventas no serán consideradas en la simulación de las propuestas para incrementar la capacidad de producción, debido a que el sistema de producción es independiente al sistema de ventas.

De los 365 días al año, la empresa dispone de 299 días laborales debido a días feriados, días de descanso establecidos por la empresa (domingos) y periodos vacacionales. De los 299 días, 49 de ellos (sábados) corresponden a jornadas de 6 horas y 250 días (lunes a viernes) corresponden a jornadas de 8 horas más una hora de comida (hora no laboral del sistema de producción), por lo que en total se tienen 2,294 horas laborales en promedio al año.

De la entrevista con el personal de la empresa, se identificó que dedican en promedio 70 días laborales al año para realizar actividades de reabastecimiento de materia prima, 60 de los cuales corresponden a jornadas de 8 horas y los 10 días restantes corresponden a jornadas de 6 horas, es decir, el tiempo promedio en actividades de reabastecimiento es de 540 horas al año. Es así, que el tiempo destinado para actividades en la producción de alimentos, consta solamente de 1754 horas, mismo tiempo que se establece para el modelo de simulación base.

Como se mencionó anteriormente, se consideran los resultados obtenidos del modelo de simulación base respecto al sistema de ventas para verificar y validar el comportamiento de dicho modelo, sin embargo, el tiempo para simular el sistema de producción es distinto al tiempo para simular la venta de alimentos.

Mientras que el tiempo destinado a la producción de lunes a viernes es de 8 horas diarias, el tiempo destinado a ventas es de 9 horas. Por lo tanto, de los 299 días laborales, en 250 se brinda atención a ventas en un horario de 9 horas y en los 49 días restantes se brinda atención en un horario de 6 horas, lo que implica que el tiempo de ventas al año sea de 2,544 horas en promedio.

Definidos los tiempos de simulación, es necesario determinar el número mínimo de réplicas sobre el modelo, para ello, es conveniente recurrir a la fórmula para calcular el tamaño de muestra. De acuerdo con Triola (2008/2009), la fórmula para estimar el tamaño de la muestra se define como:

$$n \geq \left\lceil \left(\frac{Z_{1-\alpha/2} * \sigma}{E} \right)^2 \right\rceil$$

Donde $Z_{1-\alpha/2}$ es la puntuación crítica basada en el nivel de confianza deseado, E es el margen de error deseado y σ es la desviación estándar poblacional.

Sin embargo, como la expresión anterior requiere conocer la desviación estándar poblacional, y esta suele desconocerse en la mayoría de los casos prácticos, se sugiere realizar un estudio piloto para obtener la desviación estándar muestral s y sustituirla en la fórmula en lugar de σ .

Para estudiar el comportamiento de producción, el estudio piloto se realiza con 25 réplicas del modelo de simulación, la **tabla 30** presenta los resultados obtenidos a través del simulador sobre la producción anual.

Replica	Producción anual	Replica	Producción anual	Replica	Producción anual
1	973,500.00	10	971,500.00	19	981,000.00
2	974,000.00	11	971,000.00	20	970,500.00
3	978,500.00	12	960,000.00	21	966,500.00
4	971,500.00	13	985,000.00	22	972,000.00
5	972,500.00	14	972,500.00	23	970,500.00
6	969,500.00	15	964,000.00	24	965,500.00
7	972,000.00	16	973,000.00	25	984,500.00
8	970,500.00	17	957,000.00		
9	963,500.00	18	957,500.00		

Tabla 30. Resultados de producción (elaboración propia).

Con los resultados de la simulación, se determina la desviación estándar muestral, que es $s = 7,119.52$, además se establece un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y un margen de error $E = 1000$ kilogramos. El número mínimo de réplicas es:

$$n \geq \left[\left(\frac{Z_{1-\alpha/2} * s}{E} \right)^2 \right] = \left[\left(\frac{1.96 * 7,119.52}{1,000} \right)^2 \right] = [194.72] = 195$$

De acuerdo con la expresión, al menos se deben de realizar 195 repeticiones sobre el modelo de simulación para comparar los resultados de producción con los registros históricos. Por otra parte, para analizar el comportamiento de ventas, de nueva cuenta se realiza un estudio piloto con 25 réplicas, cuyos resultados se presentan en la **tabla 31**.

Replica	Ventas anuales	Replica	Ventas anuales	Replica	Ventas anuales
1	802,560.00	10	795,320.00	19	798,440.00
2	828,280.00	11	804,560.00	20	835,960.00
3	811,920.00	12	778,240.00	21	776,880.00
4	800,320.00	13	805,920.00	22	814,560.00
5	823,760.00	14	817,160.00	23	819,840.00
6	795,200.00	15	813,600.00	24	807,840.00
7	818,200.00	16	811,280.00	25	800,120.00
8	787,000.00	17	829,680.00		
9	805,520.00	18	794,240.00		

Tabla 31. Resultados de ventas (elaboración propia).

Con los resultados obtenidos de la simulación, se determina que la desviación estándar muestral es $s = 14,987.89$. Al igual que en producción, se establece un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, mientras que para este caso, el margen de error asignado es $E = 2000$ kilogramos. Con esta información se determina el número de réplicas como se muestra a continuación:

$$n \geq \left[\left(\frac{Z_{1-\alpha/2} * s}{E} \right)^2 \right] = \left[\left(\frac{1.96 * 14,987.89}{2,000} \right)^2 \right] = [215.74] = 216$$

Por lo tanto, para estudiar adecuadamente el comportamiento de ventas en el modelo de simulación, se deben realizar al menos 216 repeticiones.

∞ Resultados de producción anual del modelo de simulación base

El siguiente paso consiste en ejecutar el modelo con el software ProModel®, para observar los resultados de producción, tomando en cuenta el tiempo de simulación de 1754 horas y un número de réplicas de 195.

La **tabla 32**, resume los valores de producción de cada uno de los alimentos durante el año 2018. Se presenta el valor promedio del resultado de las réplicas de simulación, así como los registros reales de la producción de ese año, para realizar una comparación entre ambos, donde porcentaje de error se calcula como:

$$E = \left| \frac{\text{Valor real} - \text{Valor (simulación)}}{\text{Valor real}} \right| * 100$$

Alimento	Producción real (kg)	Producción por simulación (kg)	Diferencia absoluta (kg)	Porcentaje de error
①	10,000.00	11,438.46	1,438.46	14.38%
②	49,000.00	47,407.69	1,592.31	3.25%
③	76,000.00	74,720.51	1,279.49	1.68%
④	73,500.00	73,576.92	76.92	0.10%
⑤	115,250.00	113,241.03	2,008.97	1.74%
⑥	14,500.00	15,420.51	920.51	6.35%
⑦	30,500.00	31,428.21	928.21	3.04%
⑧	5,500.00	6,648.72	1,148.72	20.89%
⑨	136,000.00	131,817.95	4,182.05	3.08%
⑩	45,000.00	44,825.64	174.36	0.39%
⑪	34,500.00	34,564.10	64.10	0.19%
⑫	36,500.00	36,615.38	115.38	0.32%
⑬	56,000.00	55,556.41	443.59	0.79%
⑭	93,000.00	90,858.97	2,141.03	2.30%
⑮	42,500.00	42,933.33	433.33	1.02%
⑯	3,500.00	4,215.38	715.38	20.44%
⑰	142,250.00	136,010.26	6,239.74	4.39%
⑱	19,500.00	18,343.59	1,156.41	5.93%
⑲	2,000.00	2,087.18	87.18	4.36%
Total	985,000.00	971,710.24		

Tabla 32. Resultados de producción de la simulación del modelo de simulación base (elaboración propia).

La producción total en la planta durante 2018 fue de **985,000 kilogramos**, mientras que el resultado promedio de la simulación corresponde a **971,710.24 kilogramos**, así la diferencia que existe es de **13,289.76 kilogramos**. Por otra parte, el análisis individual de producción por cada alimento, refleja que 16 de los 19 tipos de alimento presentan un error por debajo del 10%, lo que revela que los resultados obtenidos a través de la simulación son confiables y en general el modelo representa adecuadamente el comportamiento del proceso de producción.

∞ Resultados de ventas anuales del modelo de simulación base

La **tabla 33**, contiene la información referente a la venta de alimentos, donde se expresan los resultados de del modelo de simulación considerando un tiempo de 2544 horas y 216 repeticiones, así también, se muestran los registros de ventas reales del año 2018, para realizar un análisis comparativo.

Alimento	Ventas reales (kg)	Ventas por simulación (kg)	Diferencia absoluta (kg)	Porcentaje de error
①	10,705.30	10,725.93	20.63	0.19%
②	38,120.00	38,285.93	165.93	0.44%
③	74,314.80	74,403.70	88.9	0.12%
④	78,365.30	78,366.67	1.37	0.00%
⑤	114,967.40	114,863.52	103.88	0.09%
⑥	15,105.70	15,151.85	46.15	0.31%
⑦	28,331.00	28,191.11	139.89	0.49%
⑧	5,482.50	5,505.37	22.87	0.42%
⑨	138,920.79	138,989.26	68.47	0.05%
⑩	40,749.00	40,916.48	167.48	0.41%
⑪	34,680.40	34,880.19	199.79	0.58%
⑫	30,977.00	30,974.26	2.74	0.01%
⑬	54,703.30	54,707.04	3.74	0.01%
⑭	94,627.70	95,009.44	381.74	0.40%
⑮	42,659.20	42,558.89	100.31	0.24%
⑯	2,905.70	2,892.78	12.92	0.44%
Total	805,615.09	806,422.41		

Tabla 33. Resultados de ventas anuales de la simulación del modelo de simulación base (elaboración propia).

Las ventas reales suman un total de **805,615.09 kilogramos**, mientras que a través de la simulación se registró un promedio en ventas de **806,422.41 kilogramos**, por tanto, la diferencia entre los resultados del modelo y el registro real de ventas es de **807.32 kilogramos**. Además, el porcentaje de error por cada alimento resulta ser menor al 1% en todos los casos, esto indica que los resultados del simulador respecto a las ventas son confiables.

Como los resultados arrojados por el modelo de simulación base son similares a los registros históricos de producción y ventas, se determinó que este modelo imita adecuadamente el comportamiento actual de la empresa.

3.5 Determinación de los escenarios para el análisis

A partir del modelo de simulación base (estado actual de la empresa), fue posible construir los escenarios, con propuestas planteadas por los directivos con el objetivo de incrementar la capacidad de producción de la planta, confiando en los resultados para evaluar las diferentes alternativas.

3.5.1 Primer escenario de mejora para incrementar la capacidad de producción: Implementación de un segundo productor

El primer escenario de mejora fue diseñado para evaluar el incremento esperado sobre la capacidad del sistema de producción como resultado de implementar un segundo productor. La **figura 33** ilustra el diseño de este primer escenario.

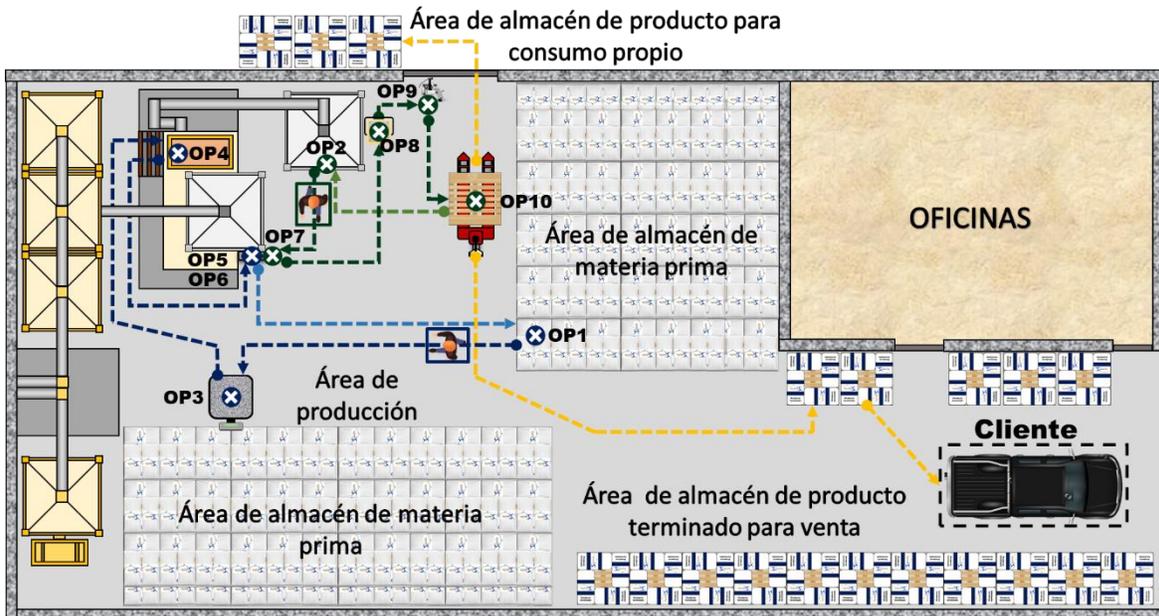


Figura 33. Diseño del primer escenario de mejora (elaboración propia)
La simbología de las operaciones se encuentra en la **tabla 2** (pág.60)

Para este escenario se realiza la asignación de operaciones de cada productor y, para ello, se estudian las distribuciones de tiempo de cada operación, con el fin de buscar un equilibrio y que cada trabajador realice un conjunto de operaciones cuya duración sea similar. En la **tabla 34**, se presenta una propuesta.

ASIGNACIÓN DE OPERACIONES	
Productor 1	Productor 2
⊗ OP1 (Limpieza de la mezcladora)	⊗ OP2 (Limpiar tolva de envasado)
⊗ OP3 (Recolección de materia prima)	⊗ OP7 (Vaciar mezcladora)
⊗ OP4 (Vaciar materia prima manual)	⊗ OP8 (Llenar costales)
⊗ OP5 (Vaciar materia prima de tolvas)	⊗ OP9 (Etiquetar, sellar y coser)
⊗ OP6 (Mezclar la materia prima)	⊗ OP10 (Estibar costales)
	⊗ OP11 (Interrupciones)

Tabla 34. División de operaciones del primer escenario (elaboración propia).

El valor esperado en la duración de las operaciones asignadas al primer productor es de **1,610.64 segundos**, que equivale aproximadamente a **26.84 minutos**, mientras que, el valor esperado en la duración de las actividades del segundo productor es **1,593.64 segundos**, que equivale aproximadamente a **26.56 minutos**.

Resultados de la simulación del primer escenario de mejora

La **tabla 35**, presenta los resultados de simulación del primer escenario de mejora y del modelo de simulación base para realizar un análisis comparativo sobre el incremento en la capacidad de producción.

Alimento	Producción del modelo de simulación base	Producción del primer escenario de mejora	Diferencia absoluta (kg)
①	11,438.46	19,400.00	7,961.54
②	47,407.69	85,900.00	38,492.31
③	74,720.51	129,600.00	54,879.49
④	73,576.92	128,000.00	54,423.08
⑤	113,241.03	207,650.00	94,408.97
⑥	15,420.51	25,300.00	9,879.49
⑦	31,428.21	54,200.00	22,771.79
⑧	6,648.72	10,400.00	3,751.28
⑨	131,817.95	337,950.00	206,132.05
⑩	44,825.64	79,550.00	34,724.36
⑪	34,564.10	63,100.00	28,535.90
⑫	36,615.38	67,550.00	30,934.62
⑬	55,556.41	102,200.00	46,643.59
⑭	90,858.97	191,500.00	100,641.03
⑮	42,933.33	73,750.00	30,816.67
⑯	4,215.38	5,400.00	1,184.62
⑰	136,010.26	292,550.00	156,539.74
⑱	18,343.59	37,450.00	19,106.41
⑲	2,087.18	4,600.00	2,512.82
TOTAL	971,710.24	1,916,050.00	

Tabla 35. Comparación de resultados entre el modelo de simulación base y primer escenario de mejora (elaboración propia).

De acuerdo a los resultados, al implementar un segundo productor se puede obtener una producción anual de **1 916 050 kilogramos** de alimento, es decir, con el primer escenario de mejora se podría esperar un incremento en la capacidad de producción de **944 339.76 kilogramos** respecto al modelo de simulación base.

3.5.2 Segundo escenario de mejora para incrementar la capacidad de producción: Instalación de tres tolvas adicionales

El segundo escenario fue diseñado para conocer el incremento esperado en producción con el proyecto que tiene en mente la empresa, sobre la instalación de tres tolvas adicionales, cuyas dimensiones permitirán almacenar por cada nueva tolva aproximadamente 21.39 metros cúbicos de materia prima. El objetivo de la empresa es incrementar la capacidad de su sistema de producción, al minimizar la cantidad de materia prima que se recolecta de forma manual, para facilitar el trabajo del productor, lo que reducirá el tiempo de algunas operaciones.

La **figura 34**, ilustra el diseño del segundo escenario y la distribución de espacios, de acuerdo con la ubicación para la instalación de estas tres nuevas tolvas.

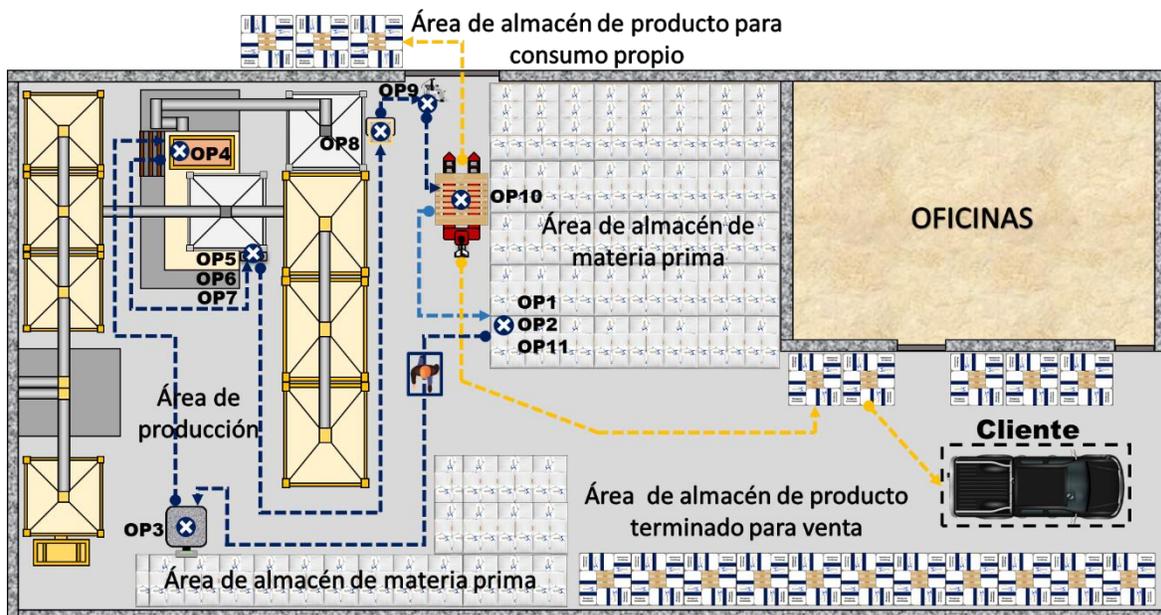


Figura 34. Diseño del segundo escenario de mejora (elaboración propia)
La simbología de las operaciones se encuentra en la **tabla 2** (pág.60)

Para asignar a estas seis tolvas el tipo de materia prima que se debería almacenar, es preciso analizar el consumo de las mismas, así como el espacio disponible en bodega. Con ayuda de los registros históricos, las seis materias más empleadas en la producción durante 2018 fueron:

- ❖ Materia A: 444,963.75 kilogramos
- ❖ Materia B: 110,973.00 kilogramos
- ❖ Materia C: 97,882.50 kilogramos
- ❖ Materia D: 83,893.25 kilogramos
- ❖ Materia E: 80,325.00 kilogramos
- ❖ Materia F: 53,360.00 kilogramos

Procurando almacenar la mayor cantidad de materia prima en las tolvas y que el espacio empleado en bodega sea menor, la asignación sugerida es la siguiente:

- ∞ Asignar las tres tolvas nuevas a las materias A, B y D.
- ∞ Asignar las tres tolvas actuales para las materias B, E y F.

Análisis de tiempos de las operaciones OP3 y OP4 por kilogramo

El uso de un mayor número de tolvas, reduciría los tiempos de duración para las operaciones OP3 (Recolección manual de materia prima) y OP4 (Vaciar manualmente la materia prima), siempre y cuando exista materia prima almacenada en estas tolvas. Con las mediciones realizadas sobre el proceso de producción, se dividen los tiempos de las operaciones OP3 y OP4 entre la cantidad de kilogramos trabajados manualmente, así el **anexo 9** presenta la información correspondiente a la duración de estas operaciones por kilogramo.

Recolección, acarreo y pesaje manual por kilogramo (OP3 – KG)

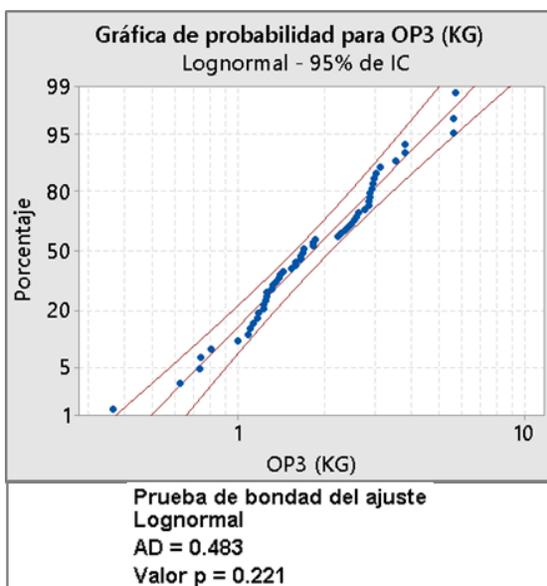


Figura 35a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP3 por kilogramo (Captura de Minitab®).

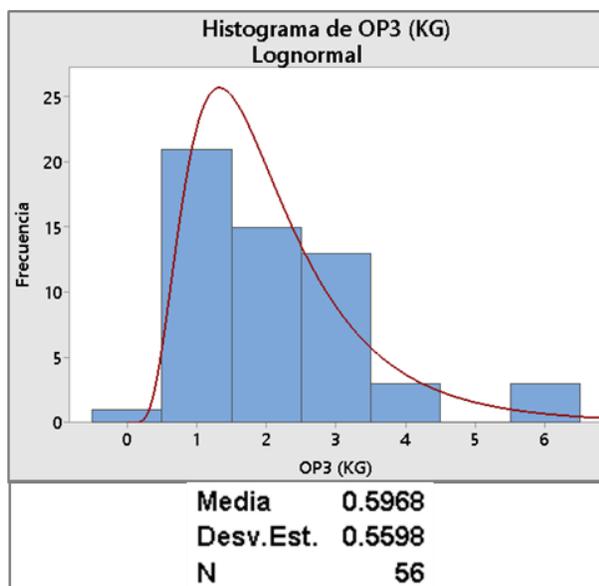


Figura 35b. Histograma de los tiempos de duración de OP3 por kilogramo (Captura de Minitab®).

Para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a la recolección, acarreo y pesaje por cada kilogramo de materia prima, las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando **56 datos**. De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 35a**), con un $p - valor = 0.221$, se estableció que el tiempo asociado a la recolección, acarreo y pesaje por cada kilogramo de materia prima presenta un comportamiento lognormal (ver página 42) $L(0.5968, 0.5598)$, con $\mu = 0.5968$ y $\sigma = 0.5598$, como se puede apreciar en el histograma de la **figura 35b**.

Vaciar un kilogramo de materia prima manualmente (OP4 – KG)

Para conocer el comportamiento de los tiempos asociados a vaciar cada kilogramo de materia prima manualmente, las pruebas de bondad de ajuste se llevan a cabo considerando **57 datos**.

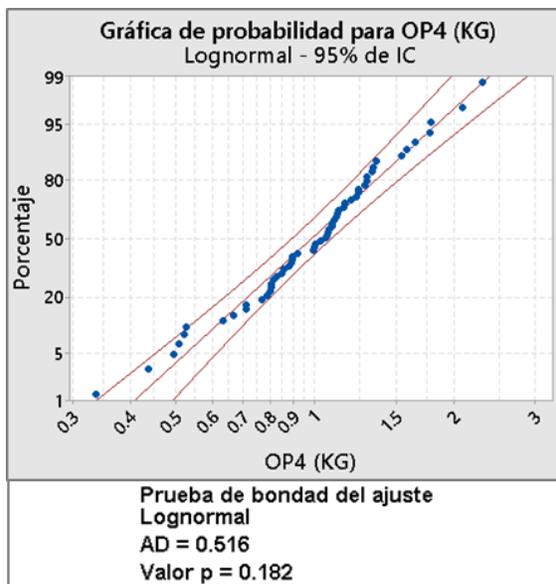


Figura 36a. Prueba para identificar la distribución de los tiempos de OP4 por kilogramo (Captura de Minitab®).

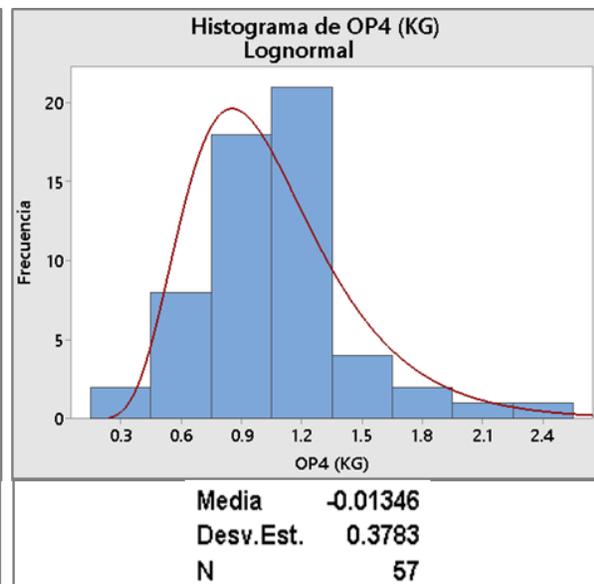


Figura 36b. Histograma de los tiempos de duración de OP4 por kilogramo (Captura de Minitab®).

De las pruebas realizadas en Minitab® (**figura 36a**), con un $p - valor = 0.182$, se estableció que el tiempo para vaciar manualmente un kilogramo de materia prima, presenta un comportamiento lognormal (ver página 42) $L(-0.01346, 0.3783)$ con parámetros $\mu = -0.01346$ y $\sigma = 0.3783$, como se puede apreciar en el histograma de la **figura 36b**.

El comportamiento de las operaciones de recolección, acarreo y pesaje manual por kilogramo (OP3 – KG) y vaciar un kilogramo de materia prima manualmente (OP4 – KG), se presenta en la **tabla 36**.

Concepto	Comportamiento del tiempo (segundos)	Valor esperado
OP3 – KG	$L(0.5968, 0.5598)$	2.1244 segundos
OP4 – KG	$L(-0.01346, 0.3783)$	1.0598 segundos

Tabla 36. Distribuciones de probabilidad del tiempo de OP3 y OP4 por kilogramo (elaboración propia)

Resultados de la simulación del segundo escenario de mejora

La **tabla 37**, presenta los resultados de producción de la simulación del segundo escenario de mejora y los resultados de producción del modelo de simulación base para identificar el incremento en la capacidad de producción de la planta.

Alimento	Producción del modelo de simulación base	Producción del segundo escenario de mejora	Diferencia absoluta (kg)
①	11,438.46	10,400.00	1,038.46
②	47,407.69	48,500.00	1,092.31
③	74,720.51	81,900.00	7,179.49
④	73,576.92	73,950.00	373.08
⑤	113,241.03	120,050.00	6,808.97
⑥	15,420.51	16,000.00	579.49
⑦	31,428.21	32,500.00	1,071.79
⑧	6,648.72	6,700.00	51.28
⑨	131,817.95	143,300.00	11,482.05
⑩	44,825.64	46,750.00	1,924.36
⑪	34,564.10	34,800.00	235.90
⑫	36,615.38	40,400.00	3,784.62
⑬	55,556.41	58,200.00	2,643.59
⑭	90,858.97	93,400.00	2,541.03
⑮	42,933.33	41,800.00	1,133.33
⑯	4,215.38	4,500.00	284.62
⑰	136,010.26	146,700.00	10,689.74
⑱	18,343.59	23,000.00	4,656.41
⑲	2,087.18	2,200.00	112.82
TOTAL	971,710.24	1,025,050.00	

Tabla 37. Comparación de resultados entre el modelo de simulación base y segundo escenario de mejora (elaboración propia).

De acuerdo con los resultados, al implementar tres nuevas tolvas se espera que la producción anual sea de **1 025 050 kilogramos** de alimento, es decir, con el segundo escenario de mejora se podría esperar un incremento en la capacidad de producción de **53339.76 kilogramos** respecto al modelo de simulación base.

3.5.3 Tercer escenario de mejora para incrementar la capacidad de producción: Instalación de tres tolvas adicionales e implementación de dos productores

El tercer escenario fue diseñado para conocer el incremento en la capacidad de producción que podría obtener la empresa si implementa un segundo productor al sistema de producción en conjunto con la instalación de las tres tolvas adicionales. La **figura 37**, ilustra el diseño de este tercer escenario.

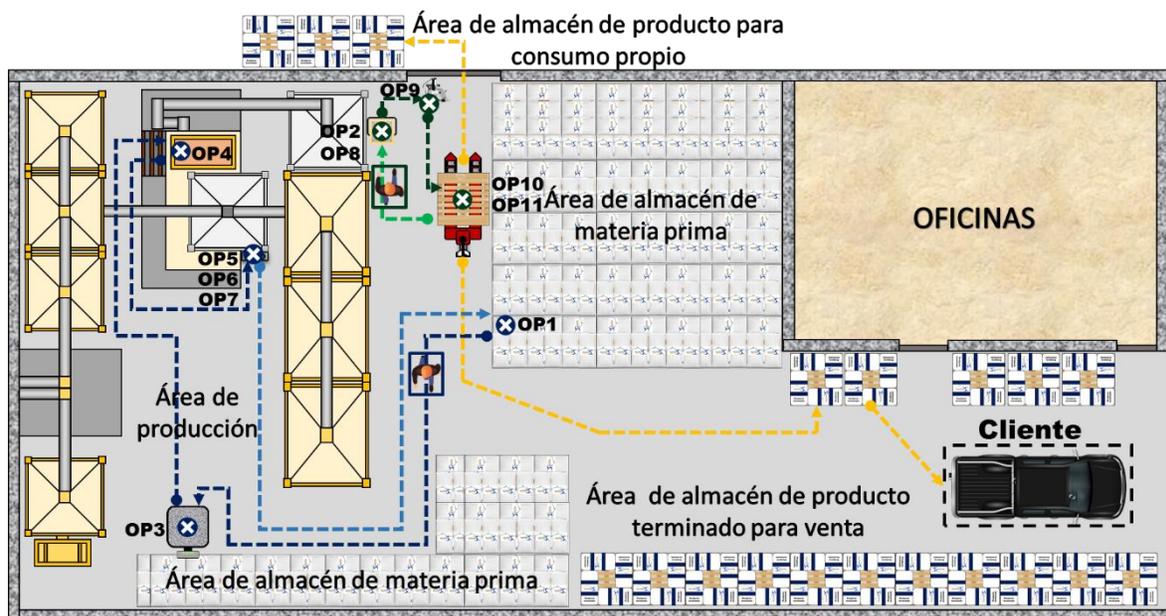


Figura 37. Diseño del tercer escenario de mejora (elaboración propia)
La simbología de las operaciones se encuentra en la **tabla 2** (pág.60)

Bajo este escenario, para incluir un segundo productor y asignar correctamente las operaciones a cada uno, la división de operaciones debe contemplar la cantidad en kilogramos de materia prima que aún se recolectaría de forma manual dada la ayuda de las tolvas.

Asignación de operaciones por productor bajo el tercer escenario de mejora

Con el análisis sobre los tiempos de duración por kilogramo de las operaciones OP3 y OP4, se establece que si la cantidad de materia prima recolectada manualmente es menor a **308.90 kilogramos**, la asignación de operaciones será como lo muestra la **tabla 38**, y si ocurre lo contrario, la asignación de operaciones deberá ser como se muestra en la **tabla 39**, así, los tiempos de operación de cada productor serán muy similares.

Productor 1	Productor 2
<ul style="list-style-type: none"> ⊗ OP1 (Limpieza de la mezcladora) ⊗ OP3 (Recolección de materia prima) ⊗ OP4 (Vaciar materia prima manual) ⊗ OP5 (Vaciar materia prima de tolvas) ⊗ OP6 (Mezclar la materia prima) ⊗ OP7 (Vaciar mezcladora) 	<ul style="list-style-type: none"> ⊗ OP2 (Limpiar tolva de envasado) ⊗ OP8 (Llenar costales) ⊗ OP9 (Etiquetar, sellar y coser) ⊗ OP10 (Estibar costales) ⊗ OP11 (Interrupciones)

Tabla 38. División de tareas si la recolección de materia prima es menor que 308.90 kilogramos (elaboración propia).

Productor 1	Productor 2
<ul style="list-style-type: none"> ⊗ OP1 (Limpieza de la mezcladora) ⊗ OP3 (Recolección de materia prima) ⊗ OP4 (Vaciar materia prima manual) ⊗ OP5 (Vaciar materia prima de tolvas) ⊗ OP6 (Mezclar la materia prima) 	<ul style="list-style-type: none"> ⊗ OP2 (Limpiar tolva de envasado) ⊗ OP7 (Vaciar mezcladora) ⊗ OP8 (Llenar costales) ⊗ OP9 (Etiquetar, sellar y coser) ⊗ OP10 (Estibar costales) ⊗ OP11 (Interrupciones)

Tabla 39. División de operaciones si la recolección de materia prima es mayor o igual que 308.90 kilogramos (elaboración propia).

Resultados de la simulación del tercer escenario de mejora

La **tabla 40**, presenta los resultados de producción de la simulación del tercer escenario de mejora y los resultados de producción del modelo de simulación base para identificar el incremento en la capacidad de producción de la planta.

Alimento	Producción del modelo de simulación base	Producción del tercer escenario de mejora	Diferencia absoluta (kg)
①	11,438.46	21,800.00	10,361.54
②	47,407.69	94,700.00	47,292.31
③	74,720.51	142,150.00	67,429.49
④	73,576.92	141,100.00	67,523.08
⑤	113,241.03	219,500.00	106,258.97
⑥	15,420.51	27,600.00	12,179.49
⑦	31,428.21	58,400.00	26,971.79
⑧	6,648.72	11,600.0	4,951.28
⑨	131,817.95	519,650.00	387,832.05
⑩	44,825.64	83,000.00	38,174.36
⑪	34,564.10	63,600.00	29,035.90
⑫	36,615.38	72,300.00	35,684.62
⑬	55,556.41	100,800.00	45,243.59
⑭	90,858.97	175,300.00	84,441.03
⑮	42,933.33	77,900.00	34,966.67
⑯	4,215.38	7,200.00	2,984.62
⑰	136,010.26	273,500.00	137,489.74
⑱	18,343.59	35,900.00	17,556.41
⑲	2,087.18	3,800.00	1,712.82
TOTAL	971,710.24	2,129,800.00	

Tabla 40. Comparación de resultados entre el modelo de simulación base y el tercer escenario de mejora (elaboración propia).

Los resultados, señalan que la propuesta de la instalación de tres tolvas adicionales e implementación de un segundo productor, permite alcanzar una producción anual de **2 129 800.00 kilogramos** aproximadamente. Esto significa que se espera que la producción del tercer escenario de mejora incremente en **1 158 089.76 kilogramos** con respecto del modelo de simulación base.

3.6 Comparación de resultados (Análisis de sensibilidad)

Se desarrolló el modelo de simulación base, que imita el comportamiento actual de la empresa, y para validarlo se compararon los resultados de simulación obtenidos de producción y ventas con los registros históricos de 2018 (recordar que el sistema de ventas únicamente se considera para validar el comportamiento del modelo de simulación base).

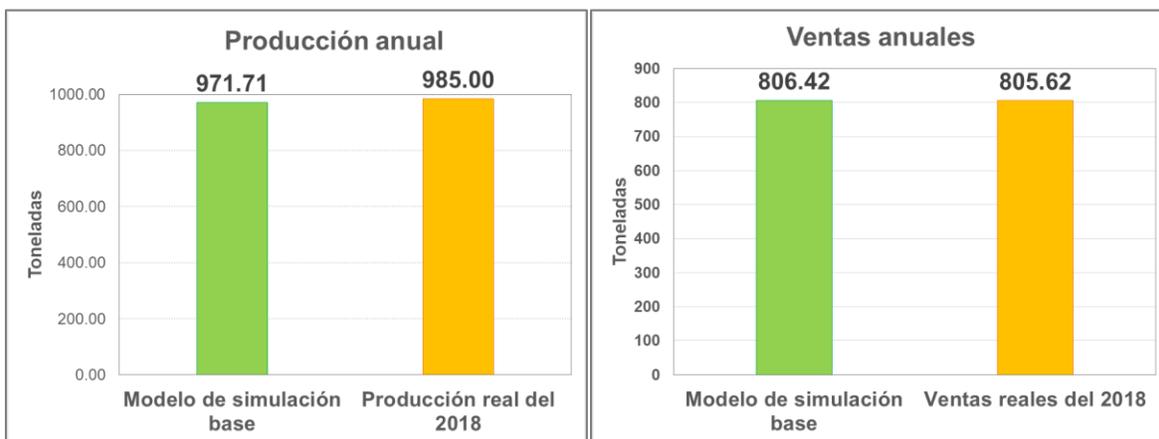


Figura 38a. Comparación de producción anual entre el modelo de simulación base y el registro histórico (elaboración propia)

Figura 38b. Comparación de ventas anuales entre el modelo de simulación base y el registro histórico (elaboración propia)

La diferencia de producción observada entre el modelo de simulación base y el registro histórico de 2018 fue de **13 289.76 Kilogramos**, mientras que la diferencia en ventas fue de **807.32 kilogramos**, tal como se observa en la **figura 38a** y la **figura 38b**. Debido a que la diferencia entre los resultados de simulación y los registros históricos, no es muy grande, partir del modelo de simulación base fue posible construir diferentes escenarios para evaluar propuestas de mejora encaminadas a incrementar la capacidad del sistema de producción de la empresa, cuyos resultados se resumen a continuación.

Primer escenario de mejora: implementación de un segundo productor. Los resultados de simulación mostraron que la producción se incrementa en **944 339.76 kilogramos** respecto al modelo de simulación base, esto representa un incremento en la producción del **95.87%**.

Segundo escenario de mejora: Instalación de tres tolvas adicionales y asignación de un solo productor. Los resultados de simulación mostraron un incremento de producción en **53 339.76 kilogramos** con respecto al modelo de simulación base, es decir, se podría observar un incremento en la producción del **5.49%**.

Tercer escenario de mejora: Instalación de tres tolvas adicionales e implementación de dos productores. Los resultados de simulación señalan que bajo el tercer escenario de mejora se puede esperar un incremento en la capacidad del sistema de producción de **1 158 089.76 kilogramos** con respecto al modelo de simulación base, que representa un incremento en la producción del **119.18%**.

En la **figura 39**, se observan los resultados de simular un año el sistema de producción bajo el modelo de simulación base y los escenarios de mejora.

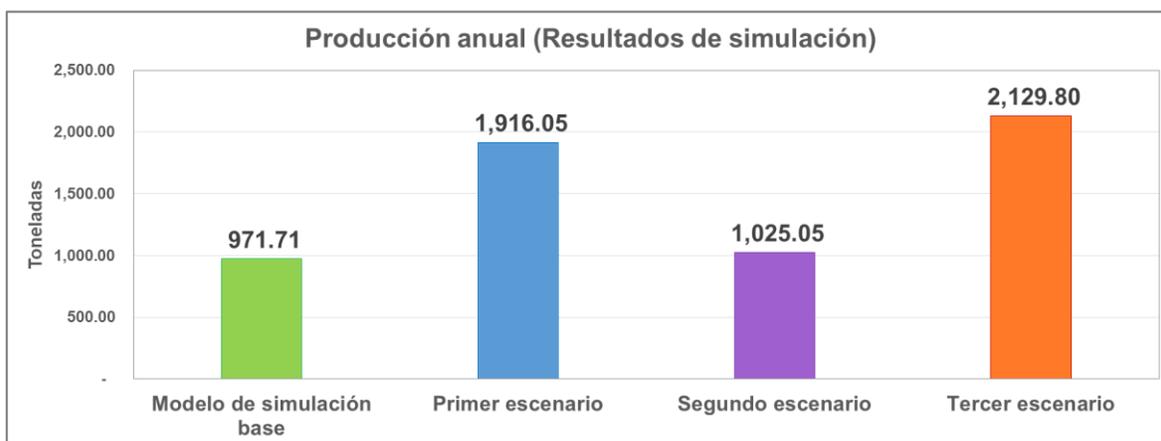


Figura 39. Resultados de un año de simulación del sistema de producción bajo el modelo de simulación base y los escenarios de mejora (elaboración propia).

Con la información obtenida a través de la simulación de cada uno de los escenarios de mejora, el mayor incremento en la capacidad del sistema de producción respecto al modelo de simulación base es del **119.18%** y se atribuye al tercer escenario de mejora, sin embargo, con los resultados del primer y segundo escenario de mejora se identificó que el factor que determina un mayor incremento en la capacidad del sistema de producción corresponde a implementar un segundo productor, que incrementa la producción en un **95.87%** respecto al modelo de simulación base, dado que, únicamente la instalación de tres tolvas adicionales incrementa solo en **5.49%** la capacidad de producción respecto al modelo de simulación base.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

4.1 Conclusiones

La oportunidad que concedió la empresa AGROVIX S.P.R. de R.L para estudiar y conocer el sistema general de la planta, permitió a los autores generar un modelo de simulación base con ayuda del software ProModel®, para imitar el comportamiento actual del sistema de producción de la empresa.

Se verificó y validó el comportamiento del modelo de simulación base, a través, de un análisis comparativo, entre los registros históricos proporcionados por la empresa y los resultados obtenidos mediante simulación.

Para incrementar la capacidad del sistema de producción de la planta, en conjunto con los miembros de la alta dirección de AGROVIX S.P.R. de R.L, se concretaron propuestas factibles y de interés para la empresa, las cuales fueron:

- Implementación de un segundo productor (primer escenario de mejora).
- Instalación de tres tolvas adicionales y asignación de un solo productor (segundo escenario de mejora).
- Instalación de tres tolvas adicionales e implementación de dos productores (tercer escenario de mejora).

Del modelo de simulación base fue posible construir escenarios que representan las propuestas de mejora para incrementar la capacidad del sistema de producción de la empresa y con los resultados de la simulación de los diferentes escenarios fue posible evaluar cada propuesta y realizar un análisis comparativo con el modelo de simulación base.

Se identificó que con el tercer escenario de mejora se espera el mayor incremento en la capacidad de producción, también se observó que el factor más importante que determina el mayor incremento en la producción corresponde a la implementación de un segundo productor.

El modelo de simulación con el software ProModel®, se implementó con éxito como una herramienta factible para mejorar el análisis en el proceso de toma de decisiones y resultó eficaz en la evaluación de diferentes propuestas para incrementar la capacidad de producción de la empresa AGROVIX S.P.R. de R.L.

La alta dirección al comprender la viabilidad del modelo de simulación, solicitó que se llevará a cabo el desarrollo de nuevos modelos para evaluar diferentes propuestas encaminadas al cumplimiento de objetivos en producción sobre un proyecto a corto plazo. Esto comprobó la efectividad del modelo de simulación como una herramienta de análisis en el proceso de toma de decisiones.

4.2 Sugerencias

Para desarrollar el presente trabajo, se realizó un estudio de macromovimientos, es decir, se examinó al sistema desde una perspectiva general. Los autores sugieren analizar los micromovimientos para alimentar al modelo, con información más detallada que permitirá modelar situaciones más complejas y eso será de utilidad para optimizar cada una de las actividades del proceso de producción.

Se sugiere incluir al modelo de simulación, la información correspondiente a los costos de operación, con el objetivo de calcular los costos asociados con la implementación de cada escenario y evaluar el impacto económico esperado de un cambio en el sistema.

Finalmente, se sugiere que la empresa designe a una persona comprometida para aprender y hacer uso del simulador, que estudie el sistema y colabore en conjunto con la alta dirección para proponer escenarios y ser capaz de modelarlos.

REFERENCIAS

- Begoña, V. (2012). *Modelos y métodos de simulación estocástica. Aplicación en la valoración de opciones financieras*. Universidad Complutense de Madrid. <https://docplayer.es/8809130-Modelos-y-metodos-de-simulacion-estocastica-aplicacion-en-la-valoracion-de-opciones-financieras.html>.
- Coss Bu, R. (2003). *Simulación un enfoque práctico*. Editorial Limusa. https://books.google.com.mx/books?id=iY6dl3E0FNUC&printsec=copyright&hl=es&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.
- De la Peña Zarzuelo, I. (2018). *Historia, Evolución y Perfectivas de utilización de técnicas de simulación en la Gestión Portuaria: Aplicaciones en el análisis de operaciones, estrategias y planificación portuaria* [Tesis doctoral, Universidade da Coruña]. <http://hdl.handle.net/2183/20927>.
- Diuza Vallejo, R. D. (2016). *Diseño de una metodología para el uso de la simulación como herramienta para la enseñanza de la gestión de operaciones en la cadena de suministro* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Occidente]. <http://red.uao.edu.co/handle/10614/8840>.
- Franklin, E. (2011). Toma de decisiones empresariales. *Contabilidad y negocios*, 6(11), 113 – 120. <https://www.redalyc.org/pdf/2816/281622820010.pdf>.
- Fullana Belda, C. y Urquía Grande, E., (2009). Los modelos de simulación: Una herramienta multidisciplinar de investigación. *Encuentros Multidisciplinares*, 11(32), 37 – 48. <https://repositorio.uam.es/handle/10486/679256>.
- García Dunna, E., García Reyes, E. y Cárdenas Barrón, L. E. (2013). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*. Pearson.

- Goldsman, D., Nance, R. E. y Wilson, J.R. (2009). *A brief history of simulation* Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference. (pp. 310 – 313) <http://www.informs-sim.org/wsc09papers/028.pdf>.
- Hernández, T. (2017). *Modelación sistémica de un proceso metalmecánico por simulación del paradigma de producción esbelta* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/25413>.
- Koontz, H., Wehrich, H. y Cannice, M. (2012). *Administración Una Perspectiva Global Y Empresarial*. (13ª ed., Trad. Ortiz Staines, M.). Mc Graw Hill. (Trabajo original publicado en 1988)
- Llinás Solano, H. (2010). *Estadística Inferencial*. (3ª ed.). Ediciones Uninorte.
- Meyer, P. L. (1992). *Probabilidad y aplicaciones estadísticas*. (2ª ed., Trad. Prados Campos, C., Ardila Cuellar, G., Esparza, S. y Montes de Oca, R.). Addison - Wesley Iberoamericana. (Trabajo original publicado en 1970).
- Meyers, F. E. (2000). *Estudio de tiempos y movimientos para la manufactura ágil*. (2ª ed., Trad. Sánchez García, G.). Pearson. (Trabajo original publicado en 1999).
- Mood, A., Graybill, F. y Boes, D. C. (1974). *Introduction to the theory of statistics* [Introducción a la teoría de la estadística]. McGraw Hill.
- Moody, P.E. (1991). *Toma de decisiones gerenciales*. Mc Graw Hill.
- Naylor, T. H. (1982). *Técnicas de simulación en computadoras*. Limusa.
- Niebel, B. W. y Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo*. (12ª ed., Trad. Cordero, C. R. y Murrieta, J. E.). Mc Graw Hill.
- Peinado, L. (2018). *Propuesta de mejora en el proceso de estudios de los proyectos de inversión, de la empresa Sedam Huancayo* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/625880>.
- Pérez Rodríguez, R. y Hernández Aguirre, A. (2018). *Simulación de procesos de producción en configuración jobshop*. Comunicaciones del CIMAT. <https://www.cimat.mx/reportes/enlinea/l-18-02.pdf>.

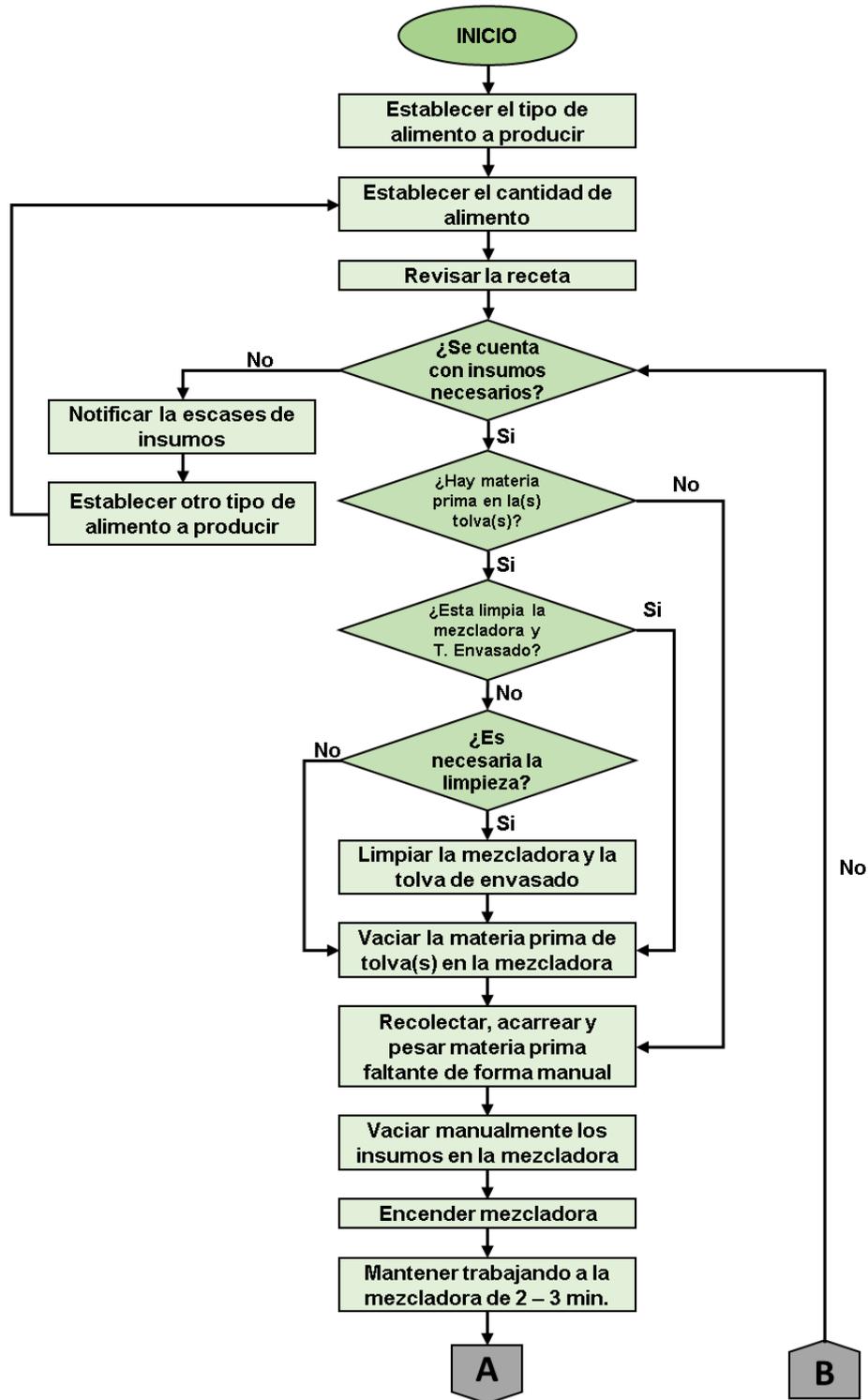
- Pilar, J. V. (2011). *Herramientas para la gestión y la toma de decisiones* (2ª ed.) Hanne. https://www.jorgepilar.com/assets/pdf/Herramientas-para-la-gestion_2-edic_Jorge-Pilar.pdf
- Reynoso, J. (2018). *Aplicación de la simulación de sistemas para reducir la formación de colas en pizza Palace, Lima-2018* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/695>.
- Rivera Rodríguez, J.C. (2016). El uso de la simulación para apoyar la toma de decisiones organizacionales. *Revista Ensayos*, 9(1), 70 – 84. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ensayos/article/view/62075>.
- Robbins, S. y Coulter, M. (2005). *Administración*. (8ª ed., Trad. Dávila Martínez, J. y Sánchez Carrión, M.). Pearson. (Trabajo original publicado en 2005).
- Shannon, R. E. (1988) *Simulación de Sistemas*. Trillas.
- Thompson y Strickland (1998) *Dirección y administración estratégicas*. Mc Graw-Hill.
- Torralba, M. (2017). *Modelo de simulación para el área de envasado de la purificadora manantial San Sebastián* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de la Mixteca]. http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/13967.pdf.
- Triola, M. F. (2009). *Estadística*. (10ª ed., Trad. Pineda Ayala, E., Hernández Ramírez, R.). Pearson. (Trabajo original publicado en 2008).
- Wackerly, D., Mendenhall, W. y Scheaffer, R. (2010). *Estadística matemática con aplicaciones*. (7ª ed., Trad. J. H., Romo Muñoz). Cengage Learning. (Trabajo original publicado en 2008).
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. M. y Ye, K. (2007). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. (8ª ed., Trad. Enríquez, J. y Flores, V.). Pearson. (Trabajo original publicado en 2007).
- Wiig, K. (2003). *A knowledge model for situation-handling*. Knowledge Research Institute, Inc.

BIBLIOGRAFÍA

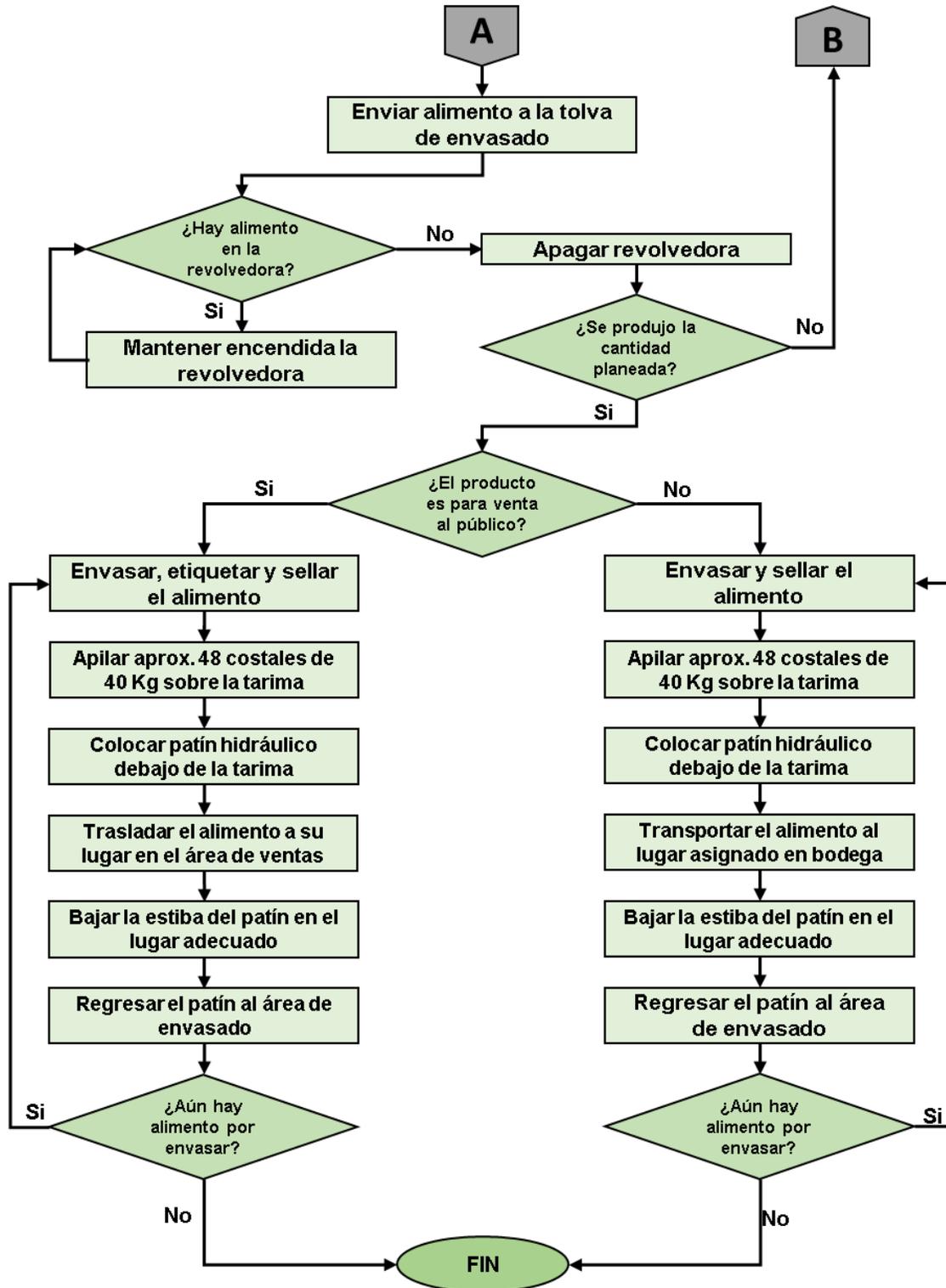
- Canales, R., 2015. CRITERIOS PARA LA TOMA DE DECISIÓN DE INVERSIONES. *Abriendo camino al conocimiento*, (5), pp.103-116.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (18 de febrero de 2015). *Esperanza de vida de los negocios en México*.
<https://www.inegi.org.mx/temas/evnm/>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (septiembre 2019) *Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (ENAPROCE) 2018*.
<https://www.inegi.org.mx/programas/enaproce/2018/default.html#Documentacion>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (16 de julio de 2020). **INEGI presenta los resultados definitivos de los censos económicos 2019**.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/OtrTemEcon/CenEconResDef2019_Nal.pdf.
- Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Día de las Microempresas y las Pequeñas y Medianas Empresas 27 de junio*.
<https://www.un.org/es/observances/micro-small-medium-businesses-day>.

ANEXOS

ANEXO 1. Diagrama de flujo



ANEXO 1. Diagrama de flujo (Continuación)



ANEXO 5. Base de datos de los tiempos de las principales operaciones del proceso

TIEMPOS DE LAS ACTIVIDADES PRINCIPALES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN (SEGUNDOS)									
Muestra	Alimento	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	OP6	OP7	OP11
1	(17)	-	-	1,243.00	465.00	55.25	262.00	134.00	2,280.75
2	(17)	-	-	886.00	626.00	51.26	237.00	121.25	358.49
3	(7)	1,327.00	540.00	872.00	81.00	63.00	196.00	127.00	334.00
4	(3)	425.54	231.18	394.00	72.00	42.40	202.00	129.00	2,343.88
5	(4)	459.00	303.00	657.00	269.00	76.00	133.00	127.00	384.00
6	(5)	-	-	425.00	209.00	54.08	266.00	125.00	1,500.92
7	(15)	422.05	328.17	1,291.00	-	32.51	135.00	133.00	289.27
8	(15)	-	-	1,027.00	291.00	33.62	150.00	121.00	2,997.38
9	(11)	427.00	416.43	-	423.00	27.18	-	120.72	343.67
10	(11)	-	-	915.00	419.00	62.00	215.00	125.00	870.00
11	(9)	336.95	236.80	1,000.00	347.00	30.43	236.00	132.00	318.82
12	(9)	-	-	594.00	322.00	32.42	247.00	116.33	206.25
13	(9)	-	-	636.00	476.00	30.91	257.00	122.49	675.60
14	(9)	-	-	461.00	372.00	64.00	246.00	115.00	730.00
15	(9)	347.40	256.73	1,026.00	450.00	71.00	171.00	121.18	297.69
16	(9)	-	-	219.00	554.00	33.94	223.00	130.00	588.06
17	(10)	473.00	193.00	900.00	606.00	28.14	222.00	124.00	193.86
18	(10)	-	-	848.00	443.00	31.60	107.00	123.63	329.77
19	(15)	349.00	172.00	511.00	221.00	42.06	139.00	122.71	354.23
20	(17)	376.66	182.50	555.00	435.00	38.21	165.00	125.54	140.09
21	(19)	290.53	313.42	681.00	607.00	47.29	179.00	127.00	454.76
22	(16)	348.00	226.00	1,135.00	434.00	44.58	238.00	131.00	803.42
23	(3)	269.00	221.00	779.00	116.00	58.57	174.00	117.53	-
24	(3)	-	-	304.00	97.00	38.87	136.00	103.00	281.13
25	(3)	-	-	392.00	177.00	54.04	116.00	122.00	98.96
26	(3)	-	-	216.00	117.00	59.35	132.00	112.00	323.65
27	(5)	380.68	264.02	350.00	109.00	52.16	233.00	114.00	177.14
28	(5)	-	-	149.00	86.00	49.49	200.00	124.00	411.51
29	(18)	377.38	277.84	-	558.00	36.18	214.00	120.12	208.48

ANEXO 5. Base de datos de los tiempos de las principales operaciones del proceso (continuación)

TIEMPOS DE LAS ACTIVIDADES PRINCIPALES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN (SEGUNDOS)									
Muestra	Alimento	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	OP6	OP7	OP11
30	(18)	-	-	372.00	574.00	29.12	199.00	123.31	22.57
31	(15)	473.84	339.26	949.00	399.00	40.99	154.00	123.00	100.91
32	(15)	-	-	374.00	372.00	33.00	127.00	125.00	529.00
33	(14)	390.62	319.59	1,052.00	493.00	14.57	205.00	123.00	162.22
34	(14)	-	-	342.00	413.00	27.13	235.00	124.00	178.87
35	(14)	450.73	361.70	1,280.00	570.00	29.33	128.00	128.00	3,352.24
36	(14)	-	-	169.00	620.00	21.43	211.00	123.00	835.57
37	(2)	343.95	268.42	718.00	515.00	-	193.00	137.00	224.63
38	(2)	-	-	625.00	537.00	-	217.00	126.00	1,255.00
39	(6)	-	-	541.67	414.55	-	142.58	118.32	522.88
40	(13)	286.23	233.76	590.32	335.10	66.76	162.99	119.45	313.39
41	(5)	490.43	292.95	622.62	167.84	-	127.65	114.56	353.95
42	(5)	-	-	697.04	218.26	-	136.47	110.40	1,507.83
43	(1)	324.36	240.03	763.23	545.74	-	143.93	137.70	236.01
44	(1)	-	-	584.06	528.04	-	147.32	125.97	276.61
45	(14)	320.00	198.66	564.74	520.27	29.78	110.58	131.76	83.21
46	(5)	429.29	297.92	957.47	249.59	-	153.70	108.65	198.38
47	(5)	-	-	312.97	200.56	-	126.43	113.39	188.65
48	(5)	-	-	306.93	272.21	-	155.77	109.22	68.87
49	(5)	-	-	418.38	223.97	-	168.59	118.13	447.93
50	(4)	308.39	211.19	952.24	290.41	-	159.70	112.04	486.03
51	(4)	-	-	454.11	251.08	-	177.82	109.74	55.25
52	(4)	-	-	411.63	197.47	-	111.94	116.60	99.36
53	(4)	-	-	183.59	222.73	-	140.05	107.00	109.63
54	(4)	-	-	247.88	201.52	-	164.48	132.66	164.46
55	(3)	357.87	205.28	738.72	123.78	-	145.25	119.52	65.58
56	(3)	-	-	328.25	177.46	-	140.46	114.04	48.79
57	(3)	-	-	346.32	219.68	-	120.57	113.08	27.35
58	(3)	-	-	410.89	203.81	-	110.28	126.76	282.26

ANEXO 6. Base de datos de los registros de ventas

Fecha	Muestra	Cliente	Hora de llegada	Tiempo de espera	Tipo de alimento	Cantidad (kg)	Núm. De costales	Tiempo de atención	Hora de salida	Tiempo entre llegadas
03/03/2020	1	1	09:27 a. m.	0	(5)(7)	80,80	2,2	300.00	09:32:00 a. m.	0
03/03/2020	2	2	09:32 a. m.	300	(9)	120	3	120.00	09:39:00 a. m.	300
04/03/2020	3	1	09:22 a. m.	0	(8)(6)	80,80	2,2	301.00	09:27:01 a. m.	0
04/03/2020	4	2	11:25 a. m.	148	(5), C	80,150	2,3	241.00	11:31:29 a. m.	7380
04/03/2020	5	3	11:53 a. m.	0	(9)	1000	25	402.00	11:59:42 a. m.	1680
09/03/2020	6	1	09:42 a. m.	0	(1)	120	3	240.00	09:46:00 a. m.	0
09/03/2020	7	2	10:25 a. m.	0	(3)	40	1	27.61	10:25:28 a. m.	2580
09/03/2020	8	3	10:54 a. m.	0	(3)	120	3	143.00	10:56:23 a. m.	1740
09/03/2020	9	4	11:01 a. m.	0	(11)(10)	240,160	6,4	137.00	11:03:17 a. m.	420
09/03/2020	10	5	11:02 a. m.	137	(7)(4)	40,40	1,1	72.00	11:05:29 a. m.	60
09/03/2020	11	6	11:11 a. m.	0	(10)	40	1	47.72	11:11:48 a. m.	540
09/03/2020	12	7	11:20 a. m.	0	(3)	320	8	128.00	11:22:08 a. m.	540
09/03/2020	13	8	11:35 a. m.	0	(15)	40	1	56.60	11:35:57 a. m.	900
09/03/2020	14	9	11:39 a. m.	0	(9)(10)	120,40	3,1	190.00	11:42:10 a. m.	240
09/03/2020	15	10	11:59 a. m.	0	(5)	120	3	160.00	12:01:40 p. m.	1200
09/03/2020	16	11	01:14 p. m.	0	(4)(5)	40,40	1,1	135.00	01:16:15 p. m.	4500
09/03/2020	17	12	01:39 p. m.	0	(14)(5)	80,80	2,2	325.00	01:44:25 p. m.	1500
09/03/2020	18	13	01:51 p. m.	0	(3)(5)	80,80	2,2	118.00	01:52:58 p. m.	720
09/03/2020	19	14	03:34 p. m.	0	(3)(8)	40,40	1,1	165.00	03:36:45 p. m.	2580
09/03/2020	20	15	03:44 p. m.	0	(4)(8)	160,40	4,1	212.00	03:47:32 p. m.	600
09/03/2020	21	16	03:45 p. m.	0	(14)	80	2	53.00	03:45:53 p. m.	60
09/03/2020	22	17	04:13 p. m.	0	(4)	120	3	222.00	04:16:42 p. m.	1680
09/03/2020	23	18	04:43 p. m.	0	(3)(5)	80,80	2,2	184.00	04:46:04 p. m.	1800
09/03/2020	24	19	04:50 p. m.	0	(5)	120	3	180.00	04:53:00 p. m.	420
09/03/2020	25	20	05:29 p. m.	0	(7)	120	3	200.00	05:32:20 p. m.	2340

Nota: El registro de los tiempos de espera, tiempos de atención y tiempos entre llegadas se expresan en segundos.

ANEXO 6. Base de datos de los registros de ventas (continuación)

Fecha	Muestra	Cliente	Hora de llegada	Tiempo de espera	Tipo de alimento	Cantidad (kg)	Núm. De costales	Tiempo de atención	Hora de salida	Tiempo entre llegadas
10/03/2020	26	1	12:16 p. m.	0	(5)	120	3	111.00	12:17:51 p. m.	0
10/03/2020	27	2	01:28 p. m.	0	(5)	80	2	85.00	01:29:25 p. m.	4320
10/03/2020	28	3	01:40 p. m.	0	(9)	120	3	221.00	01:43:41 p. m.	720
10/03/2020	29	4	04:16 p. m.	0	(1)(11)	40,40	1,1	145.00	04:18:25 p. m.	6960
11/03/2020	30	1	11:47 a. m.	0	(11)	120	3	259.00	11:51:19 a. m.	0
11/03/2020	31	2	01:21 p. m.	0	(11)	80	2	93.00	01:22:33 p. m.	5640
11/03/2020	32	3	01:42 p. m.	0	(5)	80	2	62.00	01:43:02 p. m.	1260
11/03/2020	33	4	01:50 p. m.	0	(6)	40	1	57.67	01:50:58 p. m.	480
11/03/2020	34	5	04:05 p. m.	0	(14)	560	14	591.00	04:14:51 p. m.	4500
16/03/2020	35	1	09:26 a. m.	0	(5)(6)	40,40	1,1	100.00	09:27:40 a. m.	0
16/03/2020	36	2	09:58 a. m.	0	(3)(5)	40,40	1,1	67.00	09:59:07 a. m.	1920
16/03/2020	37	3	10:30 a. m.	0	(9)	40	1	56.31	10:30:56 a. m.	1920
16/03/2020	38	4	10:33 a. m.	0	(2)	40	1	37.02	10:33:37 a. m.	180
16/03/2020	39	5	10:46 a. m.	0	(11)	200	5	142.00	10:48:22 a. m.	780
16/03/2020	40	6	10:51 a. m.	0	(1)	40	1	30.98	10:51:31 a. m.	300
16/03/2020	41	7	11:01 a. m.	0	(14)	40	1	37.42	11:01:37 a. m.	600
16/03/2020	42	8	11:18 a. m.	0	(2)	40	1	42.41	11:18:42 a. m.	1020
16/03/2020	43	9	11:46 a. m.	0	(13)	40	1	41.83	11:46:42 a. m.	1680
16/03/2020	44	10	11:50 a. m.	0	(13)	40	1	44.92	11:50:45 a. m.	240
16/03/2020	45	11	12:46 p. m.	0	(14)	80	2	88.00	12:47:28 p. m.	3360
16/03/2020	46	12	01:15 p. m.	0	(9)	40	1	55.72	01:15:56 p. m.	1740
16/03/2020	47	13	01:18 p. m.	0	(5)	40	1	38.11	01:18:38 p. m.	180
16/03/2020	48	14	01:26 p. m.	0	(14)	160	4	204.00	01:29:24 p. m.	480
16/03/2020	49	15	01:40 p. m.	0	(15)	80	2	140.00	01:42:20 p. m.	840
16/03/2020	50	16	01:45 p. m.	0	(5)	40	1	33.19	01:45:33 p. m.	300

Nota: El registro de los tiempos de espera, tiempos de atención y tiempos entre llegadas se expresan en segundos.

ANEXO 6. Base de datos de los registros de ventas (continuación)

Fecha	Muestra	Cliente	Hora de llegada	Tiempo de espera	Tipo de alimento	Cantidad (kg)	Núm. De costales	Tiempo de atención	Hora de salida	Tiempo entre llegadas
17/03/2020	51	1	09:24 a. m.	0	(11)	40	1	48.67	09:24:49 a. m.	0
17/03/2020	52	2	09:34 a. m.	0	(13)	40	1	40.32	09:34:40 a. m.	600
17/03/2020	53	3	10:22 a. m.	0	(14)	80	2	50.94	10:22:51 a. m.	2880
17/03/2020	54	4	10:32 a. m.	0	(5), B	160,40	4,1	266.00	10:36:26 a. m.	600
17/03/2020	55	5	10:42 a. m.	0	(14)	80	2	55.18	10:42:55 a. m.	600
17/03/2020	56	6	11:45 a. m.	0	(9)	120	3	135.00	11:47:15 a. m.	3780
17/03/2020	57	7	12:15 p. m.	0	(7)	120	3	107.00	12:16:47 p. m.	1800
17/03/2020	58	8	01:32 p. m.	0	(5)	80	2	54.00	01:32:54 p. m.	4620
17/03/2020	59	9	01:50 p. m.	0	(3)(4)(5)	120,280,200	3,7,5	506.00	01:58:26 p. m.	1080
07/04/2020	60	1	09:13 a. m.	0	(6)	80	2	70.25	09:14:10 a. m.	0
07/04/2020	61	2	09:55 a. m.	0	(9)	40	1	32.03	09:55:32 a. m.	2520
07/04/2020	62	3	11:12 a. m.	0	(11)	240	6	118.61	11:13:59 a. m.	4620
07/04/2020	63	4	12:28 p. m.	0	(9)	80	2	72.34	12:29:12 p. m.	4560
07/04/2020	64	5	12:29 p. m.	78	(5)	240	6	86.13	12:31:44 p. m.	60
07/04/2020	65	6	12:33 p. m.	147	(15)	120	3	82.39	12:36:49 p. m.	240
07/04/2020	66	7	01:09 p. m.	0	(9)	40	1	27.69	01:09:28 p. m.	2160
07/04/2020	67	8	01:47 p. m.	0	(14)	160	4	143.80	01:49:24 p. m.	2280
07/04/2020	68	9	01:57 p. m.	0	(11)	40	1	45.34	01:57:45 p. m.	600
07/04/2020	69	10	03:54 p. m.	0	(4)	80	2	55.83	03:54:56 p. m.	3420
07/04/2020	70	11	04:04 p. m.	0	(3)	80	2	52.17	04:04:52 p. m.	600
07/04/2020	71	12	05:45 p. m.	0	(9)	80	2	51.35	05:45:51 p. m.	6060
08/04/2020	72	1	09:00 a. m.	0	(11)	40	1	33.42	09:00:33 a. m.	0
08/04/2020	73	2	09:15 a. m.	0	(8)	40	1	35.55	09:15:36 a. m.	900

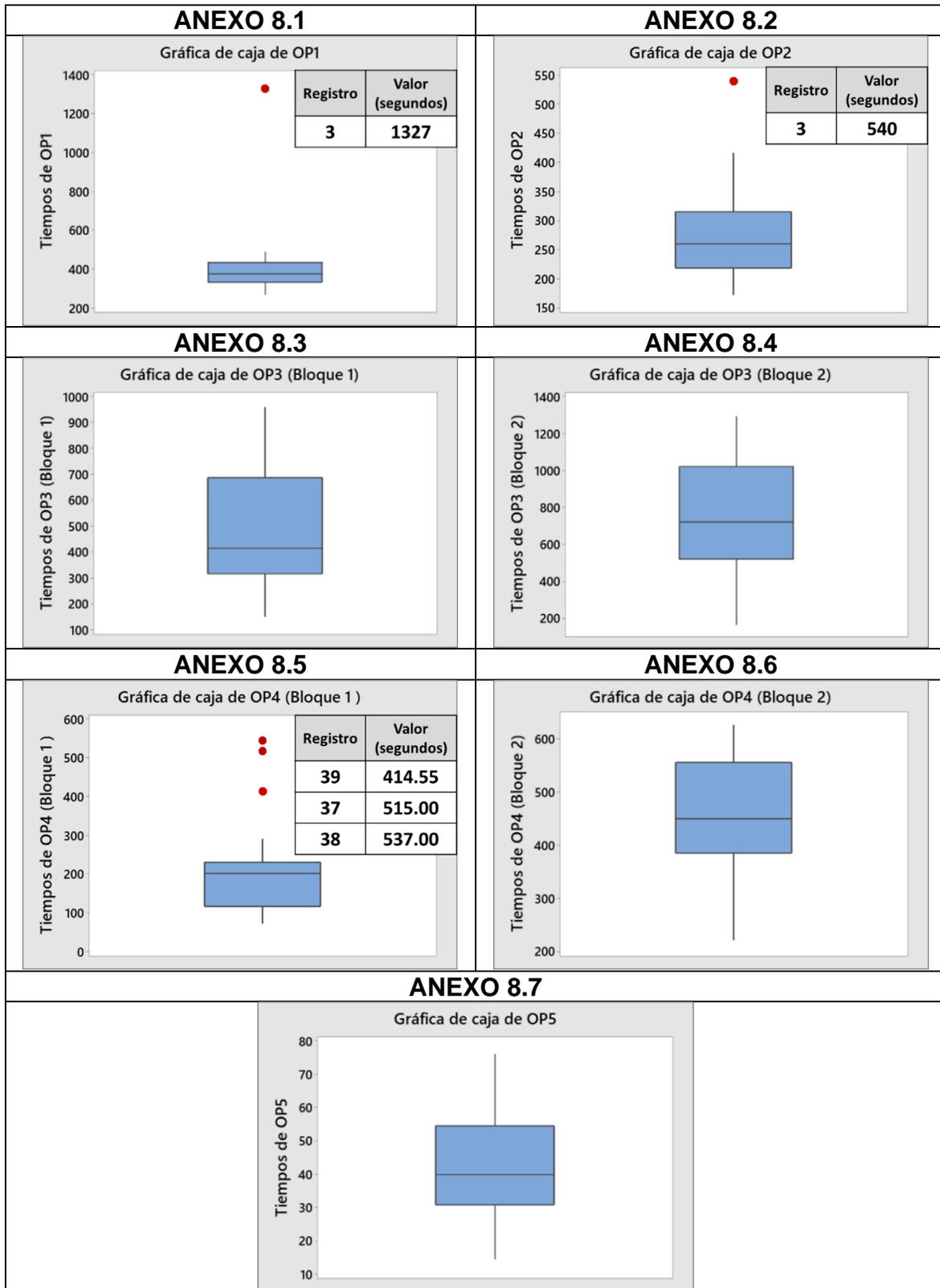
Nota: El registro de los tiempos de espera, tiempos de atención y tiempos entre llegadas se expresan en segundos.

ANEXO 7. Base de datos de los tiempos de llenar, etiquetar, sellar y estibar costales

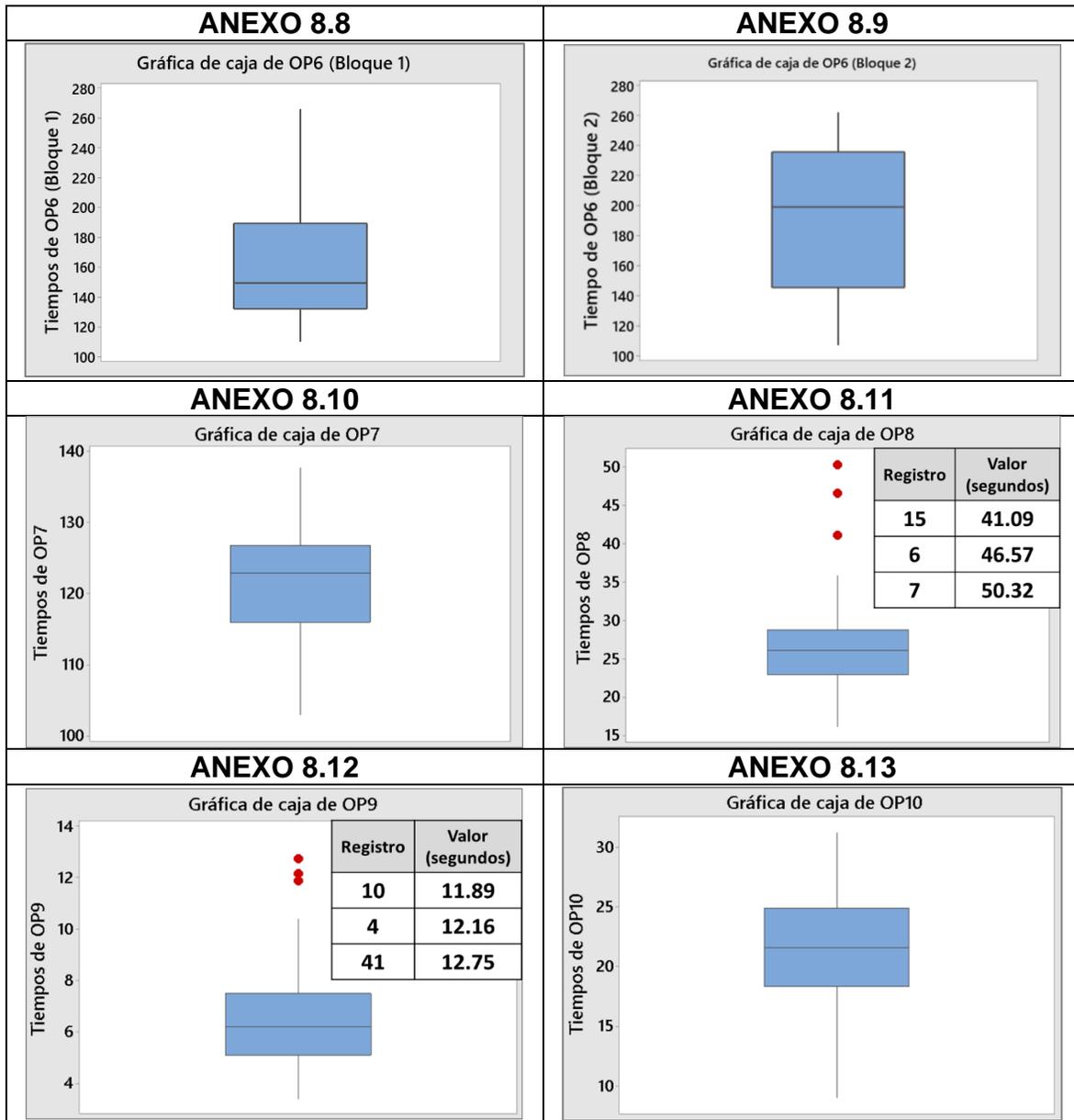
TIEMPO DE OPERACIONES FINALES (SEGUNDOS)			
Muestra	OP8	OP9	OP10
1	35.32	9.21	16.60
2	26.47	5.06	27.35
3	24.30	6.92	31.00
4	27.47	12.16	16.71
5	25.02	7.35	21.99
6	46.57	4.35	26.02
7	50.32	4.07	20.39
8	35.83	3.65	16.28
9	35.09	4.43	15.28
10	18.58	11.89	21.57
11	22.94	7.43	18.86
12	30.69	5.15	18.25
13	24.24	5.20	25.21
14	25.36	5.22	16.69
15	41.09	10.37	21.49
16	22.87	5.32	30.16
17	35.30	3.40	20.90
18	28.36	4.88	24.49
19	25.87	7.57	26.19
20	26.36	4.64	22.26
21	29.43	5.64	23.38
22	23.61	6.45	25.87
23	29.09	7.39	23.06
24	26.29	6.19	23.86
25	27.47	4.81	15.52
26	29.77	8.99	20.53
27	31.87	6.09	22.42

TIEMPO DE OPERACIONES FINALES (SEGUNDOS)			
Muestra	OP8	OP9	OP10
28	24.10	6.71	25.49
29	27.22	7.24	26.28
30	30.78	5.33	25.04
31	28.12	5.27	22.19
32	24.73	7.60	23.87
33	20.49	5.20	24.68
34	22.42	7.92	27.29
35	27.92	6.64	16.01
36	19.27	9.52	13.64
37	22.13	6.88	15.93
38	27.19	7.67	9.01
39	25.69	8.09	18.48
40	23.17	7.35	20.79
41	26.64	12.75	17.77
42	23.91	6.61	20.75
43	26.14	4.43	19.39
44	18.62	5.02	31.21
45	20.27	7.00	22.90
46	20.29	6.19	27.04
47	22.45	5.36	24.74
48	16.15	5.16	20.09
49	18.50	4.48	21.20
50	20.00	4.17	22.79
51	28.50	6.96	15.26
52	26.73	8.71	20.83
53	24.74	6.19	20.12

ANEXO 8. GRÁFICA DE CAJAS POR OPERACIÓN



ANEXO 8. GRÁFICA DE CAJAS POR OPERACIÓN (Continuación)



ANEXO 9. VIEW TEXT

Locations							
Name	Cap	Units	Stats	Rules	Cost		
Tolva_Almacen	INF	1		Time Series Oldest, , First			
Mezcladora	1	1		Time Series Oldest, ,			
Bascula_Digital	1	1		Time Series Oldest, ,			
Tolva_Envasado	INF	1		Time Series Oldest, ,			
Estiba_MP	INF	1		Time Series Oldest, ,			
Elevador_Envasado	1	1		Time Series Oldest, FIFO,			
Envasadora	1000	1		Time Series Oldest, ,			
Maquina_de_coser	1	1		Time Series Oldest, ,			
Tarima	50	1		Time Series Oldest, ,			
Estiba_CONSUMO	1	1		Time Series Oldest, ,			
Estiba_VENTA	1	1		Time Series Oldest, , First			
Bascula	1	1		Time Series Oldest, ,			
Vaciar_MP	1	1		Time Series Oldest, ,			
Linea_clientes	INFINITE	1		Time Series Oldest, FIFO,			
Atencion	1	1		Time Series Oldest, ,			
Entities							
Name	Speed (fpm)	Stats		Cost			
Mat_Prima	0			Time Series			
MP_Tolva	0			Time Series			
Alimento	0			Time Series			
Costal	0			Time Series			
Estiba	0			Time Series			
Cliente	150			Time Series			
Path Networks							
Name	Type	T/S	From	To	BI	Dist/Time	Speed Factor
Produccion	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	6.42	1
			N2	N3	Bi	21.85	1
			N2	N4	Bi	2.57	1
			N4	N5	Bi	2.00	1
			N4	N6	Bi	22.89	1
			N6	N7	Bi	2.42	1
			N1	N8	Bi	12.42	1
			N9	N10	Bi	1.57	1
			N2	N8	Bi	13.99	1
			N3	N8	Bi	11.41	1
			N1	N3	Bi	22.78	1
			N8	N11	Bi	7.14	1
			N11	N9	Bi	7.14	1
			N9	N12	Bi	1.14	1
			N12	N13	Bi	7.14	1
			N13	N14	Bi	2.71	1
Carga_Descarga	Passing	Speed & Distance	N11	N13	Bi	1.14	1
			N1	N2	Bi	9.28	1
			N2	N3	Bi	5.00	1
			N3	N4	Bi	13.42	1
			N5	N6	Bi	4.00	1
			N5	N7	Bi	5.57	1
			N4	N7	Bi	6.71	1
			N1	N8	Bi	12.00	1
			N8	N9	Bi	4.60	1
			N9	N10	Bi	6.28	1
			N10	N11	Bi	8.18	1
			N11	N12	Bi	3.28	1
N12	N13	Bi	4.71	1			

ANEXO 9. VIEW TEXT (Continuación)

Resources							
Name	Units	Stats	Res Search	Ent Path	Motion	Cost	
Productor	1	By Unit	Closest	Oldest	Produccion	Empty: 290 fpm	
Patin	1	By Unit	Closest	Oldest	Home: N1 Carga_Descarga Home: N1 (Return)	Full: 290 fpm Empty: 136 fpm Full: 58.820866 fpm	
Arrivals							
Entity	Location	Qty	Each	First Time	Occurrences	Frequency	Logic
Mat_Prima	Estiba_MP	500		0		1	
MP_Tolva	Tolva_Almacen	500		0		1	
Cliente	Linea_clientes	1		E(1519) SEC	INF	E(1519) SEC	
Variables (global)							
ID	Type	initialvalue	Stats	ID	Type	initialvalue	Stats
Bloque	Integer	0	Time Series	Alimento_13	Integer	0	Time Series
Cant_clientes	Integer	0	Time Series	Alimento_14	Integer	0	Time Series
Cant_costales	Integer	0	Time Series	Alimento_15	Integer	0	Time Series
Tipo_carga	Integer	0	Time Series	Alimento_16	Integer	0	Time Series
Cantidad_Demanda	Integer	0	Time Series	Alimento_17	Integer	0	Time Series
Tipo_demanda	Integer	0	Time Series	Alimento_18	Integer	0	Time Series
Orden_urgente	Integer	0	Time Series	Alimento_19	Integer	0	Time Series
Tipo	Integer	Distribucion_1()	Time Series	C1	Integer	25	Time Series
Mat_A	Real	0	Time Series	C2	Integer	25	Time Series
Mat_B	Real	0	Time Series	C3	Integer	25	Time Series
Mat_C	Real	0	Time Series	C4	Integer	25	Time Series
Mat_D	Real	0	Time Series	C5	Integer	25	Time Series
Mat_E	Real	0	Time Series	C6	Integer	25	Time Series
Mat_F	Real	0	Time Series	C7	Integer	25	Time Series
Mat_G	Real	0	Time Series	C8	Integer	25	Time Series
Mat_H	Real	0	Time Series	C9	Integer	25	Time Series
Mat_I	Real	0	Time Series	C10	Integer	25	Time Series
Mat_J	Real	0	Time Series	C11	Integer	25	Time Series
Mat_K	Real	0	Time Series	C12	Integer	25	Time Series
Mat_L	Real	0	Time Series	C13	Integer	25	Time Series
Mat_M	Real	0	Time Series	C14	Integer	25	Time Series
Mat_N	Real	0	Time Series	C15	Integer	25	Time Series
Mat_O	Real	0	Time Series	C16	Integer	25	Time Series
Mat_P	Real	0	Time Series	C17	Integer	0	Time Series
Mat_Q	Real	0	Time Series	C18	Integer	0	Time Series
Mat_R	Real	0	Time Series	C19	Integer	0	Time Series
Mat_S	Real	0	Time Series	VENTAS_1	Integer	0	Time Series
Mat_T	Real	0	Time Series	VENTAS_2	Integer	0	Time Series
Mat_U	Real	0	Time Series	VENTAS_3	Integer	0	Time Series
Mat_V	Real	0	Time Series	VENTAS_4	Integer	0	Time Series
Alimento_1	Integer	0	Time Series	VENTAS_5	Integer	0	Time Series
Alimento_2	Integer	0	Time Series	VENTAS_6	Integer	0	Time Series
Alimento_3	Integer	0	Time Series	VENTAS_7	Integer	0	Time Series
Alimento_4	Integer	0	Time Series	VENTAS_8	Integer	0	Time Series
Alimento_5	Integer	0	Time Series	VENTAS_9	Integer	0	Time Series
Alimento_6	Integer	0	Time Series	VENTAS_10	Integer	0	Time Series
Alimento_7	Integer	0	Time Series	VENTAS_11	Integer	0	Time Series
Alimento_8	Integer	0	Time Series	VENTAS_12	Integer	0	Time Series
Alimento_9	Integer	0	Time Series	VENTAS_13	Integer	0	Time Series
Alimento_10	Integer	0	Time Series	VENTAS_14	Integer	0	Time Series
Alimento_11	Integer	0	Time Series	VENTAS_15	Integer	0	Time Series
Alimento_12	Integer	0	Time Series	VENTAS_16	Integer	0	Time Series

ANEXO 9. VIEW TEXT (Continuación)

Interfaces						
Net	Node	Location	Net	Node	Location	
Produccion	N3	Estiba_MP	Carga_Descarga	N6	Estiba_VENTA	
	N5	Bascula		N13	Estiba_CONSUMO	
	N7	Vaciar_MP		N1	Tarima	
	N1	Mezcladora				
	N1	Tolva_Almacen				
	N1	Bascula_Digital				
	N10	Elevador_Envasado				
	N10	Tolva_Envasado				
	N10	Envasadora				
	N12	Maquina_de_coser				
	N14	Tarima				
User Distributions						
ID	Type	Cumulative	Percentage	Value		
Distribucion_1	Discrete	No	1.01	1		
			4.97	2		
			7.72	3		
			7.46	4		
			11.70	5		
			1.47	6		
			3.10	7		
			0.56	8		
			13.81	9		
			4.57	10		
			3.50	11		
			3.71	12		
			5.69	13		
			9.44	14		
			4.31	15		
			0.36	16		
			14.44	17		
			1.98	18		
			0.20	19		
Distribucion_2	Discrete	No	1.329	1		
			4.732	2		
			9.225	3		
			9.727	4		
			14.271	5		
			1.875	6		
			3.517	7		
			0.681	8		
			17.244	9		
			5.058	10		
			4.305	11		
			3.845	12		
			6.790	13		
			11.746	14		
			5.295	15		
			0.360	16		
Distribucion_3	Discrete	No	28.76713	1		
			27.39726	2		
			17.80822	3		
			10.9589	4		
			5.47945	5		
			2.73973	6		
			0.36049	7		
			:	:		
0.36049	25					

ANEXO 10. Duración de las operaciones OP3 y OP4 por kilogramo

TIEMPO DE DURACIÓN (segundos)		
Muestra	OP3 – KG	OP4 – KG
1	3.5514	1.3286
2	2.5314	1.7886
3	5.6258	0.5226
4	2.8864	0.5275
5	5.6395	2.3090
6	3.1365	1.5424
7	2.9678	1.8161
8	2.3609	0.6690
9	3.5605	1.1132
10	2.4079	1.1026
11	2.8571	0.9914
12	1.6971	0.9200
13	1.8171	1.3600
14	1.3171	1.0629
15	2.9314	1.2857
16	0.6257	1.5829
17	2.6316	1.7719
18	2.4795	1.2953
19	1.1747	0.5080
20	1.5857	1.2429
21	1.8480	1.6472
22	3.0267	1.1573
23	5.7070	0.8498
24	2.2271	0.7106
25	2.8718	1.2967
26	1.5824	0.8571
27	2.5830	0.8044
28	1.0996	0.6347
29	5.1888	2.0860

TIEMPO DE DURACIÓN (segundos)		
Muestra	OP3 – KG	OP4 – KG
30	0.8043	1.2411
31	2.8541	1.2000
32	1.1248	1.1188
33	2.2746	1.0659
34	0.7395	0.8930
35	2.7676	1.2324
36	0.3654	1.3405
37	1.4360	1.0300
38	1.2500	1.0740
39	1.0833	0.8291
40	1.3563	0.7699
41	1.2452	0.3357
42	1.3941	0.4365
43	1.5265	1.0915
44	1.1681	1.0561
45	1.2211	1.1249
46	3.8299	0.9984
47	1.2519	0.8022
48	1.2277	1.0888
49	1.6735	0.8959
50	3.8090	1.1616
51	1.8164	1.0043
52	1.6465	0.7899
53	0.7344	0.8909
54	0.9915	0.8061
55	2.9549	0.4951
56	1.3130	0.7098
57	1.3853	0.8787
58	1.6436	0.8152