

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPTO. ING. INDUSTRIAL

Profesores Guía  
Iván Santelices M.  
Juan Carlos Michalus



## UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

### **“Modelado y Simulación mediante Dinámica de Sistemas del Funcionamiento General de un Establecimiento de Elaboración Primaria de Yerba Mate”**

“Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero Civil Industrial”

Abril del 2010

Lorena Del Despósito Zúñiga

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera agradecer sinceramente a todas las personas que han estado conmigo brindándome su apoyo durante la elaboración de este trabajo.

A mis profesores guía Juan Carlos Michalus e Iván Santelices M., que me han incentivado y apoyado en la exploración de Dinámica de Sistemas, un área hasta hace poco desconocida para mí, que comenzó como un gran desafío y finalmente me ha otorgado grandes satisfacciones y logros.

A los directivos y operarios de la empresa analizada, sin cuyo apoyo, comprensión y excelente voluntad no hubiera sido posible la elaboración de este trabajo.

A mis amigos, compañeros y profesores de la Universidad Nacional de Misiones y la Universidad del Bío-Bío, que estuvieron conmigo dispuestos a ayudarme y entregarme su apoyo, especialmente a los Ingenieros Raúl Figueroa B., Gabriel Lozano, Álvaro Muñoz A. y al profesor Felipe Muñoz V.

Finalmente, a mi familia, que ha constituido un apoyo fundamental e incondicional durante toda mi vida y sobre todo en esta etapa tan importante para mí.

Muchas gracias.

## RESUMEN

En este trabajo, se utilizó Dinámica de Sistemas, como una aplicación de la Ingeniería Industrial, para la elaboración de un modelo de simulación de una PYME dedicada a la Elaboración Primaria de yerba mate, ubicada en la ciudad de Oberá, Misiones, Argentina.

El modelo busca facilitar la comprensión de la estructura y funcionamiento de la empresa a partir de las influencias y realimentaciones que se producen entre las variables más importantes que componen el sistema, tanto en condiciones normales como ante cambios en el comportamiento de algunas de sus variables y/o modificaciones en las políticas utilizadas por la empresa.

Para la construcción del modelo, fueron seguidos los pasos recomendados por García (2003) y Aracil (1995). Las variables fueron determinadas mediante observación in situ, cuestionarios y entrevistas con directivos y operarios de la empresa analizada. Posteriormente fueron establecidas las ecuaciones matemáticas que describen su comportamiento. Mediante una serie de ensayos, el modelo fue evaluado, ajustando sus parámetros hasta lograr un diseño representativo de la realidad. El modelo elaborado fue finalmente validado por expertos y datos históricos disponibles.

Dinámica de Sistemas ha sido escasamente aplicada a PYMEs (GULINO et. al. 2006), sin embargo, resulta interesante su aplicación a dicho sector como ayuda a la toma de decisiones empresariales, permitiendo obtener resultados cualitativos y cuantitativos del comportamiento de la empresa sin necesidad de intervenir en el sistema real, a bajos costos y utilizando un número reducido de datos. Se presenta un análisis de la firma en condiciones normales, en condiciones desfavorables de carencia de recursos y ante el escenario particular de un aumento considerable en la demanda, proponiendo cambios para sobrellevar estas situaciones.

En condiciones normales, se muestra el comportamiento de las principales variables que rigen el modelo. De esta forma es posible apreciar cómo a partir de las políticas que gobiernan las acciones se determina el comportamiento del sistema analizado.

El escenario pesimista consiste en una disminución porcentual las variables “Disponibilidad de Materia Prima” y “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” (empresas externas), para observar cuál es el nivel mínimo de disponibilidad de recursos externos con que la empresa es capaz de satisfacer la demanda sin generar pérdidas de ventas y los cambios generados en el sistema a partir de tal situación.

Ante el escenario de aumento brusco de la demanda al doble de su valor en condiciones normales, se determinan y analizan los posibles cambios de políticas que permitirían sobrellevar los problemas generados ante tal situación de la mejor manera posible: aumento de capacidad de producción, aumento de la cantidad de jornadas de trabajo y aumento de compras a empresas externas.

Los resultados obtenidos permiten concluir que la empresa será capaz de absorber un aumento considerable de demanda en el mediano y largo plazo, sin generar pérdida de ventas al implementar la política de aumentar el “Porcentaje Deseado de Compras a Secaderos Pequeños”. En el corto plazo, la mejor medida para lograr una menor cantidad de clientes insatisfechos es realizar modificaciones en las tres políticas propuestas de manera simultánea.

## INDICE

Capítulo 1. Introducción y Objetivos.....	12
1.1 Introducción .....	12
1.2 Origen del tema .....	14
1.3 Justificación .....	14
1.4 Objetivos del Estudio .....	15
1.4.1 Objetivo General .....	15
1.4.2 Objetivos Específicos .....	16
1.5 Alcances o Ámbitos del Estudio.....	16
Capítulo 2. La Yerba Mate.....	17
2.1 Reseña Histórica .....	17
2.2 La Producción de Yerba Mate .....	19
2.3 Consumo de la Yerba Mate .....	21
2.4 Comercialización de la Yerba Mate según su grado de transformación .....	23
2.5 Propiedades de la Yerba Mate .....	24
2.6 Procesos de Elaboración de la Yerba Mate.....	25
2.6.1 Producción Primaria .....	27
2.6.1.1 Cultivo .....	27
2.6.2 Elaboración Primaria (comúnmente denominada “Secanza”) .....	28
2.6.3 Estacionamiento.....	30
2.6.4 Molienda y Envasado .....	30
2.7 Las PYMES Productoras de Yerba Mate en Argentina .....	31
Capítulo 3. Antecedentes del Establecimiento .....	33
3.1 Descripción General del Establecimiento Analizado.....	33
3.2 Funcionamiento General del Establecimiento.....	34
3.2.1 Demanda.....	34
3.2.2 Compras a empresas externas .....	34
3.2.3 Producción .....	35
3.2.4 Resumen del Funcionamiento General del Establecimiento .....	37
3.3 Procesos Productivos realizados en la empresa .....	38
3.3.1 Ingreso de materia prima .....	38
3.3.2 Proceso de Zapecado .....	39

3.3.3	Proceso de Presecado .....	41
3.3.4	Proceso de Secado .....	41
3.3.5	Proceso de Canchado .....	43
3.3.6	Proceso de Zarandeo .....	44
3.3.7	Estacionamiento .....	46
3.3.8	Despacho del Producto .....	47
3.4	Layout del Establecimiento Analizado .....	48
Capítulo 4. Metodología de Simulación Mediante Dinámica de Sistemas.....		50
4.1	Metodología General de Simulación .....	50
4.1.1	Simulación Continua .....	51
4.1.2	Simulación de Sistemas Discretos .....	52
4.2	Diferencias entre Simulación mediante Dinámica de Sistemas y Simulación por Eventos Discretos.....	52
4.3	Orígenes de Dinámica de Sistemas .....	53
4.4	Metodología General de simulación mediante Dinámica de Sistemas .....	55
4.5	Aplicaciones de Dinámica de Sistemas .....	56
4.6	Ventajas y Desventajas de Simulación mediante Dinámica de Sistemas...	58
4.7	Características básicas de los software utilizados en Dinámica de Sistemas .....	59
4.7.1	Professional DYNAMO.....	59
4.7.2	STELLA y i-think.....	59
4.7.3	PowerSim.....	59
4.7.4	VenSim.....	59
Capítulo 5: Modelado y Simulación mediante Dinámica de Sistemas.....		61
5.1	Etapas para la Elaboración de un Modelo mediante Dinámica de Sistemas .....	61
5.1.1	Definición del Problema .....	62
5.1.2	Conceptualización del Sistema .....	62
5.1.3	Formalización.....	64
5.1.4	Comportamiento del Modelo .....	65
5.1.5	Evaluación del Modelo .....	66
5.1.6	Explotación del Modelo .....	66

5.2 Elaboración del Modelo mediante Dinámica de Sistemas del Establecimiento Analizado.....	66
5.2.1 Políticas principales que rigen el comportamiento del sistema .....	67
5.2.2 Diagrama de Forrester .....	71
5.3 Descripción del Funcionamiento General del Modelo.....	73
5.3.1 Demanda.....	73
5.3.2 Materia Prima a Procesar.....	76
5.3.3 Asignación de Mano de Obra.....	79
5.3.4 Productividad .....	82
5.3.5 Producción .....	83
5.3.6 Disponibilidad de secaderos pequeños.....	84
5.3.7 Ventas .....	85
5.3.8 Costos y utilidades .....	86
5.4 Validación y evaluación del modelo.....	88
5.4.1 Análisis de sensibilidad del modelo.....	88
5.5 Análisis de escenarios mediante el modelo construido .....	102
5.5.1 Comportamiento del sistema en condiciones normales .....	102
5.5.2 Escenario Alternativo 1: Comportamiento del sistema en condiciones desfavorables.....	107
5.5.3 Escenario Alternativo 2: Aumento brusco de la demanda al doble de su valor actual.....	110
Capítulo 6. Conclusiones .....	123
6.1 Acerca de Dinámica de Sistemas .....	123
6.2 Acerca del modelo elaborado .....	123
6.3 Acerca de los escenarios alternativos planteados .....	124
6.4 Conclusión General .....	126
Referencias Bibliográficas.....	127

## INDICE DE FIGURAS

Figura N°2.1: Hoja de la yerba mate y plantaciones o “yerbales”.....	18
Figura N°2.2: Mate cebado y mate cocido.....	19
Figura N°2.3: Producción Mundial yerba canchada.....	20
Figura N°2.4: Mapa ubicación de la Ciudad de Oberá , Argentina.....	21
Figura N°2.5: Principales destinos de Exportación de la yerba mate Argentina.....	22
Figura N°2.6: Porcentajes de Producción de yerba mate según su grado de transformación. ....	24
Figura N°2.7: Proceso de Obtención de la yerba mate hasta su última Etapa de Industrialización y posterior Comercialización. ....	26
Figura N°2.8: Corte de ramas y traslado de la yerba mate en las denominadas “Ponchadas”.....	28
Figura N°2.9: Porcentaje de ventas a la molinería según tipo de secadero.....	29
Figura N°2.10: Mezcladores y envasado de la yerba mate.....	31
Figura N°3.1: Funcionamiento General del Establecimiento Analizado.....	37
Figura N°3.2: Ingreso de la yerba al proceso de elaboración primaria.....	39
Figura N°3.3: Ingreso mediante cintas transportadoras hasta la tambora de zapecado; Tambora de zapecado.....	40
Figura N°3.4: Estructura interna de aspas de las tamboras de zapecado y presecado.....	41
Figura N°3.5: Secadero de cintas e ingreso de la yerba al secadero de cintas desde la “palomera”.....	43
Figura N°3.6: Máquina canchadora y yerba canchada. ....	44
Figura N°3.7: Zaranda y salida de palos desde la zaranda. ....	44
Figura N°3.8: Yerba canchada obtenida luego del proceso de zarandeo, composición exigida por el INYM. ....	45
Figura 3.9: Transporte elevador de la yerba zarandeada hacia depósitos; Embolsado de la yerba.....	46
Figura N°3.10: Cámaras de estacionamiento y Depósitos de yerba canchada.....	47



Figura N°3.11: Carga de producto final en camiones para su posterior comercialización.....	47
Figura N°3.12: Distribución en planta del Establecimiento Analizado.....	48
Figura N°4.1: Paradigmas de la simulación.....	51
Figura N°5.1: Etapas para la elaboración de un modelo mediante Dinámica de Sistemas. ....	62
Figura N°5.2: Diagrama Causal del Establecimiento analizado.....	70
Figura N°5.3: Ejemplos de Bucle Negativo y Positivo respectivamente.....	71
Figura N°5.4: Diagrama de Forrester asociado al Secadero de yerba mate en estudio.....	72
Figura N°5.5: Variable de nivel o estado “Demanda” determinada por el flujo “Demanda Prevista” .....	73
Figura N°5.6: Distribución de Probabilidad Log- Logistic, ajustada a los datos de Demanda.....	75
Figura N°5.7: Test Andersson-Darling.....	75
Figura N°5.8: Test Chi-cuadrado.....	76
Figura N°5.9: Test Kolmogorov-Smirnov.....	76
Figura N°5.10: Función Gráfica “Variación de Demanda”.....	77
Figura N°5.11: Tabla Dinámica “Estacionalidad de Materia Prima”.....	78
Figura N°5.12: Variable de nivel o estado “Disponibilidad de Materia Prima” determinada por el flujo “Estacionalidad de Materia Prima” y variables auxiliares asociadas.....	79
Figura N°5.13: Variable de estado MO Directa y flujos que la determinan.....	79
Figura N°5.14: Variable auxiliar MOS Deseada y las variables y parámetros que la determinan.....	80
Figura N°5.15: Función Gráfica utilizada para determinar la variable MOS Deseada.....	81
Figura N°5.16: Variable de nivel “Mano de Obra Secundaria” y los flujos y variables auxiliares que la determinan.....	81
Figura N°5.17: Variables que determinan la Productividad y Horas de Producción Efectiva.....	83
Figura N°5.18: Variable de flujo “Producción” y variables auxiliares y parámetros que la determinan.....	84

Figura N°5.19: Variable de nivel “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” y los flujos y variables auxiliares que la determinan.....	84
Figura N°5.20: Variables de flujo, auxiliares y parámetros que determinan las Ventas de yerba Canchada Estacionada y Sin Estacionar.....	86
Figura N°5.21: Variables de flujo, auxiliares y parámetros que determinan las Utilidades del establecimiento.....	87
Figura N°5.22: Histograma y Frecuencia Acumulada de los máximos porcentajes de variación porcentual en la curva de “Disponibilidad de Materia Prima” permitidos por el modelo.....	90
Figura N°5.23: Comportamiento del Sistema ante diferentes porcentajes máximos de modificación de “Disponibilidad de Materia Prima” permitidos por el modelo.....	91
Figura N°5.24: Comportamiento de las variables “Producción” y “Stock de Canchada Propia” ante diferentes porcentajes de modificación de “Disponibilidad de Materia Prima” Superiores a los permitidos por el modelo.....	94
Figura N°5.25: Comportamiento de las variables “Porcentaje de Compras a Secaderos Pequeños” (CSP (%)) y “Stock Total de Canchada” ante diferentes porcentajes de modificación de “Disponibilidad de Materia Prima” Superiores a los permitidos por el modelo.....	95
Figura N°5.26: Histograma y Frecuencia Acumulada de los máximos porcentajes de variación porcentual en la curva de “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” permitidos por el modelo.....	96
Figura N°5.27: Comportamiento del Sistema ante diferentes porcentajes máximos de modificación de “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” permitidos por el modelo.....	98
Figura N°5.28: Comportamiento de las variables “Producción” y “Stock de Canchada Propia” ante diferentes porcentajes de modificación de “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” Superiores a los permitidos por el modelo.....	100
Figura N°5.29: Comportamiento de las variables “Porcentaje de Compras a Secaderos Pequeños” (CSP (%)) y “Stock Total de Canchada” ante diferentes	

porcentajes de modificación de “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” Superiores a los permitidos por el modelo.....	101
Figura N° 5.30: Comportamiento del Sistema en condiciones normales.....	103
Figura N° 5.31: Comportamiento del Sistema en condiciones normales.....	105
Figura N° 5.32: Comportamiento del Sistema en condiciones normales.....	106
Figura N° 5.33: Comportamiento generado en el Sistema ante Disminución simultánea de “Disponibilidad de Materia Prima” y “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” .....	108
Figura N° 5.34: Aumento necesario en el Porcentaje de Compras a Secaderos Pequeños ante para mantener equilibrio ante condiciones desfavorables.....	109
Figura N° 5.35: Comportamiento de las variables “Disponibilidad de Materia Prima” y “Producción” en Condiciones Normales y ante incremento de la Demanda al doble de su valor.....	112
Figura N° 5.36: Comportamiento de las variables “Mano de Obra Secundaria y “Stock de Canchada Propia” en Condiciones Normales y ante incremento de la Demanda al doble de su valor.....	113
Figura N° 5.37: Comportamiento de las variables “Disponibilidad de Secaderos Pequeños”, “Porcentaje de Compras a Secaderos Pequeños” y “Compras a Secaderos Pequeños” en Condiciones Normales y ante incremento de la Demanda al doble de su valor.....	114
Figura N° 5.38: Comportamiento de las variables “Disponibilidad de Secaderos Pequeños”, “Compras a Secaderos Pequeños” y “Pérdida de Ventas” en Condiciones Normales y ante incremento de la Demanda al doble de su valor.....	115
Figura N° 5.39 Resultados de la simulación ante incremento de la Demanda al doble de su valor original, incorporando el cambio de política propuesto.....	119
Figura N° 5.40: Resultados de la simulación ante incremento de la Demanda al doble de su valor original, incorporando el cambio de política propuesto.....	120

Figura N° 5.41 Utilidades del establecimiento en condiciones normales, ante incremento de la Demanda al doble de su valor original e incorporando el cambio de política propuesto ante el aumento de la Demanda.....121

## INDICE DE TABLAS

Tabla N°2.1: Grados de transformación de la Yerba Mate.....23

Tabla N°2.2: Tipos de secaderos utilizados en la E laboración Primaria.....29

Tabla N°3.1: Clasificación de las empresas del sector agropecuario en Argentina.....33

Tabla N°4.1: Principales diferencias entre Dinámica de Sistemas y Simulación por Eventos Discretos.....53

Tabla N°5.1: Simbología utilizada en la elaboración del modelo mediante Dinámica de Sistemas.....65

Tabla N°5.2: Costos por kilo de yerba.....87

Tabla N°5.3: Precios de venta por kilo de yerba.....88

Tabla N° 5.4: Resultados de análisis cualitativo de las alternativas propuestas.....117

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ECUACIONES UTILIZADAS EN LA ELABORACIÓN DEL MODELO.....130

ANEXO B: RESULTADOS DEL MODELO.....144

## Capítulo 1. Introducción y Objetivos

### 1.1 Introducción

Argentina es el primer productor de yerba mate a nivel mundial, abarcando más del 60 por ciento de la producción mundial, equivalente a unas 300.000 toneladas de yerba canchada por año (De Bernardi, 2007). Misiones es la principal provincia productora, abarcando el 90 por ciento del total nacional. (Parra, 2006)

La creciente globalización exige a las empresas operar en ambientes dinámicos que requieren reacciones rápidas frente a cambios en el entorno.

Es posible utilizar herramientas de Ingeniería como pronósticos o modelos matemáticos, informáticos y de simulación, para anticipar los posibles comportamientos de variables como ventas, producción, inventarios, entre otras, a un bajo costo y en poco tiempo. (Olsson Et Al., 2007 Y Domínguez Machuca et al., 1995, entre otros).

Sin embargo, para afrontar la complejidad dinámica, es necesario avanzar desde un enfoque tradicional de análisis reduccionista hacia la idea de sistemas complejos.

Dinámica de Sistemas constituye un método (Senge, 1995) que combina la Teoría General de Sistemas (TGS) y la cibernética para estudiar la complejidad de los sistemas que se retroalimentan con los resultados de sus acciones a través de un modelo (Zamorano, 2004). Esta metodología permite exponer la estructura, relaciones entre los componentes del sistema y su comportamiento en el tiempo de manera holística, no centrándose sólo en el comportamiento de variables aisladas, sino en el sistema como un todo, estudiando la sinergia del conjunto de los estados disponibles por el sistema (Forrester, 1968; García, 2003).

El objetivo de este trabajo es elaborar un modelo suficientemente representativo de una PYME típica de la región, como es la elaboración primaria de la yerba mate, que permita comprender su funcionamiento general y observar cómo las realimentaciones producidas en el seno del sistema influyen en su comportamiento general.

Dinámica de Sistemas generalmente es utilizada para modelar sistemas de tipo conceptual, donde la toma de decisiones futuras depende de comportamientos

anteriores, obteniendo resultados fundamentalmente cualitativos en relación a los posibles escenarios asociados. En este caso, se decidió utilizar esta herramienta con un enfoque más asociado a la ingeniería, adaptando el uso de la metodología para la obtención de datos cuantitativos mediante la incorporación de herramientas estadísticas al análisis, realizando el número de réplicas necesarias para superar la aleatoriedad del modelo. Esto permite determinar con un mayor nivel de confianza las posibles vías de solución ante la proposición de escenarios alternativos, observando a través del modelo los cambios y los niveles de mejora que podrían obtenerse al incorporar cambios en las políticas actuales.

Para la elaboración del modelo, se utilizará el software VenSim PLE 5.5, en su versión gratuita para uso académico desarrollada por Ventana Systems Inc.<sup>1</sup>

## 1.2 Origen del tema

El tema nace en una primera instancia, a partir de la inquietud por conocer la cultura Argentina, sus costumbres, su gente y algunos de sus procesos productivos característicos.

La Universidad del Bío-Bío, mediante el convenio existente con la Universidad Nacional de Misiones, gestó una pasantía en esta última casa de estudios, otorgando la posibilidad de conocer procesos inexistentes en Chile, que constituyen un gran aporte en la formación como Ingeniero, ampliando las perspectivas y horizontes tanto en lo académico como en lo personal.

Dentro de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones se está desarrollando un proyecto de investigación denominado “Integración de empresas de pequeña escala de yerba mate, té y aserrado de la Provincia de Misiones”. Este contempla, entre otros, la utilización de Dinámica de Sistemas como metodología de modelado y simulación del sistema analizado. En el marco de dicho proyecto, el profesor patrocinante, Ingeniero Juan Carlos Michalus, gestó el ofrecimiento de desarrollo de un trabajo de Proyecto de Título, consistente en aplicar Dinámica de Sistemas al área de la elaboración primaria de la yerba mate.

---

<sup>1</sup> disponible URL: <http://www.vensim.com>

### **1.3 Justificación**

Dinámica de Sistemas ha sido escasamente aplicada a las empresas de pequeña escala (Gulino et. al. 2006). Las PYMES requieren apoyo y orientación para su desarrollo, ya que generalmente son de origen familiar y no poseen los conocimientos técnicos ni los recursos necesarios para alcanzar el nivel competitivo deseado, realizando la toma de decisiones empresariales de forma casi intuitiva (Olsson et al. 2005, Kosacoff & López, 2000).

En la Provincia de Misiones existen cuatro grandes clústers económicos: Turismo, Madera, Té y Yerba Mate (Del Despósito et. al. 2009, d)

Debido a la importancia que posee el clúster de la yerba mate en dicha provincia, abarcando el 90 por ciento de la producción total Argentina (Parra, 2006), se eligió una PYME industrializada típica, productora de “Yerba Mate Canchada y Estacionada” para su análisis y conceptualización mediante Dinámica de Sistemas.

Hasta ahora se desconoce que se haya realizado anteriormente un trabajo de esta índole aplicado a los procesos de la yerba mate.

Resulta interesante elaborar un modelo dinámico de una PYME de la Provincia de Misiones, como iniciativa para contribuir al conocimiento de las problemáticas propias de la región, que permita obtener una mayor comprensión del sistema estudiado (en condiciones normales y ante modificaciones en algunas de sus variables más importantes) y a la vez explorar la utilización de Dinámica de Sistemas como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en las PYMES.

## **1.4 Objetivos del Estudio**

### **1.4.1 Objetivo General**

- Explorar la utilización de Dinámica de Sistemas como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en una PYME dedicada a la elaboración primaria de la yerba mate.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Elaborar un modelo mediante Dinámica de Sistemas que permita adquirir una comprensión general del funcionamiento de una PYME de elaboración primaria de yerba mate.
- Analizar el comportamiento del sistema en condiciones normales y ante modificaciones en algunas de sus variables.
- Determinar los posibles cambios de políticas que permitan superar los inconvenientes producidos ante los cambios en las variables propuestos al menor costo.

## **1.5 Alcances o Ámbitos del Estudio**

La yerba mate requiere cuatro etapas para llegar hasta su presentación final:

1. Producción Primaria
2. Elaboración Primaria ( comúnmente denominada Secanza)
3. Estacionamiento
4. Molienda y Envasado



En este trabajo se analizará mediante Dinámica de Sistemas un establecimiento de “Elaboración Primaria” de yerba mate, (comúnmente denominados “secaderos”), de la Ciudad de Oberá, Provincia de Misiones, Argentina. Dicho establecimiento, abarca las etapas de Elaboración Primaria y estacionamiento. El modelo será elaborado mediante Dinámica de Sistemas, siguiendo la metodología propuesta por Aracil (1995), García (2003), entre otros. Dicho modelo será representativo de la empresa analizada en particular, abarcando los elementos más importantes que componen el sistema que permitan observar su comportamiento en condiciones normales, ante condiciones desfavorables y ante un aumento brusco de la demanda al doble de su valor en condiciones normales, buscando cuando sea necesario, los cambios de políticas que permitan superar de mejor forma los inconvenientes producidos.

Las ecuaciones que representan el comportamiento del modelo serán determinadas a partir de información otorgada por directivos, operarios, expertos y observación del sistema analizado. El comportamiento generado por el modelo posee como parámetro de entrada principal a la demanda, representada mediante la asignación de una distribución estadística de probabilidad. Para superar la aleatoriedad del modelo, se realizará el número de réplicas necesarias en cada caso para obtener el nivel de confianza deseado en los resultados obtenidos.

## Capítulo 2. La Yerba Mate

### 2.1 Reseña Histórica

La yerba mate (*Ilex paraguariensis*) es una planta nativa de las regiones subtropicales de Argentina, Brasil y Paraguay. Su área de distribución natural se restringe únicamente a la zona delimitada por el océano Atlántico al este y por el río Paraguay al oeste, donde existen las características agroecológicas únicas y necesarias para el desarrollo de la plantación, tales como clima húmedo, elevadas temperaturas, lluvias frecuentes desde Septiembre hasta Febrero y suelos arcillosos con buenos niveles de fósforo, hierro y potasio (De Bernardi, 2004).

La tierra colorada de Misiones, cargada de oxígeno de hierro, es la que presenta mejores condiciones para el cultivo (Figura N° 2.1). Los ensayos efectuados en regiones de igual clima en América del Norte, África y Asia han fracasado hasta el presente (Parra, 2006).



Figura N°2.1: Hoja de la yerba mate y plantaciones o "yerbales".  
Fuentes: <http://www.the-herb-store.com/catalog/index.php?cPath=21>,  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yerba-mate-misiones.JPG>

Puede consumirse como "mate cebado", en una pequeña vasija, denominada mate, hecha de frutos naturales, metal o madera (Figura 2.2). En su interior se introduce la yerba y se "ceba" (se sirve) con agua caliente. Se utiliza una bombilla, tubo de metal o caña con perforaciones en su parte inferior, que al sumergirla en el mate con yerba, cumple la función de sorbete y colador al mismo tiempo. También puede cebarse con agua fría, en este caso se denomina "tereré". Otra modalidad de consumo es la infusión para beberla en taza, denominándose "mate

cocido” (Figura N° 2.2). Se prepara mediante la utilización de yerba mate en saquitos, presentación similar a las bolsitas de té que comúnmente conocemos, o bien molida, debiéndose colar antes de ingerir.



Figura N°2.2: Mate cebado y mate cocido.

Fuentes: <http://www.elitechile.cl/2009/09/24/tip-para-el-verano/>,  
<http://argentinaindepp.blogspot.com/2008/08/mate-cocido.html>

El origen de su consumo se remonta a la época precolombina, formando parte de la alimentación básica de los guaraníes que la denominaban "caa-mate" ("caa": planta o hierba y "mate" derivado del quechua "matí": calabaza utilizada para beber) y fue a través de ellos que llegó a los conquistadores españoles.

Posteriormente los jesuitas introdujeron el cultivo en sus Misiones Evangelizadoras, mediante técnicas de germinación muy rudimentarias, pero que se extendieron ampliamente. Luego, tras la expulsión de los jesuitas, en el año 1769, se perdieron tanto los cultivos como las técnicas para su desarrollo.

Más de cien años después se logró la germinación de nuevas plantas en Paraguay y recién a comienzos del siglo XX se realizaron las primeras plantaciones importantes en la localidad de San Ignacio, Misiones. Desde entonces, el cultivo comenzó a expandirse hasta abarcar el área que actualmente se encuentra en producción (Parra, 2006).

## 2.2 La Producción de Yerba Mate

Argentina es el mayor productor y exportador mundial de yerba mate, con aproximadamente 900 mil toneladas de yerba verde por año, cantidad equivalente a obtener unas 300 mil toneladas de yerba mate canchada, correspondientes a más del 60 por ciento del total mundial (Figura N° 2.3), encontrándose en el segundo puesto Brasil, y en el tercero, con yerbales muy heterogéneos, Paraguay. (De Bernardi, 2007)

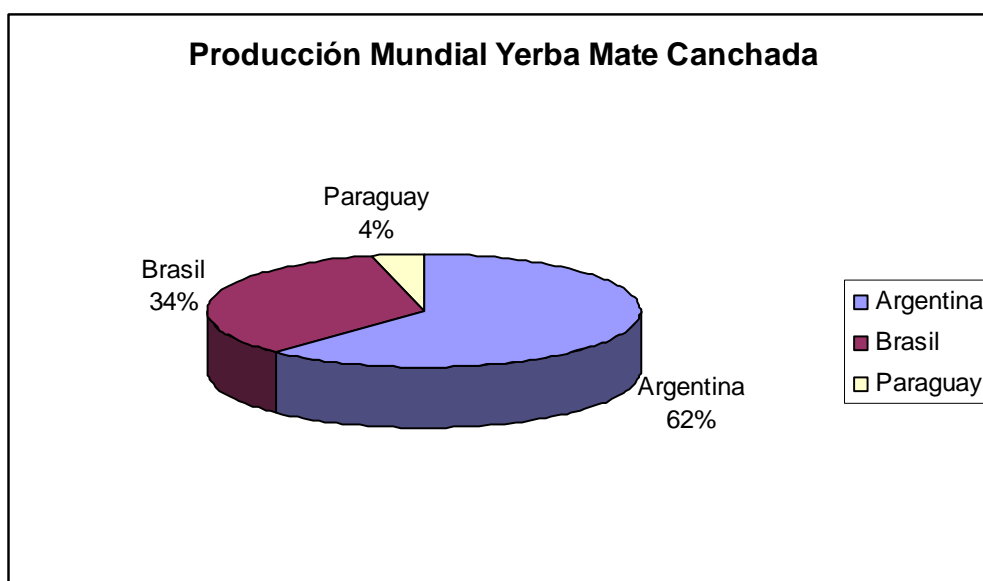


Figura N°2.3: Producción Mundial yerba canchada  
Fuente: De Bernardi, L. (2007)

Debido a las condiciones agroecológicas necesarias para su desarrollo, en Argentina sólo puede cultivarse en dos provincias: Misiones y Corrientes. Misiones es la principal provincia productora, aportando el 90 por ciento de la producción y de la superficie sembrada a nivel nacional. El 10 por ciento restante es aportado por la zona norte de la provincia de Corrientes (Parra, 2006).

El establecimiento de elaboración primaria de yerba mate analizado está ubicado en la ciudad de Oberá, Provincia de Misiones, República Argentina (Figura N° 2.4).



Figura N°2.4: Mapa ubicación de la Ciudad de Oberá , Argentina.  
Fuente: <http://www.fiestadelinmigrante.com.ar/misiones.php>

### 2.3 Consumo de la Yerba Mate

Su principal destino comercial es el mercado interno. Las exportaciones de yerba mate representan entre el 10 y 15 por ciento de la producción total Argentina, en virtud del elevado consumo doméstico (PARRA, 2006). Entre los países que adquieren yerba mate exportada por Argentina, Siria figura como mayor comprador. En Sudamérica los principales países importadores son Uruguay, Brasil y Chile (Figura N°2.5).

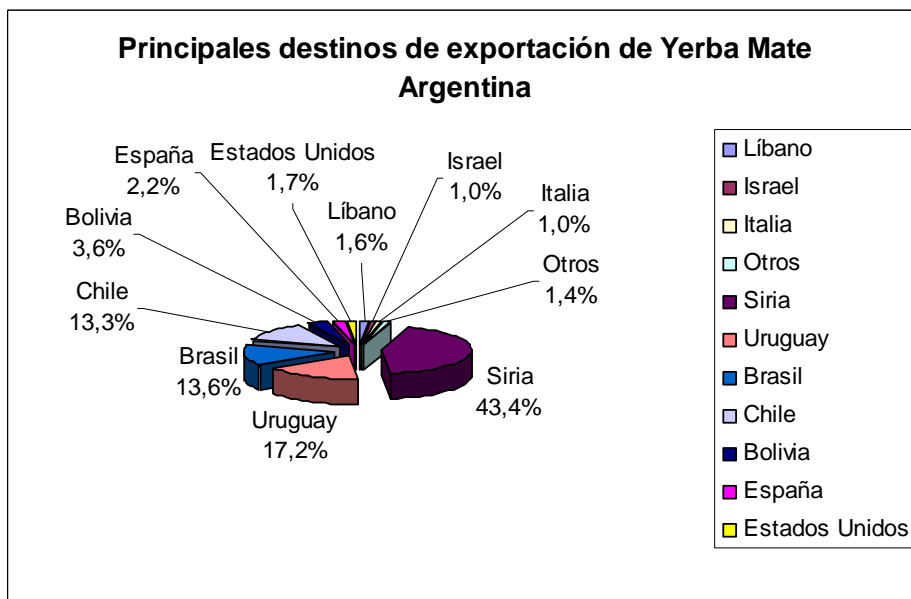


Figura N°2.5: Principales destinos de Exportación de la yerba mate Argentina.  
 Fuente: De Bernardi, L (2007)

El consumo de esta infusión representa, más que una tradición, uno de los hábitos más característicos, exclusivos y arraigados en la sociedad Argentina. La yerba mate está presente en el 90% de los hogares argentinos y el 75% de los consumidores lo hace todos los días. El consumo es de aproximadamente 6,4 kgs/hab/año, cantidad equivalente a aproximadamente 100 litros de mate. (De Bernardi, 2007)

## 2.4 Comercialización de la Yerba Mate según su grado de transformación

La yerba mate se comercializa con varios grados de transformación. Los productos que egresan de la zona productora son los siguientes, en orden creciente de industrialización:

Tabla N°2.1: Grados de transformación de la yerba mate.

Grados de Transformación de la Yerba Mate	
Canchada	Yerba mate que ha sufrido el proceso de zapecado y secado, groseramente triturada. Es la materia prima utilizada por los molinos.
Molida	Yerba mate sometida a un proceso de molienda, selección y mezcla. Puede comercializarse en la industria Argentina o bien en industrias extranjeras.
Envasada	Yerba mate molida empaquetada en diversos tipos de envases y presentaciones comerciales. Es el producto que adquiere el consumidor final. Se comercializa en el mercado local e internacional.
En Saquitos	Producto utilizado para preparar la infusión que se consume en taza.

Fuente: Parra, P. (2006)

El 75 por ciento del total de la yerba mate que egresa de la zona productora lo hace en su último proceso de industrialización: 74 por ciento correspondiente a yerba envasada y 1 por ciento a yerba en saquitos. El 25 por ciento restante está integrado por yerba mate canchada (12 por ciento) y molida a granel (13 por ciento), con destino a sucesivos procesos de elaboración y fraccionamiento (Parra, 2006) (Figura N°2.6)

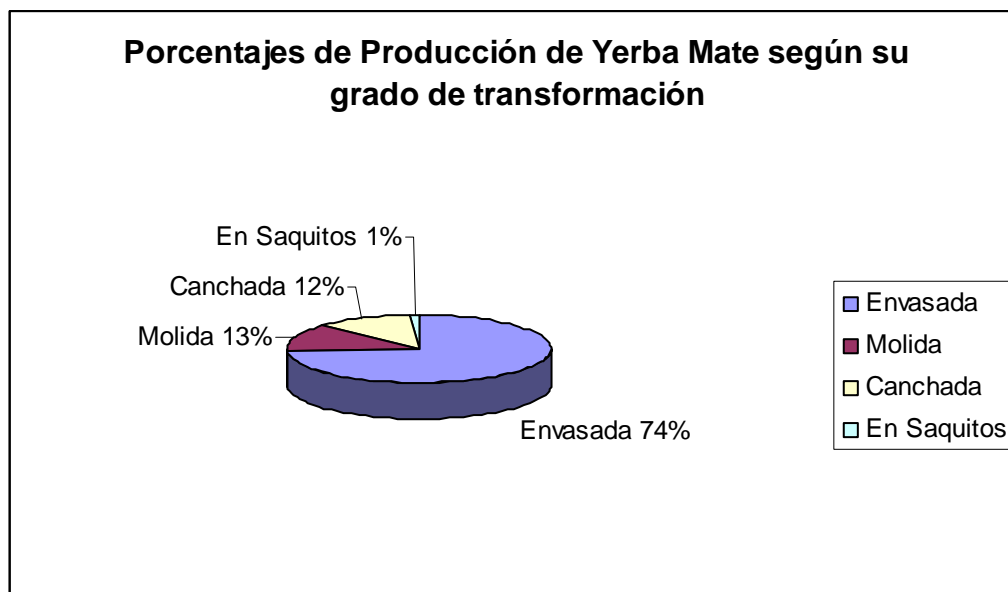


Figura N°2.6: Porcentajes de Producción de yerba mate según su grado de transformación.

Fuente: Parra, P. (2006)

## 2.5 Propiedades de la Yerba Mate

La infusión de las hojas de yerba mate presenta propiedades energizantes y tonificantes debidas al contenido de mateína, principio activo del grupo de las catequinas, que estimulan el sistema nervioso central y promueven la actividad mental, con la positiva particularidad de no interferir con los patrones normales del sueño. Brinda sensación de saciedad y posee cantidades considerables de potasio, hierro, fósforo, sodio y magnesio; también contiene diversas sustancias antioxidantes, vitaminas (A, B1, B2, C y K) y carotenos.

Además de ser una bebida popular, la yerba mate se utiliza con fines medicinales como tónico, diurético y como estimulante para reducir la fatiga, suprimir el apetito y ayudar a la función gástrica. También se emplea como laxante. (Parra, 2006)



## 2.6 Procesos de Elaboración de la Yerba Mate<sup>2</sup>

La yerba mate requiere cuatro etapas para llegar hasta su presentación final, que son realizadas de forma similar en la mayoría de los establecimientos

1. Producción Primaria
2. Elaboración Primaria ( comúnmente denominada “Secanza”)
3. Estacionamiento
4. Molienda y Envasado

La yerba cosechada, luego de la “Producción Primaria”, denominada “Yerba Verde”, corresponde a la materia prima utilizada por los establecimientos denominados “Secaderos” en la jerga yerbatera, que generalmente realizan las etapas de “Elaboración Primaria” y “Estacionamiento”. El producto obtenido de la elaboración primaria es la denominada “Yerba Canchada”, que posteriormente puede o no ser estacionada, mediante “Estacionamiento Acelerado” o “Estacionamiento Natural”, según los requerimientos de los clientes. Dichos productos son derivados posteriormente a los molinos que realizan las operaciones de “Molienda y Envasado”, completando la elaboración del producto que finalmente es comercializado y puesto en góndola conocido como “Yerba Mate” (Figura N°2.7).

---

<sup>2</sup> La información utilizada en la descripción de los procesos de Elaboración de Yerba Mate fue obtenida a partir de un relevamiento de información mediante recopilación bibliográfica, observación in situ, entrevistas y conversaciones con directivos y operarios de la empresa analizada y establecimientos de características similares.

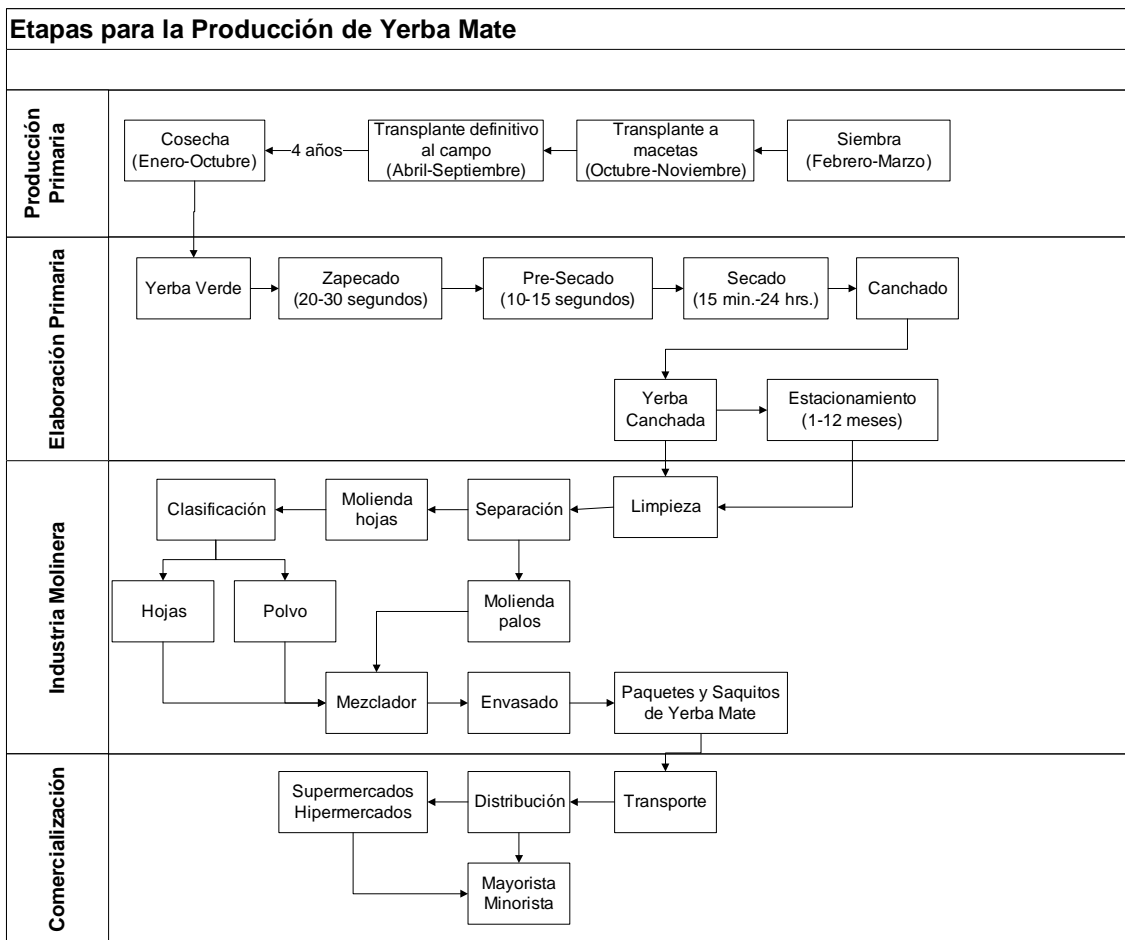


Figura N°2.7: Proceso de Obtención de la yerba mate hasta su última Etapa de Industrialización y posterior Comercialización.  
Fuente: De Bernardi, L. (2004)

La empresa analizada se orienta a la elaboración primaria, realizando las operaciones de secanza y estacionamiento (Acelerado), que serán descritas posteriormente.

A continuación se realiza una descripción de todas las etapas necesarias para la obtención de la yerba mate, siguiendo a Rocholl (2008), Parra (2006) y Michalus (1998).

## 2.6.1 Producción Primaria

### 2.6.1.1 Cultivo

El cultivo de la yerba mate comienza con la siembra, realizada entre los meses de febrero y marzo. Luego de aproximadamente seis meses, se seleccionan las plantas mejor desarrolladas y se transplantan a macetas entre octubre y noviembre. El trasplante definitivo a campo se realiza en la temporada otoño-invernal. La primera cosecha, suele realizarse entre el 4º y el 5º año de implantación.

### 2.6.1.2 Cosecha

La cosecha de la yerba se extiende desde Enero hasta Septiembre, pero el periodo en que la planta se encuentra en las mejores condiciones para ser cosechada, ya que disminuye la circulación de su savia y cuenta con mayor porcentaje de hojas maduras, son los meses entre Junio y Septiembre.

Durante los meses de Octubre y Noviembre, la cosecha está prohibida por el INYM, ya que la planta se encuentra en época de floración. A partir de Diciembre es permitida nuevamente la cosecha, pero la planta aún contiene semillas y flores que dificultan la correcta selección de las ramas y algunas hojas no han alcanzado una completa madurez (Rocholl, 2008). Esto implica que durante los meses desde Diciembre hasta Abril la disponibilidad de yerba verde es considerablemente menor.

La recolección o “tarefa”, que se realiza tradicionalmente de forma manual (Figura N° 2.8). Puede efectuarse anualmente, pero generalmente se realiza año por medio para el manejo racional del cultivo.

Las ramas cortadas, son colocadas sobre cuadrados de tela de polietileno o de yute, de aproximadamente 2 metros de largo por 2 de ancho, atados por sus extremos diagonales, conocidos en la jerga yerbatera como “ponchadas” (Figura N° 2.8). Esto permite disminuir el volumen del material recogido y facilita un transporte más eficiente. Cada ponchada contiene en su interior una cantidad de aproximadamente 80 kilogramos de material vegetal, y

posteriormente son transportadas en camiones desde el yerbal hasta el secadero.



Figura N°2.8: Corte de ramas y traslado de la yerba mate en las denominadas “ponchadas”.

Fuentes: <http://www.agenciacta.org.ar/article10828.html>  
<http://www.antenamisiones.com/?modulo=extendido&id=5273>

### 2.6.2 Elaboración Primaria (comúnmente denominada “Secanza”)

Este proceso comprende una serie de operaciones sucesivas de secado que pueden variar según el establecimiento, pero siempre con la misma finalidad: obtener una detención de los procesos biológicos de degradación de los tejidos del vegetal y una deshidratación casi total. Las etapas de la Elaboración Primaria son descritas a continuación.

- Zapecado: Exposición de las hojas a la acción directa del fuego por un período de 20 a 30 segundos, a una temperatura de aproximadamente 400°C.
- Presecado: Proceso cuya finalidad es eliminar la mayor cantidad de agua posible de la yerba en elaboración. Se realiza de manera similar al Zapecado pero a una temperatura menor, del orden de 250°C.
- Secado: Exposición de las hojas a aire caliente por un periodo variable entre 15 minutos hasta 24 horas, a temperaturas de entre 110°C y 130°C. Existen tres tipos de secaderos descritos a continuación.

Tabla N°2.2: Tipos de secaderos utilizados en la E laboración Primaria.

<b>Tipos de Secaderos utilizados</b>	
Secadero Barbacué o Catre	Secado en tiempos largos, 12 hrs. como mínimo. Consiste en sencillas estructuras tubulares que suelen construirse con cañas de tacuaras (árbol típico de la región), en cuyo interior se coloca la yerba mate.
Secadero Rotativo	Secado en tiempos cortos o secanza rápida (15 min. a 1 hr.). Funcionan a través de un tambor rotante del tipo a eje horizontal. En el interior son montadas distintos tipos de paletas de remoción y avance que favorecen el intercambio térmico entre los gases calientes y el material a secar.
Secadero de Cintas	Secado en tiempos medios (3 a 6 hrs.). Recinto cerrado en cuyo interior cintas transportadoras movilizan la yerba mientras el calor ingresado permite su secanza.

Fuente: De Bernardi, L. (2004).

Por el grado de preferencia y por las características que se logran en el producto terminado, los secaderos de cinta son los más utilizados, representando el 72 por ciento de las ventas a la molinería. Posteriormente los secadero barbacuá, abarcando un 20 por ciento y finalmente los secaderos rotativos, con un 8 por ciento de las ventas a la molinería (De Bernardi, 2007)

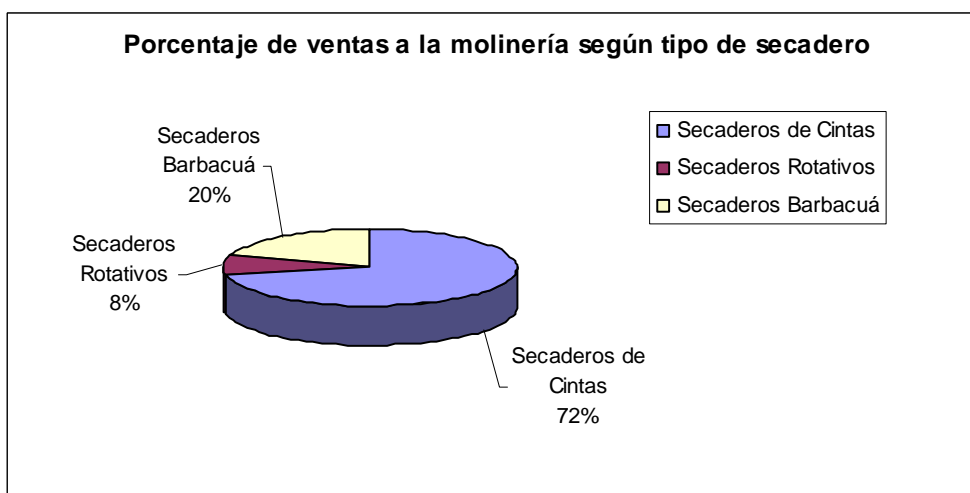


Figura N°2.9: Porcentaje de ventas a la molinería según tipo de secadero. Fuente: De Bernardi (2007).

- Canchado: Molienda grosera que permite disminuir el volumen del material facilitando posteriormente su embolsado y transporte.
- Zarandeo y embolsado: Eliminación de los palos que tengan una medida superior a la requerida, normalmente unos 5 mm. de diámetro y 70 mm. de longitud mediante una "Zaranda". El producto obtenido es envasado en bolsas de generalmente 50 kg. cada una y posteriormente puede ser comercializado o transportado a estacionamiento

### 2.6.3 Estacionamiento

El estacionamiento es un proceso de almacenamiento de la yerba que permite la adquisición de sus propiedades organolépticas<sup>3</sup> características, adecuadas para su posterior comercialización y consumo. Puede ser natural, durante periodos de entre 6 a 24 meses, en que la yerba almacenada en depósitos se transforma mediante un intercambio de calor y humedad natural (Estacionamiento Natural) o artificial, en cámaras especialmente acondicionadas que permiten obtener resultados similares en un periodo considerablemente inferior, de 30 días, mediante regulación de humedad, temperatura y circulación del aire (Estacionamiento Acelerado).

### 2.6.4 Molienda y Envasado

La yerba mate canchada y estacionada es la materia prima de la industria molinera. El material vegetal pasa inicialmente por una "zaranda de limpieza" para la eliminación de posibles cuerpos extraños, palos y ramas gruesas. Luego se somete a un zarandeo primario de clasificación en el que se separan las hojas y los palos. Luego son triturados de forma separada y posteriormente mezclados en proporciones adecuadas al tipo y calidad de yerba que se desea obtener (Figura N° 2.10), utilizando yerba con diferentes grados de estacionamiento, natural y acelerado dependiendo del producto que se desea elaborar.

---

<sup>3</sup> Aroma, color y sabor característicos de la yerba mate.

Luego se procede al envasado del producto final (Figura N° 2.10), mediante máquinas volumétricas o envasadoras automáticas, que arman y llenan los envases. Previo control electrónico de su peso, los envases se cierran con sistemas de termosellado o adhesivos adecuados, se imprime la fecha de envasado y/o fecha de vencimiento además del número de lote (requerimiento actual según Resolución N° 34/96 del Código Alimentario Argentino) y finalmente se aplica la estampilla fiscal dispuesta recientemente por el Instituto Nacional de la Yerba Mate. Las presentaciones más usuales son de medio y de un kilogramo, aunque también se comercializan envases de un cuarto y de dos kilogramos. Posteriormente, el producto es destinado a los diversos canales de distribución, supermercados, hipermercados, mayoristas y minoristas.



Figura N°2.10: Mezcladores y envasado de la yerba mate.

Fuente: <http://cejaksrl-guada.blogspot.com/2008/10/la-yerba-mate-ilex-paraguarienses-es.html>

## 2.7 Las PYMES Productoras de Yerba Mate en Argentina

La producción de yerba mate en Argentina cuenta con una historia llena de conflictos que se remontan más de 70 años. Desde esa época existen ciclos de sub y sobre oferta que marcaron la cultura productiva de la provincia de Misiones y Norte de Corrientes.

Desde el año 1936 la actividad yerbatera fue regulada por el gobierno, a través de la Comisión Reguladora de la Yerba Mate (CRYM), organismo público encargado de controlar la producción en base a cupos de cosecha y prohibición de nuevos cultivos, junto con un mercado consignatario que aseguraba a los productores el cumplimiento del precio referencial sugerido por el Estado. Esto permitió regular la

oferta y la demanda asegurando al mismo tiempo la calidad de vida en las chacras y el desarrollo social. Pero en 1991 se decide desregular la producción, generándose un exceso de oferta de materia prima, con la consiguiente caída de precios que repercutió fuertemente los ingresos de agricultores y tareferos (peones cosecheros) hasta reducirlos al nivel de subsistencia mínimo. Los productores debieron simplemente abandonar los campos de yerba mate, por la imposibilidad de mantenerse o reemplazarlos por otros cultivos. El sector primario Misionero, por más de una década, experimentó el mayor impacto económico como consecuencia del deprimido valor de la hoja de yerba mate generado por los excedentes de producción con relación a las necesidades de la industria molinera.

La crisis social se hizo insostenible, hasta que en el año 2002, se crea el Instituto Nacional de la Yerba Mate (INYM). Dicho ente de derecho público no estatal tiene por objetivos promover, fomentar y fortalecer el desarrollo de la producción, elaboración, industrialización, comercialización y consumo de la yerba mate y sus derivados en las diversas modalidades de usos y consumo, procurando lograr la sustentabilidad de todos los sectores y encargada de regular la actividad yerbatera. Entre sus funciones está registrar el número de productores, reglamentar las actividades de cosecha y secanza, fijar el precio del kilo de yerba verde (hoja cosechada) y de yerba canchada (producto final de los secaderos), entre otros. (INYM, 2009).

Actualmente, existe un alto grado de integración en el campo de la producción de yerba mate, ya sea por la existencia de cooperativas o por medio de integraciones contractuales, por lo que gran parte de los productores tiene asegurada la entrega y comercialización de su producción, tanto para la hoja verde puesta en secadero, como para la yerba mate canchada, que permite un cierto equilibrio entre la oferta y la demanda. Pero el mejoramiento de los precios ha generado la inevitable aparición de yerbales y secaderos no establecidos, que compiten deslealmente a precios menores a los establecidos por el INMY, perjudicando sobre todo a los productores más pequeños, quienes deben muchas veces comercializar su producción a otros secaderos de mayor prestigio, ante la imposibilidad de lidiar directamente con los molinos.



## Capítulo 3. Antecedentes del Establecimiento

### 3.1 Descripción General del Establecimiento Analizado

El tamaño de las empresas en Argentina está determinado por sus ingresos anuales (en pesos Argentinos) promedio de 3 años y el tipo de empresa (sector). Para el sector agropecuario, la clasificación es la siguiente (Tabla N°3.1)

Tabla N°3.1: Clasificación de las empresas del sector agropecuario en Argentina

Tamaño de la Empresa	Ingresos anuales (\$/año)
Microempresa	456.000
Pequeña Empresa	3.040.000
Mediana Empresa	18.240.000

Fuente: Kulfas, M. (2006).

El establecimiento analizado, cuya razón social se omite en este trabajo a petición de los directivos, clasifica dentro de las Medianas Empresas. Se encuentra ubicado en la ciudad de Oberá, Provincia de Misiones, República Argentina. Su proceso industrial abarca las etapas de “Elaboración Primaria” y “Estacionamiento”. Sus productos finales son la “Yerba Canchada Sin Estacionar”, y “Yerba Canchada Estacionada” mediante “Estacionamiento Acelerado”.

El secadero forma parte de una sociedad anónima familiar, que posee además establecimientos dedicados a la agricultura (Yerba Mate y Té), Secanza de Té y Mantenimiento de máquinas. Posee un directorio propio dependiente de la junta de accionistas.

La antigüedad de la empresa implica un esquema operativo desarrollado, que aprovecha al máximo los recursos disponibles (recursos humanos, recursos Naturales, etc.) gracias a la experiencia en el rubro, logrando productos de calidad con alta incidencia de materia prima producida por la propia empresa (60 por ciento). Esto ha permitido su reconocimiento a nivel local, por parte de sus pares y clientes.

## 3.2 Funcionamiento General del Establecimiento

A continuación se realiza una descripción general del funcionamiento de la empresa analizada, considerando las características más relevantes para la elaboración del modelo mediante Dinámica de Sistemas. A partir de esta descripción, fueron determinadas posteriormente las políticas más importantes que rigen el comportamiento del sistema para el modelo elaborado.

### 3.2.1 Demanda

La demanda para el secadero en particular es muy irregular, dado que la yerba canchada o estacionada es comercializada a varios molinos. Estos elaboran su mix de productos (de diferentes calidades y formatos) en base a mezclas con diferentes tipos de yerba, para obtener los resultados deseados de calidad, composición de la yerba y sabor. Por lo tanto, adquieren yerba proveniente de diferentes secaderos, dependiendo del formato de yerba que se está elaborando. Esto implica que la demanda por yerba canchada y/o estacionada para cada secadero, durante cada periodo, sea muy irregular. Sin embargo, en base a conversaciones previas con los clientes (molinos) y la experiencia, los secaderos mantienen un cierto nivel de stock y de proveedores de materia prima adecuado para satisfacer la demanda.

La demanda para establecimiento analizado en particular, consiste en un 40 por ciento de yerba canchada estacionada y 60 por ciento de yerba canchada sin estacionar. El valor de cada producto es proporcional al costo financiero que implica una u otra alternativa, siendo el costo de la yerba canchada estacionada aproximadamente un 10 por ciento mayor al de la yerba sin estacionar. (Ver Tabla N°5.2: Costos por kilo de yerba, página 81)

### 3.2.2 Compras a empresas externas

En el universo de la industria de la yerba mate existen secaderos de gran, mediana y pequeña capacidad de producción. La compra de yerba canchada para

cubrir la demanda por parte de secaderos grandes o medianos a medianos o pequeños es práctica común, además de la producción de yerba canchada propia.

La demanda para el secadero analizado en particular, es cubierta con un 80% de yerba canchada de producción propia y un 20 por ciento de yerba canchada comprada a industrias más pequeñas (denominados “Secaderos Pequeños”) que no tienen la posibilidad de negociar con los molinos. (Rocholl, 2008, Michalus, 2008)

La empresa mantiene la política de trabajar con un cierto nivel de producción inferior a la capacidad máxima y cubrir la cantidad restante con compras a secaderos pequeños. Si la cantidad en stock no es suficiente para satisfacer la demanda, se adquiere un porcentaje mayor de yerba comprada a secaderos pequeños, mientras exista disponibilidad de este recurso. Esto, dado que los costos de adquirir yerba a productores más pequeños son inferiores a los que implica aumentar los niveles de producción, puesto que se trata de pequeñas empresas familiares que poseen menores exigencias fiscales en cuanto a cargas impositivas y controles por parte del INYM (Ver Tabla N° 5.2: Costos por kilo de yerba, página 81)

### 3.2.3 Producción

La producción del secadero es variable según los meses del año, dada la estacionalidad en la cosecha de la materia prima. Durante los meses de mayor disponibilidad de materia prima la producción aumenta considerablemente, para cubrir las ventas en los periodos que no hay producción.

Se trata de mantener un stock promedio de unas 1.500 toneladas y un stock de reserva de 500 toneladas de canchada propia como medida de precaución ante futuros aumentos puntuales de la demanda cuando la disponibilidad de secaderos pequeños no sea suficiente para cubrir las ventas (Rocholl, 2008). Las cantidades a producir son programadas a corto plazo, según la demanda prevista, en base a conversaciones previas con los clientes y la cantidad de yerba en stock propio.

El plan de producción considera un grupo administrativo de 6 personas que trabajan durante todo el año y un grupo fijo de operarios de maquinarias de 11 personas, que trabajan sólo durante los meses de producción. Además, existe un grupo variable de entre 12 y 18 personas encargadas de realizar las tareas secundarias como limpieza, traslado de insumos o productos en proceso, envasado de productos, control del estado de la yerba, entre otros, actividades que de no realizarse oportunamente, provocarían retrasos en la producción. En ausencia de producción, esta cifra se reduce a 8 personas.

La carga horaria es variable, dependiendo de la cantidad de materia prima que se desea procesar diariamente y el número de operarios. La jornada laboral acaba cuando se logra procesar toda la materia prima deseada, sean 8 o 24 las horas necesarias, con rotación de mano de obra, asignando una cantidad de operarios apta para realizar las tareas en el menor tiempo posible, dependiendo de la cantidad de yerba que se desea procesar. A mayor cantidad de yerba a procesar, se requiere un mayor número de operarios.

Si el número de operarios es insuficiente, no es posible realizar todas las tareas en el tiempo deseado, por lo tanto, se debe trabajar horas adicionales para terminar de procesar la materia prima deseada. Esta situación rara vez ocurre, dado que se cuenta con un número aproximado de 30 operarios disponibles para realizar las tareas secundarias, que trabajan en diferentes turnos en los distintos rubros de la empresa familiar.

Durante los periodos en que no hay producción, la mayor parte de los operarios es reasignada a otras labores de la misma empresa. El término del periodo de producción de yerba coincide con el inicio del periodo de producción del té, por lo tanto la mayoría continúa trabajando en dichas labores en la misma empresa familiar.

Los todos los procesos son controlados ya sea de forma manual o con maquinarias por los operarios. Se utiliza un sistema computacional para controlar los flujos de aire y temperaturas en la secanza. Para el estacionamiento se realiza un control de temperaturas y humedad mediante un microprocesador. El resto de los procesos son controlados de forma visual por los operarios y los productos finales son analizados en un laboratorio para confirmar su calidad, examinando sus condiciones de humedad, tamaño, etc. mediante muestras aleatorias.

### 3.2.4 Resumen del Funcionamiento General del Establecimiento

En la Figura N° 3.1 se muestra un diagrama resumen que explica brevemente el funcionamiento general en la toma de decisiones del establecimiento analizado.

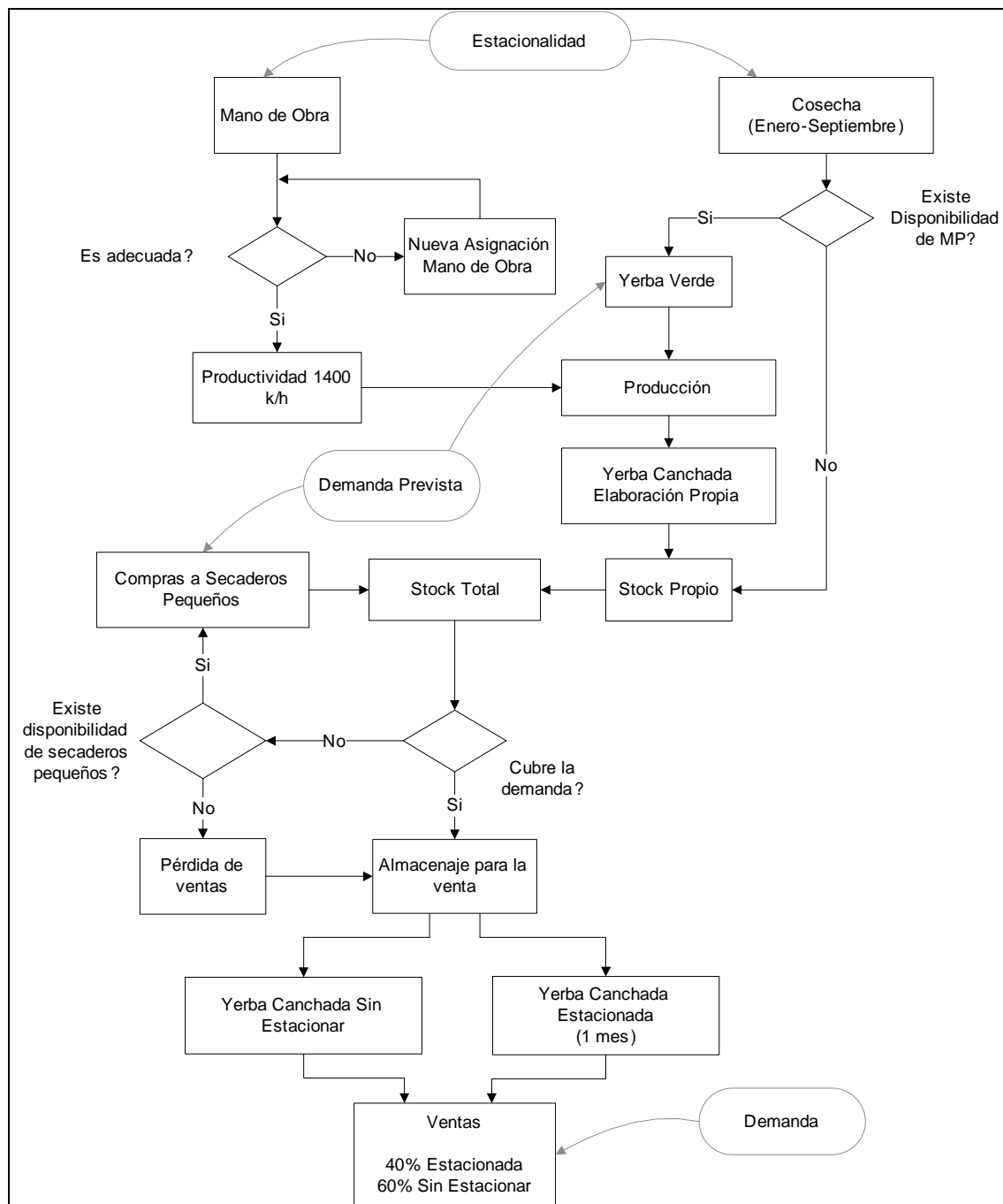


Figura N°3.1: Funcionamiento General del Establecimiento Analizado. Fuente: Elaboración propia.

### **3.3 Procesos Productivos realizados en la empresa**

A continuación, se describen los procedimientos realizados en el establecimiento analizado, ejecutados de forma similar en la mayoría de los establecimientos de secado de yerba mate.

#### **3.3.1 Ingreso de materia prima**

Las ponchadas provenientes de los yerbales, son descargadas de forma manual y depositadas sobre la denominada “planchada”, recinto abierto y techado, con piso de cemento, cuyas medidas son 45 x 30 metros. Su finalidad es almacenar la materia prima que será destinada a producción para protegerla de las condiciones climáticas (sol, lluvia, etc.) que pudieran alterar la calidad de ésta.

Luego se esparce la “yerba verde” (hoja recién cosechada) sobre la planchada para ser introducida mediante una retroexcavadora en la denominada “planchadora automática”, maquinaria encargada de controlar el flujo de ramas que ingresarán a la próxima etapa mediante una cinta transportadora (Figura N° 3.2).

La cantidad de yerba ingresada al proceso debe ser apropiada según la capacidad de las maquinarias de secado. El ingreso de un flujo excesivo afectaría la calidad del producto final. La empresa analizada trabaja a una capacidad de producción (yerba ingresada a proceso) de 4.000 kilogramos por hora, cantidad que permite obtener la calidad de secado requerida por los clientes y obtener 1.400 kilogramos de producto por hora, de los cuales un 95 por ciento corresponde a yerba canchada y un 5 por ciento a polvo.



Figura N°3.2: Ingreso de la yerba al proceso de el aboración primaria  
Fuente: Archivos Propios.

### 3.3.2 Proceso de Zapecado

Este proceso debe ser realizado dentro de las 24 horas siguientes al corte de las ramas para evitar la fermentación y oxidación de sus hojas, situación que significaría la pérdida de su color verde volviéndose inutilizable.

El “Zapecado” consiste en la exposición de las hojas a la acción directa del fuego por un período de 20 a 30 segundos, provocando una brusca elevación de temperatura en el material vegetal, generando vapor de agua en el parénquima foliar, formando pequeñas ampollas que rompen la epidermis de las hojas con un ligero crepitar. El proceso también inactiva el protoplasma, destruyendo las enzimas responsables de los procesos biológicos de degradación de la hoja. Esto impide el fermentado y la oxidación de las sustancias tánicas contenidas en la hoja, asegurando la conservación de su color verde (Michalus, 1998).

Es efectuado en una cámara cilíndrica horizontal giratoria denominada “Tambora de Zapecado” (Figura N° 3.3), cuyas medidas son de 2.5 metros de diámetro y 9 metros de longitud, que gira a 10 rpm. (Rocholl, 2008).

El calor necesario para este proceso se obtiene de un hogar a leña, ubicado junto a la tambora, alimentado con troncos de madera de árboles procedentes de la región, chips o palitos de yerba que no despiden ningún tipo de resina, sin afectar a la naturaleza de la yerba (Rocholl, 2008).

Al interior de la tambora, hay dispuestas aspas en forma de hélice que transportan la yerba ingresada hasta el otro extremo de la tambora (Figura N° 3.4). El aire

caliente, que se encuentra a una temperatura de aproximadamente 400°C, avanza al interior en el mismo sentido que la yerba, hasta llegar al otro extremo en donde es extraído por una chimenea que lo conduce hacia el exterior.

Durante el Zapecado, la yerba mate adquiere su aroma característico y pierde el sabor a hoja verde. Además se obtiene como resultado una importante disminución del contenido de agua en la yerba, que pierde desde un 55 hasta un 80 por ciento de humedad dependiendo de su madurez y del tiempo transcurrido desde la cosecha o corte de las ramas (Rocholl, 2008).

Existe un control de las temperaturas en este proceso, realizado por un operario quien, mediante el uso de termómetros y su vasta experiencia, determina el tamaño y cantidad de los troncos de madera necesarios para obtener la temperatura requerida. Posteriormente, la yerba es trasladada hasta la etapa siguiente mediante cintas transportadoras.



Figura N°3.3: Ingreso mediante cintas transportado ras hasta la tambora de zapecado; Tambora de zapecado

Fuente: <http://cejaksrl-guada.blogspot.com/2008/10/la-yerba-mate-ilex-paraguarienses-es.html>



### 3.3.3 Proceso de Presecado

El Presecado no es realizado en todos los establecimientos, ya que por algunos es considerado innecesario. La finalidad de esta etapa es eliminar la mayor cantidad de agua posible contenida en la yerba, sin llegar a tostarla, luego de haber concluido la etapa de “Zapecado” o compensar al “Zapecado” si este es insuficiente.

En este proceso la yerba pierde aproximadamente un 10,5% de humedad (Michalus, 1998).

Es realizado antes del “Secado” propiamente tal, por un periodo de 10 a 15 segundos, dentro de una tambora de características similares a la de “Zapecado”, llamada “Tambora de Presecado”, alimentada por aire caliente proveniente de un hogar propio, cuya temperatura es menor, de aproximadamente 250°C.



Figura N°3.4: Estructura interna de aspas de las tamboras de zapecado y presecado.  
Fuente: Archivos Propios.

### 3.3.4 Proceso de Secado

En esta etapa, la yerba que ha sido presecada, es sometida a la acción del calor, hasta lograr la deshidratación requerida.

La empresa analizada posee un secadero de cintas, de 30 metros de largo, 4 metros de ancho y 7 metros de altura (Figura N° 3.5). En su interior hay 3 cintas

transportadoras dispuestas en forma horizontal, que abarcan todo el ancho y largo del secadero, ubicadas una sobre la otra.

Por la parte inferior del secadero ingresa aire caliente, a temperaturas de entre 110°C y 130°C dependiendo de las condiciones de humedad de la yerba introducida. El aire, proveniente de un hogar de leña, es llevado hasta el secadero mediante un “Conducto de Secado”, que se divide al llegar al secadero en 12 salidas que, controladas mediante computadoras, regulan la cantidad de aire introducido. El aire caliente atraviesa el secadero en forma transversal, y posteriormente sale por chimeneas ubicadas en el techo.

La yerba proveniente del “Presecado”, llega hasta el secadero mediante cintas transportadoras que ingresan en una sala ubicada en la parte superior del edificio, denominada “Palomera”. En su interior, un conducto transporta la yerba hasta el inicio de la cinta superior del secadero, donde un operario realiza una inspección visual y esparce horizontalmente sobre ella la yerba ayudándose con una horquilla (Figura N° 3.5). La yerba es distribuida en todo el ancho de la cinta superior, formando una capa de unos 50 a 80 centímetros de altura aproximadamente. Esta avanza en sentido longitudinal pasando luego por la cinta intermedia y posteriormente por la cinta inferior, permaneciendo dentro del secadero por un periodo de aproximadamente 4 horas, hasta que se secan las hojas y los palos, de manera que a la salida del secadero, la yerba contiene un valor residual de humedad que oscila entre 2 y 4 por ciento. Las temperaturas al interior del secadero son controladas mediante sensores de temperatura por sectores, ubicados en cada una de las cintas del secadero, que permiten vigilar las condiciones a las que esta expuesta la yerba y modificar las cantidades y temperaturas del aire que ingresa al secadero por las entradas inferiores, para lograr las condiciones apropiadas para el correcto secado de la yerba.

Al finalizar este proceso, debido a la gran pérdida de humedad, la masa de yerba se reduce a un 35 por ciento de su valor original.

Posteriormente, la yerba es trasladada mediante cintas transportadoras hasta la etapa siguiente.



Figura N°3.5: Secadero de cintas e ingreso de la yerba al secadero de cintas desde la “palomera”.

Fuente: Archivos Propios.

### 3.3.5 Proceso de Canchado

Una vez seca, la yerba es sometida a un proceso de trituración tosco, conocido con el nombre de “Canchado”, realizado mediante una máquina llamada “Canchadora” (Figura N°3.6).

La “Canchadora” está compuesta por un conjunto de cuchillos giratorios que impactan la yerba actuando como molino de martillos, pero de modo muy grosero y una malla con agujeros de 2,5 centímetros cuadrados, medida exigida por la normativa (INYM, 2009), que se encuentra en la parte inferior. La yerba pasa a través de la malla y los cuchillos se encargan de fraccionar el material a un tamaño igual o menor al de los orificios.

Esta operación es indispensable, fundamentalmente para aumentar la superficie expuesta de la yerba, ya que su división en partes más pequeñas, posibilita la interacción del material vegetal con la atmósfera y el agua contenida en ellas (Figura N° 3.6), permitiendo la obtención, durante el estacionamiento natural o acelerado, del sabor requerido por el consumidor. Por otro lado, el canchado permite disminuir el volumen del material, facilitando posteriormente su embolsado y transporte. Esta operación es bastante sencilla y rudimentaria, pero genera una gran cantidad de polvo (5 por ciento de la yerba ingresada a la canchadora).



Figura N°3.6: Máquina canchadora y yerba canchada.  
Fuente: Archivos Propios.

### 3.3.6 Proceso de Zarandeo

Esta operación se realiza en una máquina vibratoria denominada “Zaranda” (Figura N° 3.7), cilindro metálico dispuesto de forma horizontal, con perforaciones distribuidas uniformemente en su superficie.

La yerba canchada es introducida en la zaranda mientras ésta se sacude como una especie de colador, permitiendo que todos los palos de tamaño mayor a las medidas de las perforaciones queden dentro de esta y salgan por el otro extremo del cilindro, para ser depositados en bolsas (Figura N° 3.7) y posteriormente utilizados como abono en los cultivos de yerba o como combustible para los hogares. La yerba zarandeada que logra pasar por los orificios, es trasladada mediante un transporte elevador para luego ser embolsada.



Figura N°3.7: Zaranda y salida de palos desde la zaranda.  
Fuente: Archivos Propios.

El secadero analizado posee 2 tipos de zaranda. La yerba proveniente de la “canchadora” pasa inicialmente por una zaranda de clasificación general para eliminar palos y ramas gruesas. Posteriormente es llevada mediante conductos que poseen un sistema de imanes que permiten la extracción de materiales ferrosos que hayan superado el control visual de etapas anteriores, hasta una segunda zaranda, que posee perforaciones de 5 milímetros por 70 milímetros, medida exigida por la normativa (INYM, 2009). El producto obtenido está compuesto en un 78 por ciento por hojas, 18 por ciento por palos y 4 por ciento por polvo y constituye la denominada “Yerba Canchada” (Figura N°3.8), producto básico elaborado por la empresa.



Figura N°3.8: Yerba canchada obtenida luego del proceso de zarandeo, composición exigida por el INYM.  
Fuente: Archivos Propios.

Dicho producto es trasladado mediante un transporte elevador hasta depósitos (Figura N° 3.9), en donde es embolsado en bolsas de yute o polipropileno preparadas para contener 50 kgs de yerba (Figura N° 3.9). Posteriormente, pueden ser directamente comercializados como “yerba canchada sin estacionar”, derivados a stock de yerba canchada en los respectivos depósitos o transportados a cámaras de estacionamiento (Figura N° 3.10) por un periodo de un mes, dependiendo del requerimiento de los clientes.



Figura 3.9: Transporte elevador de la yerba zarandeada hacia depósitos. Embolsado de la yerba.  
Fuente: Archivos Propios.

### 3.3.7 Estacionamiento

La empresa analizada utiliza el denominado estacionamiento acelerado, cuya duración es de un mes. La yerba embolsada luego del zarandeo es apilada en cámaras cerradas (Figura N° 3.10) en cuyo interior se inyecta humedad y aire frío o caliente en proporciones adecuadas, haciéndolo circular mediante ventiladores y controlando diariamente la evolución del material vegetal mediante observación visual, toma de muestras de yerba procedente de las cámaras para determinar su contenido de humedad y controlando la temperatura y humedad de las cámaras mediante sensores dispuestos convenientemente para ello.

La yerba estacionada mediante estacionamiento acelerado representa el 40 por ciento de las ventas totales. El 60 por ciento restante corresponde a ventas de yerba canchada sin estacionar.



Figura N°3.10: Cámaras de estacionamiento y Depósitos de yerba canchada.  
Fuente: Archivos Propios.

### 3.3.8 Despacho del Producto

Una vez concluido el estacionamiento y realizado el tipificado en los casos que este sea requerido, las bolsas de yerba son depositadas por operarios en una cinta transportadora que las traslada hasta un camión (Figura N°3.11). Luego de ser cargado, el camión es pesado en la báscula y despachado hasta los molinos, que realizan los procesos de molienda y envasado requeridos para obtener el producto final.



Figura N°3.11: Carga de producto final en camiones para su posterior comercialización.  
Fuente: Archivos Propios.

### 3.4 Layout del Establecimiento Analizado

En la Figura N° 3.12, se muestra la distribución de la planta, indicando mediante flechas el recorrido del material vegetal hasta llegar a los respectivos depósitos de yerba canchada o cámaras de estacionamiento.

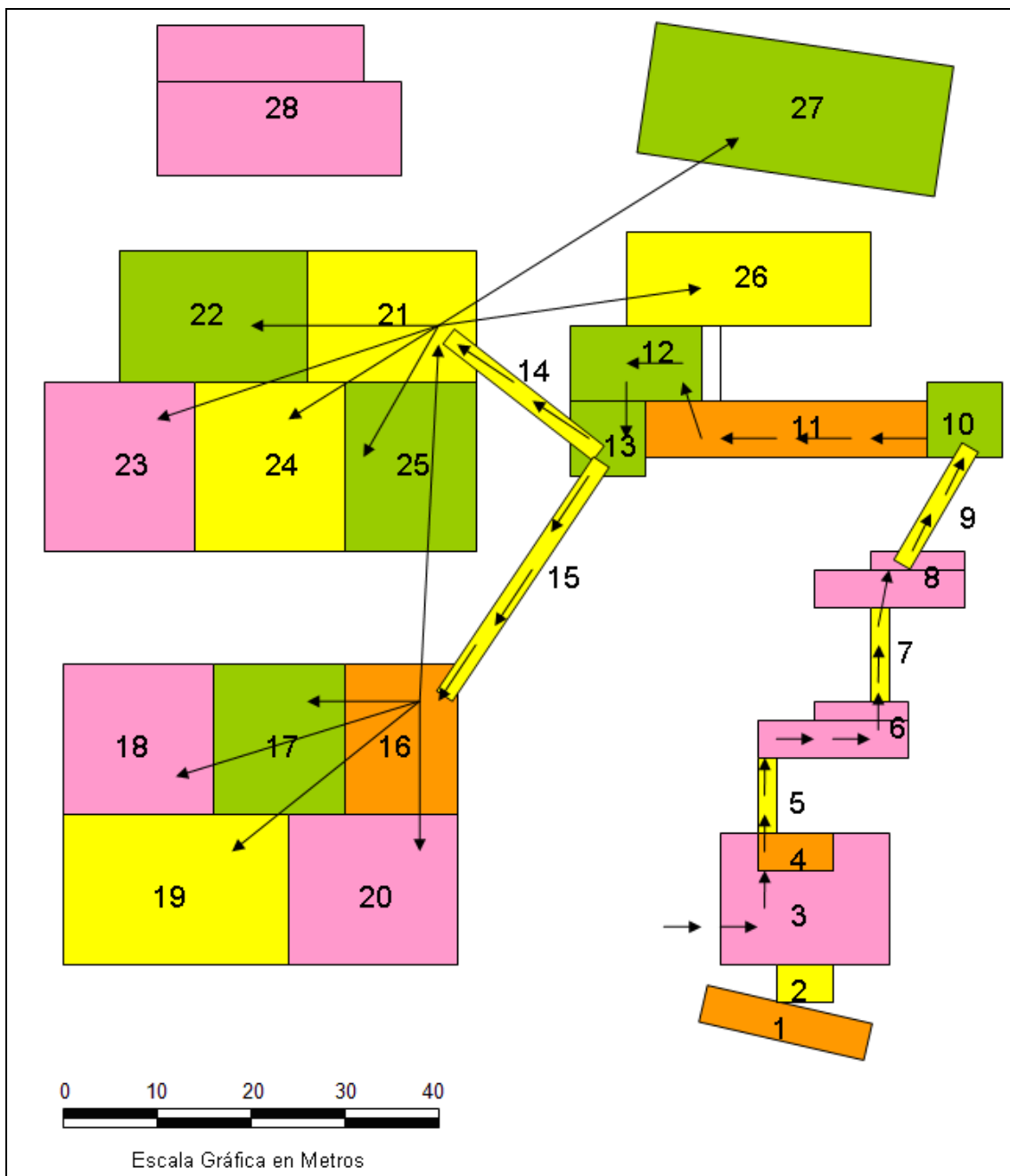


Figura N°3.12: Distribución en planta del Establecimiento Analizado.  
Fuente: Elaboración Propia.



Referencias:

1. Báscula
2. Control
3. Planchada
4. Máquina Planchadora Automática
5. Cinta Transportadora
6. Tambora de Zapecado
7. Cinta Transportadora
8. Tambora de Presecado
9. Cinta Transportadora
10. Palomera
11. Secadero de Cintas
12. Canchadora
13. Zaranda
14. Cinta Transportadora 1
15. Cinta Transportadora 2
16. Depósito Intermedio 1
17. Cámara de Estacionamiento 1
18. Cámara de Estacionamiento 2
19. Cámara de Estacionamiento 3
20. Cámara de Estacionamiento 4
21. Depósito Intermedio 2
22. Depósito de yerba 1
23. Depósito de yerba 2
24. Depósito de yerba 3
25. Depósito de yerba 4
26. Depósito de yerba 5
27. Depósito de yerba 6
28. Oficinas administración

## **Capítulo 4. Metodología de Simulación Mediante Dinámica de Sistemas**

Este capítulo tiene como objetivo presentar una descripción general de la herramienta Simulación y las diferencias más relevantes entre Simulación mediante Dinámica de Sistemas y Simulación por Eventos Discretos. Además se describe brevemente la metodología de modelado y simulación mediante Dinámica de Sistemas mostrando sus principales aplicaciones, ventajas y desventajas.

### **4.1 Metodología General de Simulación**

Simulación es una herramienta de ingeniería que permite la representación de un sistema, a través de una serie de aplicaciones que permiten representar su comportamiento mediante la utilización de software especializado.

Es una de las herramientas más poderosas disponibles para la toma de decisiones, diseño y operación de un sistema complejo.

La simulación permite diseñar un modelo del sistema real, realizar experimentos sobre este, a fin de comprender el comportamiento del sistema y evaluar distintas estrategias operativas del sistema bajo análisis, que de otra forma no serían posibles.

Una de las fortalezas de la simulación es que permite ensayar tanto en sistemas existentes, como en los que aún no han sido materializados y a un bajo costo, considerando que la experimentación en el sistema real podría significar el colapso de los procesos o resultar infactible. Por esto, constituye un ahorro de tiempo y dinero considerables.

En los modelos de simulación se definen ciertas reglas (ecuaciones, diagramas de flujo, estados del sistema, agentes, etc.) que condicionan los cambios del sistema en el futuro a partir de su estado actual. Entonces la simulación es la descripción de los sucesivos cambios de estados (continuos o discretos) que asume el modelo a medida que transcurre el tiempo.

Dependiendo del nivel de abstracción, conocimiento de detalle del sistema, cantidad de objetos que intervienen y objeto de la simulación, se pueden definir distintos paradigmas de la simulación (Figura N° 4. 1).

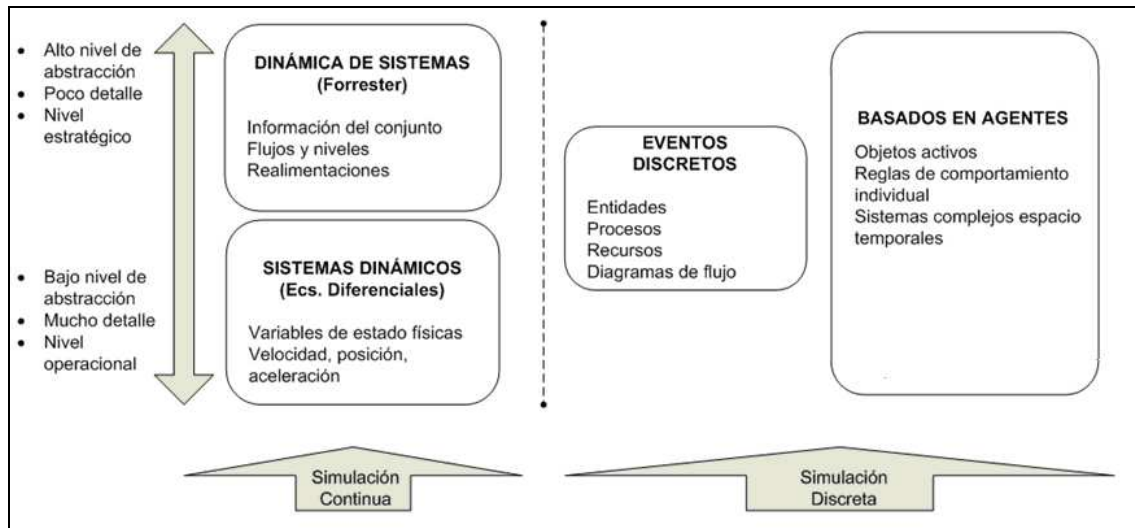


Figura N°4.1: Paradigmas de la simulación  
Fuente: Puliafito E. (2001)

#### 4.1.1 Simulación Continua

La transición de los estados del sistema transcurre de forma continua, es decir, en intervalos continuos de tiempo (1 hora, 1 mes, 1 año, etc.) y la evolución de sus variables es determinada a partir de ecuaciones que representan el comportamiento de cada variable en el tiempo, para cada intervalo temporal. Por ejemplo, para el movimiento de un tren por una vía, se puede determinar el comportamiento de las variables posición, velocidad y aceleración para cada instante de tiempo.

En este tipo de simulación encontramos los Sistemas Dinámicos y la Dinámica de Sistemas (metodología utilizada en este trabajo). En los primeros, generalmente se trabaja con variables de estado físicas. Se utilizan ecuaciones diferenciales que representan el comportamiento de las variables en el tiempo y son de tipo determinísticos, es decir, las variables se explican completamente en función de sus inputs y no varían al azar, ya que no poseen componentes probabilísticos.

En Dinámica de Sistemas (propuesta por Forrester) se describe a los sistemas como la interacción entre niveles o variables de estado, flujos y tasas. Es posible observar cómo las interacciones entre las variables determinan el comportamiento del sistema, centrándose no sólo en el comportamiento de variables aisladas. La representación de las variables puede ser de tipo determinístico o estocástico.

#### 4.1.2 Simulación de Sistemas Discretos

En los sistemas discretos, el estado del sistema sólo cambia en ciertos instantes de tiempo, no de forma continua. Las transiciones de estados están dirigidas por eventos. Un evento es un suceso instantáneo que puede cambiar el valor de algunas variables o la relación entre ellas. Es decir, el sistema evoluciona con la ocurrencia de un evento y no de forma continua en el tiempo.

Se pueden distinguir la simulación por Eventos Discretos, en la cual se modela el comportamiento de los actores (pasivos) que integran el sistema y se analiza su tránsito por el mismo. Un caso típico son los modelos de líneas de espera, donde los eventos que hacen evolucionar los estados del sistema son la llegada de un nuevo usuario a la cola y la salida del usuario atendido en cada cola.

También podemos encontrar la simulación en base a agentes, en la cual el tiempo de simulación generalmente es discreto. Se define el comportamiento de los agentes (entidades activas) y se analiza las interacciones entre ellos. El comportamiento global del sistema surgirá de dichas interacciones, siendo una propiedad del conjunto, no de cada individuo en particular. Se puede utilizar en biología, ciencias sociales, entre otros.

## **4.2 Diferencias entre Simulación mediante Dinámica de Sistemas y Simulación por Eventos Discretos.**

En Ingeniería Industrial, generalmente se utiliza la simulación por eventos discretos, para analizar los procesos en base a tiempos, encontrar cuellos de botellas y analizar los posibles efectos ante cambios de escenarios.

La decisión de utilizar un modelo discreto o continuo para simular un sistema en particular, depende de los objetivos específicos de estudio. Por ejemplo: un modelo de flujo de tráfico en una carretera, puede ser discreto si las características y movimientos de los vehículos en forma individual es importante. En cambio si los vehículos pueden considerarse como un flujo de tráfico, entonces se puede usar un modelo basado en ecuaciones diferenciales presentes en un modelo continuo.

Tabla N°4.1: Principales diferencias entre Dinámica de Sistemas y Simulación por Eventos Discretos.

<b>Dinámica de Sistemas</b>	<b>Simulación por Eventos Discretos</b>
Tiempo Continuo	Tiempo Discreto
Nivel de abstracción alto	Nivel de abstracción medio
Modela el comportamiento de flujos dinámicos sobre variables de nivel o de estado	Modela el comportamiento de entidades u objetos pasivos
Las variables del sistema se representan mayormente mediante ecuaciones, tablas dinámicas y gráficas, dado que el tiempo de simulación es continuo	Las variables del sistema se representan mayormente mediante funciones probabilísticas generadas a partir de la toma de datos de tiempos
Analiza los ciclos de realimentación, los efectos retardados y interacción entre las variables que componen el sistema	No analiza la interacción entre las variables. Sólo estudia el tránsito de una entidad por el sistema
Es importante definir las interacciones entre las variables	Es importante definir las secuencias de los ítems

Fuente: Elaboración Propia.

### 4.3 Orígenes de Dinámica de Sistemas

Esta metodología nace de la necesidad de afrontar la complejidad dinámica de los sistemas, avanzando desde un enfoque tradicional de análisis reduccionista hacia la idea de sistemas complejos, donde las relaciones causa-efecto entre las

variables componentes de un sistema no siempre poseen un comportamiento lineal, como se tiende a asumir muchas veces.

La Teoría General de Sistemas (TGS) busca superar el enfoque reduccionista, analizando el comportamiento generado por las interrelaciones producidas entre sus elementos componentes y la sinergia producida ante cambios en algunos de sus parámetros, intentando mostrar además cómo el comportamiento de los sistemas puede surgir a partir de su estructura matemática.

El interés por incorporar la TGS para el estudio de las organizaciones, dio lugar al Pensamiento Sistémico. De acuerdo con Senge (1992), el pensamiento sistémico nos permite afrontar y resolver problemas complejos, superando nuestra visión fragmentada de la realidad.

La Cibernética introduce la idea de circularidad a través del concepto de retroalimentación, bucle o feed-back, rompiendo con la ciencia newtoniana clásica en la que los efectos se desencadenan de forma lineal (García, 2003). Como afirma Senge (1990), “La clave para ver la realidad sistémicamente consiste en ver círculos de influencia en vez de líneas rectas”.

En la década los años 50, aprovechando los avances de la informática, Jay W. Forrester, profesor de Massachusetts Institute of Technology (MIT), comenzó a desarrollar por primera vez lo que hoy se conoce como Dinámica de Sistemas, denominándolo en ese momento “Dinámica Industrial”. Incorporó el enfoque sistémico y la simulación por ordenador para elaborar modelos que permitieron avanzar en la resolución de problemas que se producen en el seno de la empresa industrial, estudiando las características de retroalimentación en la actividad industrial, con el fin de demostrar cómo la estructura organizativa, las políticas y las demoras en las decisiones y acciones interactúan e influyen en el éxito de la empresa

Posteriormente se utilizó para analizar sistemas sociales, denominándosele “Dinámica Urbana”, y luego para analizar problemas que incluían variables de orden global, como la contaminación, la población mundial, entre otras. Entonces se le denominó “Dinámica de Sistemas”, ya que se comprendió que esta herramienta puede ser utilizada para mucho más que industrias y urbanismo. Desde entonces, se ha empleado para construir modelos informáticos en casi todas las ciencias como por ejemplo en sistemas sociológicos, sistemas

medioambientales, sistemas energéticos e incluso para problemas de defensa, simulando problemas logísticos de evolución de tropas y otros problemas análogos.

#### **4.4 Metodología General de simulación mediante Dinámica de Sistemas**

Dinámica de Sistemas (DS) es una de las herramientas sistémicas más solidamente desarrolladas y que ha alcanzado un mayor grado de aceptación e implementación. (Aracil, 1995)

Como se mencionó anteriormente, utiliza como base la Teoría General de Sistemas y la Cibernética (Zamorano, 2006) para tratar de explicar el comportamiento de determinados sistemas a partir de su estructura, es decir, de las diferentes realimentaciones que se producen entre las variables que lo componen a lo largo del tiempo y que provocan cambios en él (Aracil, 1995).

Posee características complementarias a las de los métodos fundamentalmente cuantitativos y de base estadística, ya que los parámetros utilizados derivan fundamentalmente de la base de datos mental (Aracil, 1995) y se caracterizan muchas veces por escasez de bases de datos numéricas, ya que se centra en el estudio evolutivo de patrones de comportamiento, para explicar la complejidad de los sistemas que se retroalimentan de los resultados de sus acciones (Del Despósito et. al. 2009, b).

Trata de construir (recurriendo al conocimiento de expertos y la observación) modelos dinámicos de un determinado sistema, donde los bucles de retroalimentación y la no linealidad juegan un papel primordial.

Un modelo de DS es una estructura de políticas en interacción que determinan las decisiones cotidianas. En este contexto, el término política representa todas las causas formales e informales de una acción (Forrester, 1998), identificadas a partir de observación del sistema y entrevistas con los directivos y operarios de la empresa. Esta información conduce a un modelo descriptivo demasiado complejo para ser resuelto fiablemente por la mente humana (Forrester, 1998), por ello se recurre a la simulación por computadora. El modelo es expresado en cuanto a sus

relaciones por medio de ecuaciones matemáticas y lógicas que representan el comportamiento del sistema y permiten su resolución por medio del ordenador (Zamorano, 2006).

De ésta forma el modelo generará flujos de decisiones controladas por las políticas, generando un determinado estado del sistema, el que se retroalimentará de los resultados obtenidos y volverá a generar flujos de decisiones que responden a políticas, y así sucesivamente. Así, es posible analizar el comportamiento del sistema, ya sea en condiciones normales o ante cambios en algunas de las condiciones, y analizar el posible efecto de incorporar políticas alternativas para cada unidad de tiempo, sin necesidad de intervenir en el sistema real, con una inversión relativamente baja y riesgo mínimo. (Zamorano, 2004; Ariza Zabala & Sotaquirá Gutiérrez, 2004)

Es interesante aclarar que la DS no pretende lograr una previsión perfecta del futuro, sino, más bien aumentar el conocimiento acerca del sistema estudiado facilitando así una ayuda para comprender el funcionamiento del sistema y la apreciación de las posibles alternativas a seguir frente a modificaciones en algunos de sus parámetros (García, 2003). Consiguientemente, si el comportamiento resultante de las modificaciones es indeseable, se pueden proponer políticas alternativas que produzcan mejoras en los resultados y observar los escenarios asociados a dichas variaciones.

#### **4.5 Aplicaciones de Dinámica de Sistemas**

Tal como plantea Juan Martín García, frecuentemente nos enfrentamos a una realidad con un número de parámetros limitado y por sobre todo cuantificables, entonces acudimos a los modelos formales, que nos permiten actuar con grandes posibilidades de éxito. Pero ante situaciones complejas, con variables difícilmente cuantificables, debemos acudir a modelos menos formales, pero que nos permitan obtener una visión más estructurada del problema y sus posibles vías de solución. Dinámica de Sistemas encuentra sus principales aplicaciones en entornos complejos y poco definidos, donde intervienen decisiones humanas que suelen estar guiadas por la lógica y que provocan cambios en el tiempo.



Es útil cuando se desea explicar cómo las realimentaciones, los retardos y las interacciones que ocurren entre las variables determinan el comportamiento de un sistema en el tiempo (sin considerar a las variables de manera aislada).

Como se mencionó anteriormente, Dinámica de Sistemas ha sido aplicada hasta hoy en la mayoría de las ciencias. Se puede aplicar a cualquier sistema que presente un comportamiento dinámico en el tiempo, cuyos parámetros y variables puedan ser cuantificables, presenten algún tipo de realimentación, es decir, que ciertas variables tengan influencia sobre otras y que existan flujos cuyos cambios en el tiempo determinen el posterior comportamiento de otros componentes del sistema.

Un modelo elaborado mediante Dinámica de Sistemas, busca mostrar el efecto de flujos dinámicos (ya sea de materiales o de información) sobre variables de nivel o estado, cuya variación en función de los flujos para cada unidad de tiempo es la que se desea analizar. Dichos flujos a su vez son determinados por otras variables, parámetros o constantes que permiten elaborar las ecuaciones que representan el comportamiento de las variables más importantes.

Dinámica de Sistemas permite observar los sistemas de forma integrada, lograr una mejor comprensión de su funcionamiento y apreciar cómo los cambios en algunas variables influyen en el comportamiento de otras y cómo dichas interacciones influyen en el comportamiento del sistema.

Machuca et. al. (1995) afirma que se puede concebir a la empresa como un sistema complejo y abierto, en el que los distintos subsistemas y elementos están interrelacionados y organizados, formando un todo unitario y desarrollando una serie de funciones para la consecución de los objetivos globales de la firma.

En este caso, se decidió utilizar Dinámica de Sistemas como una aplicación de la Ingeniería Industrial, para la elaboración de un modelo de una PyME, que permite representar a la empresa mediante un modelo dinámico, mostrando los componentes y relaciones existentes dentro de la misma y con su entorno. Luego con esta herramienta es posible examinar el comportamiento del sistema analizado efectuando experimentos en el mismo (Zamorano, 2006) y explorar su utilización como ayuda a la toma de decisiones.

## 4.6 Ventajas y Desventajas de Simulación mediante Dinámica de Sistemas

Algunas de las ventajas más importantes de la simulación mediante Dinámica de Sistemas son las siguientes:

- Permite analizar el problema en cuestión inserto dentro de un todo, con una visión holística
- Posibilita la determinación de la red de interrelaciones entre los componentes del sistema, de manera de poder ver los bucles de relaciones causales originados por las mutuas influencias de las variables
- Facilita la explicitación de dichas relaciones mediante algún tipo de formalización matemática que nos permita simular el comportamiento del sistema en condiciones de laboratorio
- Mediante el uso de un software es posible observar el comportamiento del sistema en condiciones normales y su variación ante cambios en algunos de los parámetros, pudiendo modificar varios de éstos de forma simultánea en la interfaz y observar cómo repercuten dichos cambios en el resto de las variables y en el sistema en general de manera instantánea.
- Provee una idea del comportamiento del sistema en el mediano o largo plazo

Algunas de las desventajas más importantes son las siguientes:

- Al trabajar principalmente en base a análisis cualitativo, las relaciones funcionales representan criterios que no cuentan siempre con el apoyo de la evidencia o la experiencia
- El carácter determinista de muchos modelos no permite incluir la posible reacción ante cambios futuros
- Los resultados son sensibles a variaciones de algunas entradas o parámetros
- Algunas variables poseen comportamientos difíciles de representar matemáticamente

## **4.7 Características básicas de los software utilizados en Dinámica de Sistemas**

A continuación se describen brevemente los software más utilizados para el modelado y simulación mediante Dinámica de Sistemas (García, 2003)

### 4.7.1 Professional DYNAMO

Es el más clásico de los lenguajes. No presenta posibilidades de modelado mediante iconos, pero permite tratar ecuaciones de gran dimensión. La mayor parte de los modelos que se encuentran en los libros clásicos de la dinámica de sistemas están escritos en este lenguaje.

### 4.7.2 STELLA y i-think

Son entornos informáticos de amplia capacidad interactiva que permiten construir modelos empleando procedimientos gráficos, mediante iconos. Ambos poseen una estructura similar, pero el primero se encuentra más orientado hacia usos académicos y el segundo hacia aplicaciones profesionales. Ambos permiten construir los diagramas de Forrester en la pantalla del computador, de modo que al establecer su estructura se generan las ecuaciones.

### 4.7.3 PowerSim

Posee características análogas a los anteriores, pero fue desarrollado en Norteamérica (los anteriores en Europa). Permite desarrollar varios modelos simultáneamente, e interconectarlos posteriormente entre sí.

### 4.7.4 VenSim

Con respecto a las anteriores presenta algunas ventajas con relación a la organización de datos y a posibilidades de optimización. Permite documentar

automáticamente el modelo según se va construyendo, y crea árboles que permiten seguir las relaciones de causa efecto a lo largo del modelo. Permite trabajar con gráficos y tablas dinámicas del comportamiento de las variables en el tiempo y observar en la pantalla el comportamiento gráfico de todas las variables de forma simultánea, pudiendo modificar los valores constantes para observar instantáneamente en la interfaz los cambios asociados al resto de las variables.

## **Capítulo 5: Modelado y Simulación mediante Dinámica de Sistemas**

En este capítulo se describen brevemente los pasos o etapas propuestas por Aracil (1995) entre otros, para la elaboración de un modelo mediante Dinámica de Sistemas y como dichas etapas fueron llevadas a la práctica para la elaboración del modelo de la empresa analizada.

### **5.1 Etapas para la Elaboración de un Modelo mediante Dinámica de Sistemas**

Para la construcción del modelo, se siguieron las etapas propuestas por Aracil (1995), mostradas a continuación (Figura N° 5.1). Como se observa en el diagrama, estas etapas no siguen un orden estrictamente secuencial, ya que frecuentemente el analista debe reconsiderar algunos supuestos que hasta ese momento se habían considerado válidos, para mejorar el conocimiento del sistema y la representatividad del modelo original. Como resultado final se obtiene un modelo aceptable del proceso que se está estudiando.

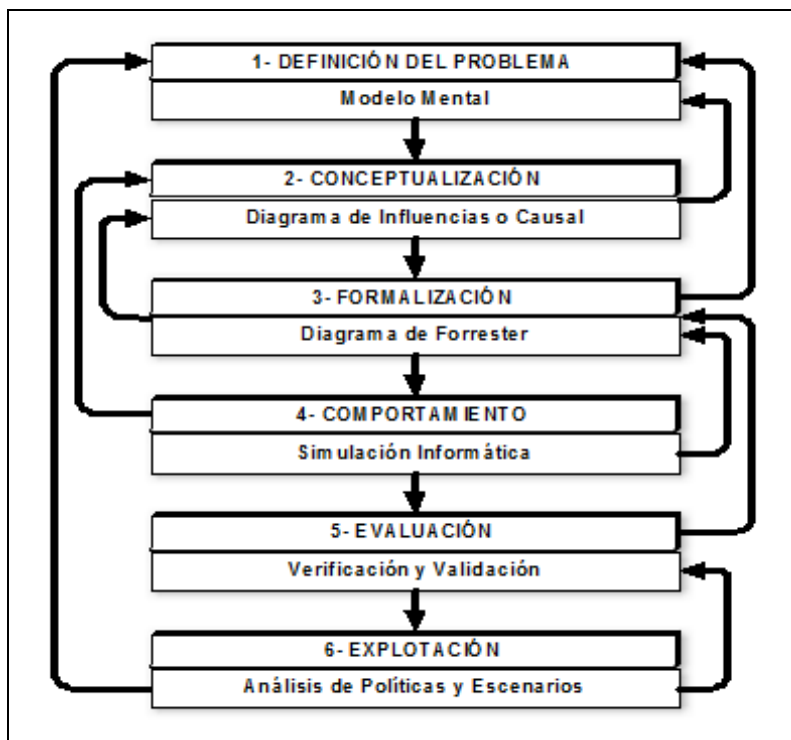


Figura N°5.1: Etapas para la elaboración de un modelo mediante Dinámica de Sistemas.  
Fuente: Adaptado de Aracil (1995)

### 5.1.1 Definición del Problema

Dada la dificultad de representar absolutamente todos los elementos que influyen en el sistema en un mismo modelo, se debe definir el problema en cuestión, el tipo de información, el nivel de representación y la complejidad que se desea obtener con el modelo y establecer si es posible desglosarlo en elementos componentes que llevarán asociadas magnitudes, cuyo comportamiento en el tiempo es lo que se desea estudiar. Se obtiene así lo que Senge (1995) y Sarabia (1995) denominan “Modelo Mental”.

### 5.1.2 Conceptualización del Sistema

Una vez definido el problema se debe realizar el llamado “Diagrama de Influencias” o “Diagrama Causal” del Sistema, que consiste en definir cuales son los elementos que influyen en el sistema, y describir las interrelaciones e

influencias que se producen entre ellos mediante flechas a partir de las políticas<sup>4</sup> que determinan el funcionamiento del sistema. Estas interrelaciones son positivas cuando un cambio en la variable de origen de la flecha genera un cambio del mismo sentido en la variable de destino, y son negativas cuando un cambio en la variable de origen de la flecha genera un cambio en el sentido contrario de la variable de destino (Del Despósito et. al., 2009, b).

En esta etapa aparecen circuitos cerrados de relaciones causales, denominados “Bucles de Realimentación” (Del Despósito et. al., 2009, a, b, c, d), que pueden ser positivos, si el número de interrelaciones negativas dentro del bucle es par y negativos si el número de interrelaciones negativas del bucle es impar. (Senge, 1995)

- Los bucles negativos implican un comportamiento de tipo estable o compensador, al dirigir al sistema hacia un objetivo determinado, ya que si por una acción exterior se perturba alguno de sus elementos, el sistema, en virtud de su estructura, reacciona tendiendo a anular esa perturbación.
- Los bucles positivos implican un comportamiento de tipo inestable o reforzador, ya que representa un proceso en el que un estado determina una acción, que a su vez refuerza este estado, y así indefinidamente. Cuando por una acción exterior se perturba alguno de sus elementos, el sistema amplifica la perturbación.

Se debe mencionar la diferencia entre los conceptos de “Realimentación” y “Retroalimentación”: Realimentación indica que un cambio en la variable de entrada genera un cambio en la variable de salida. Ejemplo, La Demanda influye en la cantidad de materia prima a adquirir por periodo (pero la MP a adquirir no influye en la demanda) y “Retroalimentación” indica que la variable de entrada genera un cambio en la variable de salida y a la vez, la variable de salida generará un nuevo cambio en la variable de entrada y así sucesivamente, como

---

<sup>4</sup> El término “Política” en Dinámica de Sistemas, se refiere a todas las causas formales e informales que determinan una acción o comportamiento (Del Despósito et. al. 2009, c).

un efecto bola de nieve. Ejemplo: Stock y Producción: si disminuye la cantidad en Stock, aumenta la producción y luego al aumentar la producción aumenta el stock por lo tanto nuevamente disminuye la producción.

### 5.1.3 Formalización

El objetivo es convertir el diagrama causal en un diagrama de Forrester. Esto consiste en describir las ecuaciones que representan el comportamiento de cada variable, las relaciones producidas entre las ellas y definir los tipos de variables que actúan en el modelo con su respectiva simbología (Aracil, 1995). La formalización podría revelar inconsistencias que obligarían a modificar la descripción previa, hasta obtener finalmente un modelo del sistema programado en el computador (Zamorano, 2004).







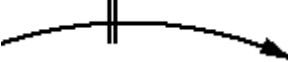
Los diferentes tipos de variables existentes en un modelo son explicados a continuación, siguiendo a Aracil (1995), García (2003), entre otros.

- Las ecuaciones están conformadas en base a las variables de “Nivel” o de “Estado”, que representan “acumulaciones” para el instante de tiempo  $\Delta t = 1$  mes y son determinadas por las variables de “Flujo”, que constituyen entradas y salidas de flujos materiales o de información desde y hacia las variables de “Nivel”.
- Las “Variables Auxiliares representan las no-linealidades del modelo” mediante funciones gráficas, tablas de datos, funciones de densidad de probabilidad, entre otros. Junto con las “Constantes” o “Parámetros”, condicionan el comportamiento de los flujos mediante operaciones lógico-matemáticas.
- Los “Canales Materiales” transmiten las magnitudes físicas entre flujos y niveles y los “Canales de Información” transmiten información entre los flujos y niveles.
- Los “retrasos” simulan retrasos de tiempo en la transmisión de la información y de los materiales.



En la Tabla N° 5.1 se muestra la simbología utilizada en el modelado mediante Dinámica de Sistemas.

Tabla N°5.1: Simbología utilizada en la elaboración del modelo mediante Dinámica de Sistemas

Elemento	SímboloGÍA
Variable de Nivel o Estado	
Variable de Flujo	
Variable Auxiliar	
Parámetros o Constantes	
Canales Materiales	
Canales de Información	
Retrasos	

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.1.4 Comportamiento del Modelo

En esta etapa se debe realizar la simulación informática del modelo, que consiste en realizar experimentos para determinar como responderá a cambios en la estructura e interrelaciones causa-efecto. Para esto se requiere el uso de un software, sugerentemente VenSim.

La existencia de discrepancias frente al sistema real obligaría a un refinamiento en las ecuaciones o, incluso, a redefinir el modelo, verificando su consistencia estructural.

### 5.1.5 Evaluación del Modelo

Consiste en someter al modelo a una serie de ensayos y análisis para evaluar su validez y calidad. Comprende desde la comprobación de la consistencia lógica de las hipótesis hasta el ajuste de las trayectorias generadas por el modelo y las registradas en la realidad, a través de la simulación informática del mismo, para observar su comportamiento, verificar su correcto funcionamiento mediante la opinión de expertos y datos históricos disponibles y realizar un análisis de sensibilidad para observar cuales de los parámetros propuestos son más influyentes en el comportamiento del modelo.

### 5.1.6 Explotación del Modelo

Una vez simulado el modelo en condiciones normales, se procede a simular escenarios que representan posibles situaciones a las que pudiera enfrentarse el sistema que se está estudiando, observar el comportamiento del sistema y en el caso de que éste sea indeseable, proponer políticas alternativas que permitan superar los inconvenientes producidos.

## **5.2 Elaboración del Modelo mediante Dinámica de Sistemas del Establecimiento Analizado**

Para la elaboración del modelo del establecimiento analizado, se siguieron los pasos sugeridos por Aracil (1995), explicados anteriormente (Figura N°5.1).

En una etapa inicial, fue elaborado el denominado “Modelo Mental”, definiendo los alcances y el tipo de resultados que se desea obtener con el modelo.

El modelo elaborado no pretende representar los procesos productivos de la empresa analizada, sino explicar de la mejor forma posible la estructura y el funcionamiento general de la empresa, a partir de las influencias y

realimentaciones que se producen entre las variables más importantes que componen el sistema. Se busca observar el comportamiento de sus principales variables: stock, demanda, ventas, compras a empresas externas, entre otras, en condiciones normales y ante los escenarios propuestos de carencia de recursos y un aumento brusco de la demanda al doble de su valor actual, para visualizar los posibles escenarios generados ante tal situación y la posibilidad de aplicar políticas alternativas de acción para superar los inconvenientes producidos ante tales modificaciones, tratando de anular o en su defecto disminuir la pérdida de ventas al menor costo posible.

La importancia del modelo mental es crucial, puesto que a partir de él se definen de manera explícita las variables y relaciones del modelo que puestas en forma gráfica forman lo que se denomina “Diagrama Causal” (Del Despósito et. al., 2009, a).

Existe innumerable información que incluida en un modelo conformaría un megamodelo llegando a ser tan complejo que resultaría inmanejable. Por esta razón es necesario “filtrar”, realizar abstracciones y supuestos tales que le permitan reproducir el comportamiento del sistema de manera sencilla y funcional a los objetivos que persigue (Sarabia, 1995, Zamorano, 2004).

Para poder precisar los elementos incluidos en el sistema, fueron definidas las políticas que gobiernan su comportamiento, determinadas mediante entrevistas a directivos y personal de la firma, como así también observación en el lugar y recopilación de información sobre prácticas comunes en este tipo de empresas.

### 5.2.1 Políticas principales que rigen el comportamiento del sistema

- Producción variable para cada periodo según el comportamiento de la demanda y dada la estacionalidad en la cosecha de la materia prima.
- Durante los meses de mayor disponibilidad de materia prima la producción aumenta considerablemente para cubrir las ventas en los periodos que no hay producción, dada la prohibición de la cosecha durante Octubre y Noviembre y la inferior calidad de la materia prima en Diciembre.

- Capacidad de producción 4000 k/h de hoja verde ingresada a secadero, equivalentes a 1.400 k/h de producto al final del proceso, de los cuales el 95 por ciento corresponde a Yerba Canchada y el 5 por ciento a polvo.
- La capacidad de producción está definida por el nivel tecnológico e infraestructura de estos establecimientos, por tanto, la mano de obra no influye en la capacidad de producción. Es posible aumentar la producción hasta 1.500 k/h de producto final, pero la calidad de la yerba disminuye, dado que el aumento del flujo de material afecta a la correcta secanza.
- Producción programada a corto plazo según la demanda prevista en base a conversaciones previas con los clientes y la cantidad de yerba en stock propio.
- La demanda para el secadero en particular es muy irregular, puesto que los molinos requieren diferentes tipos, calidades y cantidades de yerba para la elaboración de sus productos. Por ende, trabajan con varios proveedores, cuyos productos son requeridos en diferentes cantidades para cada periodo.
- La demanda es cubierta con un 80 por ciento de yerba canchada de producción propia y un 20 por ciento de yerba canchada comprada a industrias más pequeñas (denominados “Secaderos Pequeños”) que no tienen la posibilidad de negociar con los molinos.
- Si la cantidad en stock total no es suficiente para satisfacer la demanda, se adquiere un porcentaje mayor de yerba comprada a secaderos pequeños, mientras exista disponibilidad de este recurso.
- La disponibilidad para comprar yerba canchada a secaderos pequeños es de aproximadamente un 70 por ciento de la demanda para el establecimiento analizado en particular.

- El 40 por ciento de la demanda para el establecimiento analizado corresponde a yerba canchada estacionada mediante estacionamiento acelerado y el 60 por ciento restante corresponde a yerba canchada sin estacionar.
- Se trata de mantener un stock de yerba propia promedio de unas 1.500 toneladas para cubrir la demanda normal y un stock de reserva mínimo de 500 toneladas para aumentos circunstanciales en la demanda que no puedan ser cubiertos con compras a empresas externas.
- Cuando el stock desciende a 1.000 toneladas, la empresa aumenta la producción, siempre que la disponibilidad de materia prima lo permita, para tratar de mantener el stock promedio de 1.500 toneladas.
- La capacidad máxima de stock es de 3.500 toneladas
- El número de operarios directos (operación de maquinarias) es de 11 personas que trabajan sólo durante los meses de producción.
- El número de operarios secundarios varía entre 12 y 18 empleados, dependiendo de la cantidad de materia prima que se desea procesar por día. En ausencia de producción, esta cifra se reduce a 8 personas.
- Si el número de operarios secundarios asignados es insuficiente, se realiza una segunda asignación de mano de obra secundaria para evitar que la falta de mano de obra provoque retrasos en la producción.
- Si la mano de obra secundaria asignada es superior a la necesaria, se reasignan los operarios innecesarios a otras tareas de la empresa familiar, con el objeto de optimizar el uso de los recursos humanos.
- Si el número de operarios secundarios luego de realizada la segunda asignación de mano de obra aún es insuficiente, no es posible realizar

todas las tareas en el tiempo deseado, por lo tanto, se debe trabajar horas adicionales para terminar de procesar la materia prima deseada.

- Carga horaria variable para cada periodo, dependiente de la cantidad de materia prima que se desea procesar diariamente y el número de operarios secundarios, asignando un número de empleados apto para realizar las tareas en el menor tiempo posible, dependiendo de la cantidad de yerba que se desea procesar.
- Se trabaja 22 días por mes (de Lunes a Viernes todo el día y Sábado durante medio día)

Una vez definidas las políticas, es posible elaborar el denominado diagrama causal del sistema (Figura N° 5.2). En él es posible observar como se producen relaciones entre las variables y la formación de bucles positivos y negativos que explican el comportamiento del sistema (Figura N° 5.3).

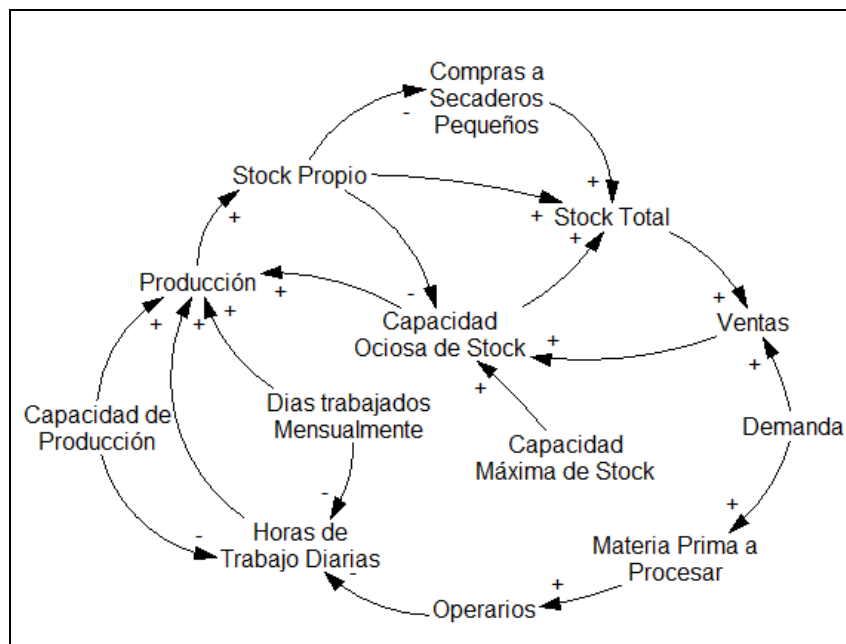


Figura N° 5.2: Diagrama Causal del Establecimiento analizado  
Fuente: Elaboración Propia utilizando VenSim PLE 5.5<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Software para uso académico desarrollado por Ventana Systems Inc. Disponible URL: <http://www.vensim.com>

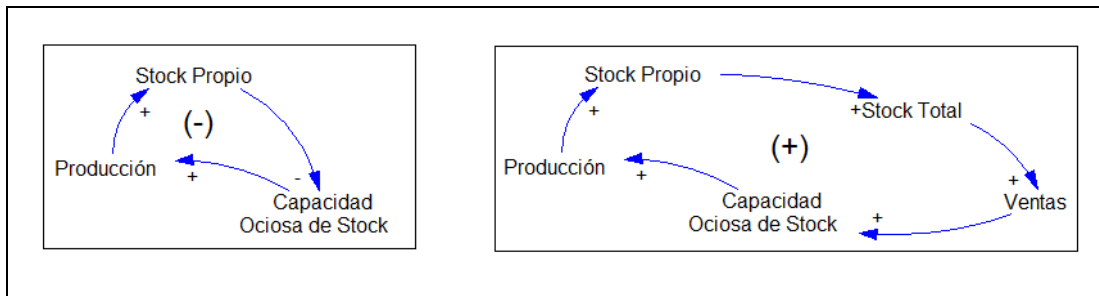


Figura N°5.3: Ejemplos de Bucle Negativo y Positivo respectivamente  
 Fuente: Elaboración Propia utilizando VenSim PLE 5.5.

### 5.2.2 Diagrama de Forrester

El “Diagrama Causal” anterior fue mejorado y completado, incorporando información más detallada recabada en las encuestas, entrevistas a operarios y observación in situ del proceso, hasta obtener finalmente un diagrama más complejo, incorporando algunas prácticas derivadas de información no explícita, que finalmente fue formalizado, según el esquema de Aracil (1995) traduciéndolo al software de licencia libre VenSim PLE 5.5 utilizado para la confección y solución del modelo, obteniendo el denominado “Diagrama de Forrester”, mostrado a continuación (Figura N°5.4).

Se puede observar que para determinar el comportamiento de las variables principales, fue necesario incorporar una gran cantidad de elementos adicionales, en forma de parámetros, funciones gráficas, tablas de datos, funciones de densidad de probabilidad, entre otros, para obtener un modelo más detallado y representativo de la realidad. Se utilizó la simbología pertinente para cada tipo de variable y relaciones causales correspondientes.

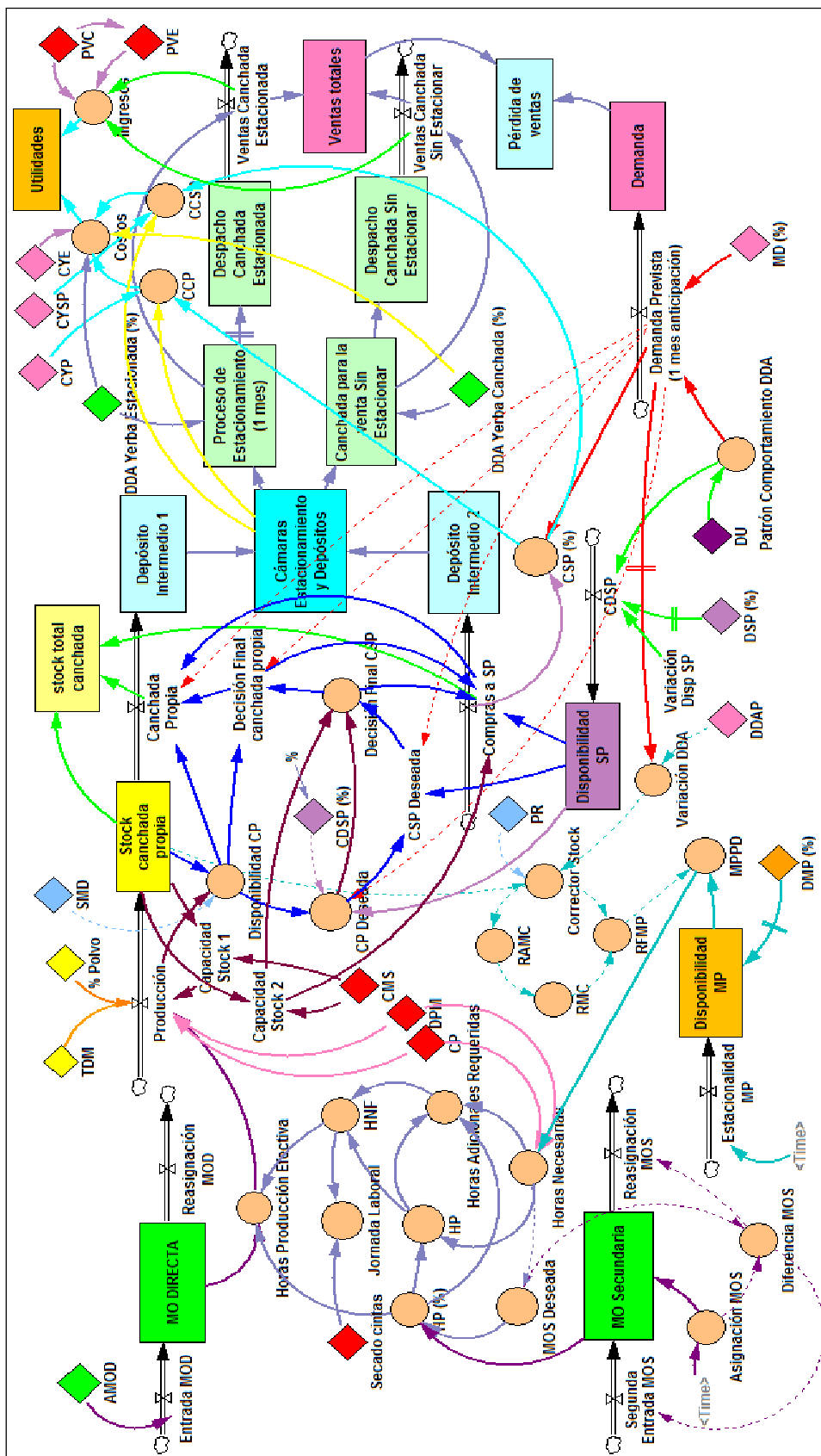


Figura N°5.4: Diagrama de Forrester asociado al Se cadero de yerba mate en estudio.  
Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5



### 5.3 Descripción del Funcionamiento General del Modelo

A continuación se realiza una descripción general del funcionamiento del modelo elaborado en base a las políticas determinadas, desglosado en sus partes principales para mostrar brevemente los criterios utilizados para representar el comportamiento del sistema.

Cada componente de las ecuaciones tiene su comportamiento propio, que a su vez, es determinado por otras variables que influyen sobre el. Esta es la razón por la cual se utiliza como ayuda el software específico para la resolución de este tipo de modelos, ya que hacerlo manualmente resulta complejo<sup>6</sup>.

#### 5.3.1 Demanda

El comportamiento general del modelo se genera en función de la demanda.

La variable de flujo “Demanda Prevista” determina el comportamiento de la variable de nivel “Demanda” para el periodo “t”. Esto permite que las decisiones en el modelo se determinen con un mes de anticipación, en función de la demanda prevista (periodo “t-1”), para poder satisfacer la demanda en el periodo siguiente (Figura N°5.5).

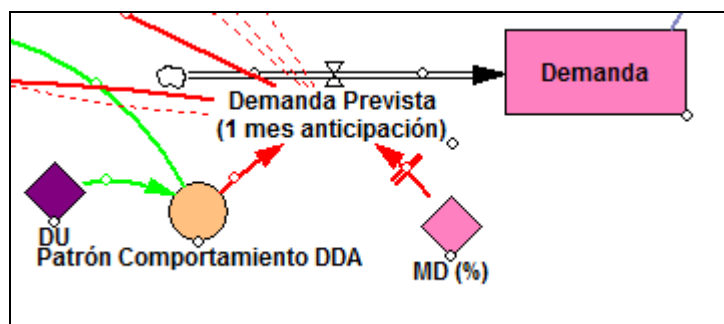


Figura N°5.5: Variable de nivel o estado “Demanda” determinada por el flujo “Demanda Prevista”.  
Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5.

<sup>6</sup> El detalle de las ecuaciones utilizadas para cada variable se muestra como anexo dada su magnitud y complejidad

La “Demanda Prevista” fue representada mediante una función de densidad de probabilidad que representa su comportamiento mensual, obtenida en base a información otorgada por la empresa (“Patrón Comportamiento DDA”), que incorpora una distribución uniforme que permite variar el valor semilla de la distribución, a fin de realizar varias réplicas con diferentes comportamientos aleatorios de la demanda para la posterior obtención de resultados.

“MD (%)” es una variable que representa la modificación de la demanda. En condiciones normales es igual a 1. Cuando se desea aumentar la demanda para realizar simulaciones, se puede modificar este valor obteniendo aumentos o disminuciones proporcionales al valor elegido.

#### 5.3.1.1 Determinación de la curva de Demanda

Los datos históricos de la demanda mensual para 67 periodos (meses), obtenidos en base a información otorgada por la empresa, fueron sometidos a un análisis estadístico, a través del programa ExpertFit<sup>7</sup>. La distribución Log-Logistic (Figura N° 5.6), propuesta por el software, superó los test estadísticos de bondad de ajuste de Andersson-Darling (Figura N° 5.7), de Chi-cuadrado (Figura N° 5.8) y Kolmogorov-Smirnov (Figura N° 5.9). Para los tres test de bondad de ajuste no se rechaza la hipótesis nula, que señala que los datos se distribuyen Log-Logistic para los distintos valores de significancia que señalan el error que se está dispuesto a cometer y que determina el nivel de confianza de la evaluación.

Finalmente, la entrada de datos para la variable Demanda en el modelo, será Log-Logistic (0.00000, 366842.33126, 3.94304).

Se concluyó con esto que no existe evidencia significativa para rechazar la hipótesis de que los datos reales se ajustan a los generados por dicha distribución. Dado que el objetivo de este modelo no es pronosticar, se consideró la distribución Logística como la medida más representativa del comportamiento de los datos reales.

---

<sup>7</sup> Software para ajuste de distribuciones de probabilidad a datos de entrada

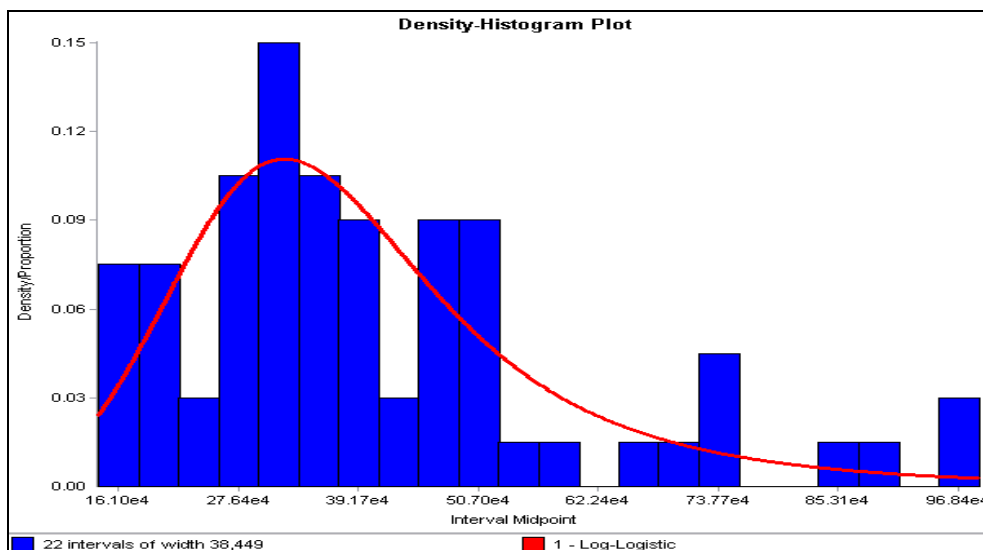


Figura N° 5.6: Distribución de Probabilidad Log- Logistic, ajustada a los datos de Demanda disponibles.

Fuente: Elaboración propia, utilizando ExpertFit.

**Anderson-Darling Test with Model 1 - Log-Logistic**

Sample size 67  
 Test statistic 0.25169

Note: The following critical values are exact.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)					
	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
67	0.424	0.561	0.658	0.766	0.903	1.006
Reject?	No					

Figura N°5.7: Test Andersson-Darling  
 Fuente: Elaboración Propia utilizando ExpertFit

**Equal-Probable Chi-Square Test with Model 1 - Log-Logistic**

Number of intervals                    13  
 Expected (model) count                5.15385  
 Test statistic                            11.19403

Degrees of Freedom	Observed Level of Significance	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
		0.25	0.15	0.10	0.05	0.01
12	0.512	14.845	16.989	18.549	21.026	26.217
	Reject?	No				

Figura N°5.8: Test Chi-cuadrado  
 Fuente: Elaboración Propia utilizando ExpertFit

**Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Log-Logistic**

Sample size                                67  
 Normal test statistic                    0.04997  
 Modified test statistic                 0.40902

**Note:**                                    The following critical values are exact.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)			
	0.100	0.050	0.025	0.010
50	0.708	0.770	0.817	0.873
infinity	0.715	0.780	0.827	0.886
Reject?	No			

Figura N°5.9: Test Kolmogorov-Smirnov  
 Fuente: Elaboración Propia utilizando ExpertFit

### 5.3.2 Materia Prima a Procesar

Inicialmente, se determina la variación de la demanda (en base a la demanda prevista) con respecto a la demanda promedio, mediante la variable "VDDA" (variación de la demanda). Esta es representada mediante una función gráfica (Figura N°5.10) que realiza una división entre a d emanda promedio y la demanda prevista para cada periodo (input de la tabla) y entrega un valor de aumento o disminución proporcional en la demanda. Este valor, mediante una tabla dinámica, indica al modelo la proporción de materia prima que deberá adquirir, teniendo

como limitante la disponibilidad de materia prima para cada mes que se requiere procesar para satisfacer la demanda y mantener un stock adecuado.

La cantidad a adquirir es de un 80 por ciento de la cantidad requerida según la variación de la demanda, ya que el 20 por ciento restante se espera cubrir con compras a secaderos pequeños.

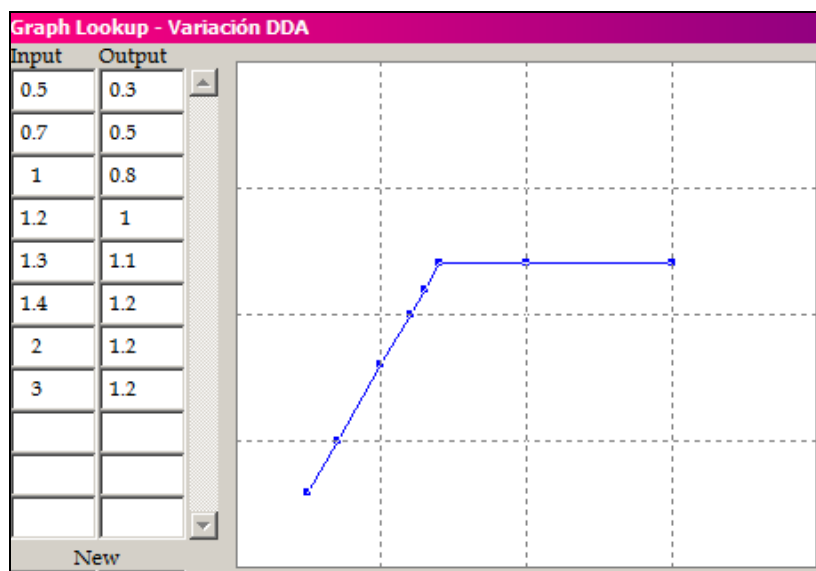


Figura N°5.10: Función Gráfica "Variación de Demanda"  
Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5.

Luego, se observa la cantidad de yerba en stock de producción propia. Si ésta es inferior a 1.000 toneladas (punto de reorden "PR"), se da la orden de aumentar la cantidad de materia prima a procesar (Variable "Corrector Stock"), siempre que exista disponibilidad de este recurso. Esta puede aumentar hasta un máximo de 20 por ciento adicional a la curva definida (Figura N° 5.10). Esto se logra cosechando una cantidad mayor a la habitual.

Luego, la variable "RAMC" (requerimiento adicional en meses clave) indica al modelo que si las cantidades a producir son bajas (en función de la demanda y la cantidad en stock) durante los meses de junio hasta septiembre, aumenta la proporción de materia prima a adquirir durante esos meses, teniendo la restricción de disponibilidad de materia prima. Finalmente, la variable "RFMP" (requerimiento final de materia prima) indica qué porcentaje de la disponibilidad de materia prima será procesado para cada mes (Figura N°5.12).

La disponibilidad de materia prima “Disponibilidad MP” es controlada por la variable de flujo “Estacionalidad MP”, representada mediante una tabla dinámica que entrega diferentes valores para cada mes (Figura N° 5.11), elaborada en base a información otorgada por expertos y directivos y validada mediante la simulación del modelo, comparando los datos obtenidos con datos históricos de la empresa.

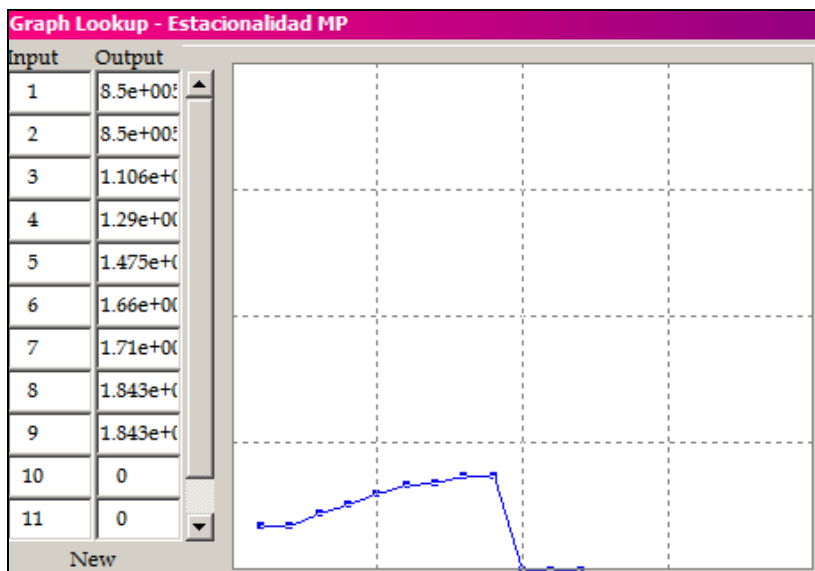


Figura N°5.11: Tabla Dinámica “Estacionalidad de M ateria Prima”  
Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5.

Luego de determinada la proporción de materia prima a procesar, se determinan las “Horas Necesarias” por día para procesar toda la materia prima deseada (Figura N° 5.12), en función de los días que se tra bajarán por mes (22 días) y la capacidad de producción de la empresa (4.000 k/h). El límite horario para procesar la materia prima son 24 horas. Si durante algún periodo se requieren más de 24 horas, no es posible procesar la cantidad deseada y se debe adquirir una cantidad igual a la que es posible procesar bajo la restricción horaria de 24 horas.

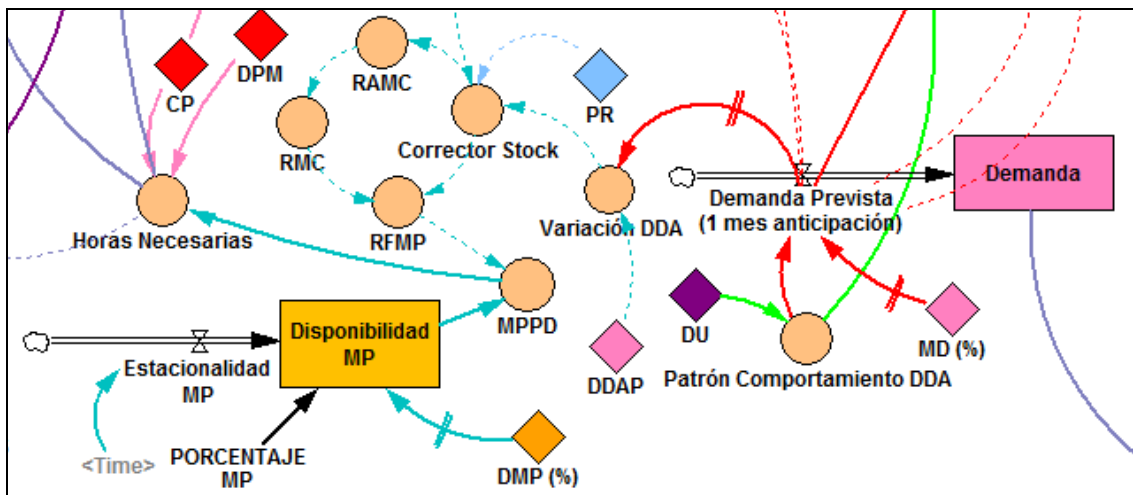


Figura N°5.12: Variable de nivel o estado “Disponibilidad de Materia Prima” determinada por el flujo “Estacionalidad de Materia Prima” y variables auxiliares asociadas.  
Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5.

### 5.3.3 Asignación de Mano de Obra

#### 5.3.3.1 Mano de Obra Directa

La variable de estado “MO DIRECTA” (Figura N° 5.13), representa la mano de obra encargada de las tareas de producción. La mano de obra Directa existente en el estado temporal “t”, es igual a la entrada de mano de obra directa para el periodo “t”, que es determinada por la constante “Asignación de mano de obra directa” (11 operarios) menos la reasignación de mano de obra directa para el estado “t” realizada durante los periodos que no hay producción (se reasignan los 11 operarios a otras tareas) menos la mano de obra directa del escalón temporal anterior “t-1”.

$$\text{MO Directa (t)} = \text{Entrada MOD (t)} - \text{Reasignación MOD (t)} - \text{MO Directa (t-1)}$$

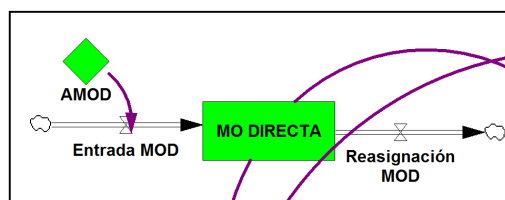


Figura N°5.13: Variable de estado MO Directa y flujos que la determinan  
Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

### 5.3.3.2 Mano de Obra Secundaria Deseada

La mano de obra secundaria (MOS Deseada), es decir, de apoyo a las tareas de producción directa, es variable según la cantidad de materia prima que se desea procesar (MPPD). A mayor materia prima a procesar deseada, aumenta el número de “Horas Necesarias” de trabajo para producir dicha cantidad. Luego, la mano de obra secundaria deseada depende del número de horas que se requieren para procesar la materia prima deseada (que depende de la capacidad de producción por hora (“CP”) y el número de días de trabajo por mes (“DPM”)) (Figura N°5.14).

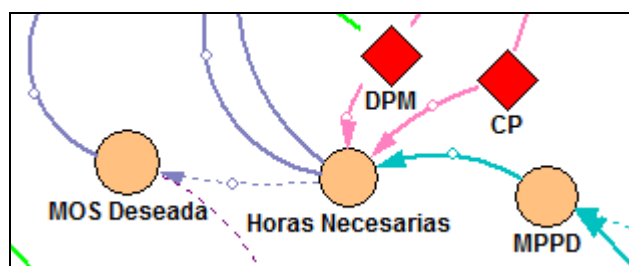


Figura N°5.14: Variable auxiliar MOS Deseada y las variables y parámetros que la determinan  
Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

Para describir el comportamiento de MOS Deseada se utilizó una función auxiliar gráfica que entrega un determinado valor como resultado dependiente de un parámetro de entrada (Figura N°5.15). En este caso, el input es la variable “Horas Necesarias” (para procesar la materia prima deseada). Si estas son iguales a cero, el output (MOS Deseada) será igual a 8 personas (periodos en que no hay producción). Si las horas necesarias están entre 1 y 8 se requieren 12 personas. Si se necesitan entre 9 y 16 horas, se requieren 15 personas y finalmente si se requieren entre 17 y 24 horas, la mano de obra secundaria deseada es de 18 personas.



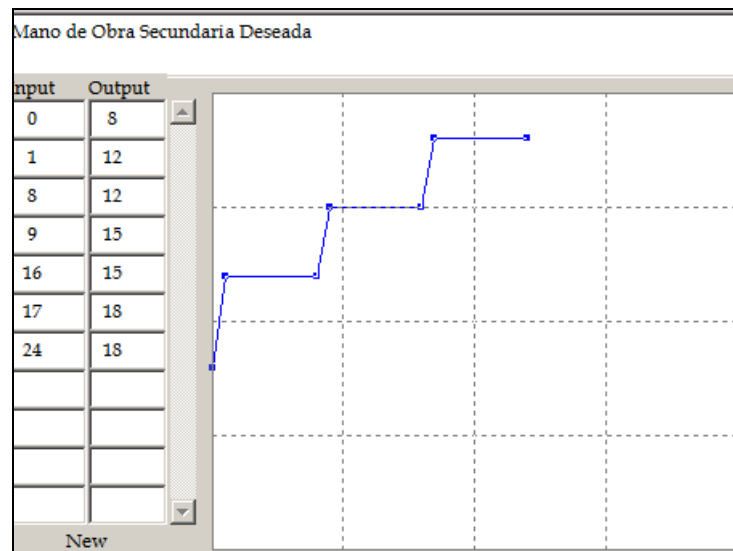


Figura N°5.15: Función Gráfica utilizada para determinar la variable MOS Deseada  
Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

Para cada periodo, la empresa asigna inicialmente una cantidad de operarios secundarios (“Asignación MOS”). El modelo realiza una comparación entre la mano de obra secundaria deseada (“MOS Deseada”) y la cantidad asignada, denominada “Diferencia MOS”. Luego, si la cantidad asignada inicialmente es insuficiente para procesar la materia prima deseada, se realiza una “Segunda entrada de MOS”, adicionando el número necesario de operarios que permitan obtener una productividad del 100 por ciento (k/h). Si la cantidad asignada inicialmente excede a la necesaria, se realiza una “Reasignación MOS” a otros rubros de la empresa familiar, como cosecha de yerba mate o té, mantenimiento de maquinarias, entre otros (Figura N°5.16).

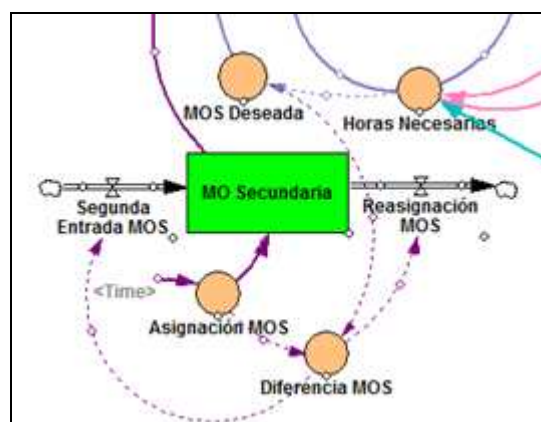


Figura N°5.16: Variable de nivel “Mano de Obra Secundaria” y los flujos y variables auxiliares que la determinan.

Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

#### 5.3.4 Productividad

La productividad de la empresa se mide en kilogramos/hora. El 100 por ciento equivale a producir 1.400 k/h de yerba, de los cuales un 95 por ciento corresponde a yerba canchada (producto final) y un 5 por ciento a polvo.

La capacidad de producción de la empresa está limitada por el nivel tecnológico y el tamaño de las maquinarias, por lo tanto, el aumento del número de operarios no influye en la capacidad de producción.

Sin embargo, el retraso en las tareas secundarias puede provocar paradas en la producción y por ende, disminuir la cantidad producida por día. El modelo determina el porcentaje de productividad en base a la mano de obra secundaria existente, comparando este valor con la mano de obra secundaria deseada. Si la cantidad existente es inferior, disminuye el porcentaje de productividad (“HP(%)”). Se determinan las horas productivas (“HP”) y posteriormente las “Horas adicionales requeridas” para producir la cantidad deseada al porcentaje de productividad que se está trabajando. Luego se determinan las horas necesarias finales (“HNF”) y posteriormente las “Horas de producción efectiva” dado el porcentaje de productividad. Estas determinarán la cantidad final de yerba canchada que se produce por periodo (Figura N°5.17).

La jornada laboral para cada día será igual a las horas necesarias finales para procesar toda la materia prima deseada más 4 horas adicionales, que representan el tiempo que tarda en salir del secadero la primera ronda de yerba. Posteriormente, el flujo de yerba avanza de forma continua, obteniéndose 1.400 k/h.

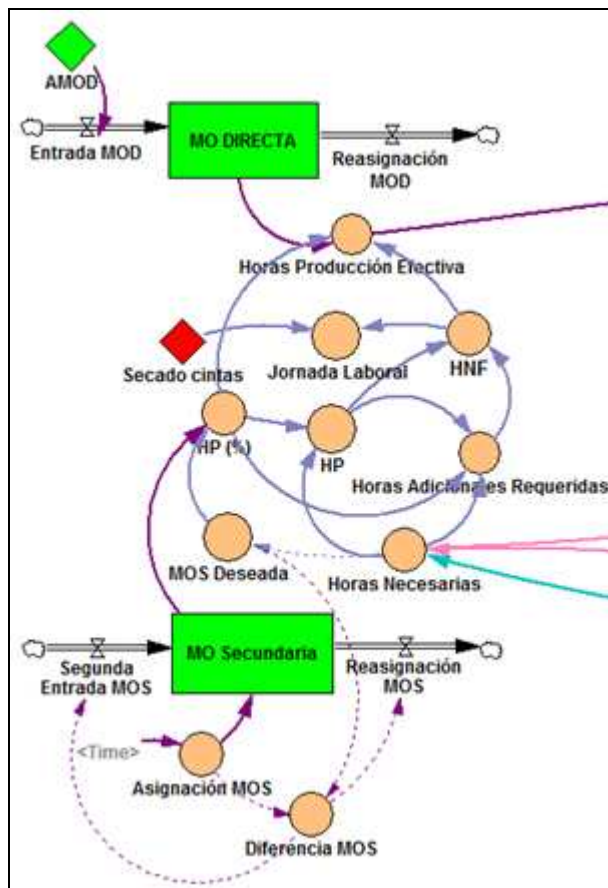


Figura N°5.17: Variables que determinan la Productividad y Horas de Producción Efectiva.  
Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

### 5.3.5 Producción

La producción está determinada por las “Horas de Producción Efectiva”, los días trabajados al mes (“DPM”) y la capacidad de producción (“CP”). Además se debe considerar que la cantidad de producto al final del secado se reduce al 35% de la materia prima ingresada al proceso (“TDM”), dada la pérdida de humedad durante el proceso y la eliminación de ramas gruesas. A su vez, esta cantidad se reduce al 95% dado que en el proceso de canchado se genera un 5% de polvo (Figura N° 5.18). Finalmente la cantidad por hora obtenida de yerba canchada (producto final) es de 1.330 (k/h)

Será posible producir la cantidad determinada con anterioridad siempre que exista espacio disponible en stock para yerba canchada de producción propia (“Capacidad Stock 1”). Si no existiera capacidad ociosa de stock, se debe

disminuir la producción. La Capacidad máxima de stock (“CMS”) es de 3.500 toneladas.

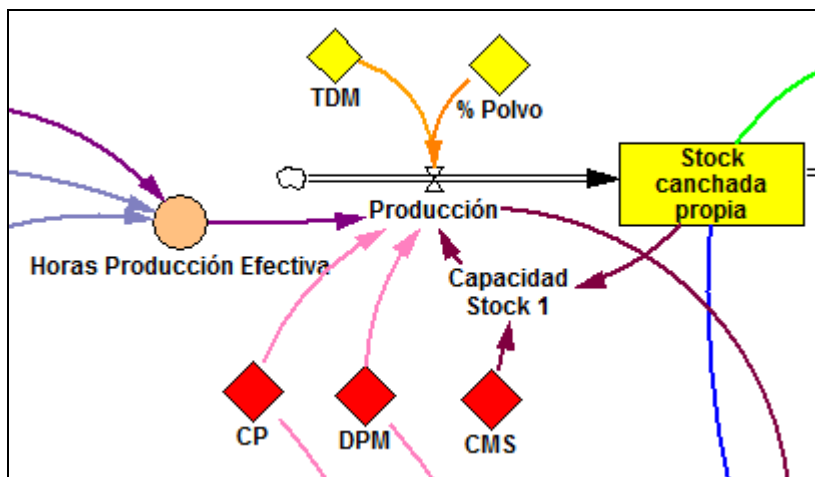


Figura N°5.18: Variable de flujo “Producción” y variables auxiliares y parámetros que la determinan.

Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

### 5.3.6 Disponibilidad de secaderos pequeños

La disponibilidad de secaderos pequeños es de aproximadamente un 70 por ciento de la demanda para el secadero analizado en particular. En el modelo, fue representada por la curva de “Demanda prevista” multiplicada por 0.7 correspondiente al 70 por ciento (“DSP (%)”) y por una distribución uniforme que genera valores aleatorios con una variación máxima del 20 por ciento (“Variación Disp SP”), obteniendo una aproximación más real (Figura N°5.19).

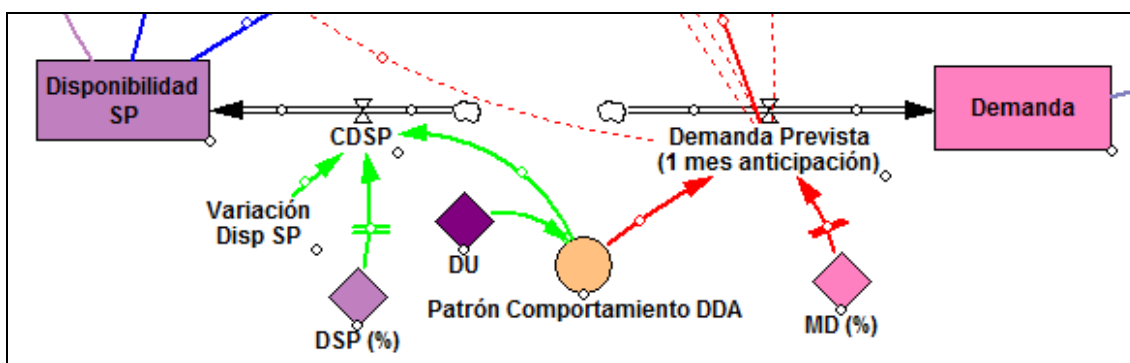


Figura N°5.19: Variable de nivel “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” y los flujos y variables auxiliares que la determinan.

Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

### 5.3.7 Ventas

Para cubrir la demanda, la empresa extrae un 80% de su stock de yerba de producción propia (“Stock canchada propia”) y un 20 por ciento de “Compras a secaderos pequeños”, siempre que exista disponibilidad de este recurso. Si la cantidad en stock de yerba propia no es suficiente para cubrir el 80% de la demanda, se adquiere un porcentaje mayor de secaderos pequeños mientras exista disponibilidad. La empresa reserva un stock mínimo de 500 toneladas (“SMD”) que no se venden mientras exista disponibilidad de secaderos pequeños para cubrir la demanda. Esto constituye una medida de precaución ante futuros aumentos puntuales de la demanda en donde la disponibilidad de secaderos pequeños no sea suficiente para cubrir las ventas.

Por lo tanto, la disponibilidad de canchada propia para cubrir las ventas (“Disponibilidad CP”) es igual a la cantidad en stock de yerba propia menos 500 toneladas.

El modelo funciona observando en una primera instancia la disponibilidad de canchada propia. Si esta cantidad es mayor o igual que el 80 por ciento de la demanda, entonces la cantidad de canchada propia que se desea comercializar (“CP Deseada”) será del 80 por ciento de la demanda. Si no existe capacidad, se deberá adquirir un mayor porcentaje de compras a secaderos pequeños. A partir de este razonamiento, se decide el porcentaje se desea adquirir de secaderos pequeños (“CSP Deseadas”). Luego, la decisión final de compras a secaderos pequeños (“Decisión Final CSP”) será determinada según la capacidad de stock disponible para almacenar estas compras (“Capacidad stock 2”), considerando la producción, la cantidad en stock de yerba propia y la cantidad en depósitos y cámaras de estacionamiento que habrá en el periodo “t”. Si al agregar las compras deseadas a secaderos pequeños se excede la capacidad de stock, no es posible adquirir dicha cantidad. En ese caso, la “Decisión final de yerba canchada propia” que deberá comercializarse, será mayor a la determinada con anterioridad (“Canchada propia”). Luego, si no existe disponibilidad en el stock de yerba canchada propia, no será posible considerar dicho valor, entonces la “Canchada propia” extraída de stock será igual a la “Decisión final de canchada propia” (Figura N°5.20), generándose una pérdida de ventas .

La cantidad de yerba que será comercializada en el periodo “t”, determinada previamente en el periodo “t-1”, pasa a “Depósitos intermedios” desde donde es derivada hacia las respectivas cámaras de estacionamiento (para yerba canchada estacionada) o depósitos de yerba canchada (para yerba canchada sin estacionar). Éstas, cubrirán las ventas en el periodo posterior, constituidas en un 40% por yerba canchada estacionada (“DDA yerba estacionada”) y un 60% por yerba canchada sin estacionar (“DDA yerba sin estacionar”) (Figura N°5.20).

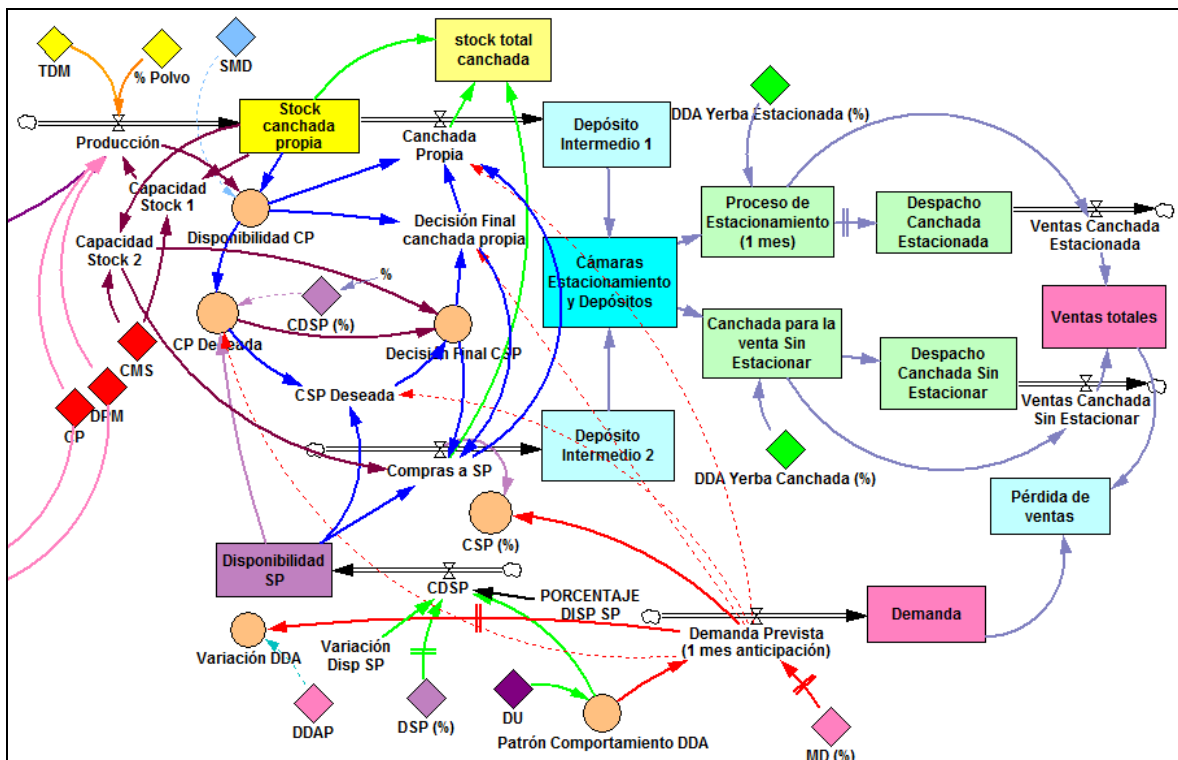


Figura N°5.20: Variables de flujo, auxiliares y parámetros que determinan las Ventas de yerba Canchada Estacionada y Sin Estacionar.

Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

### 5.3.8 Costos y utilidades

A partir del porcentaje comprado a secaderos pequeños (“CSP (%)”) determinado con anterioridad, se calcula el costo de la yerba canchada propia comercializada (“CCP”) y el costo de la yerba comprada a secaderos pequeños comercializada (“CCSP”). El costo de la yerba canchada estacionada (CYE) es un 10% superior

al de la yerba canchada sin estacionar, ya sea de elaboración propia o comprada a secaderos pequeños.

El precio de venta de la yerba canchada estacionada (PVE) es un 12% superior al de la yerba canchada sin estacionar (PVC) (Figura N°5.21).

Los costos y precios de venta se detallan en las Tablas N° 5.2 y N° 5.3 respectivamente.

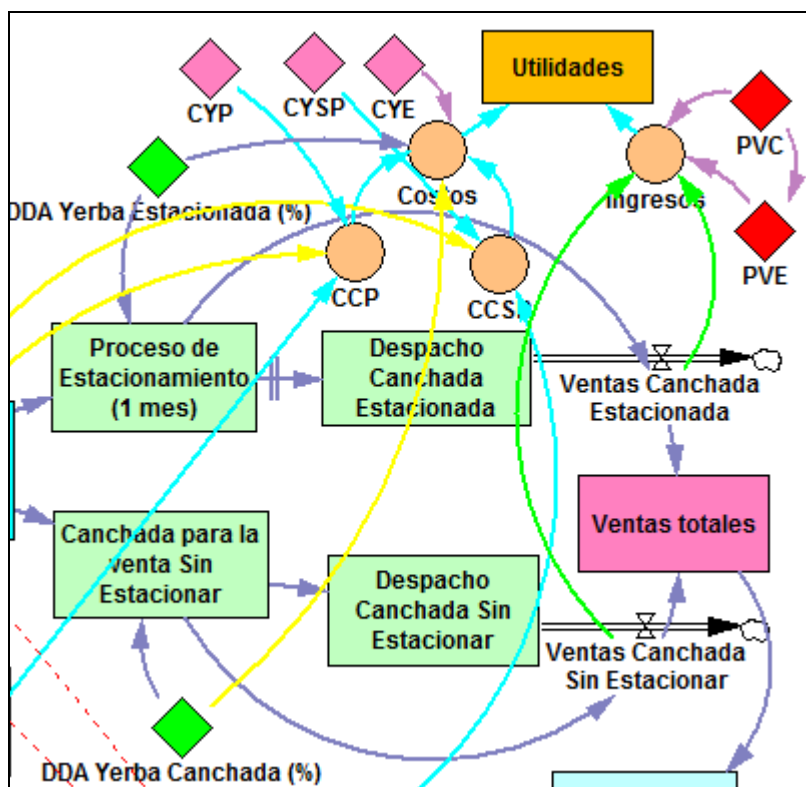


Figura N°5.21: Variables de flujo, auxiliares y parámetros que determinan las Utilidades del establecimiento.

Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

Tabla N°5.2: Costos por kilo de yerba

Costos	(\$/k)
Yerba Canchada Elaboración Propia	1,96
Yerba Canchada comprada a Secaderos Pequeños	1,85
Yerba Canchada Estacionada Elaboración Propia	2,16
Yerba Canchada Estacionada comprada a Secaderos Pequeños	2,0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°5.3: Precios de venta por kilo de yerba <sup>8</sup>

Precio de Venta	(\$/k)
Yerba Canchada Sin Estacionar	2,31
Yerba Canchada Estacionada	2,59

Fuente: Elaboración Propia

## 5.4 Validación y evaluación del modelo

Mediante una serie de ensayos, el modelo fue evaluado, ajustando estructura y parámetros hasta lograr un diseño representativo de la realidad según datos históricos y opinión de expertos. Para verificar que no cometieron errores durante la construcción del modelo, se realizaron distintos análisis de sensibilidad de las variables, realizando modificaciones en los parámetros numéricos y ecuaciones planteadas, hasta verificar que los tipos de resultados obtenidos fueran adecuados y congruentes con la realidad de la empresa.

A partir de los resultados obtenidos, luego de varias modificaciones, finalmente se obtuvo la versión final del modelo, validada con ayuda de la opinión de expertos y datos históricos disponibles.

### 5.4.1 Análisis de sensibilidad del modelo

Para obtener un modelo confiable, fue necesario analizar el comportamiento de todas las variables incluidas en el modelo. Sin embargo, para el modelo elaborado, las variables más preocupantes en cuanto a sus variaciones son la disponibilidad de materia prima y la disponibilidad de secaderos pequeños, dado que fueron representadas en base a información intuitiva otorgada por directivos de la empresa.

Se realizó un análisis de sensibilidad para dichas variables, aplicándoles una distribución uniforme, con el objeto de modificar su comportamiento en diferentes porcentajes de forma aleatoria para observar el porcentaje máximo de variación

---

<sup>8</sup> Los precios de venta son iguales para yerba Canchada de Elaboración Propia y Comprada a Secaderos Pequeños



permitido por el modelo para obtener resultados similares a los obtenidos con los parámetros propuestos inicialmente.

VenSim PLE 5.5 permite graficar el comportamiento de las variables para cada porcentaje asignado, mostrando su variación en el tiempo.

El resto de las variables fue analizado oportunamente en la etapa de formalización, incluyendo en el modelo final los parámetros que permiten obtener el comportamiento más cercano a la realidad de la empresa y fueron validados por expertos y datos históricos disponibles

#### 5.4.1.1 Disponibilidad de materia prima

Mediante VenSim PLE 5.5, se realizaron 44 simulaciones, modificando el porcentaje de “Disponibilidad de Materia Prima” directamente en la interfaz y observando los cambios asociados de forma instantánea.

El porcentaje máximo de variación de la “Disponibilidad de Materia Prima” permitido por el modelo, es igual al porcentaje anterior a que se produzcan variaciones significativas en el comportamiento general del modelo.

Se puede observar que, con mayor frecuencia, los porcentajes máximos de variación de la “Disponibilidad de Materia Prima” permitidos por el modelo, se encuentran entre el 68 y 79 por ciento (Figura N°5 .22).

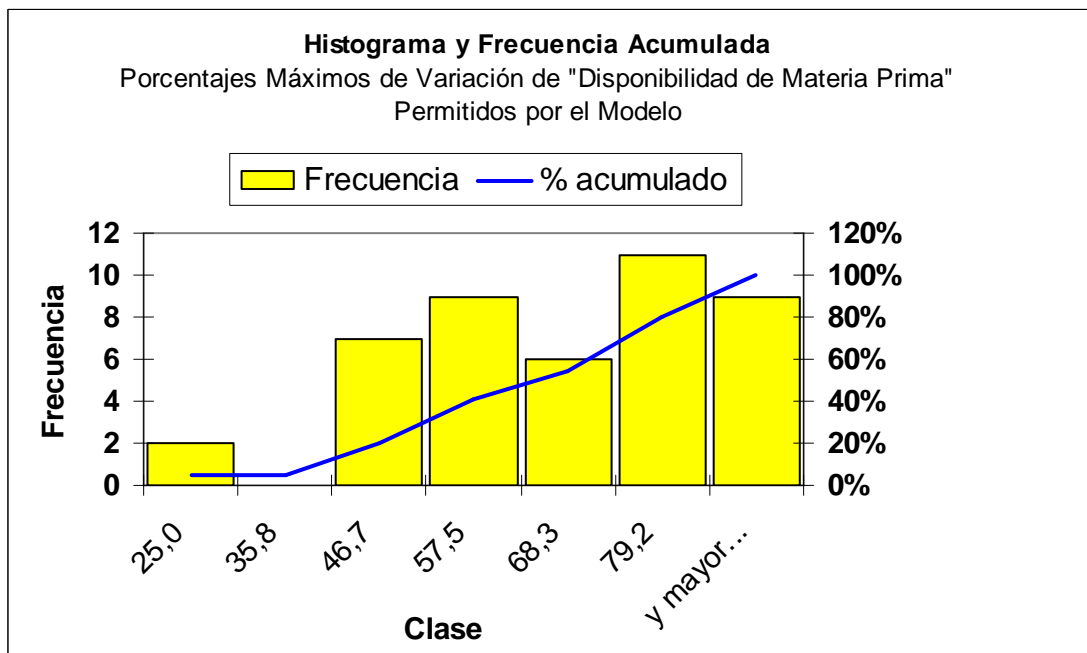


Figura N°5.22: Histograma y Frecuencia Acumulada de los máximos porcentajes de variación porcentual en la curva de "Disponibilidad de Materia Prima" permitidos por el modelo  
 Fuente: Elaboración propia

Las gráficas mostradas en la Figura N° 5.23, representan el comportamiento de las principales variables influidas por la variación de la "Disponibilidad de Materia Prima" (cada línea representa un porcentaje máximo de variación permitido diferente). Se puede observar que se mantienen patrones de comportamiento similares a las condiciones normales, con algunas variaciones que no son significativas y que no generan pérdida de ventas (Figura N°5.23).

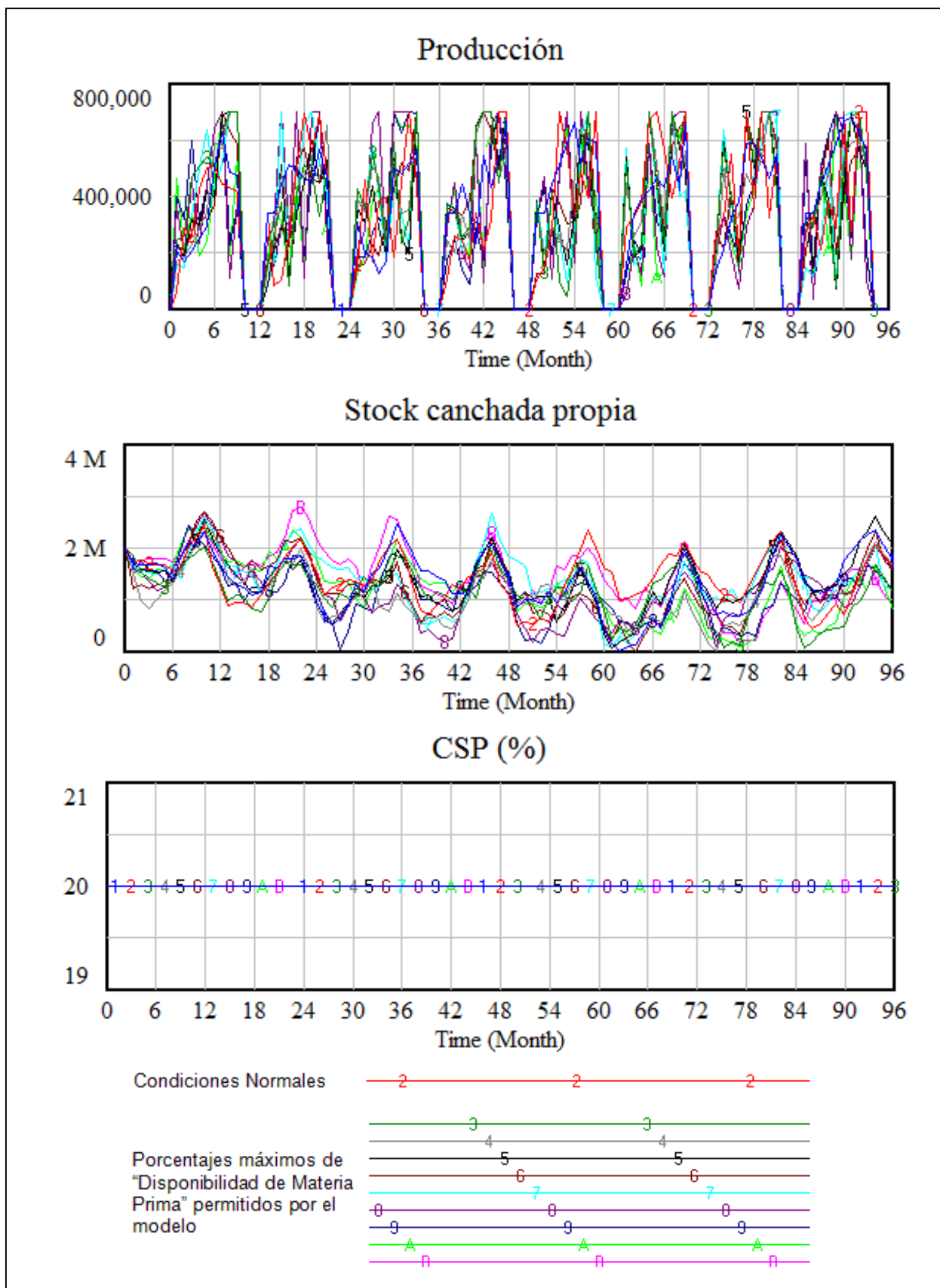


Figura N°5.23: Comportamiento del Sistema ante diferentes porcentajes máximos de modificación de "Disponibilidad de Materia Prima" permitidos por el modelo.  
Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

Se calculó el intervalo de confianza asociado a la media del porcentaje máximo de variación de “Disponibilidad de Materia Prima” permitido por el modelo, siguiendo la metodología estadística propuesta por Banks, Carson & Nelson (1995). Se utilizó la Fórmula (1) para determinar el número de réplicas (simulaciones) necesarias para superar el componente aleatorio del modelo, dado el componente aleatorio incluido en el modelo, tras la representación de la “Demanda” mediante la función de distribución probabilística Log-Logistic.

$$N = \left( \frac{S * t_{n-1, 1-\alpha/2}}{E} \right)^2 \quad (1)$$

Donde,

- N = Número de réplicas necesarias
- S = Desviación estándar de la muestra piloto
- t = Valor crítico de la distribución t de Student para n corridas piloto
- E = Nivel de precisión del IC (ancho)
- 1- $\alpha$ /2 = Nivel de confianza

Se determinó con un 5 por ciento de error y un 95 por ciento de confianza, que el número necesario de réplicas es de 29 réplicas. (Ver anexo B)

Posteriormente, se calcularon los intervalos de confianza para la media del porcentaje máximo de variación de la “Disponibilidad de Materia Prima” permitido por el modelo, utilizando la Fórmula (2) (Ver Anexo B)

$$X \mp t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Donde,

- X = Media de la muestra  
 S = Desviación estándar de la muestra  
 n = Número de réplicas  
 $t_{n-1, 1-\alpha/2}$  = Valor distribución t de Student  
 $1-\alpha/2$  = Nivel de confianza  
 n-1 = Grados de libertad

Luego, en base a 29 simulaciones, se puede decir con un 95 por ciento de confianza, que el verdadero valor para la media del porcentaje máximo de variación de la “Disponibilidad de Materia Prima” permitido por el modelo, está entre 68,7 y 74,3 por ciento.

Al aumentar el porcentaje de variación de la “Disponibilidad de Materia Prima” a valores superiores a los máximos permitidos por el modelo, sí se producen cambios en el comportamiento del sistema. La “Producción” adquiere valores extremos en algunos periodos (Figura N°5.24). Los mínimos se producen cuando la disponibilidad de materia prima es insuficiente, provocando la necesidad de grandes aumentos en el porcentaje adquirido a secaderos pequeños para cubrir las ventas (Figura N° 5.25). Los máximos se producen ante la disminución del stock de yerba canchada propia (Figura N° 5.24), debiéndose producir en los periodos de mayor disponibilidad de materia prima cantidades mayores para salvar esta condición. Ante el aumento de producción para algunos periodos, la capacidad ociosa de stock total no es suficiente para adquirir el porcentaje deseado a secaderos pequeños, por lo tanto, cuando el stock total de yerba canchada alcanza su máximo valor (3.500 toneladas), no es posible adquirir yerba de secaderos pequeños (Figura N° 5.25). Ante dichas condiciones, a pesar de que los cambios producidos en el sistema no implican pérdida de ventas, se generan desequilibrios que no representan de manera correcta el comportamiento real del establecimiento.

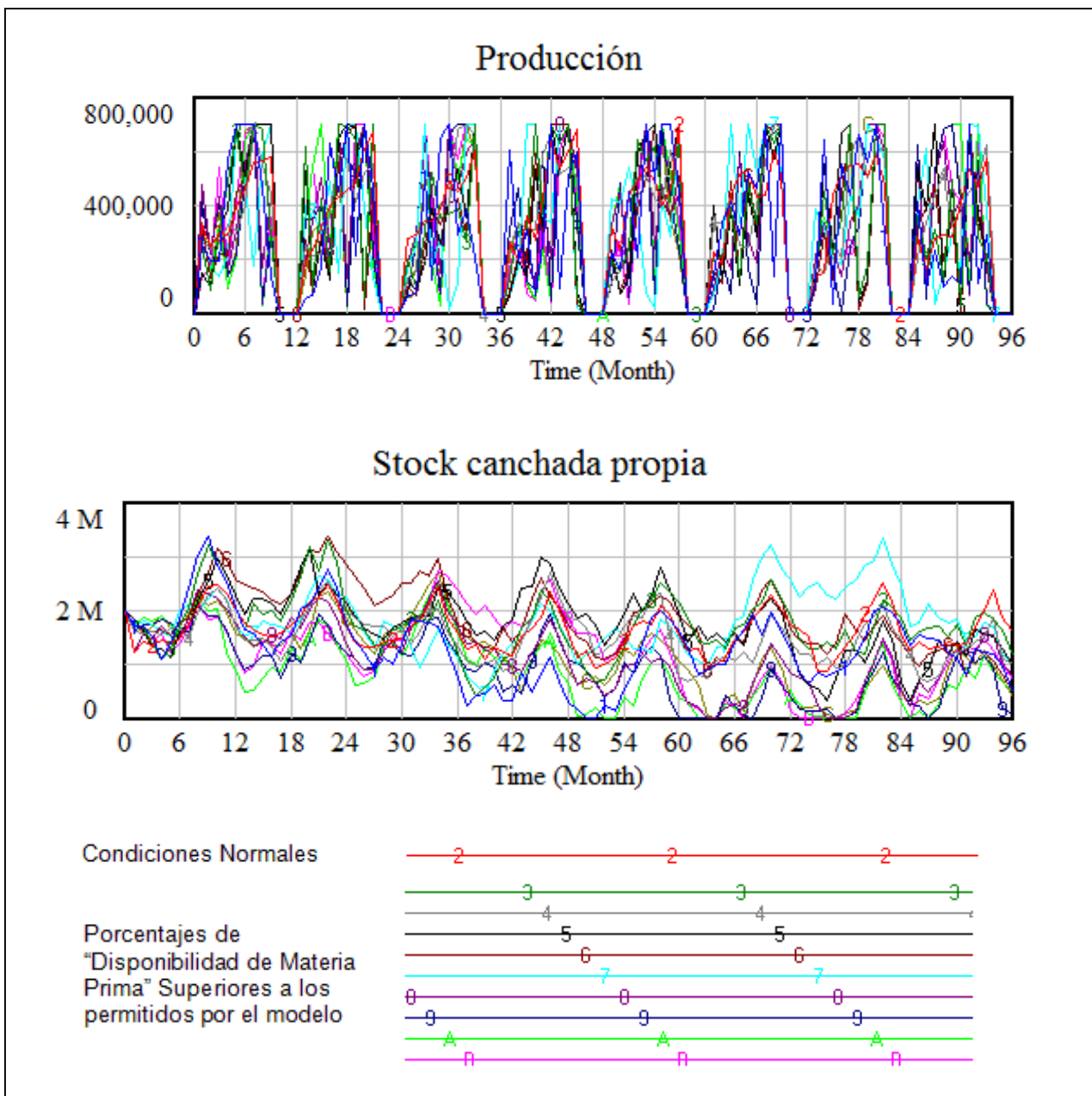


Figura N°5.24: Comportamiento de las variables "Producción" y "Stock de Canchada Propia" ante diferentes porcentajes de modificación de "Disponibilidad de Materia Prima" Superiores a los permitidos por el modelo.

Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

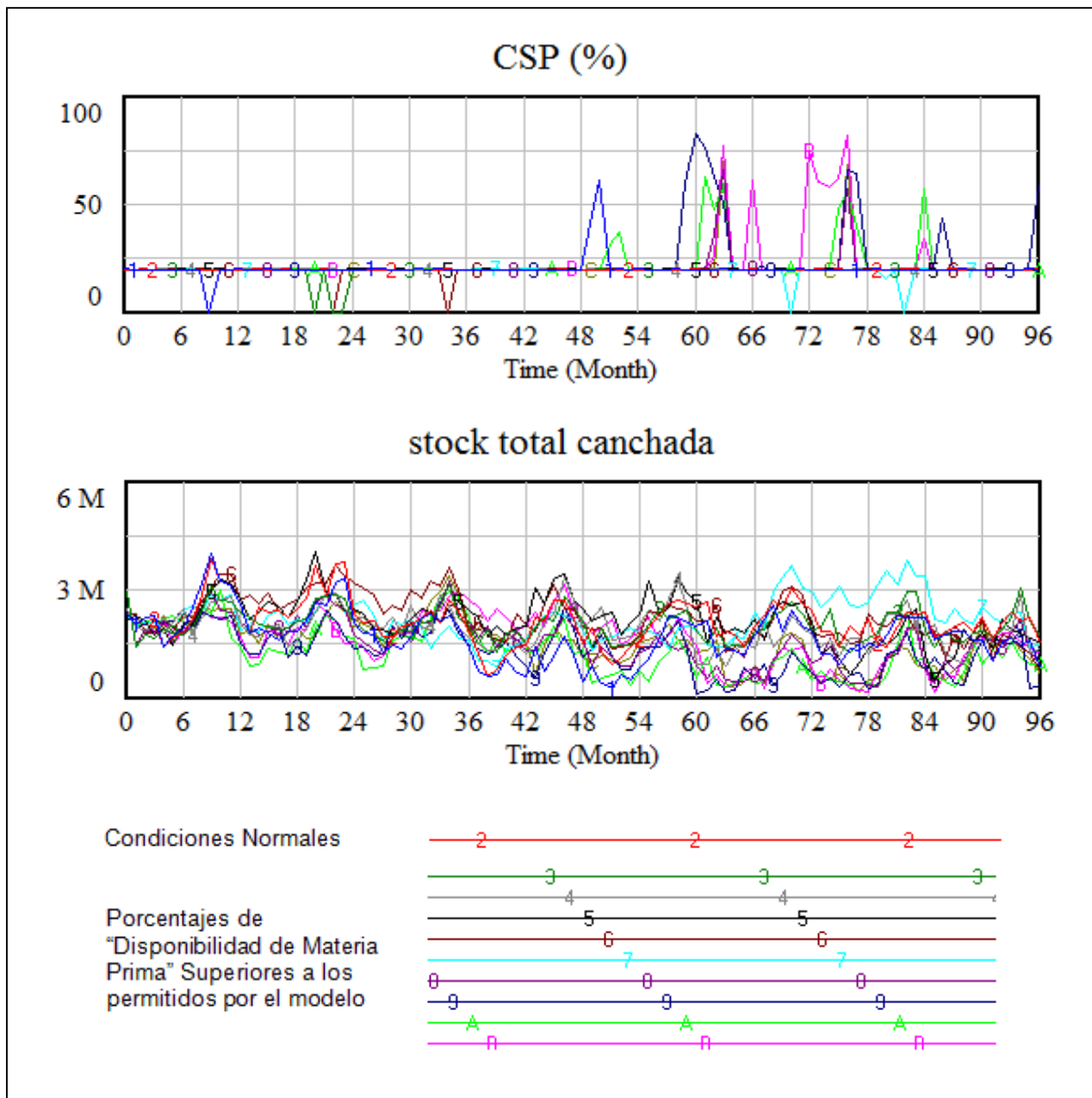


Figura N°5.25: Comportamiento de las variables "Porcentaje de Compras a Secaderos Pequeños" (CSP (%)) y "Stock Total de Canchada" ante diferentes porcentajes de modificación de "Disponibilidad de Materia Prima" Superiores a los permitidos por el modelo.  
 Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

### 5.4.1.2 Disponibilidad de Secaderos Pequeños

Mediante VenSim PLE 5.5, se realizaron 44 simulaciones, modificando el porcentaje de “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” para el establecimiento analizado, directamente en la interfaz y observando los cambios producidos en las variables asociadas de forma instantánea.

El porcentaje máximo de variación de la “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” permitido por el modelo, es igual al porcentaje anterior a que se produzcan variaciones significativas en el comportamiento general del modelo. El siguiente histograma muestra los rangos y frecuencias de los porcentajes máximos de variación de la “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” permitidos por el modelo. Se puede observar que, con mayor frecuencia, los porcentajes máximos de variación de la “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” permitidos por el modelo se encuentran entre el 65,8% y 67,5 por ciento y entre el 69,2 y 70,8 por ciento (Figura N°5.26).

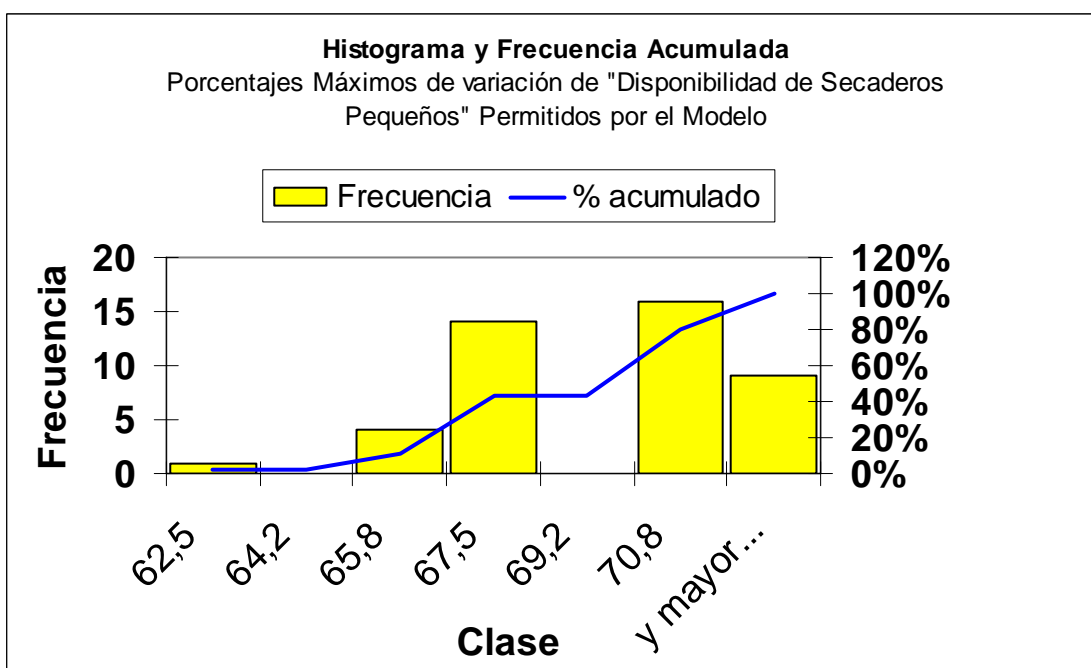


Figura N°5.26: Histograma y Frecuencia Acumulada de los máximos porcentajes de variación porcentual en la curva de “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” permitidos por el modelo  
 Fuente: Elaboración propia

Se calculó el intervalo de confianza asociado a la media del porcentaje máximo de variación de la “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” permitido por el modelo.



Utilizando la Fórmula (1) (Ver página 92), se obtuvo que el número de réplicas necesario es de 5 réplicas y utilizando la Fórmula (2) (Ver página 92) se calculó el intervalo de confianza asociado que permite asegurar, con un 95% de confianza y un 5% de error, que el verdadero valor para la media del porcentaje máximo de variación de la “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” permitido por el modelo está entre 66,8 y 73,2 por ciento (Ver Anexo B).

Podemos observar en las gráficas mostradas a continuación (Figura N°5.27), que las variables “Producción”, “Stock de Canchada Propia” y “Compras a Secaderos Pequeños” no presentan variaciones significativas al modificar el porcentaje de disponibilidad de secaderos pequeños hasta los porcentajes máximos permitidos por el modelo encontrados anteriormente. Podemos decir que en condiciones normales, la variación de la disponibilidad de secaderos pequeños no afecta en mayor medida al funcionamiento del modelo, dado que la empresa sólo cubre un 20 por ciento de sus ventas con compras a secaderos pequeños y la disponibilidad existente de este recurso es de aproximadamente un 70 por ciento del valor de la demanda. Sin embargo, ante el aumento de la demanda, esta variable presenta gran influencia en el comportamiento de la empresa, como se podrá observar en análisis posteriores.

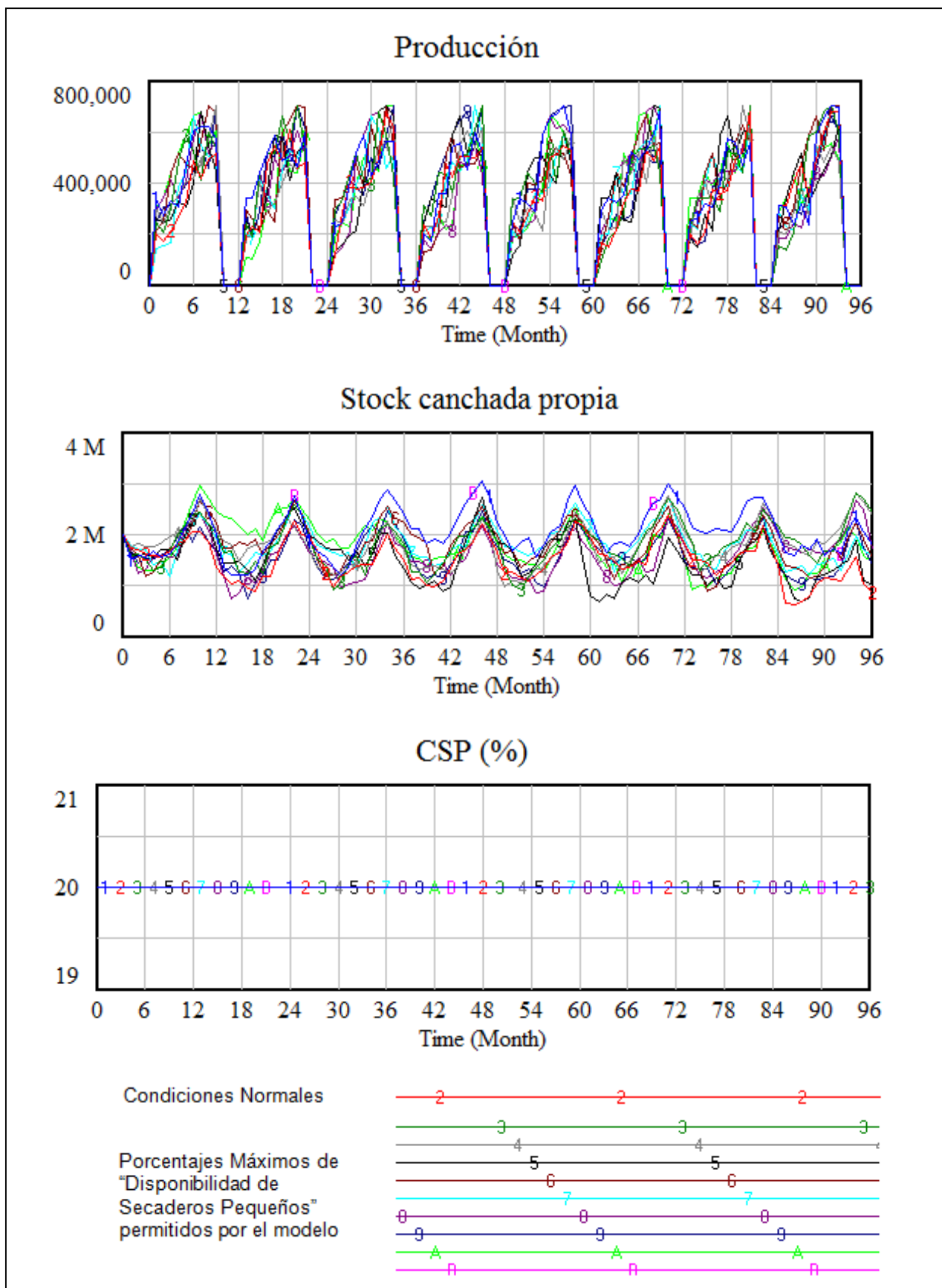


Figura N°5.27: Comportamiento del Sistema ante diferentes porcentajes máximos de modificación de "Disponibilidad de Secaderos Pequeños" permitidos por el modelo

Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

Sin embargo, al aumentar el porcentaje de variación a valores superiores a los máximos permitidos por el modelo, se producen cambios en el comportamiento del Sistema (Figuras N°5.28 y N°5.29).

A pesar de existir capacidad ociosa de stock para compras a secaderos pequeños, durante algunos periodos no es posible adquirir el porcentaje deseado del 20 por ciento a empresas externas, dada la escasa disponibilidad de este recurso. Esto genera un aumento en los niveles de producción (restringido por la curva de estacionalidad de materia prima) durante los periodos de menor disponibilidad de secaderos pequeños. Luego, el stock de yerba de elaboración propia tiende a aumentar, para superar la disminución de la yerba adquirida a terceros. Finalmente, a pesar de que se mantiene un equilibrio en el stock total, sin generar pérdida de ventas, se generan desequilibrios que no representan de manera correcta el comportamiento real del establecimiento.

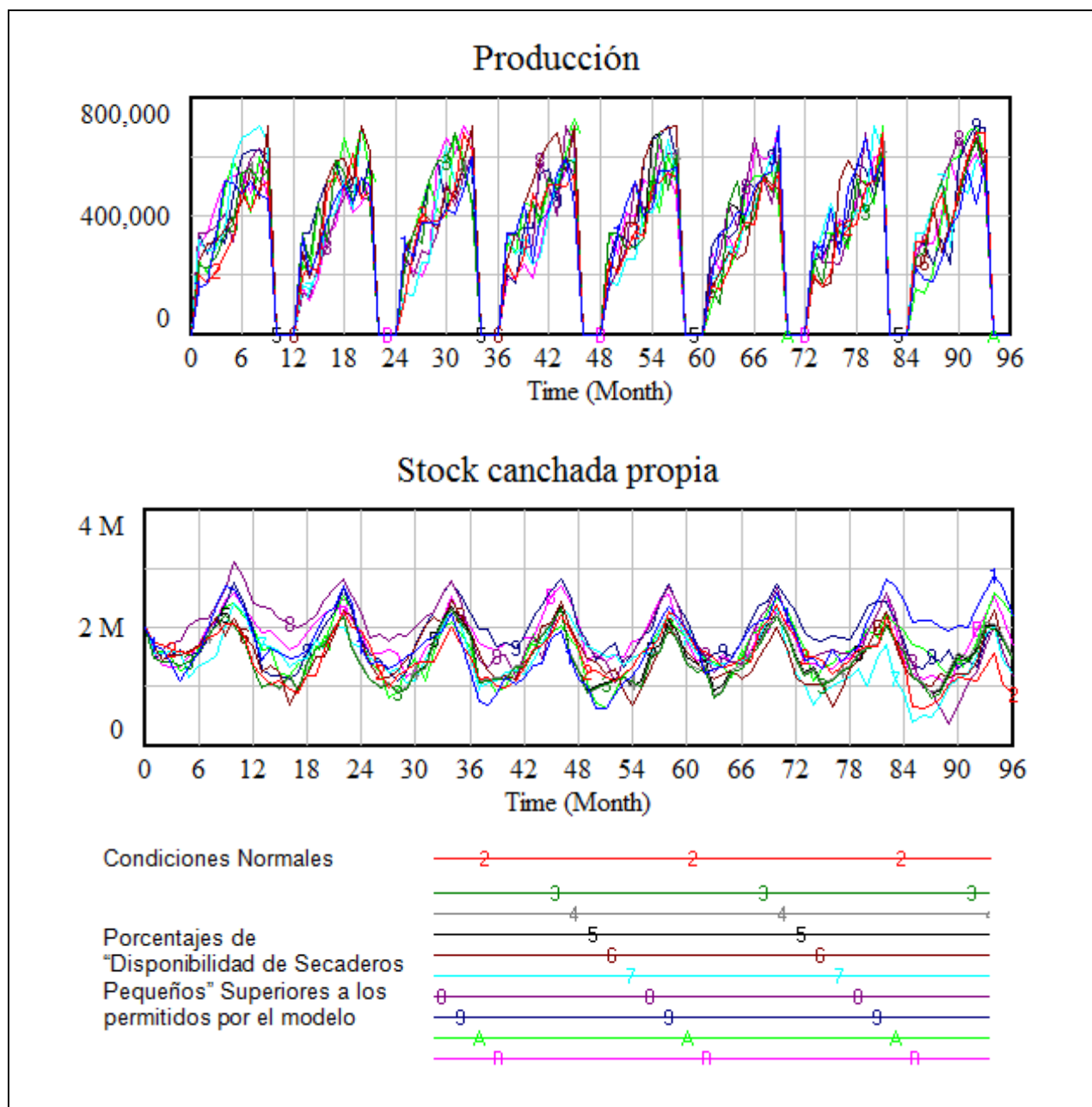


Figura N°5.28: Comportamiento de las variables "Producción" y "Stock de Canchada Propia" ante diferentes porcentajes de modificación de "Disponibilidad de Secaderos Pequeños" Superiores a los permitidos por el modelo.

Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

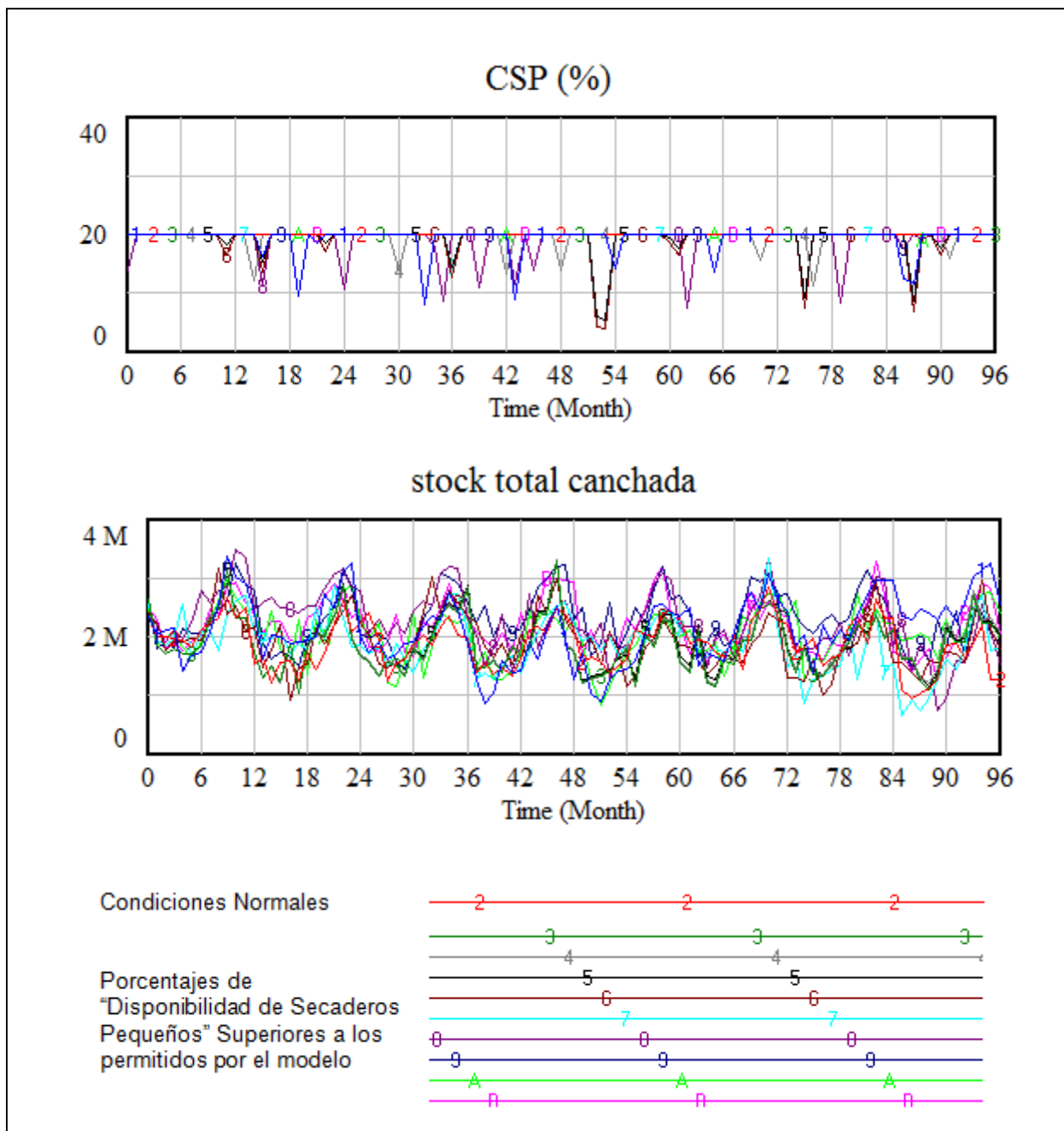


Figura N°5.29: Comportamiento de las variables "Porcentaje de Compras a Secaderos Pequeños" (CSP (%)) y "Stock Total de Canchada" ante diferentes porcentajes de modificación de "Disponibilidad de Secaderos Pequeños" Superiores a los permitidos por el modelo.  
Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

## 5.5 Análisis de escenarios mediante el modelo construido

El análisis desarrollado a continuación, muestra el comportamiento de la empresa las siguientes situaciones:

- Condiciones normales
- Condiciones desfavorables
- Aumento brusco de la demanda al doble de su valor actual

Se consideró un horizonte temporal de 96 meses, representativo del largo plazo que se desea analizar. VenSim PLE 5.5 entrega salidas de datos mediante herramientas dinámicas como tablas y gráficas, que muestran la evolución de las variables en función del tiempo. Estas fueron utilizadas para analizar el comportamiento del sistema ante las situaciones planteadas.

### 5.5.1 Comportamiento del sistema en condiciones normales

Se realizó una simulación del modelo en condiciones normales que permite apreciar de manera gráfica el comportamiento de las principales variables del sistema y el funcionamiento de la empresa.

En condiciones normales es posible observar que la variable “Producción” presenta un comportamiento estacional. Esto debido a que la “Disponibilidad de Materia Prima” está restringida por la “Estacionalidad” de la cosecha de yerba mate (Figura N°5.30).

El stock propio se encuentra en el orden de las 1.500 toneladas, aumentando durante los periodos de mayor disponibilidad de materia prima para cubrir las ventas durante los meses de ausencia de este recurso (Figura N° 5.30). La capacidad máxima de stock es de 3.500 toneladas. Se mantiene un stock de reserva mínimo de 500 toneladas de canchada propia como medida de precaución ante futuros aumentos puntuales de la demanda en donde la disponibilidad de secaderos pequeños no sea suficiente para cubrir las ventas (Figura N°5.30).



Se observa que el stock total es un 20 por ciento mayor que el stock propio (Figura N° 5.30). Esto dado que la demanda (que es cubierta en su totalidad) se satisface con un 80% de "Canchada Propia" (extraída del stock de producción propia) y un 20% de canchada adquirida de industrias más pequeñas ("CSP (%)", denominadas "secaderos pequeños" (Figura N°5.31).

La "Disponibilidad de Secaderos Pequeños" es de aproximadamente un 70 por ciento de la demanda para el establecimiento analizado (Figura N°5.31).

Para cada periodo es asignada una cantidad fija de 11 operarios directos y una cantidad variable de operarios secundarios, de entre 12 y 18 personas, dependiendo de la cantidad de materia prima que se desea procesar. La cantidad asignada para cada periodo es igual a la deseada, permitiendo operar con una productividad ("HP(%)" del 100 por ciento (k/h) (Figura N°5.32).





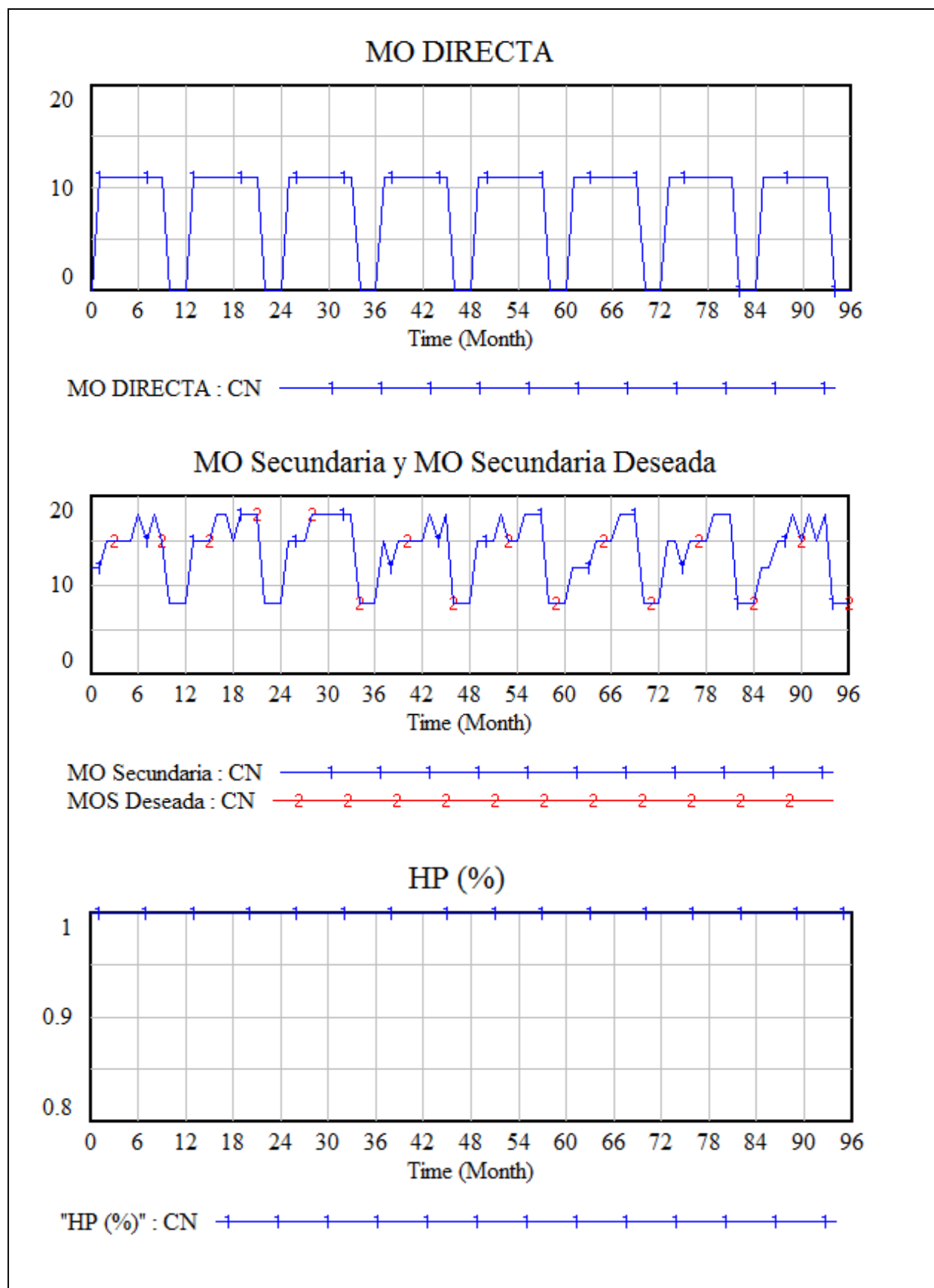


Figura Nº 5.32: Comportamiento del Sistema en condiciones normales.  
Fuente: Elaboración Propia, utilizando VenSim PLE 5.5

### 5.5.2 Escenario Alternativo 1: Comportamiento del sistema en condiciones desfavorables

Para observar el comportamiento del sistema en condiciones desfavorables, se adicionaron al modelo las variables

- “Porcentaje de Disminución de Disponibilidad de Materia Prima”
- “Porcentaje de Disminución de Disponibilidad de Secaderos Pequeños”

Estas hacen variar las disponibilidades de materia prima y de yerba disponible de secaderos pequeños respectivamente, disminuyendo el valor original en forma porcentual, permitiendo observar como se reacciona el sistema ante dichas condiciones.

Una de las ventajas de Dinámica de Sistemas es que permite modificar el comportamiento de más de una variable de forma simultánea y observar instantáneamente las realimentaciones producidas en el resto de las variables asociadas. VenSim PLE 5.5 permite modificar instantáneamente en la interfaz los parámetros numéricos y observar las variaciones asociadas al resto de las variables. Se utilizó esta ventaja para analizar hasta qué porcentaje del total (en condiciones normales) es posible disminuir la disponibilidad de materia prima y la disponibilidad de secaderos pequeños de forma simultánea sin generar pérdida de ventas ni cambios significativos en el comportamiento del sistema.

#### 5.5.2.1 Comportamiento Generado en el sistema

La disminución en la disponibilidad de materia prima provoca una disminución en la producción, por ende, una disminución en el stock de yerba propia. Esto genera la necesidad de aumentar el porcentaje adquirido de yerba proveniente de secaderos pequeños durante algunos periodos (cuando existe disponibilidad de este recurso). Sin embargo, ante la disminución en la Disponibilidad de Secaderos Pequeños, no es posible adquirir siquiera la cantidad deseada del 20 por ciento durante algunos periodos (Figura N°5.33).

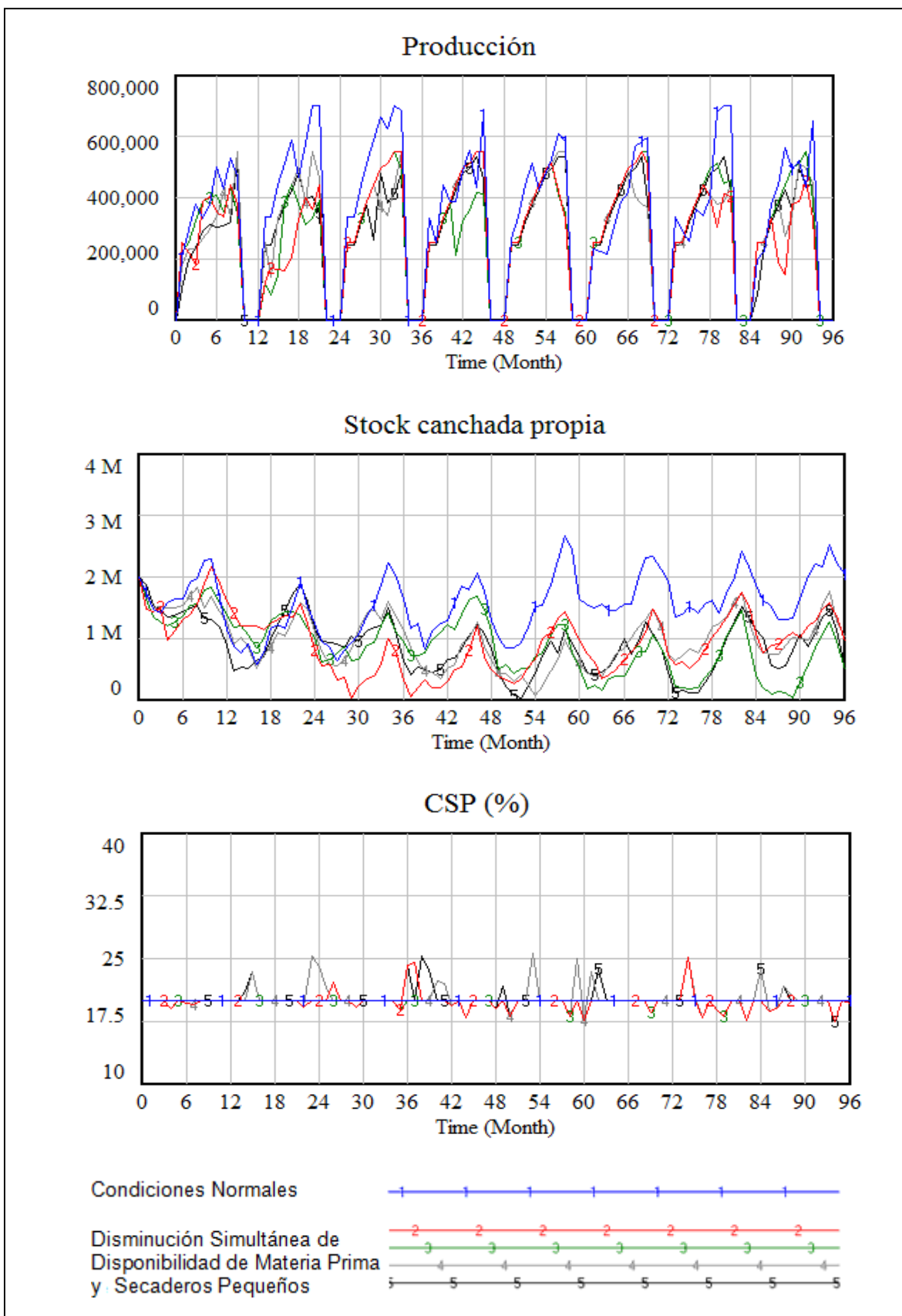


Figura N°5.33: Comportamiento generado en el Sistema ante Disminución simultánea de "Disponibilidad de Materia Prima" y "Disponibilidad de Secaderos Pequeños"  
Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

Ante las variaciones generadas en el porcentaje de compras a secaderos pequeños para algunos periodos, se propone aumentar de forma simultánea el porcentaje fijo comprado a secaderos pequeños (para todos los periodos), en el porcentaje más cercano posible que permita generar un equilibrio en el porcentaje adquirido. Luego, la aplicación de esta política alternativa permite lograr un equilibrio en el porcentaje comprado a secaderos pequeños para cada periodo y cubrir la demanda sin generar pérdida de ventas (Figura N°5.34).

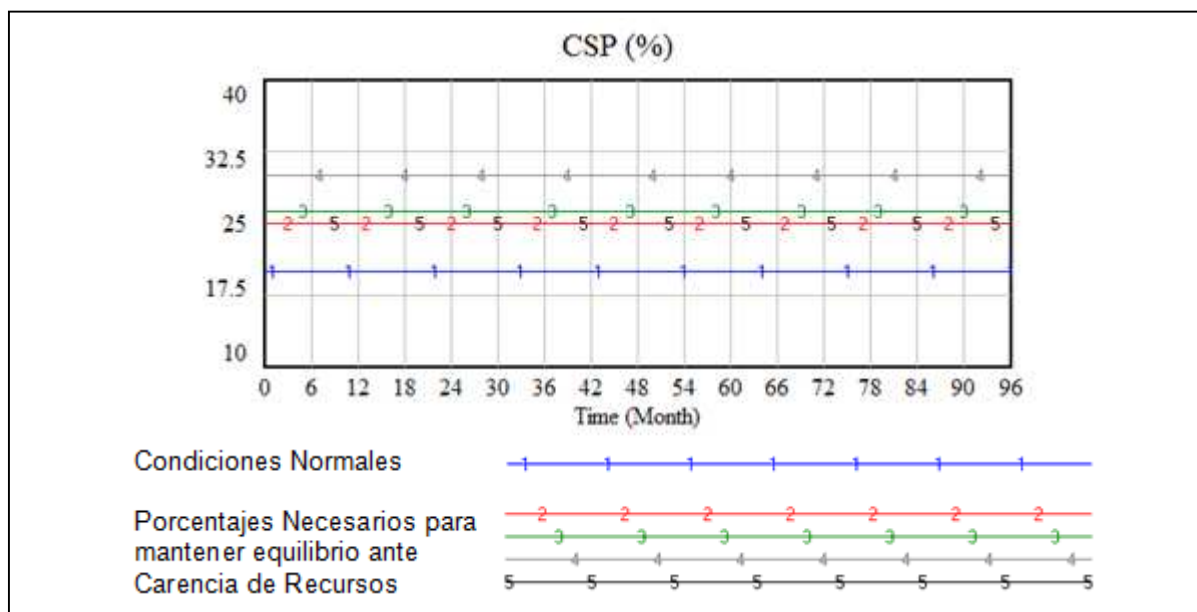


Figura N°5.34: Aumento necesario en el Porcentaje de Compras a Secaderos Pequeños ante para mantener equilibrio ante condiciones desfavorables  
Fuente: Elaboración propia utilizando VenSim PLE 5.5

Utilizando la Fórmula (1) (Ver página 92), se determinó el número de réplicas necesarias para un nivel de confianza del 95% y un error del 5% para las 3 variables en cuestión. Luego, el mayor número de réplicas necesario es igual a 12 réplicas (Ver Anexo B).

### 5.5.2.2 Resultados

En base a 12 simulaciones, utilizando la Fórmula (2) (Ver página 92) con un 95 por ciento de confianza, se obtuvieron los siguientes intervalos de confianza para

la media, que permiten cubrir la demanda sin generar pérdida de ventas (Ver Anexo B):

- La media para el porcentaje mínimo de disponibilidad de materia prima con el cual es posible operar sin generar pérdida de ventas está entre 74,3 y 78,4 por ciento del total disponible en condiciones normales.
- La media para el porcentaje mínimo de disponibilidad de secaderos pequeños con el cual es posible operar sin generar pérdida de ventas está entre 43,7 y 53,4 por ciento del total disponible en condiciones normales.
- La media del porcentaje fijo que deberá ser comprado a secaderos pequeños de forma simultánea ante las disminuciones de disponibilidad de materia prima y disponibilidad de secaderos pequeños mencionados anteriormente está entre 25 y 28,5 por ciento.

### 5.5.3 Escenario Alternativo 2: Aumento brusco de la demanda al doble de su valor actual

Como se mencionó anteriormente, la empresa analizada pertenece a una sociedad anónima familiar, que además del establecimiento de secanza de yerba mate posee otros establecimientos dedicados a la agricultura, Secanza de Té y Mantenimiento de máquinas.

A pesar de que el establecimiento de secanza de yerba mate es reconocido en el mercado por la calidad de sus productos, la junta de accionistas otorga mayor importancia a la secanza de té, considerando que el posicionamiento actual en el mercado del secadero de yerba mate es adecuado.

Sin embargo, el establecimiento analizado actualmente no produce al 100 por ciento de su capacidad y adquiere un 20 por ciento de producto a establecimientos más pequeños, ya que actualmente la demanda para el secadero analizado en particular no es muy amplia.

Al proponer a los directivos la posibilidad de simular algún escenario alternativo a través del modelo elaborado, se determinó analizar el escenario de un incremento brusco de la demanda (para el secadero analizado en particular) para observar cómo reaccionaría el sistema ante tal situación y qué cambios en el sistema permitirían sobrellevar dicho aumento, considerando un horizonte temporal de 96 meses para representar el largo plazo que se desea analizar.

#### 5.5.3.1 Cambios en el modelo ante un aumento de la demanda al doble de su valor en condiciones normales

Ante un aumento de la demanda al doble de su valor actual, es necesario modificar las condiciones de algunos parámetros del modelo<sup>9</sup> para representar de mejor forma el escenario planteado.

- La demanda aumenta al doble de su valor en condiciones normales a partir del periodo 24
- La disponibilidad de materia prima puede incrementarse hasta un 20 por ciento adicional a partir del tercer mes
- La disponibilidad de secaderos pequeños puede incrementarse hasta un 30 por ciento adicional a partir del quinto mes (con una variabilidad de un 20 por ciento)
- Se suprime la condición de mantener un stock de reserva de 500 toneladas. (ante un aumento de la demanda se vende todo lo que se tiene)
- La capacidad de stock puede incrementarse hasta 4.500 toneladas

---

<sup>9</sup> Estas nuevas condiciones fueron representadas en base a opinión de directivos y expertos, dado que la situación planteada no ha ocurrido anteriormente.

5.5.3.2 Funcionamiento del sistema ante un aumento de la demanda al doble de su valor en condiciones normales

Ante un aumento de la demanda al doble de su valor actual, la “Disponibilidad de Materia Prima” se incrementa hasta un 20 por ciento adicional, alcanzando su máximo valor recién en el tercer periodo posterior al aumento de la demanda. La “Producción” aumenta a su máximo valor posible, condicionada por la “Disponibilidad de Materia Prima” y las horas disponibles por día (24 horas como máximo) (Figura N° 5.35). Se requiere un aumento de la “Mano de Obra Secundaria” logrando mantener una productividad del 100 por ciento (k/h), pero las cantidades producidas no son suficientes para cubrir el 80 por ciento de la demanda durante todos los periodos, dado que el stock de yerba propia decrece notoriamente (Figura N° 5.36). El segmento amarillo , indica el periodo de cambio en el comportamiento de la Demanda.

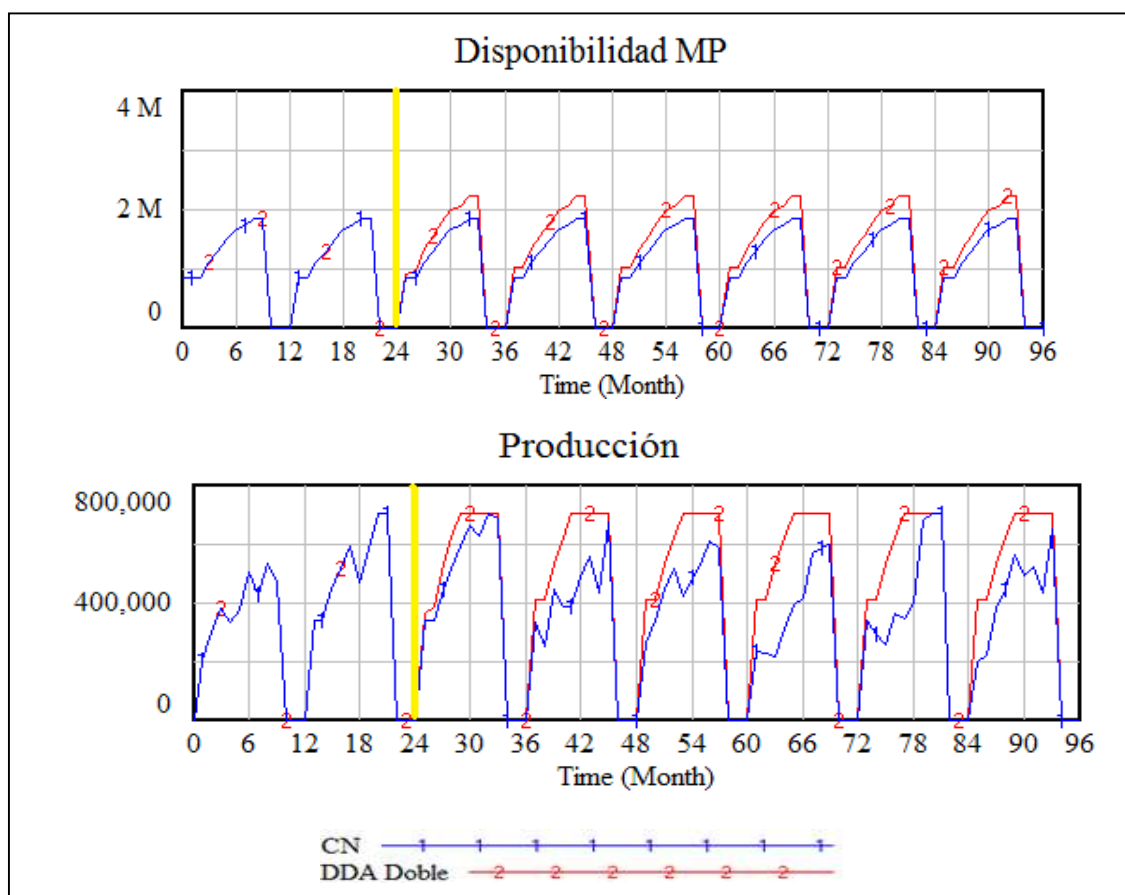


Figura N° 5.35: Comportamiento de las variables “Disponibilidad de Materia Prima” y “Producción” en Condiciones Normales y ante incremento de la Demanda al doble de su valor Fuente: Elaboración Propia, utilizando VenSim PLE 5.5



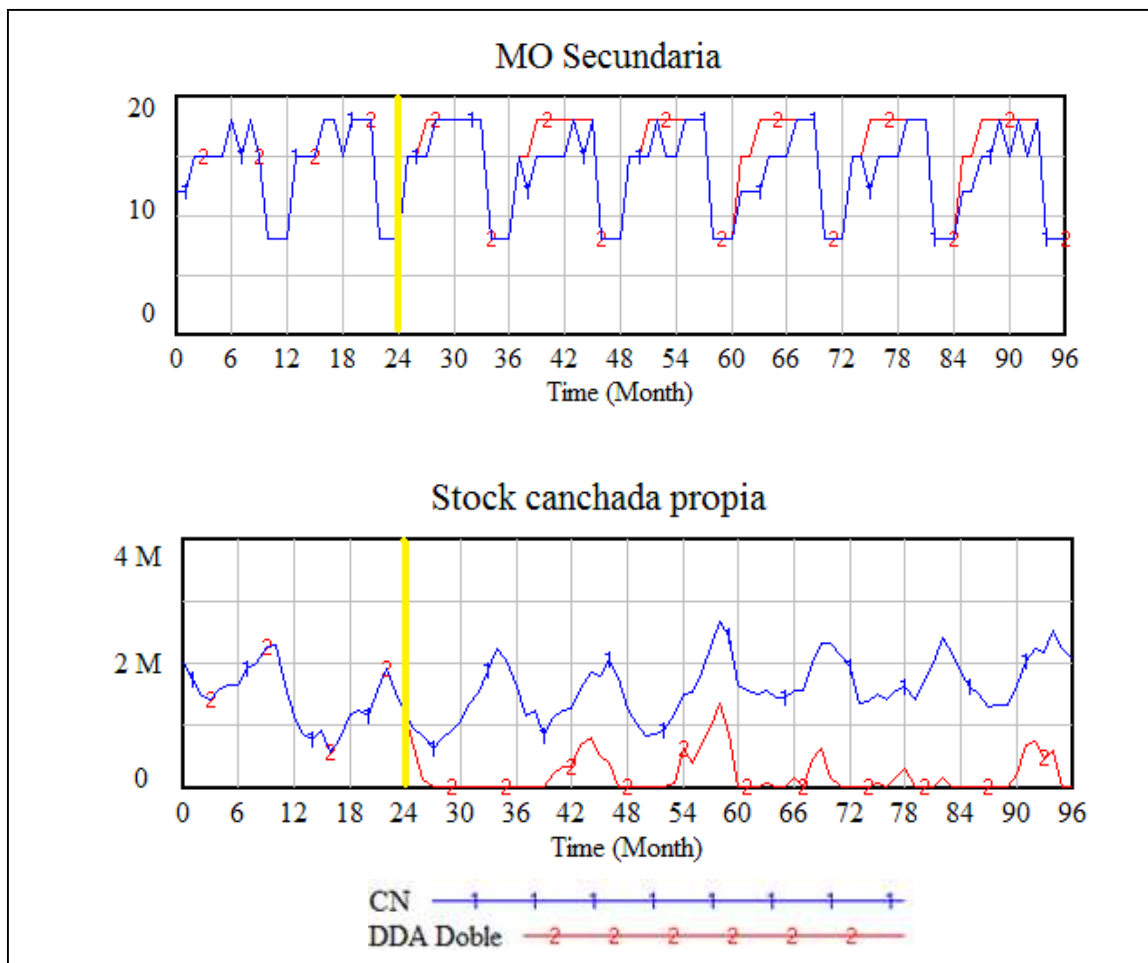


Figura N° 5.36: Comportamiento de las variables “Mano de Obra Secundaria y “Stock de Canchada Propia” en Condiciones Normales y ante incremento de la Demanda al doble de su valor.

Fuente: Elaboración Propia, utilizando VenSim PLE 5.5

La “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” puede incrementarse hasta un 30 por ciento adicional, pero alcanzando su máximo valor recién a partir del quinto mes posterior al aumento de la demanda (Figura N°5.37) .

Las “Compras a Secaderos Pequeños” permanecen en el 20 por ciento constante, definido por la empresa previo al aumento de la demanda. Pero una vez concretado el aumento, es necesario aumentar considerablemente el porcentaje de compras en algunos periodos, adquiriéndose en algunos meses una cantidad igual a la máxima disponibilidad del recurso (Figura N°5.37).

Sin embargo, el decrecimiento en el stock propio y la insuficiente disponibilidad de secaderos pequeños en algunos periodos, generan una diferencia entre demanda y ventas significativa en algunos meses, lo que indica una “Pérdida de Ventas”.





### 5.5.3.3 Propuestas de políticas alternativas para sobrellevar el aumento de la demanda

Para superar los inconvenientes producidos ante el aumento de la demanda, se propusieron los siguientes cambios de políticas

1. Aumentar la “Capacidad de Producción”. La capacidad de producción actual permite obtener un producto final correctamente procesado, con tiempos de secanza aptos para alcanzar la calidad deseada por la empresa. Es posible aumentar la velocidad del proceso hasta un valor máximo de 4.285 kg/h de producto ingresado, obteniendo una calidad similar, pero no idéntica a la actual. Un aumento mayor en la cantidad de yerba ingresada a proceso por hora implicaría la obtención de un producto final de características inadecuadas, que no cumpliría con los requerimientos de los clientes.
2. Aumentar la Jornada Laboral a 30 Días por Mes. Actualmente, la empresa mantiene la política de trabajar de Lunes a Viernes durante todo el día y los Sábado, durante medio día.
3. Aumentar el Porcentaje de “Compras a Secaderos Pequeños”. En condiciones normales, las “Compras a Secaderos pequeños” representan un porcentaje fijo del 20 por ciento, que aumenta sólo en algunos meses, ante aumentos puntuales en la demanda. Se propone incrementar el porcentaje fijo (para todos los periodos), buscando un valor que permita anular la “Pérdida de Ventas”.

### 5.5.3.4 Análisis de incorporación de políticas alternativas

Se realizó un análisis cualitativo de las alternativas propuestas, resumido en la siguiente tabla, indicando las posibles combinaciones de cambios de políticas sugeridas, el nivel de mejora predicha por el modelo al ser simulado en VenSim PLE 5.5 y los costos de su implementación en el sistema.

Tabla N° 5.4: Resultados de análisis cualitativo de las alternativas propuestas.

<b>Alternativa</b>	<b>Combinaciones de Políticas</b>	<b>Nivel de Mejora Obtenido</b>	<b>Costo Estimado</b>
A	1	Bajo	Medio
B	2	Bajo	Medio
C	3	Alto	Bajo
D	1 y 2	Bajo	Alto
E	1 y 3	Alto	Medio
F	2 y 3	Alto	Medio
G	1,2 y 3	Alto	Alto

Fuente: Elaboración Propia

#### Aumentar la capacidad de producción

Implica una mejora muy baja. Se logra disminuir levemente diferencia entre demanda y ventas, pero en ningún periodo anularla, manteniéndose la pérdida de ventas. Se considera que la aplicación de esta política tiene un costo medio, ya que al aumentar la capacidad de producción (aumentar el flujo de yerba ingresada al proceso por hora), se corre el riesgo de obtener un producto final de calidad inferior, por lo tanto, esto podría influir a largo plazo en la fidelidad de los clientes.

#### Aumentar la jornada laboral

Por sí sola, genera mejoras muy bajas. Al igual que con la alternativa 1, se logra disminuir levemente diferencia entre demanda y ventas, pero en ningún periodo anularla. La aplicación de esta política implica un aumento del costo de mano de

obra, que representa aproximadamente el 15 por ciento del costo total. Además el hecho de trabajar los fines de semana genera inconvenientes en las relaciones con los trabajadores, dado que muchos de ellos poseen trabajos adicionales los fines de semana y podría producirse una baja en la productividad por hora al incorporar personal sin experiencia. Por lo tanto, se considera que la aplicación de esta política tiene un costo medio.

#### Aumentar el porcentaje de compras a secaderos pequeños

Constituye la mejor opción de mejora, dado que permite anular la pérdida de ventas a un bajo costo. Existe una gran disponibilidad de este recurso y los costos de adquirir yerba canchada de terceros son levemente menores a los de producción propia, ya que dichos establecimientos son pequeñas instalaciones familiares que por ende tienen menores costos, cargas impositivas y exigencias del INYM.

#### Combinación de alternativas de forma simultánea

Al combinar las alternativas 1 y 2 de forma simultánea no se produce mejoras considerables, ya que no permiten anular la pérdida de ventas.

Al combinar la alternativa 3 (aumento en el porcentaje de compras a secaderos pequeños), ya sea con la alternativa 1 o 2 simultáneamente o de forma aislada, se logra anular la pérdida de ventas, pero el costo que implica incorporar las alternativas 1 o 2, finalmente indica que la mejor opción es la alternativa 3 por sí sola.

Finalmente, el análisis realizado, indica que el cambio de política determinante en la resolución del problema es el aumento de las compras a secaderos pequeños. La mejor alternativa es la letra C (aumentar el porcentaje de compras a secaderos pequeños), que permite anular la "Pérdida de Ventas" a un bajo costo.

### 5.5.3.5 Comportamiento del sistema ante la incorporación de la política elegida

Se realizó una simulación del sistema ante el aumento de la demanda al doble de su valor en condiciones normales, incorporando el cambio de política propuesto de aumentar el porcentaje de compras a secaderos pequeños.

Al aumentar la demanda, el porcentaje de compras a secaderos pequeños comienza a aumentar gradualmente, ya que la disponibilidad de secaderos pequeños adquiere su valor máximo sólo a partir del quinto mes (Figura N° 5.39).

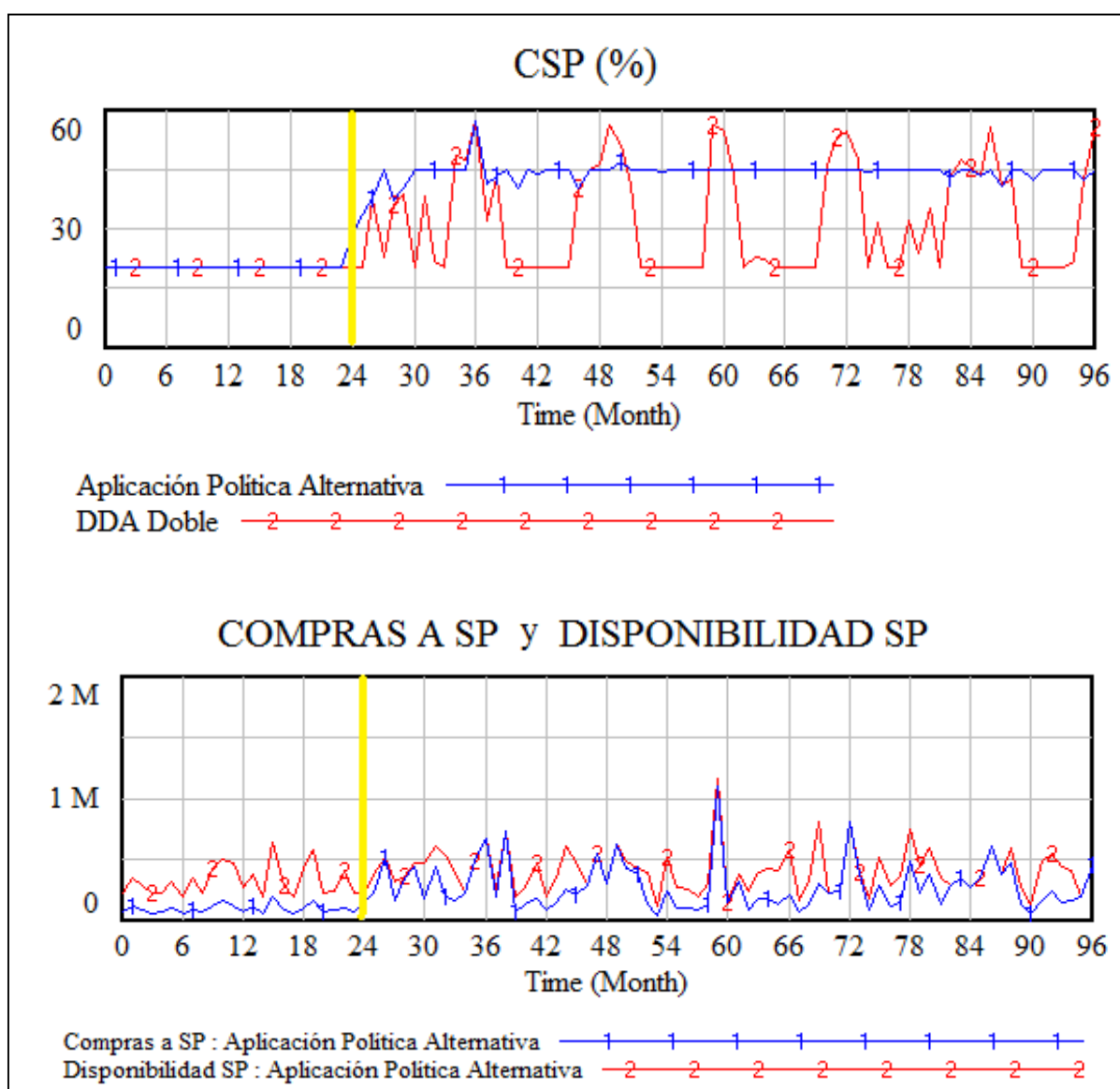


Figura N° 5.39 Resultados de la simulación ante incremento de la Demanda al doble de su valor original, incorporando el cambio de política propuesto.  
 Fuente: Elaboración Propia, utilizando VenSim PLE 5.5

A pesar de que la producción aumenta a su máximo valor, dependiendo de la disponibilidad de materia prima, se genera una disminución considerable en el stock de yerba propia, siendo insuficiente para satisfacer la demanda, provocando pérdida de ventas durante los primeros periodos.

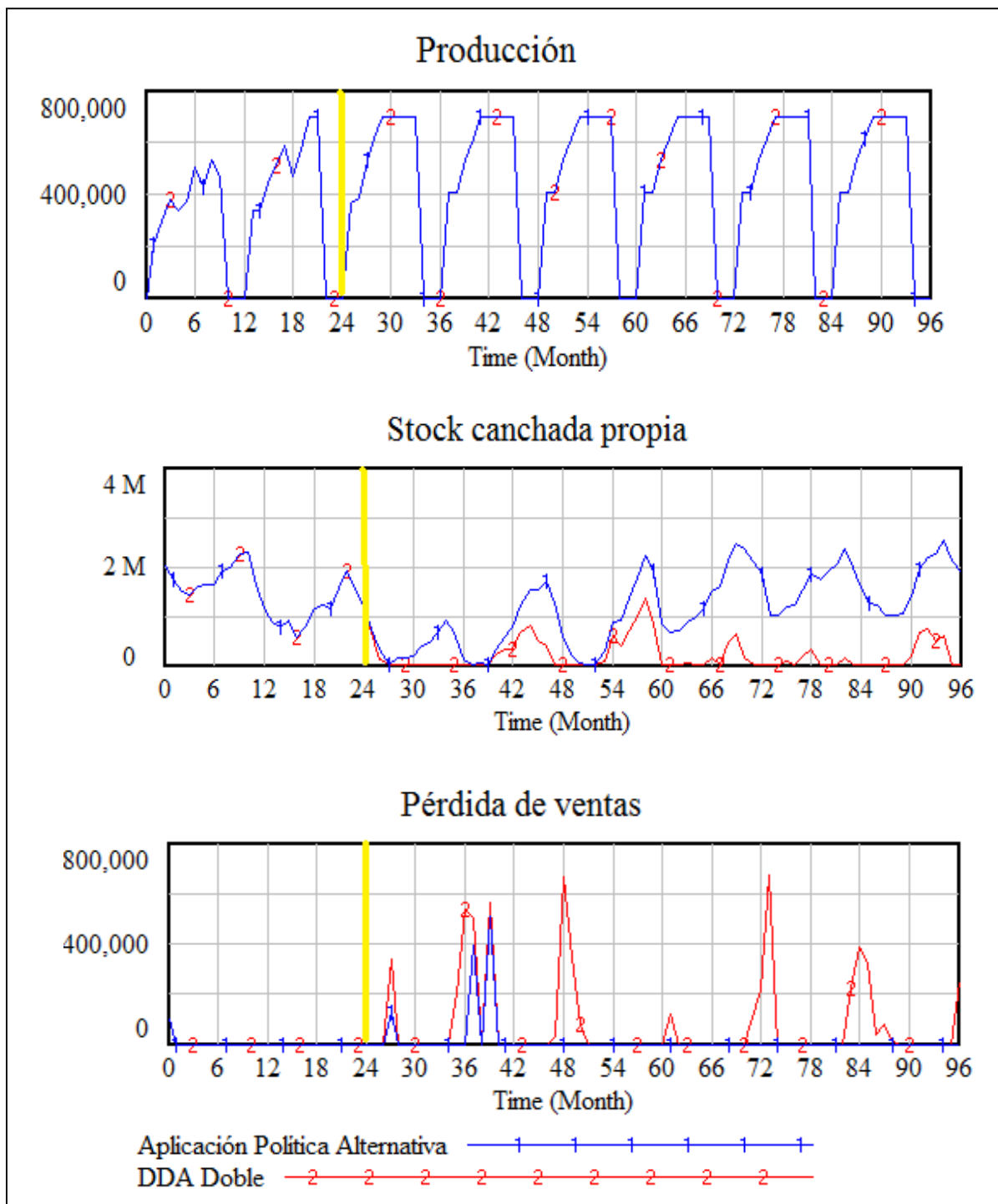


Figura N° 5.40: Resultados de la simulación ante incremento de la Demanda al doble de su valor original, incorporando el cambio de política propuesto.  
Fuente: Elaboración Propia, utilizando VenSim PLE 5.5





aumento porcentual de utilidades generadas por la empresa con respecto a las condiciones normales.

Para determinar el número de réplicas necesarias fue utilizada la fórmula (1) (Ver página 92) obteniéndose los siguientes resultados (Ver Anexo B)

- Para el cálculo de la media del porcentaje que deberá adquirirse de secaderos pequeños, se determinó con un error del 5 por ciento y un 95 por ciento de confianza, que el número de réplicas necesarias es de 30 réplicas.
- Para el cálculo de la media del aumento porcentual de utilidades generadas por la empresa con respecto a las condiciones normales, se determinó con un error del 5 por ciento y un 95 por ciento de confianza, que el número de réplicas necesarias es de 5 réplicas.

Posteriormente, se estimó el intervalo de confianza que representa el verdadero valor para la media de ambos porcentajes, utilizando la fórmula (2) (Ver página 92), obteniéndose los siguientes resultados (Ver Anexo B)

- En base a 30 simulaciones, se obtuvo que el verdadero valor, con un 95 por ciento de confianza, para la media del porcentaje de compras a secaderos pequeños que la empresa deberá fijar, está entre 44 y 47,4 por ciento.
- En base a 5 simulaciones, se obtuvo que el verdadero valor, con un 95 por ciento de confianza y un 5 por ciento de error, para la media del aumento porcentual de las utilidades de la empresa con respecto a las condiciones normales está entre 111,53 y 115,2 por ciento.

## **Capítulo 6. Conclusiones**

### **6.1 Acerca de Dinámica de Sistemas**

Dinámica de Sistemas constituye una herramienta muy útil para modelar cualquier tipo de sistema que incluya flujos de realimentación entre sus variables. Facilita la comprensión y observación del comportamiento general del sistema en condiciones normales y ante escenarios alternativos, permitiendo observar cómo influyen en él las políticas que lo determinan y qué cambios podrían obtenerse ante modificaciones en el comportamiento de sus variables.

La construcción de un modelo mediante Dinámica de Sistemas requiere un alto conocimiento del sistema y la capacidad de representar matemáticamente comportamientos cualitativos, donde es muy importante el criterio del modelador. Se debe representar en forma detallada cada ecuación, sin posibilidad de errores, para que el software sea capaz de comprender y simular el comportamiento que deseamos representar, siendo muy importante determinar los parámetros adecuados para obtener un modelo confiable.

Es necesario incorporar elementos que muchas veces no se encuentran explícitos, que adquieren mucha importancia en el comportamiento del modelo y reelaborar varias veces las ecuaciones planteadas, incorporando elementos adicionales y comparando resultados hasta obtener un modelo lo más representativo posible del sistema real.

### **6.2 Acerca del modelo elaborado**

Para la elaboración de este trabajo fue necesaria una extensa recopilación de información, tanto para la utilización de Dinámica de Sistemas como metodología de modelado, la utilización del software para la resolución del modelo y para la adquisición de los conocimientos necesarios acerca del funcionamiento del establecimiento de elaboración primaria de yerba mate analizado.

El modelo elaborado mediante Dinámica de Sistemas permitió una visión integrada del sistema y representa de manera satisfactoria el funcionamiento de la empresa a partir de sus políticas. Mediante la representación gráfica de sus variables más influyentes y las realimentaciones que se producen entre ellas, fue posible facilitar a los directivos una comprensión más acabada del funcionamiento de la empresa, en condiciones normales y ante cambios en algunas variables, en este caso, en el comportamiento de la demanda y la disponibilidad de recursos para el establecimiento. Esto permitió mejorar los modelos mentales de los directivos y facilitar la comprensión de las relaciones causa-efecto del sistema, pudiendo experimentar, probar hipótesis de trabajo y utilizarse como apoyo a la toma de decisiones en la definición de políticas de acción ante nuevos escenarios.

### **6.3 Acerca de los escenarios alternativos planteados**

Escenario Alternativo 1: Comportamiento del modelo ante condiciones desfavorables

Se determinó con un 95 por ciento de confianza y un 5 por ciento de error, que la empresa es capaz de soportar la disminución simultánea del porcentaje de disponibilidad de materia prima hasta un porcentaje de entre 74,3 y 78,4 por ciento del total disponible en condiciones normales y la disponibilidad de secaderos pequeños hasta un porcentaje de entre 43,7 y 53,4 por ciento del total disponible en condiciones normales, debiéndose aumentar el porcentaje deseado de compras a secaderos pequeños a un valor de entre el 25 y 28,5 por ciento. De esta forma, ante carencia de recursos, es posible mantener en equilibrio el comportamiento del sistema, obteniéndose resultados similares a los observados en condiciones normales, sin generar pérdida de ventas.

Escenario Alternativo 2: Comportamiento del modelo ante un aumento brusco de la demanda

El cambio de política determinante en la solución de los problemas asociados a un aumento brusco de la demanda es el aumento del porcentaje deseado de compras a secaderos pequeños.

En el mediano y largo plazo, es posible anular la pérdida de ventas adquiriendo un porcentaje mayor de yerba canchada elaborada por establecimientos más pequeños, que con un 95 por ciento de confianza y un error del 5 por ciento se encuentra entre 44 y 47,4 por ciento. Este cambio de política permite no incurrir en costos adicionales y genera un aumento en las utilidades, con un 95 por ciento de confianza y un error del 5 por ciento, de entre un 111,53 y 115,2 por ciento con respecto a las condiciones normales.

En el corto plazo, no es posible anular la pérdida de ventas, dado que la disponibilidad de materia prima y de secaderos pequeños no aumentan de forma inmediata. La alternativa más indicada para obtener resultados inmediatos durante los primeros meses, permitiendo una menor cantidad de clientes insatisfechos (pero no anular la pérdida de ventas), es aplicar de forma simultánea los tres cambios de políticas propuestos

1. Aumentar la capacidad de producción a su máximo permitido (1.425 k/h de producto final)
2. Aumentar la jornada laboral a 30 días por mes
3. Aumentar el porcentaje de compras a secaderos pequeños

La aplicación de estas tres políticas de forma simultánea genera un incremento en el costo de mano de obra y su aplicación a mediano y largo plazo podría generar una disminución en la calidad del producto final obtenido, constituyendo un riesgo para la empresa. Por lo tanto, es aconsejable acudir a estas medidas sólo de forma momentánea.

## **6.4 Conclusión General**

La elaboración de este trabajo fue posible gracias al convenio de colaboración mutua existente entre la Universidad del Bío-Bío (Chile) y la Universidad Nacional de Misiones (Argentina). Es importante destacar la gran experiencia que significó haber desarrollado un trabajo en esta última Universidad, pudiendo conocer realidades diferentes y procesos productivos inexistentes en Chile, logrando además gracias al trabajo conjunto de las dos Universidades, la elaboración de 4 artículos presentados en congresos de carácter internacional (Del Despósito et al., 2009 a, b, c y d). Es de esperar que esta experiencia pueda servir como incentivo al alumnado a realizar actividades de forma conjunta entre ambas Universidades, permitiendo estrechar aún más los lazos existentes entre ellas y crear nuevas instancias para el desarrollo de proyectos.

## Referencias Bibliográficas

Aracil, J. (1995) Dinámica de Sistemas. 1ª ed. España: ISDEFE. [En línea] <<http://www.isdefe.es>> [consulta: Julio 2008]

Ariza Zabala, G. C. & Sotaquirá Gutiérrez, R. (2004): Un nuevo enfoque de modelado de estrategias empresariales con Dinámica de Sistemas. En: II ENCUENTRO Colombiano de Dinámica de Sistemas. [En línea] <<http://fis.unab.edu.co/2encuentrods>> [consulta: Julio 2006]

Banks, J.; Carson, J. S.; Nelson, B. L. (1996) Discrete-Event System Simulation. 2da ed. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. USA.

Del Despósito Zúñiga, L. Lozano, G. Michalus, J.C. & Santelices Malfanti, I. (2009a) "Aplicación de dinámica de sistemas a un establecimiento de elaboración primaria de yerba mate". En: XXII ENCUENTRO NACIONAL de Docentes en Investigación Operativa y XX Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa. 20 al 22 de Mayo de 2009. Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional Argentina. ISBN 978-950-42-0113-7.

Del Despósito, L. Sanhueza, F. Michalus, J.C. Santelices, I. Lozano, G. (2009b): Simulación mediante Dinámica de Sistemas de una PYME, caso particular de establecimiento de elaboración primaria de yerba mate. En: III SIMPOSIO INTERNACIONAL de Ingeniería Industrial. 2 al 4 de Septiembre de 2009. Tunja, Boyacá, Universidad de Boyacá, Colombia. ISSN 1856-83-43.

Del Despósito Zúñiga, L. Lozano, G. Michalus, J.C. & Santelices Malfanti, I. (2009c): Aplicación de Dinámica de Sistemas a un establecimiento de elaboración primaria de yerba mate. En: VIII CONGRESO CHILENO de Investigación Operativa, OPTIMA. 7 al 10 de Octubre de 2009. Chillán, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile, Departamento de Ingeniería Industrial. ISBN: 978-956-332-083-1.

Del Despósito Zúñiga, L. Lozano, G. Michalus, J.C. & Santelices Malfanti, I. (2009d): Modelado del proceso de elaboración primaria de yerba mate mediante Dinámica de Sistemas. En: III CONGRESO ARGENTINO de Ingeniería Industrial, COINI. 29 y 30 de Octubre de 2009. Oberá, Misiones, Universidad Nacional de Misiones, Argentina. ISBN: 978-950-579-140-8.

De Bernardi, L. (2004) Yerba mate. Análisis de la cadena alimentaria. [En línea] Dirección Nacional de Alimentación, Dirección de Industria Alimentaria.

Argentina. <[http://www.alimentosargentinos.gov.ar/0-3/infusion/yerba\\_mate/Yerba\\_mate.htm](http://www.alimentosargentinos.gov.ar/0-3/infusion/yerba_mate/Yerba_mate.htm)> [consulta: Noviembre 2008]

De Bernardi, L. (2007): Revista Biomanantial, Yerba Mate. [En línea] <http://www.biomanantial.com/argentina-yerba-mate-a-905.html>

Domínguez Machuca, et al. (1995): Dirección de operaciones. Aspectos estratégicos en la producción y los servicios. Editorial Mc-Graw Hill, Madrid, España.

Forrester, J. (1998): Diseñando El Futuro. Universidad De Sevilla, Sevilla, España.

García, J. M. (2003) Teoría Y Ejercicios Prácticos De Dinámica De Sistemas. Edición de autor. ISBN 84-607-9304-4. Barcelona, España.

Gulino, E. G., Dottori, C.; Willis, E. & Vergara, F. (2006): Análisis de una empresa del sector maderero desde la Dinámica de Sistemas. Revista de Dinámica de Sistemas Vol. 2 Núm. 2, Septiembre 2006. ISSN: 0718-1884 Editor: Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad de Talca. [En línea] <[http://dinamicasistemas.utalca.cl/Revista/RDS\\_home.htm](http://dinamicasistemas.utalca.cl/Revista/RDS_home.htm)> (consulta: Octubre 2008]

Kosacoff, B. & López, A. (2000) Cambios organizacionales y tecnológicos en las pequeñas y medianas empresas. Repensando el estilo de desarrollo argentino. [En línea] <<http://www.eclac.cl>> [consulta: Febrero 2006]

Kulfas, M. (2006): Disposición 147/2006 Micro, pequeñas y medianas empresas. Secretaría de la Pequeña y Mediana Empresa y Desarrollo Regional, República Argentina. [En línea] <<http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/120000-124999/121328/norma.htm>> [consulta: Noviembre 2008]

Michalus, J. C. (1998): Caracterização E Possíveis Melhorias Do Processo De elaboração primária da erva-mate em oberá, Misiones. Disertación de maestría. Santa María (RS), Brasil.

Olsson, G. J.; Aranda, M. H.; Santelices Malfanti, I. & Michalus, J. C. (2005) La simulación como herramienta útil para las pequeñas y medianas empresas. En: 34º Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa. Organizador: Sociedad Argentina de Informática e Investigación Operativa (S.A.D.I.O.). Rosario, Santa Fé, Argentina.



Olsson, G. J; Michalus, J. C. & Santelices Malfanti, I. (2007): Escollos y soluciones para la simulación del proceso de producción en pequeñas empresas de aserrío. Anales de XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção & XIII International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Organizadores: Associação Brasileira de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

Parra, P. (2006): Yerba mate. Análisis de la cadena alimentaria. [En línea] Dirección Nacional de Alimentos, Subsecretaría de Política Agropecuaria y Alimentos, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos del Ministerio de Economía y Producción. Buenos Aires, Republica Argentina <<http://www.alimentosargentinos.gov.ar/infusiones/default.asp>> [consulta: Agosto 2008]

Puliafito, E. (2009): Programa de la Cátedra del curso de posgrado de Modelación Científica, Universidad de Mendoza, República Argentina.

Rocholl, J. R. (2008): Entrevistas sobre funcionamiento general de establecimientos de elaboración primaria de Yerba Mate. Entrevistadores: Lorena del Despósito Zuñiga, Gabriel A. Lozano y Juan C. Michalus. Entrevistas realizadas entre los meses de Agosto y Diciembre del 2008 en la ciudad de Oberá, Misiones, Argentina.

Sarabia, A. A. (1995) la teoría general de sistemas. 1ª ed. España: ISDEFE [En línea] <<http://www.isdefe.es>> [consulta: Julio 2008]

Senge, P. M (1995) La quinta disciplina en la práctica. Cómo construir una organización inteligente. Ediciones Juan Granica, S.A., Barcelona, España.

Zamorano, H. (2003): Introducción a conceptos básicos de la teoría general de sistemas. [En línea] <<http://es.geocities.com/hlzamorano/pp2-23.pdf>> [consulta: octubre 2008]

Zamorano, H. (2004): La dinámica de sistemas y los modelos de simulación por computadora. [En línea] [http://es.geocities.com/galleano\\_zamorano/sociocib.pdf](http://es.geocities.com/galleano_zamorano/sociocib.pdf) [consulta: Octubre 2008]

## **ANEXO A: ECUACIONES UTILIZADAS EN LA ELABORACIÓN DEL MODELO**

## Ecuaciones Utilizadas en la Elaboración del Modelo

En el presente anexo, se presentan las ecuaciones utilizadas para la elaboración del modelo, en orden alfabético. Éstas permiten complementar la comprensión del funcionamiento del mismo, a partir de la descripción del modelo realizada en el Capítulo 5.

(01) "% Polvo" = 0.95

Units: \*\*undefined\*\*

Porcentaje de Polvo. Al final del proceso, el producto obtenido consiste en un 95% de yerba canchada y un 5% de polvo que no es utilizado.

(02) AMOD = 11

Units: Personas

Asignación mensual de mano de obra directa (Operarios directos de maquinarias)

(03) Asignación MOS = WITH LOOKUP (IF THEN ELSE(Time<13, Time, IF THEN ELSE(Time<25, Time-12, IF THEN ELSE(Time<37, Time-24, IF THEN ELSE(Time<49, Time-36, IF THEN ELSE(Time<61, Time-48, IF THEN ELSE(Time<73, Time-60, IF THEN ELSE(Time<85, Time-72, IF THEN ELSE(Time<97, Time-84, Time))))))))),

((0,0)-(20,20)),(1,12),(2,12),(3,12),(4,12),(5,12),(6,18),(7,18),(8,18),  
(9,18),(10,8),(11,8),(12,8))

Units: Personas

Asignación de Mano de Obra Secundaria para los periodos del 1 al 96

(04) Canchada para la venta Sin Estacionar = Cámaras Estacionamiento y Depósitos \* "DDA Yerba Canchada (%)"

Units: kilogramos

Yerba que será comercializada sin estacionamiento previo

(05) Canchada Propia = IF THEN ELSE(Compras a SP + Decisión Final canchada propia >= "Demanda Prevista (1 mes anticipación)", Decisión Final canchada propia, IF THEN ELSE(Disponibilidad CP >= "Demanda Prevista (1 mes anticipación)" - Compras a SP, "Demanda Prevista (1 mes anticipación)" - Compras a SP, Disponibilidad CP))

Units: kilogramos

Kilogramos de yerba canchada propia que finalmente será comercializada

- (06) Capacidad Stock 1= CMS-Stock canchada propia  
 Units: kilogramos  
 Capacidad ociosa de stock para yerba canchada de producción propia
- (07) Capacidad Stock 2= CMS-Stock canchada propia  
 Units: kilogramos  
 Capacidad ociosa de stock para compras a secaderos pequeños.
- (08) CCP= Cámaras Estacionamiento y Depósitos\*(1-("CSP (%)"/100))\*CYP  
 Units: \$/Kilogramo  
 Costo yerba canchada de producción propia. Obtenido a partir del porcentaje del total de las ventas correspondiente a yerba de producción propia
- (09) CCSP= Cámaras Estacionamiento y Depósitos\*("CSP (%)"/100)\*CYSP  
 Units: \$  
 Costo yerba canchada adquirida a secaderos pequeños. Obtenido a partir del porcentaje del total de las ventas correspondiente a yerba adquirida a secaderos pequeños
- (10) CDSP= Patrón Comportamiento DDA\*"DSP (%)"\*Variación Disp SP  
 Units: kilogramos/mes  
 Curva de Disponibilidad de Secaderos Pequeños.
- (11) "CDSP (%)"= 0.2  
 Units: \*\*undefined\*\*  
 Porcentaje de Compras Deseadas a Secaderos Pequeños (20%)
- (12) CMS= 4.5e+006  
 Units: kilogramos  
 Capacidad máxima de stock de la empresa. Al aumentar la demanda al doble de su valor en condiciones normales, es posible aumentar este valor desde las 3500 toneladas actuales hasta 4500 toneladas, ocupando bodegas alternativas de la empresa familiar
- (13) Compras a SP= IF THEN ELSE(Capacidad Stock 2-Decisión Final canchada propia>=Decisión Final CSP, Decisión Final CSP, IF THEN ELSE(Capacidad Stock 2-Decisión Final canchada propia>0, IF THEN ELSE(Disponibilidad SP>=Capacidad Stock 2-Decisión Final canchada propia, Capacidad Stock 2-Decisión Final canchada propia, Disponibilidad SP), 0))

Units: kilogramos

Compras de yerba canchada a secaderos pequeños que finalmente serán realizadas para comercializar como propia.

- (14) Corrector Stock= IF THEN ELSE(Stock canchada propia>=PR, Variación DDA, MIN(Variación DDA+1.2, 1.2))

Units: \*\*undefined\*\*

Si el stock de canchada propia es menor que el stock deseado, se da la orden de aumentar la producción hasta el máximo posible, dada la restricción de disponibilidad de materia prima, es decir, hasta un 30% adicional de la cantidad disponible en condiciones normales.

- (15) Costos= ((CCP+CCSP)\*"DDA Yerba Canchada (%)") +((CCP+CCSP)\*"DDA Yerba Estacionada (%)"\*CYE)

Units: \$

Los costos son iguales a la suma de los costos de yerba canchada más los costos de la yerba estacionada

- (16) CP= 4000

Units: kilogramos/Hora [3000,4285]

Capacidad de producción de la empresa. La empresa opera a una capacidad de producción de 4000 kilogramos de materia prima ingresada. La cantidad máxima que es posible ingresar es de 4285 kilogramo, pero éste podría disminuir la calidad del producto final.

- (17) CP Deseada= IF THEN ELSE(Disponibilidad CP>="Demanda Prevista (1 mes anticipación)"\*(1-"CDSP (%)" ), IF THEN ELSE(Disponibilidad SP>="Demanda Prevista (1 mes anticipación)"\*"CDSP (%)", "Demanda Prevista (1 mes anticipación)"\*(1-"CDSP (%)" ), IF THEN ELSE (Disponibilidad CP>="Demanda Prevista (1 mes anticipación)"-Disponibilidad SP, "Demanda Prevista (1 mes anticipación)"-Disponibilidad SP, Disponibilidad CP)), Disponibilidad CP)

Units: kilogramos

Canchada propia deseada para cubrir el porcentaje deseado de las ventas

- (18) "CSP (%)"= (Compras a SP\*100/"Demanda Prevista (1 mes anticipación)")

Units: %

Porcentaje de compras a secaderos pequeños adquirido realmente para cada mes

- (19) CSP Deseada= IF THEN ELSE (Disponibilidad SP>="Demanda Prevista (1 mes anticipación)"-CP Deseada, "Demanda Prevista (1 mes anticipación)"-CP Deseada, Disponibilidad SP)

Units: kilogramos  
 Canchada de secaderos pequeños deseada.

(20) CYE= 1.1

Units: \$/Kilogramo  
 Costo yerba estacionada. Es un 10% superior al costo de la yerba sin estacionar.

(21) CYP= 1.96

Units: \$/Kilogramo  
 Costo unitario de la yerba canchada de producción propia

(22) CYSP= 1.85

Units: \$/Kilogramo  
 Costo unitario de la yerba canchada adquirida a secaderos pequeños

(23) Cámaras Estacionamiento y Depósitos= Depósito Intermedio 1+Depósito Intermedio 2

Units: Kilogramos/mes  
 Representa la yerba que se encuentra apartada en los respectivos depósitos y cámaras de estacionamiento para su venta en el periodo siguiente

(24) "DDA Yerba Canchada (%)"= 0.6

Units: \*\*undefined\*\*  
 Porcentaje de la Demanda correspondiente a yerba canchada sin estacionar. Corresponde a un 60% de la demanda.

(25) "DDA Yerba Estacionada (%)"= 0.4

Units: \*\*undefined\*\*  
 Porcentaje de la Demanda correspondiente a yerba canchada estacionada. Corresponde a un 40% de la demanda.

(26) DDAP= 370000

Units: kilogramos/mes  
 Demanda promedio para el establecimiento analizado

(27) Decisión Final canchada propia= IF THEN ELSE(Disponibilidad CP>="Demanda Prevista (1 mes anticipación)"-Decisión Final CSP, "Demanda Prevista (1 mes anticipación)"-Decisión Final CSP, Disponibilidad CP)

Units: kilogramos

Decisión final de yerba canchada propia que será destinada a la venta

- (28) Decisión Final CSP= IF THEN ELSE(Capacidad Stock 2-CP Deseada>=CSP Deseada, CSP Deseada, IF THEN ELSE (Capacidad Stock 2-CP Deseada>=0, Capacidad Stock 2-CP Deseada, 0))

Units: kilogramos

Decisión final de compras a secaderos pequeños que serán destinadas a la venta

- (29) Demanda= INTEG ("Demanda Prevista (1 mes anticipación)"-Demanda)

Units: kilogramos/mes

Demanda para el periodo "t". Es igual a la demanda prevista para el periodo "t-1" menos la demanda del escalón temporal anterior.

- (30) "Demanda Prevista (1 mes anticipación)"= "MD (%)"\*Patrón Comportamiento DDA

Units: kilogramos/mes

Demanda Prevista para el periodo "t-1"

- (31) Depósito Intermedio 1= INTEG (Canchada Propia-Depósito Intermedio 1)

Units: Kilogramos

Es la cantidad de yerba canchada de producción propia apartada de stock para su distribución en los respectivos depósitos y cámaras de estacionamiento.

- (32) Depósito Intermedio 2= INTEG (Compras a SP-Depósito Intermedio 2)

Units: Kilogramos

Es la cantidad de yerba canchada proveniente de secaderos pequeños ingresada al secadero para su distribución en los respectivos depósitos y cámaras de estacionamiento.

- (33) Despacho Canchada Estacionada= INTEG ("Proceso de Estacionamiento (1 mes)"-Ventas Canchada Estacionada)

Units: kilogramos

Es la yerba canchada que ha sido previamente apartada en el periodo "t-1" y estacionada en cámaras durante un mes, que se despacha para su venta en el periodo "t". Se indica un retraso que representa el mes de estacionamiento.

- (34) Despacho Canchada Sin Estacionar= INTEG (Canchada para la venta Sin Estacionar-Ventas Canchada Sin Estacionar)

Units: kilogramos

Es la yerba canchada que ha sido previamente apartada en el periodo "t-1" y almacenada en depósitos para su venta en el periodo "t".

- (35) Diferencia MOS= MOS Deseada-Asignación MOS

Units: Personas

Indica la diferencia entre la Mano de Obra Secundaria Deseada y Mano de Obra Secundaria existente en el periodo "t".

- (36) Disponibilidad CP= Stock canchada propia+Producción-SMD

Units: kilogramos

Disponibilidad de Canchada Propia durante el periodo "t-1" para su venta en el periodo "t"

- (37) Disponibilidad MP= Estacionalidad MP\*"DMP (%)"

Units: kilogramos/mes

Disponibilidad de Materia Prima.

- (38) Disponibilidad SP= CDSP

Units: kilogramos/mes

Disponibilidad de Secaderos Pequeños. Generada por la curva de disponibilidad de secaderos pequeños.

- (39) "DMP (%)"= 1+RAMP(0.0666667, 24, 27)

Units: \*\*undefined\*\*

Porcentaje de Disponibilidad de Materia Prima. Ante el aumento de la demanda al doble de su valor en condiciones normales, la Disponibilidad de Materia Prima aumenta con un retraso de 3 meses, alcanzando su máximo valor recién a partir del tercer mes.

- (40) DPM= 22

Units: Días/mes

Días trabajados al mes

- (41) "DSP (%)"= 0.7+RAMP(0.1, 26, 29)

Units: \*\*undefined\*\*

Porcentaje de Disponibilidad de Secaderos Pequeños. Ante el aumento de la Demanda al doble de su valor en condiciones normales, la Curva de Disponibilidad de Secaderos Pequeños aumenta hasta un 30% adicional, con un retraso de 5 meses. Durante los dos primeros periodos posteriores al aumento de la demanda, permanece igual. Comienza un aumento



gradual a partir del tercer mes, alcanzando su máximo valor recién en el quinto período.

(42)  $DU = \text{RANDOM UNIFORM}(0,1, 4)$

Units: \*\*undefined\*\*

Distribución Uniforme utilizada para representar la aleatoriedad en la distribución log-logistic que determina el comportamiento de la Demanda.

(43) Entrada MOD= AMOD

Units: Personas

Entrada de Mano de Obra Directa. Cantidad de personas asignadas para tareas directas.

(44) Estacionalidad MP = WITH LOOKUP (IF THEN ELSE(Time<13, Time , IF THEN ELSE(Time<25, Time-12, IF THEN ELSE(Time<37, Time-24, IF THEN ELSE(Time<49, Time-36, IF THEN ELSE(Time<61, Time-48, IF THEN ELSE(Time<73, Time-60, IF THEN ELSE(Time<85, Time-72, IF THEN ELSE(Time<97, Time-84, Time))))))))))

(([(0,0)-20,1e+007]),(1,850000),(2,850000),(3,1.106e+006),(4,1.29e+006),  
(5,1.475e+006),(6,1.66e+006),(7,1.71e+006),(8,1.843e+006),(9,1.843e+006),  
(10,0),(11,0),(12,0) )

Units: kilogramos/mes

Curva de Estacionalidad de la Materia Prima para los periodos del 1 al 96

(45) FINAL TIME = 96

Units: Month

El tiempo final para la simulación

(46)  $HNF = \text{MIN}(24, HP + \text{Horas Adicionales Requeridas})$

Units: Horas/Día

Horas Necesarias Finales. Son las horas de trabajo necesarias que se deberán realizar ante disminuciones en la productividad por hora de los operarios, para procesar toda la materia prima deseada. La cantidad máxima de horas por día es de 24 horas.

(47)  $\text{Horas Adicionales Requeridas} = (\text{Horas Necesarias} - HP) / \text{HP} (\%)$

Units: Horas/Día

Son las horas adicionales requeridas para procesar toda la materia prima deseada ante disminuciones en la productividad por hora de los operarios.

(48)  $\text{Horas Necesarias} = \text{IF THEN ELSE} (MPPD=0, 0, \text{MIN}(24, \text{ZIDZ}(MPPD, CP * DPM)))$

Units: Horas/Día

Horas de trabajo necesarias para procesar la materia prima deseada a una productividad del 100%.

- (49) Horas Producción Efectiva= IF THEN ELSE (MO DIRECTA<9, 0, HNF\*"HP (%)")

Units: Horas/Día

Son las horas de producción efectiva que finalmente se obtendrán ante una baja en la productividad por hora de los operarios, luego del aumento en la jornada laboral necesario para procesar toda la materia prima deseada.

- (50) HP= MIN(24, Horas Necesarias\*"HP (%)")

Units: Horas

Horas Productivas. Representa las horas de producción efectiva que se podrían obtener ante una baja en la productividad por hora de los operarios, trabajando la cantidad de horas definida inicialmente, sin aumentar la jornada laboral.

- (51) "HP (%)" = WITH LOOKUP (MO Secundaria/MOS Deseada)

(([(0,0)-(20,6000)],(0,0),(0.25,0.3),(0.5,0.55),(0.75,0.8),(1,1),(1.5,1)))

Units: \*\*undefined\*\*

Porcentaje de Horas Productivas. Proporción entre mano de obra secundaria existente y deseada que indica mediante una función tabla el porcentaje de productividad por hora dado el número de operarios secundarios existentes en el periodo "t".

- (52) Ingresos= Ventas Canchada Sin Estacionar\*PVC+Ventas Canchada Estacionada\*PVE

Units: \$

Ingresos por ventas de yerba canchada sin estacionar más ingresos por ventas de yerba canchada estacionada.

- (53) INITIAL TIME = 0

Units: Month

Tiempo inicial de la simulación.

- (54) Jornada Laboral= IF THEN ELSE (HNF>=20, 24, HNF+Secado cintas)

Units: Horas

Jornada Laboral Final. Incluye las horas necesarias finales según el nivel de productividad existente adicionando las 4 horas necesarias para obtener la primera ronda de yerba canchada proveniente del secado.

- (55) "MD (%)"= 1+STEP(1, 24)

Units: \*\*undefined\*\*

Modificación de la Demanda. Utilizada para simular el aumento de la Demanda al doble de su valor en condiciones normales en el periodo 24.

- (56) MO DIRECTA= INTEG (Entrada MOD-Reasignación MOD-MO DIRECTA)

Units: Personas/Hora

Mano de Obra Directa. Es la cantidad de operarios directos existente en el periodo "t".

- (57) MO Secundaria= Asignación MOS+Segunda Entrada MOS-Reasignación MOS

Units: Personas/Hora

Mano de Obra Secundaria. Es la cantidad de operarios secundarios existente en el periodo "t".

- (58) MOS Deseada = WITH LOOKUP (INTEGER (Horas Necesarias)

(([(0,0)-(40,20)],(0,8),(1,12),(8,12),(9,15),(11,15),(16,15),(17,18),(24,18) ))

Units: Personas/Hora

Mano de Obra Secundaria Deseada.

- (59) MPPD= Disponibilidad MP\*RFMP

Units: kilogramos/mes

Materia Prima a Procesar Deseada

- (60) Patrón Comportamiento DDA= MIN(366842\*(DU/(1-DU))^(1/3.94304), 974000)

Units: \*\*undefined\*\*

Patrón Demanda. Curva que genera valores aleatorios asociados a la distribución log-logistic, representativa del comportamiento de la Demanda.

- (61) PR= 1e+006

Units: kilogramos

Punto de reorden. Cantidad existente en stock a partir de la cual el establecimiento da la orden de aumentar la producción, restringido por la disponibilidad de materia prima, con la finalidad de mantener un stock promedio de 1500 toneladas.

- (62) "Proceso de Estacionamiento (1 mes)"= Cámaras Estacionamiento y Depósitos\*"DDA Yerba Estacionada (%)"

Units: kilogramos

Yerba canchada, de producción propia o comprada a secaderos pequeños, destinada a estacionamiento acelerado durante un mes.

- (63)  $Producción = \text{MIN} (\text{Capacidad Stock } 1, \text{DPM} * \text{Horas Producción Efectiva} * \text{CP} * \text{TDM} * \% \text{ Polvo})$

Units: kilogramos/mes

Producción propia. Se considera la masa de yerba y el porcentaje de polvo perdidos en el proceso. Se agregó una función MIN para condicionar que la producción adquiere su valor deseado solo si la capacidad ociosa de stock es adecuada para almacenar dicha cantidad.

- (64)  $PVC = 2.31$

Units: \$/Kilogramo

Precio de venta unitario de la yerba canchada sin estacionar

- (65)  $PVE = PVC * 1.12$

Units: \$/Kilogramo

Precio de venta unitario de la yerba canchada estacionada. Es un 12% superior al precio de venta de la yerba canchada sin estacionar (PVC).

- (66)  $\text{Pérdida de ventas} = \text{INTEGER} (\text{Demanda} - \text{Ventas totales})$

Units: kilogramos/mes

Diferencia entre Demanda y Ventas que indica la pérdida de ventas.

- (67)  $\text{RAMC} = \text{WITH LOOKUP} (\text{Corrector Stock})$

$([(0,0)-(10,10)],(0,0),(0.1,0.5),(0.5,0.4),(0.7,0.3))$

Units: \*\*undefined\*\*

Requerimiento Adicional en Meses Clave. Para los meses en que existe mayor disponibilidad de MP, la empresa aumenta la cantidad a producir si ésta es considerada baja, por lo tanto, se le adquiere una cantidad adicional de materia prima, definida mediante una función tabla, adecuada en relación a la cantidad determinada por la variación de la demanda y el corrector de stock

- (68)  $\text{Reasignación MOD} = \text{PULSE TRAIN} (9, 3, 12, 96) * 11$

Units: Personas

Reasignación de Mano de Obra Directa. Indica que durante los meses en que no existe disponibilidad de materia prima, se reasignan los operarios directos a otros rubros de la empresa familiar.

- (69) Reasignación MOS= IF THEN ELSE (Diferencia MOS<0, -Diferencia MOS, 0)

Units: Personas

Reasignación de Mano de Obra Secundaria Indica que si la diferencia entre la mano de obra secundaria deseada y la asignada previamente es negativa, se reasignan los operarios innecesarios a otros rubros de la empresa familiar.

- (70) RFMP= IF THEN ELSE(Corrector Stock<=0.7, Corrector Stock+RMC, Corrector Stock)

Units: \*\*undefined\*\*

Requerimiento final materia prima. Indica que el aumento en el requerimiento de materia prima durante los meses de mayor disponibilidad, se realizará cuando la cantidad a procesar se considera baja, esto es, el corrector de stock se considera bajo (inferior a 0.7).

- (71) RMC= PULSE TRAIN( 6, 4, 12, 96)\*RAMC

Units: \*\*undefined\*\*

Restricción de meses clave. Representa la restricción de que el requerimiento adicional de materia prima sólo será realizado durante los meses clave, en los cuales existe mayor disponibilidad de MP, es decir, entre julio y octubre.

- (72) SAVEPER = TIME STEP

Units: Mes

Intervalo temporal utilizado en el modelo. Se utilizaron los meses como intervalo dado que la mayor parte de los datos de la empresa está expresado en meses.

- (73) Secado cintas= 4

Units: Horas

Horas necesarias para realizar el proceso de secado de la yerba canchada. Luego de las primeras 4 horas que tarda en secarse la primera ronda de yerba, ésta comienza a obtenerse de forma continua, a una capacidad de producción de 1400 kilogramos/hora de producto final (yerba canchada).

- (74) Segunda Entrada MOS= IF THEN ELSE (Diferencia MOS>0, Diferencia MOS, 0)

Units: Personas

Segunda entrada de Mano de Obra Secundaria. Indica que si la diferencia entre la mano de obra secundaria deseada y la asignada previamente es positiva, es decir, se requiere mayor cantidad de operarios secundarios

para lograr una productividad del 100%, se asigna el número de operarios secundarios necesario para igualar a la mano de obra secundaria deseada.

(75) SMD= 500000

Units: kilogramos

Stock Mínimo Deseado. Cantidad de producto en stock que la empresa considera adecuado mantener en reserva, sin comercializar, para atender futuros aumentos puntuales en la demanda que no pudieran ser cubiertos con compras a secaderos pequeños.

(76) Stock canchada propia= INTEG (Producción-Canchada Propia)

Units: kilogramos

Corresponde al stock de yerba canchada de producción propia para cada periodo.

(77) stock total canchada= Stock canchada propia+Canchada Propia+Compras a SP

Units: kilogramos

Es la cantidad total de yerba canchada que la empresa mantiene almacenada durante cada periodo, considerando el stock de yerba canchada de producción propia y las compras a secaderos pequeños, ya sea en depósitos o en las respectivas cámaras de estacionamiento acelerado.

(78) TDM= 0.35

Units: \*\*undefined\*\*

Tasa Disminución de Masa. Al final del proceso, la yerba disminuye su masa hasta un 35% de la cantidad ingresada inicialmente, debido a pérdida de humedad y eliminación de ramas grandes.

(79) TIME STEP = 1

Units: Month

Corresponde a cada paso de la simulación, equivalente a un mes.

(80) Utilidades= Ingresos-Costos

Units: \$

(81) Variación DDA = WITH LOOKUP (SMOOTH ("Demanda Prevista (1 mes anticipación)"/DDAP, 2)

((0,0)-(4,2)],(0.5,0.3),(0.7,0.5),(1,0.8),(1.2,1),(1.3,1.1),(1.4,1.2),(2,1.2), (3,1.2)))

Units: \*\*undefined\*\*

Es la variación de la demanda en relación a la demanda promedio. La función tabla Indica que se producirá un 20% menos que la cantidad indicada por la variación de la demanda, ya que se espera cubrir la cantidad restante con compras a secaderos pequeños. Se aplica un retraso mediante la función smooth, para representar un suavizamiento en la curva.

- (82) Variación Disp SP= RANDOM UNIFORM(0.8, 1.2, 1)

Units: \*\*undefined\*\*

Variación porcentual en la Disponibilidad de Secaderos Pequeños. Se aplica una distribución uniforme a la Curva de Disponibilidad de Secaderos Pequeños, para representar la variabilidad que podría producirse para cada mes, de aproximadamente un 20% superior o inferior al valor predeterminado en la curva.

- (83) Ventas Canchada Estacionada= "Proceso de Estacionamiento (1 mes)"

Units: kilogramos/mes

Las ventas de yerba canchada estacionada corresponden a la cantidad de yerba que fue ingresada al proceso de estacionamiento durante el periodo anterior "t-1" para su venta en el periodo "t".

- (84) Ventas Canchada Sin Estacionar= Canchada para la venta Sin Estacionar

Units: kilogramos/mes

Las ventas de yerba canchada sin estacionar corresponden a la cantidad de yerba que fue envasada y dispuesta en depósitos para su venta en el periodo "t".

- (85) Ventas totales= Ventas Canchada Sin Estacionar+Ventas Canchada Estacionada

Units: kilogramos/mes

Ventas Totales de yerba canchada estacionada y yerba canchada sin estacionar

## **ANEXO B: RESULTADOS DEL MODELO**



## Resultados del modelo

En el presente anexo, se muestran los datos obtenidos mediante VenSim PLE 5.5 utilizados en la elaboración de los histogramas elaborados para el análisis de sensibilidad y los intervalos de confianza asociados a los resultados exhibidos en el desarrollo de este trabajo. Para cada intervalo, fue considerado un nivel de confianza del 95% y un error del 5%.

### Análisis de Sensibilidad del Modelo:

#### Disponibilidad de Materia Prima

Los resultados obtenidos de las 44 réplicas utilizadas para la elaboración del histograma que representa el porcentaje máximo de variación de la “Disponibilidad de Materia Prima” permitido por el modelo que no produzcan variaciones significativas en el comportamiento general del sistema, son los siguientes.

Porcentajes Máximos de Variación de Disponibilidad de Materia Prima Permitidos por el Modelo			
68	53	55	73
53	60	48	85
58	38	58	43
58	70	68	78
83	53	73	43
73	73	83	45
83	25	25	90
68	58	70	88
50	70	88	65
75	76	40	80
45	43	73	85

Réplicas de Prueba para calculo del número de réplicas necesarias para elaborar el intervalo de confianza asociado al porcentaje máximo de variación de la “Disponibilidad de Materia Prima” permitido por el modelo:

Porcentajes Máximos de Variación de Disponibilidad de Materia Prima Permitidos por el Modelo	
67,5	
57,5	
72,5	
75	
57,5	

S= 8,2  
 T= 2,132  
 E= 3,3  
 N= 28,1

Fueron utilizadas las 29 réplicas siguientes para la elaboración del intervalo de confianza asociado al porcentaje máximo de variación de la “Disponibilidad de Materia Prima” permitido por el modelo.

Porcentajes Máximos de Variación de Disponibilidad de Materia Prima Permitidos por el Modelo			
68	50	90	80
53	75	88	73
58	45	70	83
85	53	76	70
83	60	43	88
73	38	55	
83	73	48	
68	85	65	

S= 73  
 Media= 13,5  
 T= 1,701

### Disponibilidad de Secaderos Pequeños

Los resultados obtenidos de las 44 réplicas utilizadas para la elaboración del histograma que representa el porcentaje máximo de variación de la “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” permitido por el modelo que no produzcan variaciones significativas en el comportamiento general del sistema, son los siguientes

Porcentajes Máximos de Variación de Disponibilidad de Secaderos Pequeños Permitidos por el Modelo			
73	73	73	70
73	73	68	68
73	68	68	68
65	68	68	70
63	68	70	70
65	70	70	68
65	70	68	73
65	68	68	73
70	68	70	68
70	70	70	70
73	70	70	70

Réplicas de Prueba para cálculo del número de réplicas necesarias para elaborar el intervalo de confianza asociado al porcentaje máximo de variación de la “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” permitido por el modelo:

Porcentajes Máximos de Variación de Disponibilidad de Secaderos Pequeños Permitidos por el Modelo
73
65
68
70
73

$S = 3,4$

$T = 2,132$

$E = 3,5$

$N = 4,4$

Fueron utilizadas las mismas 5 réplicas para la elaboración del intervalo de confianza asociado al porcentaje máximo de variación de la “Disponibilidad de Secaderos Pequeños” permitido por el modelo, dado que el número de réplicas necesario obtenido mediante las réplicas de prueba es igual a 5.

### Escenario Alternativo 1: Condiciones Desfavorables

Réplicas de Prueba

Porcentaje Mínimo de Disponibilidad de Materia Prima:

Porcentaje Mínimo de Disponibilidad de Materia Prima
73,75
78,75
75
81,25
75

S= 3,1  
 T= 2,132  
 E= 3,8  
 N= 3

Porcentaje Mínimo de Disponibilidad de Secaderos Pequeños:

Porcentaje Mínimo de Disponibilidad de Secaderos Pequeños
48,75
43,75
53,75
46,25
47,5

S= 3,7  
 T= 2,132  
 E= 2,4  
 N= 10,8

Porcentaje de Compras a Secaderos Pequeños necesario para mantener en equilibrio el sistema:

Porcentaje de Compras a Secaderos Pequeños
25
25
30
26
26,25

S= 2,1  
 T= 2,132  
 E= 1,3  
 N= 11,1

Fueron utilizadas las 12 réplicas siguientes para la elaboración de los intervalos de confianza asociados a las tres variables anteriores, dado que el mayor número de réplicas necesario obtenido mediante las réplicas de prueba fue igual a 12

Disponibilidad de Materia Prima:

Porcentaje Mínimo de Disponibilidad de Materia Prima	
78,75	72,5
73,75	81,25
70	77,5
76,25	83,75
78,75	76,25
75	72,5

$S = 3,3$

Media= 75,42

$T = 1,796$

Disponibilidad de Secaderos Pequeños:

Porcentaje Mínimo de Disponibilidad de Secaderos Pequeños	
48,75	45
40	48,75
53	57,5
52,5	48,75
48,75	45
65	47,5

$S = 8,2$

Media= 51,33

$T = 1,796$

Porcentaje Necesario de Compras a Secaderos Pequeños:

Porcentaje Necesario de Compras a Secaderos Pequeños	
25	25
22,5	27,5
25	30
30	25
25	25
35	25

$S = 4,59$

Media= 27,1

$T = 1,796$

**Escenario Alternativo 2: Aumento de la Demanda al Doble**

Porcentaje que deberá adquirirse a Secaderos Pequeños

Réplicas de prueba para el cálculo del intervalo de confianza del verdadero porcentaje que deberá adquirirse a Secaderos Pequeños:

Porcentaje que deberá adquirirse a Secaderos Pequeños
51
39
38
45
40

S= 5,4  
 T= 2,132  
 E= 2,13  
 N= 29,3

Fueron utilizadas las 30 réplicas siguientes para la elaboración del intervalo de confianza asociado al porcentaje que deberá adquirirse a Secaderos Pequeños ante el aumento de la Demanda al doble de su valor en condiciones normales:

Porcentaje que deberá adquirirse a Secaderos Pequeños				
33	53	48	50	50
44	35	45	50	45
51	48	38	43	42
54	50	45	50	45
39	45	55	45	51
38	40	50	45	43

S= 5,5  
 Media= 45,7  
 T= 1,699

Aumento Porcentual en las Utilidades de la Empresa con respecto a las Condiciones Normales

Réplicas de prueba para el cálculo del intervalo de confianza del verdadero Aumento Porcentual en las Utilidades de la Empresa con respecto a las Condiciones Normales. Fue calculado el aumento para cada periodo, a partir del periodo 25, ya que en dicho periodo se concreta el aumento simulado de la Demanda al doble de su valor:

Periodo	Réplica N°1	Réplica N°2	Réplica N°3	Réplica N°4	Réplica N°5
25	107,92	108,53	108,53	108,53	108,53
26	110,54	110,32	110,32	110,32	110,32
27	110,24	110,35	114,99	114,99	113,31
28	112,02	110,35	114,71	114,71	113,31
29	114,79	110,35	114,14	114,14	113,31
30	114,79	110,35	119,48	116,26	113,31
31	114,78	110,35	98,89	116,26	113,31
32	114,78	110,35	115,54	115,54	113,31
33	114,78	110,35	118,38	108,61	113,31
34	114,79	110,35	119,50	116,26	113,31
35	122,08	110,35	113,73	113,73	113,31
36	113,76	110,35	120,70	116,26	113,31
37	111,90	110,35	120,70	116,26	113,31
38	114,78	110,35	120,70	116,26	113,31
39	113,98	110,35	120,70	116,26	113,31
40	114,78	110,35	118,27	116,26	113,31
41	114,78	110,35	117,86	116,26	113,31
42	114,79	110,35	88,17	114,24	113,31
43	111,85	110,35	88,17	116,26	113,31
44	114,78	110,35	112,48	112,48	112,48
45	114,79	110,35	120,70	116,26	113,31
46	114,79	110,35	88,17	88,17	113,31
47	115,86	110,35	117,56	116,26	113,31
48	114,79	110,35	113,93	113,93	113,31
49	114,79	110,35	117,57	116,26	113,31
50	114,79	110,35	112,71	112,71	112,71
51	114,40	110,35	120,70	116,26	113,31
52	114,78	110,35	116,39	116,26	113,31
53	114,79	110,35	120,70	116,26	113,31
54	114,78	110,35	120,13	116,26	113,31
55	114,78	110,35	88,17	116,26	113,31
56	114,79	110,35	120,70	116,26	113,31
57	114,78	110,35	120,70	116,26	113,31
58	114,78	110,35	112,69	88,17	112,69
59	114,78	110,35	120,70	122,03	113,31
60	114,79	110,35	112,02	92,60	112,02
61	114,79	110,35	119,80	116,26	113,31
62	114,78	110,35	120,17	116,26	113,31
63	114,79	110,35	120,70	116,26	113,31
64	114,78	110,35	119,47	116,26	113,31
65	114,79	110,35	120,07	116,26	113,31
66	114,79	110,35	120,70	116,26	113,31
67	114,78	110,35	119,43	116,26	113,31
68	114,79	110,35	116,10	116,10	113,31
69	114,78	110,35	113,32	113,32	113,31
70	114,79	110,35	116,90	116,26	113,31
71	114,31	110,35	120,70	116,26	113,31

72	114,78	110,35	116,35	116,26	113,31
73	114,78	110,35	120,70	116,26	113,31
74	114,78	110,35	120,70	116,26	113,31
75	114,79	110,35	115,54	115,54	114,84
76	114,78	110,35	105,92	112,52	112,52
77	114,79	110,35	120,70	116,26	113,31
78	114,78	110,35	113,76	113,76	113,31
79	113,43	110,35	112,60	112,60	112,60
80	114,79	110,35	118,68	116,26	113,31
81	114,78	110,35	116,44	116,26	113,31
82	113,89	110,35	111,90	111,90	111,90
83	114,78	110,35	114,68	116,26	113,31
84	112,35	110,35	120,21	116,26	113,31
85	114,78	110,35	113,38	113,38	113,31
86	114,79	110,35	113,98	113,98	113,31
87	113,28	110,35	117,44	116,26	113,31
88	114,78	110,35	116,32	116,26	113,31
89	114,78	110,35	120,70	116,26	113,31
90	114,79	110,35	116,91	116,26	113,31
91	114,78	110,35	120,70	116,26	113,31
92	113,34	110,35	116,01	116,01	113,31
93	114,78	110,35	117,49	116,26	113,31
94	114,78	110,35	111,85	88,17	111,85
95	114,79	110,35	120,70	116,26	113,31
96	113,89	110,35	114,84	114,84	113,31
Media	114,41	110,32	115,21	113,93	113,11

S= 1,88

T= 2,132

E= 5,67

N= 0,5

Media= 113,4

Fueron utilizadas las mismas 5 réplicas de prueba para elaborar el intervalo de confianza asociado a la media del aumento porcentual de las utilidades de la empresa con respecto a las condiciones normales, dado que el número de réplicas necesario según los cálculos es muy bajo.