

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

**PROPUESTA DE MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA
PLANTA PROCESADORA DE LÁCTEOS “EL TAMBO”, MEDIANTE
LA MEDICIÓN DEL TRABAJO Y ESTUDIO DE MÉTODOS,
VALIDADA CON SOFTWARE “SIMUL8”.**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DE GRADO DE MAGÍSTER (MSc.) EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL Y PRODUCTIVIDAD**

AUTOR: DIEGO ISRAEL CARRILLO AMPUDIA

diegocarrilloa@hotmail.com

DIRECTOR: ING. PEDRO BUITRÓN MSc.

pedro.buitron@epn.edu.ec

Quito, noviembre 2017

© Escuela Politécnica Nacional 2017
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo Diego Israel Carrillo Ampudia, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Ing. Diego Israel Carrillo Ampudia

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Ing. Diego Israel Carrillo Ampudia, bajo mi supervisión.

Ing. Pedro Buitrón Flores MSc.
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Jehová, su tiempo y voluntad son perfectos.

“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas”. Josué 1:9

DEDICATORIA

A mi madre Isabel.

Su ejemplo, cuidado y apoyo han sido fundamentales en cada paso dado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de contenidos	i
Índice de tablas	iv
Índice de anexos	ix
Resumen	x
Abstract	xi
Introducción	xii
CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1. Productividad	1
1.1.1. Productividad industrial	3
1.1.2. Productividad multifactorial	4
1.1.3. Índices de productividad	4
1.1.4. Medición de la productividad total	6
1.1.1. Evaluación de la productividad total para periodos sucesivos	10
1.1.2. Análisis de la producción	11
1.2. Estudio del trabajo	12
1.2.1. La medición del trabajo	13
1.2.2. El estudio de métodos	19
1.3. Simulación	22
1.3.1 Teoría de colas	25
1.3.2 Software simul8	29
CAPÍTULO 2 PARTE EXPERIMENTAL	31
2.1 Análisis de la productividad actual de la empresa el tambo	31

2.1.1. Medición de la productividad total en el área de fabricación	31
2.1.2. Evaluación de la productividad total	31
2.1.3. Evaluación de la producción actual de la empresa	32
2.2. Diseño de los procesos productivos	33
2.2.1. Estudio de tiempos	33
2.2.2. Medición del trabajo (muestreo del trabajo)	33
2.2.3. Estudio de métodos	34
2.3. Validación de la propuesta de mejoramiento mediante simulación	34
2.3.1. Modelo de línea de espera en serie $m/m/s_j/\infty/\infty$ para el área de fabricación	35
2.3.2. Utilización del programa de simulación simul8.	35
2.3.3. Corrida de la simulación	36
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
3.1. Medición y análisis de la productividad en el área de fabricación	37
3.1.1. Índices de productividad	42
3.1.2. Evaluación de la productividad total en periodos sucesivos	46
3.2. Análisis de la producción en el área de fabricación de productos de la empresa	52
3.2.1. Producto queso	56
3.2.2. Producto yogur	70
3.2.1. Producto nata	75
3.3. Medición y análisis del muestro del trabajo	80
3.3.1. Tamaño de muestra	80
3.3.2. Muestreo del trabajo en el área de fabricación de la empresa	81
3.3.3. Muestreo del trabajo de la línea de fabricación de queso	82
3.3.4. Muestreo del trabajo de la línea de fabricación de yogur	90
3.3.5. Muestreo del trabajo de la línea de fabricación de nata	95

3.4. Estudio de tiempos del área de fabricación	101
3.4.1. Tiempo de ciclo del procesamiento del producto queso	101
3.4.2. Tiempo de ciclo del procesamiento del producto yogur	103
3.4.3. Tiempo de ciclo del procesamiento del producto nata	106
3.5. Estudio de métodos del área de fabricación	109
3.5.1. Estudio de métodos en la línea de producción de queso	109
3.5.2. Estudio de métodos en la línea de producción de yogur	115
3.5.3. Estudio de métodos en la línea de producción de nata	120
3.6. Programa de simulación simul8.	123
3.6.1. Determinación de nodos y capacidad de servidores del área de fabricación	123
3.6.2. Variables para la simulación de la línea de producción de queso	125
3.6.3. Variables para la simulación de la línea de producción de yogur	126
3.6.4. Variables para la simulación de la línea de producción de nata	128
3.7. Validación de la propuesta de mejoramiento (modelos de fila de espera y programa simul8)	130
3.7.1. Modelo de fila de espera $m/m/s_j/gd/\infty/\infty$	130
3.7.2. Corrida del programa simul 8	144
3.7.3. Propuesta de mejora	149
3.7.4. Validación de la propuesta	151
CAPITULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	153
4.1. Conclusiones	153
4.2. Recomendaciones	155
Referencias bibliográficas	156
Anexo I	160
Anexo II	162

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Índices de inflación-deflación por mes	37
Tabla 3.2. Valores en unidades monetarias (dólares) corrientes de la producción en el año 2016	38
Tabla 3.3. Valores de la producción en insumos utilizados en el año 2016 expresados en unidades monetarias constantes (dólares)	41
Tabla 3.4. Índices de pesos-insumos de productividad en el año 2016	42
Tabla 3.5. Índices de productividad parcial en el año 2016	44
Tabla 3.6. Valores de TPF_t , TPF_0 y $(TPIF)_t$, ΔTP_{it} y $PVPT_{it}$ respecto a periodos sucesivos y respecto al periodo base	50
Tabla 3.7. Producción de kilogramos de queso en el año 2016	57
Tabla 3.8. Medidas de tendencia central para la producción de queso medida en kilogramos en el año 2016	58
Tabla 3.9. Tabla de frecuencia de producción de queso en el año 2016 (variable kg de queso)	59
Tabla 3.10. Análisis de varianza para la producción de queso	62
Tabla 3.11. Prueba de Tukey	63
Tabla 3.12. Unidades de producción de queso de 125 g en el año 2016	64
Tabla 3.13. Resultados de cálculo para la prueba de t student para el producto queso 125 g	65
Tabla 3.14. Producción de queso de 400 g en el año 2016	66
Tabla 3.15. Resultados de cálculo para la prueba de t de student para el producto queso 400 g	67
Tabla 3.16. Producción de queso de 500 g en el año 2016	68
Tabla 3.17. Resultados de cálculo para la prueba de t de student para el producto queso 500 g	69
Tabla 3.18. Litros de yogur producidos en el año 2016	71
Tabla 3.19. Medidas de tendencia central para la producción de yogur en el año 2016	72
Tabla 3.20. Tabla de frecuencias para la producción de yogur en el año 2016	72
Tabla 3.21. Producción de litros de yogur en el año 2016	74
Tabla 3.22. Resultados de cálculo para la prueba de t de student para el producto yogur	74

Tabla 3.23. Producción del producto nata (unidades de 90 g)	76
Tabla 3.24. Datos de tendencia central para la producción de nata en el año 2016	77
Tabla 3.25. Tabla de frecuencias para la producción del producto nata	77
Tabla 3.26. Producción del producto nata en el año 2016	78
Tabla 3.27. Resultados de cálculo para la prueba de t de student para el producto nata	79
Tabla 3.28. Clasificación de actividades para la elaboración de queso	85
Tabla 3.29. Maquinaria y herramientas utilizadas en cada actividad de la producción de queso	85
Tabla 3.30. Resultados del muestreo del trabajo en la elaboración del producto queso	89
Tabla 3.31. Clasificación de actividades para la elaboración de yogur	91
Tabla 3.32. Maquinaria y herramientas utilizadas en cada actividad de la producción de yogur	92
Tabla 3.33. Resultados del muestreo del trabajo en la elaboración del producto yogur	95
Tabla 3.34. Clasificación de actividades para la elaboración de nata	97
Tabla 3.35. Maquinaria y herramientas-utensilios utilizados en la elaboración de nata	97
Tabla 3.36. Resultados del muestreo del trabajo en la elaboración del producto nata	100
Tabla 3.37. Tiempo (min) de cada actividad del procesamiento del producto queso medido en un lapso de 15 ciclos	102
Tabla 3.38. Diagrama analítico de proceso del producto queso (método actual)	103
Tabla 3.39. Tiempo (min) de cada actividad del procesamiento del producto yogur medido en un lapso de 15 ciclos	105
Tabla 3.40. Cursograma analítico de proceso para la elaboración de yogur (método actual)	106
Tabla 3.42. Diagrama analítico de proceso del producto nata (método actual)	107
Tabla 3.41. Tiempo (min) de cada actividad del procesamiento del producto nata en un lapso de 15 ciclos	108
Tabla 3.43. Diagrama SIPOC de la línea de procesamiento de queso	110
Tabla 3.44. Propuestas de mejora en el procesamiento de queso	111
Tabla 3.45. Diagrama de analítico de proceso para la elaboración de queso (método propuesto)	115
Tabla 3.46. Diagrama SIPOC de la línea de procesamiento de yogur	116
Tabla 3.47. Propuestas de mejora en el procesamiento de yogur	117

Tabla 3.48. Cursograma analítico de proceso para la elaboración de yogur (método propuesto)	119
Tabla 3.49. Diagrama SIPOC de la línea de procesamiento de nata	120
Tabla 3.50. Propuestas de mejora en el procesamiento de nata	121
Tabla 3.51. Cursograma analítico de proceso para la elaboración de nata (método propuesto)	122
Tabla 3.52. Capacidad de carga de maquinaria del área de fabricación medido en masa (kg) y volumen (L) y porcentaje de utilización de capacidad de maquinaria actual de la empresa	124
Tabla 3.53. Nodos o servidores en el procesamiento del producto queso	126
Tabla 3.54. Nodos o servidores en la línea de procesamiento de yogur	127
Tabla 3.55. Nodos o servidores en el procesamiento del producto nata	129
Tabla 3.56. Valores de tiempo de maquinado, capacidad de nodo y tasa de servicio para la línea de fabricación de queso	133
Tabla 3.57. Cálculos para el modelamiento de línea de espera $M/M/s_j/GD/\infty/\infty$ para el producto queso con μ mínimo (nodo 2)	136
Tabla 3.58. Valores de tiempo de maquinado, capacidad de nodo y tasa de servicio para la línea de fabricación de yogur	138
Tabla 3.59. Cálculos para el modelamiento de la línea de espera $M/M/s_j/GD/\infty/\infty$ para el producto yogur con μ mínimo	139
Tabla 3.60. Valores de tiempo de maquinado, capacidad de nodo y tasa de servicio para la línea de fabricación de queso	141
Tabla 3.61. Cálculos para el modelamiento de línea de espera $M/M/s_j GD/\infty/\infty$ para el producto nata con μ mínimo (nodo 2)	143
Tabla 3.62. Resultados de corridas simultaneas de las líneas de producción queso, yogur y nata (trial) en el programa simul8	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Pesos insumos humano, capital y materiales en la producción del año 2016	43
Figura 3.2. Índices de productividad parcial del insumo capital e insumo humano en el año 2016	45
Figura 3.3. Índices de productividad parcial del insumo materiales del insumo humano en el año 2016	46
Figura 3.4. Determinación del periodo base para el año 2016	47
Figura 3.5. Valores de $PVPT_{it}$ y ΔTP_{it}	51
Figura 3.6. Valores de $PVPT_{it}$ y TP_{it} respecto al periodo base	52
Figura 3.7. Diagrama Pareto 80-20 para ingresos económicos por producto de la empresa en el año 2016	53
Figura 3.8. Ingresos económicos de los tres productos en el año 2016	54
Figura 3.9. Ingresos económicos por ventas totales de productos en el año 2016	56
Figura 3.10. Histograma para la producción en kilogramos de queso en el año 2016	60
Figura 3.11. Diagrama de dispersión de kg de queso producidos en el 2016	61
Figura 3.12. Producción de quesos de 125 g durante el año 2016	65
Figura 3.13. Producción de quesos de 400 g para el año 2016	67
Figura 3.14. Producción de quesos de 500 g para el año 2016	69
Figura 3.15. Histograma de producción de yogur en litros en al año 2016	73
Figura 3.16. Producción de litros yogurt para el año 2016	75
Figura 3.17. Histograma de producción de unidades (tarrina 90 g) de nata en el año 2016	78
Figura 3.18. Producción de nata en el año 2016	80
Figura 3.19. Cursograma sinóptico de elaboración de queso	84
Figura 3.20. Diagrama de proceso del producto yogur	91
Figura 3.21. Cursograma sinóptico de la elaboración de nata	96
Figura 3.22. Diagrama de Gantt de ciclos sucesivos de trabajo para el producto queso (determinación de tiempos de arribo entre nodos)	132
Figura 3.23. Diagrama de Gantt de ciclos sucesivos de trabajo para el producto yogur (determinación de tiempos de arribo entre nodos)	138
Figura 3.24. Diagrama de Gantt de ciclos sucesivos de trabajo para el producto nata	

(determinación de tiempos de arribo entre nodos)	141
Figura 3.25. Visualización de la configuración en simul8 para la planta procesadora	145
Figura 3.26. Diagrama de tiempo para del procesamiento del producto queso	148
Figura 3.27. Diagrama de tiempo para el procesamiento del producto yogurt	149
Figura 3.28. Diagrama de tiempo para el procesamiento del producto nata	149

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I Instrumentos manuales	164
ANEXO II Ejemplo de la hoja de resultados del muestreo del trabajo	166

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolló una propuesta de mejora para la productividad de una empresa de derivados lácteos (queso, yogur y nata) utilizando las herramientas de: medición y evaluación de la productividad mediante el *Modelo de Productividad Total* (TPM), la *medición del trabajo* con la técnica de *retroceso a cero* del tiempo y el *estudio de métodos* haciendo una comparación con los métodos descritos en *manuales* de producción láctea. La propuesta se validó con simulación de *líneas de espera de k etapas en serie* ($M/M/s_j/GD/\infty/\infty$) y el software simul8. La productividad de la empresa se expresó con el *índice de productividad total* (TPIF)_t, el cual señaló cuan eficiente fue la empresa en el año 2016 con un valor mínimo en enero de 0,35 y un valor máximo en diciembre de 1,09 y su coeficiente de variación (cv) fue de 0,25 considerándose que la productividad ha sido estable en el lapso de estudio. En conjunto por la medición del trabajo y el estudio de métodos se obtuvo para el área de fabricación los resultados: en la línea de fabricación de queso una reducción del tiempo de ciclo de 1 516,6 min a 228 min (84,94 % de reducción), del producto yogur de 1 585,9 min a 299,6 min (reducción de 80,90 %) y del producto nata de 391,2 min a 301 min (reducción del 23,05 %) y se determinó que el ciclo de trabajo del producto queso puede repetirse tres veces, del producto yogur dos veces (si se añaden 1,8 h de mano de obra) y el producto nata dos veces por jornada laboral (si se añaden 2 h de mano de obra). Se determinó que sería posible obtener 540 kg de queso, 1 112 kg de yogur y 120 kg de nata por jornada laboral de la empresa.

ABSTRACT

A proposal was developed to improve the productivity of a dairy product company (cheese, yogurt and cream). The tools used: productivity measurement and evaluation, Total Productivity Model (TPM), the measurement of work with the technique of zeroing of the time and the study of methods. Then a comparison with the methods described in manuals of milk production. The proposal was validated by simulation of k-stage serial lines ($M/M/sj/GD/\infty/\infty$) and simul8 software. The productivity of the company was expressed with the total productivity index (TPIF) t , which indicated how efficient the company was in 2016 with a minimum value in January of 0.35 and a maximum value in December of 1.09, and its coefficient of variation (cv) was 0.25, considering that productivity has been stable during the study period. Together with the measurement of the work and the study of methods the results were obtained for the production area: in the cheese making line a reduction of the cycle time from 1 516, 6 min to 228 min, to the yogurt product from 1585.9 min to 299.6 min and to the cream product from 391.2 min to 301 min. The cycle of work of the product cheese can be repeated three times, the yogurt product twice (if 1.8 hours of labor are added) and the product cream twice per working day (if 2 hours of labor are added). It was determined that it would be possible to obtain 540 kg of cheese, 1 112 kg of yogurt and 120 kg of cream per working day of the company.

INTRODUCCIÓN

La productividad es la eficiencia de la transformación de materias primas en productos para clientes tanto internos como externos y el objetivo de toda organización es precisamente alcanzar el uso eficiente de recursos y la máxima producción físicamente posible. El concepto clásico de la productividad señala la relación entre el valor de la producción tangible total y el valor de los insumos tangibles totales utilizados para la producción dando como resultados índices que relacionan los diferentes componentes de una empresa (insumos materiales, capital, humanos, entre otros) y que proporcionan diferentes interpretaciones, pero en general estos índices señalan la magnitud del cambio o la dirección de la productividad de una empresa. (Bain, 1985, p. 49; Sumanth, 1984, p. 67).

Las técnicas de mejora de la productividad pueden desarrollarse en cinco áreas: basado en la tecnología, basado en el trabajador, basado en los productos, basado en los procesos y basado en los materiales (Jiménez, Delgado y Gaona, 2001, p. 87).

Los esfuerzos por mejorar la productividad enfocándose en una producción bruta de cambio técnico neutral (aumentador de la productividad) donde el objetivo es la búsqueda e identificación de ahorros reales en la producción (Nezu y Giovannini, 2001, pp. 12, 23).

Según el último Censo Nacional Económico del Ecuador en el año 2010, el 54 % empresas clasificadas como PYMES su actividad económica se centra en actividades de comercio, el 36% en actividades de servicios y solo el 10 % en actividades de manufactura. En el Ecuador de cada 100 empresas 99 son clasificadas como PYMES (1 a 199 trabajadores e ingresos de 1 a 5 millones de dólares), estas cifras señalan en general que las empresas no “crecen” para alcanzar un nivel superior de productividad y actividades económicas. (Araque, 2015, pp. 64-65).

El presente estudio propone mejoras en cuanto a los métodos utilizados en la

fabricación de derivados lácteos (quesos, yogur y nata). Estos métodos propuestos se enfocan en mejorar los procesos y la maquinaria-herramientas que cada línea de fabricación utiliza. Las propuestas de mejoramiento también contribuyen a mejorar el tiempo de procesamiento.

Las actividades productivas se pueden simular para advertir su comportamiento y tomar las medidas pertinentes para mejorar la productividad de una empresa. El modelo de líneas de espera tiene por ventaja que el ingreso de datos y la interpretación de resultados sean acordes a la naturaleza de los bienes producidos y la simulación con software tiene por ventaja ejecución de corridas simultáneas (trial) dando una aproximación más real del comportamiento de la empresa.

CAPÍTULO 1

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. PRODUCTIVIDAD

La *producción* es la combinación de “factores generales” como: el trabajo, el capital, la tierra y la capacidad empresarial, que son transformados en productos o servicios y que dependen de su calidad para su éxito (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática - INEGI -, 2002, p. 7).

El concepto clásico de *productividad* refiere el cociente entre la *producción* de bienes o servicios y los *recursos* empleados para obtener dichos productos (Krajewsky, Ritzman y Malhotra, 2008, p. 13).

El resultado es un *rendimiento* sobre la inversión realizada que toda organización busca. En ciertas ocasiones, dependientes de la naturaleza de la compañía, el *rendimiento* o *productividad* debe superar condiciones “seguras de inversión”, por ejemplo, una *tasa de retorno* de un banco (Blank y Tarquin, 2006, p. 29).

El desarrollo del concepto de *productividad* también integra otros dos factores: el tiempo y la calidad. Cuando se alcanzan los objetivos en el menor *tiempo* posible y la máxima *calidad* deseada se puede reconocer el incremento sustancial de productividad de un sistema productivo (Fundación de Investigaciones Latino Americanas, 2002, p. 59; Prokopenko, 1989, p. 3).

El incremento de productividad no puede ser relacionado ni tampoco tomado como excusa para aumentar la *intensidad del trabajo* que afecta la calidad de desempeño del trabajador y a largo plazo su salud. Para lograr el incremento se debe trabajar de manera “inteligente” abarcando a todos los factores del trabajo con eficiencia y eficacia (Prokopenko, 1989, p. 4).

Prokopenko (1989), señala que la productividad se ve afectada por diversos

factores internos que pueden ser “duros” (difíciles de cambiar), “blandos” (fáciles de cambiar o modificar) y *factores externos* que no son controlables directamente por las empresas; aquí las políticas económicas de cada país tienen un impacto considerable en la inflación-deflación, poder adquisitivo, importaciones y exportaciones, entre otros (p. 11).

Factores duros:

- a) Producto: sujeto a la relación costo-beneficio del producto hacia el cliente incluyendo la disponibilidad del mismo. La variación del comportamiento de mercado y clientes, las actividades estudiantiles y turísticas influyen en el nivel de ventas (Andrango, 2016, entrevista).
- b) Planta y equipos: su correcto funcionamiento, mantenimiento y utilización, entre otros, incrementan sustancialmente la capacidad de planta.
- c) Tecnología: hace referencia al paso de procesos manuales a una automatización, maquinaria e instrumentos de precisión, entre otros.
- d) Materiales y energía: Las materias primas de calidad generan productos de calidad, juntamente con el factor de métodos y controles necesarios de fabricación o transformación.

Factores blandos

- a) Personas: El comportamiento humano es maleable y condicionado por: *factores externos* como las condiciones laborales, economía, oportunidades de crecimiento profesional o técnico. *Factores internos* como la motivación, habilidades para el trabajo, capacitación, asuntos familiares o personales, entre otros.
- b) Organización: Un obstáculo para el incremento de la productividad se le atribuye a la inflexibilidad de los estratos mayores de alta gerencia.
- c) Método de trabajo: en muchas industrias la “forma” o la “técnica” con la que se ejecuta un trabajo disminuye la productividad, debido a retrasos de producción, desperdicio de materiales e insumos y paras prolongadas de producción.

- d) Estilo de producción: Los directivos de cada empresa son los responsables del uso y aprovechamiento de todos los recursos de la empresa, la ubicación correcta del personal apto para cada puesto de trabajo y la habilidad de resolver problemas actuales y futuros.

1.1.1. PRODUCTIVIDAD INDUSTRIAL

Uno de los objetivos de la productividad industrial es el *uso eficiente* de todos los recursos que se dispongan para la fabricación (García, 2005, p. 15).

La eficiencia de la productividad industrial en el área de fabricación, en el sentido ingenieril refiere a que un proceso de fabricación ha alcanzado su máximo volumen de *salida* (output) físicamente posible con la tecnología actual y con una cantidad fija de insumos. Dicha eficiencia requiere la eliminación de ineficiencias técnicas y organizativas de la empresa (Nezu y Giovannini, 2001, p. 12).

Debido a que la cantidad de factores que influyen en la productividad industrial pueden ser casi infinitas, a la medición de la productividad se la puede tomar como la *búsqueda e identificación* de los “ahorros reales en la producción” (Nezu y Giovannini, 2001, p. 12).

La productividad es el cociente entre la *efectividad* (resultados totales logrados) y la *eficiencia* (recursos totales consumidos), y su resultado se puede expresar como: producción/hora de trabajo, remuneración/hora de trabajo, costos unitarios de los trabajadores, entre otros (Bain, 1985, p. 47).

La productividad muestra el perfil del tiempo de como una unidad de productividad laboral es utilizada para obtener una unidad de volumen bruto de producción de bienes. Éste resultado ayuda en el análisis del requerimiento de mano de obra y que para las industrias individuales que centran su atención en la *producción bruta* donde intervienen los factores como: mano de obra, capital e insumos intermedios, se corresponden a un modelo de *cambio técnico neutral* (aumentador de

productividad) (Nezu y Giovannini, 2001, p. 23).

Cuando la medición se centra en la *producción bruta* el crecimiento de la productividad multifactorial se asemeja a la tasa de crecimiento de *cambio técnico neutral*. El producto o *producción bruta* se considera a los bienes que produce una *unidad de producción* y que están listos para su uso fuera de esa *unidad de producción* (Nezu y Giovannini, 2001, p. 23).

1.1.2. PRODUCTIVIDAD MULTIFACTORIAL

El *Modelo de productividad total* (“Total Productivity Model”) TPM permite determinar cuál o cuáles de los *insumos tangibles* (medibles) de la empresa son los más importantes y hacia cuales se debe enfatizar las estrategias de mejoramiento de productividad del área de fabricación. Éste modelo propone un *ciclo del mejoramiento de la productividad* dividido en cuatro fases (Jiménez et al., 2001, p. 82):

- a) Medición: mide cuantitativamente y relaciona las entradas y salidas de un proceso productivo, entre el *valor de la producción* y el *insumo utilizado* (la “variación” por su naturaleza no es susceptible de medida directa).
- b) Evaluación: expresa el cambio de la productividad total entre periodos sucesivos.
- c) Planeación: se determinan los objetivos de mejora futuros con base a los resultados de TPM.
- d) Mejoramiento: Explica la interrelación entre los factores duros y blandos que afectan la eficiencia y eficacia del proceso productivo.

1.1.3. ÍNDICES DE PRODUCTIVIDAD

Un *índice de productividad* es una expresión de la *eficiencia* de un sistema productivo (transformación de recursos en productos), que al paso del tiempo es

variable pero las industrias tratan de incrementarlo como uno de los objetivos principales a conseguir (INEGI, 2002, p. 18).

Bain (1985) señala que un índice se lo puede interpretar como la *dirección* y *magnitud del cambio*. Esta “dirección” sirve para enfocar los esfuerzos en mejorar la productividad en las áreas problemáticas (p. 49).

Para medir y estandarizar un volumen heterogéneo de producción de varios productos en un lapso escogido se utilizan los *índices* como directrices y sus resultados se pueden comparar con otros índices para medir la productividad laboral, capital, maquinaria, tiempo, insumos, entre otros. (INEGI, 2016, p. 2)

Para obtener una variación positiva de los *índices* se puede realizar alguna o varias de las siguientes estrategias (Bain, 1985, p. 48):

- a) Mantener el mismo nivel o volumen de producción y reducir el consumo de recursos e insumos.
- b) Mantener el mismo nivel recursos o insumos utilizados en la fabricación e incrementar la producción.
- c) Aumentar el nivel o volumen de producción y reducir el consumo de recursos o insumos.

Cualquier estrategia que sea considerada, el primer paso siempre será un análisis inicial de la productividad de cada empresa para estimar su tendencia de incremento o decremento en un periodo determinado *no mayor a un año debido a la variabilidad de la economía*, en especial en países en vía de desarrollo como el caso de América del Sur (Jiménez et al., 2001, p. 82).

La medición de la productividad debe dar resultados globales y específicos (parciales para cada recurso utilizado), porque el *índice* de un insumo es dependiente de la interacción con otros, por lo tanto, la medición de *productividad de todos los factores* (PMF) es ampliamente utilizado para medir la productividad de una empresa (Hernández, 2007, p. 42).

En términos de costos, la *eficiencia técnica* refiere a que la empresa logra la máxima producción posible con la tecnología disponible, pero si no se alcanza este máximo se dice que la empresa trabaja *técnicamente ineficiente* (Hernández, 2007, p. 37).

En términos de *eficiencia de asignación de recursos* se considera cuando los precios de los insumos necesarios y los productos generados minimizan los costos de operación de un volumen de producción específico de la empresa (Hernández, 2007, p. 37).

La conjunción entre la *eficiencia técnica* y *asignativa* es un objetivo por alcanzar, aunque, no siempre, cuando se alcanza la *eficiencia técnica* se logra la *eficiencia asignativa*, debido a que el incremento de producción no siempre disminuye los costos de operación (E. Hernández, 2007, p. 38).

1.1.3.1. Medición parcial de la productividad

Es un error confiar completamente en la medida de un solo factor de todos los que intervienen en un sistema productivo (factor humano, capital, material, energía y otros gastos), debido a la interacción de “red” que tienen todos los insumos, por esta razón en la medida de la productividad se debe considerar todas las entradas y salidas tangibles de una empresa (Sumanth, 1984, p. 152).

1.1.4. MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD TOTAL

Para TPM la medida puede ser *total* (demuestra el impacto en conjunto de todos los insumos en la fabricación de productos) o para *cada producto parcial* (demuestra la relación entre la cantidad total producida y un solo insumo, por ejemplo: productividad del factor materiales) que se fabrique (Jiménez et al., 2001, p. 82).

Cuando la rentabilidad es baja y la productividad alta (o constante) la empresa incurrirá en pérdidas económicas (Prokopenko, 1989, p. 55).

1.1.4.1. Cálculos de índices de productividad (pesos)

Los índices de productividad se utilizan para medir o comparar el resultado de una actividad productiva. Un índice de productividad en el área de fabricación son los *pesos de insumos* (relación entre insumos que fueron utilizados para producir bienes) y se calcula con la ecuación 1.1 (Sumanth, 1984, p. 165).

$$WI_j = \frac{I_{ij}}{\sum_j I_{ij}} \quad [1.1]$$

Por ejemplo:

$$WI_{ij} = \frac{I_M}{I_H + I_C + I_M + I_E + I_X}$$

Donde:

WI= peso del insumo (humano, capital, material, energía, otros gastos)

H= humano

C= capital

M= material

E= energía

X= otros gastos

Para el cálculo del *índice de productividad parcial* (PP) que es la razón entre cada insumo “utilizado” y el total de lo “producido” y para su cálculo se utiliza la ecuación 1.2 (Sumanth, 1984, p. 8).

$$PP = \frac{\text{Producción tangible total}}{\text{Insumo}}$$

[1.2]

Los índices de *productividad parcial* señalan tendencias de la utilización de insumos comparados con lo producido, éstos índices en una gráfica temporal indican la eficiencia del uso de recursos en la producción. La disminución de estas tendencias señala el desbalance entre la rentabilidad, productividad y precio de venta de los productos. Se pueden graficar los índices de productividad total o parcial de la empresa o por productos y las curvas resultantes generan interpretaciones de la eficiencia, dirección y estado de la empresa (Jiménez et al., 2001, p. 85).

Cada componente de la producción debe ser expresado en términos “reales” (unidades monetarias) con relación a un *periodo base* (ajustado con los índices de inflación o deflación nacional que convierten las *unidades monetarias corrientes* de ventas y de insumos utilizados en la fabricación, en *unidades monetarias constantes*, con lo que se obtiene el “valor real de la producción”) (Sumanth, 1984, p. 220).

El *periodo base* es un lapso que sirve como referencia para calcular los índices de productividad en el área de fabricación y tiene por característica que en ese periodo de tiempo la producción no ha sido extremo, ni muy alto ni muy bajo (Bain, 1985, p. 49).

Los análisis de TPM se comprenden de mejor manera si se conocen los procesos productivos, los productos obtenidos, el personal que trabaja en la empresa, los costos de insumos requeridos y los costos directos e indirectos. En esta etapa se puede determinar que áreas en estudio tienen problemas de registro de datos financieros, si la complejidad de la empresa permite tener un control minuciosos de todas las entradas y salidas de dinero o si la empresa simplemente no cuenta con registros necesarios para evaluar la productividad ni controlar otros aspectos de la empresa (Jiménez et al., 2001, p. 85).

Los datos se deben sintetizar o agrupar de forma mensual, trimestral o semestral para que su manejo sea de fácil interpretación y depende del grado de análisis deseado la forma de agrupamiento de los datos.

La productividad total de la empresa TPF (Total productivity of a firm) se calcula utilizando la ecuación 1.3 (Sumanth, 1984, p. 156).

$$TPF = \frac{\text{Producción tangible total de la empresa}}{\text{Insumos tangibles totales de la empresa}} \quad [1.3]$$

Donde:

Producción tangible total= valor de todas las unidades de productos producidos + valores de unidades parcialmente producidas + otros ingresos.

Insumos tangibles totales= valor total de insumos empleados (humanos, materiales, capital + energía + otros gastos).

La *producción total del periodo actual* (OF) se calcula con la ecuación 1.4 (Sumanth, 1984, p. 157).

$$OF = \sum_i O_i \quad [1.4]$$

Donde:

O_i= producción en el periodo actual del producto i, expresado en unidades monetarias constantes.

Los insumos totales del periodo actual (I_i) de tipo j para el producto i expresado en unidades monetarias, se calcula con la ecuación 1.5 (Sumanth, 1984, p. 157):

$$I_i = \sum_j I_{ij} = I_{iH} + I_{iM} + I_{iC} + I_{iE} + I_{iX} \quad [1.5]$$

Donde:

I_{ij}= insumo de periodo actual de tipo j para la producción del producto i expresado en unidades monetarias constantes.

H= Insumo humano

M= insumo material

C= insumo capital de trabajo

E= insumo energía (incluye el recurso agua)

X= insumo “otros gastos”

Para calcular los insumos tangibles totales (IF) de la empresa en el periodo actual expresado en unidades monetarias constantes, se utiliza la ecuación 1.6 (Sumanth, 1984, p. 157):

$$IF = \sum_i I_i = \sum_i \sum_j I_{ij} \quad [1.6]$$

Si se asigna un subíndice “0” para el periodo base y “t” para el periodo actual, se tiene la ecuación 1.7 y 1.8 (Sumanth, 1984, p. 157):

$$TPF_t = \frac{OF_t}{IF_t} = \frac{\sum_i O_{it}}{\sum_i I_{it}} = \frac{\sum_i O_{it}}{\sum_i \sum_j I_{ijt}} \quad [1.7]$$

$$TPF_0 = \frac{OF_0}{IF_0} = \frac{\sum_i O_{i0}}{\sum_i \sum_j I_{ij0}} \quad [1.8]$$

A partir de las ecuaciones 1.7 y 1.8, se define el *índice de productividad total de la empresa en el periodo actual t*, $(TPIF)_t$, (mide cuantas unidades monetarias de ganancia se obtienen por cada unidad monetaria invertida) como se aprecia en la ecuación 1.9 (Sumanth, 1984, p. 157):

$$(TPIF)_t = \frac{TPF_t}{TPF_0} \quad [1.9]$$

1.1.1. EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD TOTAL PARA PERIODOS SUCESIVOS

Para evaluar la productividad total de un producto i, se compara las *productividades totales* (TP_{it}) entre dos periodos t-1 y t (en periodos sucesivos t-1 es el periodo base cuando t=1). Su variación se calcula con la ecuación 1.10 (Sumanth, 1984, p. 239).

$$\Delta TP_{it} = TP_{it} - TP_{it-1} \quad [1.10]$$

$$\text{Para } t \geq 1; \Delta O_{it}, \Delta I_{it} \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} 0, TP_{it-1}, I_{it-1} \geq 0$$

Donde:

ΔTP_{it} = cambio actual de la productividad total del producto i entre dos sucesivos periodos, $t-1$ y t .

ΔO_{it} = cambio actual de la producción tangible total del producto i entre dos sucesivos periodos $t-1$ y t .

ΔI_{it} = cambio actual de los insumos tangible total del producto i entre dos sucesivos periodos $t-1$ y t .

Se debe transformar las unidades monetarias corrientes a unidades monetarias constante con los índices de inflación y deflación. Esta transformación se obtiene por la división de cada PT_{it} con su respectivo valor de inflación-deflación (depende del lapso escogido, por ejemplo, si el análisis se realiza mensual será la división para el valor mensual de inflación-deflación, si es trimestral la división se efectúa para el valor de inflación-deflación acumulado) (Jiménez et al. 2001, p. 85).

El porcentaje de variación de la productividad total ($PVPT_{it}$) entre periodos sucesivos se calcula con la ecuación 1.12 (Sumanth, 1984, p. 245).

$$PVPT_{it} = \left(\frac{PT_t}{PT_0} - 1 \right) * 100 \quad [1.11]$$

1.1.2. ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN

Blank y Tarquin, (2006) señalan que determinar los costos indirectos (llamados también gastos de fabricación) es una tarea “difícil” de conseguir porque la dificultad de asignar un valor monetario a tareas como: impuestos a la propiedad, calidad, supervisión, en algunos casos el costo del tiempo de fabricación (en especial cuando las empresas han empezado sus actividades sin un diseño previo de costos y producción, como lo son en su mayoría las pequeñas y medianas empresas),

consumo de energía entre otros, y en muchas ocasiones es empírica su asignación (p. 537).

Adithan (2007) señala que se puede asumir como costos indirectos a: mano de obra indirecta, insumo energía (donde se considera el consumo de agua como parte de energía) e insumo otros gastos (p. 102).

1.2. ESTUDIO DEL TRABAJO

El *estudio del trabajo* comprende dos técnicas estrechamente interrelacionadas y complementarias: la *medición del trabajo* y *estudio de métodos* (Kanawaty, 1996, p.19).

El objetivo del *estudio de métodos* es simplificar tareas y establecer métodos más “económicos” de ejecutarlas, en tanto el objetivo la *medición del trabajo* es determinar cuánto tiempo debe tomar cada tarea (Kanawaty, 1996, p. 20)

La conjunción de los diferentes análisis del tiempo y de los métodos utilizados en cada actividad específica del trabajo se expresa en el grado de *eficiencia de un sistema*.

La eficiencia se compone de los *métodos* utilizados (formas más “económicas” de trabajar) y velocidad de los movimientos (referida específicamente a *ciclos de trabajo*, debido a la naturaleza de la industria láctea sus procesos son no repetitivos), que a su vez están conformados por: la habilidad, el esfuerzo y las condiciones de trabajo. (Carro y González, 2015, p. 12).

La *eficiencia de un sistema* se ve afectado cuando existen un mal diseño de los productos, deficiencia en los equipos y maquinarias destinadas para la fabricación, tiempos improductivos presentes, deficiencias en la organización de la empresa, entre otros. Las etapas en el estudio del trabajo se detallan (Kanawaty, 1996, p. 255):

- a) *Seleccionar* el o los trabajos a ser considerados. En algunos casos la selección puede abarcar toda la empresa (empresas pequeñas o medianas).
- b) *Registrar* todos los datos concernientes al proceso productivo (los diferentes diagramas de procesos, tiempo, transporte, toda actividad, método y circunstancia que afecta en mayor o menor medida de los procesos).
- c) *Examinar*, aquí se debe realizar de la manera más crítica y neutral posible para determinar si los métodos y tiempos de producción son los más adecuados.
- d) *Medir*, refiriéndose concretamente al tiempo empleado en cada actividad o tarea, la medición depende de las características del proceso productivo: si es un proceso repetitivo se puede emplear el método de “tiempo y movimiento”, si es un proceso no repetitivo (lotes o batch) se puede emplear la técnica del “muestreo del trabajo o work sampling” (Jenkins y Daryl, 2003, p. 1).
- e) *Compilar* el tiempo que toma cada actividad.
- f) *Definir*, aquí queda establecido el tiempo que debe durar cada actividad (tiempo tipo o estándar) con las modificaciones y mejoras sustanciales de métodos empleados.

1.2.1. LA MEDICIÓN DEL TRABAJO

García (2000) señala que el *tiempo de trabajo*, que toma una actividad específica en ejecutarse, es la medición cuantitativa del esfuerzo físico que realiza un operario calificado para cada actividad (p. 180).

Se puede establecer estándares de actividades, acciones, métodos, técnicas, entre otros y finalmente un *tiempo estándar* que es utilizado para calcular otros parámetros (Adithan, 2007, p. 17), por ejemplo:

- a) Determinar el costo de productos/hora, costo de hora trabajada, costo del tiempo por cada trabajador.

- b) Control y planeación en la producción y ventas de los productos elaborados.
- c) Ayuda a aplacar las variaciones imprevistas en la producción por diversos
- d) factores (daño en máquinas, inasistencia de los trabajadores, pedidos de último momento, entre otros).

La medición del trabajo está enfocada en eliminar el tiempo improductivo (cuando no se ejecuta ningún trabajo productivo) (Kanawaty, 1996, p. 252).

Los objetivos de la medición del trabajo son (Kanawaty, 1996, pp. 251-252; De la Roca, 1994, p. 59):

- a) Compara la eficacia de todos los métodos en iguales condiciones.
- b) Distribuir uniformemente el volumen del trabajo y maximizar, sin llegar a la fatiga, la utilización de la mano de obra.
- c) Una vez obtenido los tiempos estándar, programar la producción, precio de ventas, plazos de fabricación, variación de producción, por ejemplo: pedidos atemporales, inventarios existentes o faltantes, entre otros (De la Roca, 1994, p. 60).
- d) Uso eficiente de la capacidad productiva de maquinaria, tecnología y recursos disponibles.
- e) Controlar los costos que impliquen la producción (mano de obra, precio de venta, entre otros).
- f) Finalmente organiza y controla las actividades productivas de una empresa.

1.2.1.1. Estudio de tiempos en el área de fabricación

El estudio del tiempo de trabajo tiene los siguientes pasos (Niebel y Freivalds, 2009, p. 333):

- a) Selección del operario: Se selecciona a un operario que tenga un desempeño promedio, bien capacitado y que conozca todos los elementos del trabajo que ejecuta.

- b) Desglosar los elementos del trabajo: en las líneas de fabricación o actividad seleccionada se determina el inicio o fin de una actividad mediante algunos criterios (llamados *puntos de quiebre*), por ejemplo: el inicio o fin de maquinado, el cambio de actividad, registro de temperatura, cambio fisicoquímico de la materia prima, a partir de diagramas de flujo existentes, entre otros.

Para desglosar las actividades el analista debe observar al operario en determinado número de ciclos y el tiempo de ciclo.

- c) Registro del tiempo transcurrido de cada actividad: se debe registrar u clasificar la maquinaria, herramientas, insumos, fecha de análisis y en general todos los recursos necesarios para la producción de bienes.

Existen algunas técnicas para registrar el tiempo de operación. De estas el método de *tiempos continuo* es el más recomendable para estudio de trabajo de ciclo corto y la técnica de *regreso a cero* se adapta mejor a ciclos de trabajo largo (mayor a 30 min) y se obtiene directamente el *tiempo observado* (TO). El método de *regreso a cero* tiene por desventaja que no se registra los retrasos.

- d) El número de ciclos a ser estudiados se lo puede determinar por el tiempo que dura el ciclo. Para ciclos que duran más de 40 min se recomienda 3 ciclos de estudio (Niebel y Freivalds, 2009, p. 340).

- e) Calificar el desempeño del operario: El *tiempo normal* de trabajo se ajusta hacia arriba cuando se trata de un operario bien capacitado y hacia abajo para un operario deficiente a fin de alcanzar un nivel estándar. El objetivo de calificar el desempeño es ajustar el *tiempo medio observado* de un trabajador hacia el *tiempo normal* de un operario bien calificado. La calificación del *desempeño* se expresa en un porcentaje dividido para 100 y viene a ser la comparación del trabajo ejecutado entre un operario “normal” y un operario “bien calificado”.

- f) Asignar *holguras* adecuadas: Debido a interrupciones personales (descansos, ir al baño, entre otros), fatiga y retrasos inevitables (preparación de maquinaria o herramientas, pequeños problemas con herramientas, entre otros), es necesario adicionar una *holgura* al tiempo *normal de trabajo*. De esta forma se obtiene el *tiempo estándar* que es el tiempo que requiere una

operación para ser completada por un trabajador completamente calificado a un ritmo estándar y con un esfuerzo promedio.

1.2.1.2. Muestreo del trabajo (work sampling)

El propósito general del muestreo del trabajo es estimar el porcentaje de tiempo productivo y no productivo de maquinaria o secciones de la planta procesadora y determinar la razón por la cual una máquina o sección se encuentra improductiva (esperas por suministros, reparación, reconfiguración de función, limpieza, falta de materia primas, reposos necesarios y que son parte de la actividad industrial, entre otros) (Kanawaty, 1996, p. 257).

También se puede determinar “el qué está haciendo” la maquinaria o sección de la planta, porque una máquina en funcionamiento no significa tácitamente se encuentre produciendo bienes. En casos particulares cuando la maquinaria está en marcha, pero no transformando o agregando valor al producto, se incurre en desgaste innecesario de piezas o desperdicio de energía (Kanawaty, 1996, p. 266).

El muestreo del trabajo basa su eficacia en el muestreo estadístico, observaciones aleatorias dando como resultado el porcentaje de aparición de un evento determinado.

Las etapas del muestreo del trabajo se detallan (Murodif et al., 2016, p. 244):

Registro de actividades de las líneas de fabricación:

Para el muestreo del trabajo es necesario registrar las actividades (inspecciones y operaciones más importantes) *utilizando cursogramas sinópticos del proceso.*

Los cursogramas ocupan un conjunto de símbolos estandarizados recomendados por la Asociación de Ingenieros Mecánicos de Estados Unidos (Glosary of terms in management services).

Un cursograma sinóptico del proceso son representaciones generales de los *elementos de un proceso* principales (operación, inspección, transporte, espera y almacenamiento). No se apuntan en detalle los procedimientos, pero es necesario una pequeña descripción y en lo posible se fija el tiempo que toman cada operación (Kanawaty, 1996, p. 84; Krick, 1994, p. 104).

Kanawaty (1996), señala los símbolos y su significado, siendo las actividades principales la *operación* e *inspección* (pp. 84-86):

- Operación*: señala una transformación (física, química, información, valor añadido, preparación para otra operación) de la materia prima.
 - Inspección*, comprueba que una operación se realizó correctamente en calidad y cantidad.
 - Trasporte*: refiere al movimiento de objetos (materia prima, o semi elaborados), pero no se considera transporte si estos movimientos son parte de una operación.
 - Espera*: se considera indeseable porque no permite el flujo continuo. Una espera comprueba que existe una anomalía en operaciones anteriores que demoran la secuencia normal del trabajo.
 - Almacenamiento*: señala la inmovilización de un objeto bajo normas de vigilancia y no pueden ser movidos sin de por medio una autorización.
 - Actividad combinada*: cuando un mismo operario ejecuta dos operaciones.
- Clasificación de actividades.*

Se clasifican las actividades ejecutadas por el personal operativo de planta en tres *categorías de trabajo* y en tres *categorías por actividades*. Para trabajos no repetitivos, en la división de actividades éstas incluyen las máquinas y herramientas que se utilizan por cada actividad. Así se evita desviar la atención hacia la

maquinara considerada como principal recurso en la obtención de productos (Murodif et al., 2016, p. 244). La clasificación del trabajo se detalla:

- a) *Trabajo efectivo*: son las actividades que contribuyen directamente a la obtención de productos o resultados.
- b) *Trabajo contributivo esencial*: son las actividades que no contribuyen directamente a la obtención de productos o resultados, pero son necesarios para su fabricación, por ejemplo, las actividades de transporte de materiales o personal, actividades de limpieza, descansos necesarios del personal, preparación de materiales, entre otros.
- c) *Trabajo inefectivo*: son las actividades que no contribuyen a la obtención de productos u objetivos de la empresa, por ejemplo: paro de maquinaria por razones ajenas a su debida preparación para continuar con la producción, distracciones, entre otros.

La clasificación en *categorías por actividad* depende de cada investigador y de la naturaleza de los procesos.

Tamaño de muestra

Para determinar los valores de p (porcentaje de tiempo inactivo) y q (porcentaje de tiempo activo, en marcha o en operación), se puede utilizar el método determinístico o por observaciones aleatorias preliminares para tener una visión global de la situación actual de la empresa donde se recomienda 100 observaciones aleatorias. (Kanawaty, 1996, p. 261).

Con estas observaciones aleatorias preliminares se estima los valores de p y q. Determinado los valores de p y q se calcula el número de observaciones necesarias para el muestreo del trabajo utilizando la ecuación 1.12.

$$n = \frac{Z^2 \cdot p(1-p)}{e^2} \quad [1.12]$$

Donde:

e= error estándar de la proporción

p= porcentaje de tiempo inactivo o improductivo (maquina, sección, trabajador, proceso, etc.)

q= porcentaje de tiempo en marcha o productivo.

n= tamaño de la muestra.

Toma de datos

Las etapas para tomar los datos para el análisis del muestreo del trabajo se detallan (Kanawaty, 1996, p. 266):

- a) Escoger el lapso para el estudio.
- b) Dividir el lapso escogido (jornada laboral) en intervalos (100 intervalos en este estudio).
- c) Realizar las observaciones, anotando los estados posibles “activo” o “inactivo” de las actividades de cada línea de producción.
- d) Anotar que función se está ejecutando o la razón por la cual una actividad se encuentra inactiva.
- e) Contar el número de veces que cada actividad, antes clasificada como trabajo efectivo, contributivo esencial y no efectivo se han repetido. Con estos datos se calcula el valor de LUR (Labor Utilization Rate) (Murodif et al., 2016, p. 244), como lo indica la ecuación 1.13

$$LUR(\%) = \frac{\text{trabajo efectivo} + \frac{1}{4}\text{trabajo esencial contributivo}}{\text{total del observaciones}} \quad [1.13]$$

Con los valores de LUR se puede determinar que sección, máquina, proceso o actividad tiene el porcentaje más alto de utilización en el periodo de tiempo escogido de estudio, o que tipo de trabajo (efectivo, no efectivo, esencial contributivo) es el que se presenta con mayor frecuencia en la empresa.

1.2.2. EL ESTUDIO DE MÉTODOS

Kanawaty (1996, p. 77), señala una definición del *estudio de métodos*:

“El estudio de métodos es el registro y examen crítico sistemático de los modos de realizar actividades, con el fin de efectuar mejoras”

El estudio de métodos está enfocado en reducir la cantidad o volumen de trabajo eliminando movimientos de materiales o personal que son innecesarios.

Se describen ocho pasos para lograr un correcto *estudio de métodos*:

- a) *Seleccionar* el trabajo o los trabajos de la empresa definiendo el límite del estudio. Hindle y Duffin (2006, p. 1780) señalan que en un *flujo de trabajo* que integra complejas redes de abastecimiento (clientes internos) se logra la integración de todos los procesos a medida que una línea de producción o un producto semi elaborado operan bajo un método y secuencia estandarizada.
- b) *Registrar* por método determinístico los datos relevantes de los procesos productivos.
- c) *Examinar* de manera crítica y neutral el *modo*, la *secuencia*, el *lugar*, el *movimiento de recursos* que integran las actividades productivas. Además, se puede realizar comparaciones con otros métodos establecidos o manuales de operación-producción).
- d) *Establecer* los métodos más eficaces (económicos, prácticos, sencillos), con la ayuda del personal que ejecuta las tareas.
- e) *Evaluar* entre las diferentes opciones de nuevos métodos diseñados el beneficio al compararlos con el método actual (se puede medir entre *costo-eficacia*, *costo-cantidad de producción*, *tiempo-plazo de entrega*, entre otros).
- f) *Definir* el nuevo método y su respectiva socialización hacia todas las partes involucradas de la empresa.

Los nuevos métodos pueden provenir de los mismos métodos de fabricación de la empresa en el caso de que no exista en bibliografía procesos similares o se puede adaptar técnicas, procesos o métodos de fabricación de

manuales o normativa. En el presente trabajo se utilizó como modelo de producción los manuales de procesamiento de lácteos: Alvarado (1996) *Principios de ingeniería aplicados a alimentos*; Bylund G. (1995) *Dairy processing handBook-Tetrapak*; Gutiérrez (2006) *Tecnología de lácteos* y las normas nacionales INEN.

Se debe tomar en cuenta la viabilidad de nuevos métodos, en ciertos casos la propuesta de nuevos métodos implica la actualización de tecnología (problemas financieros), maquinaria de mayor capacidad de procesamiento, ampliaciones del espacio físico, entre otros.

Algunos factores que afectan la selección de una tarea susceptible de mejora se detallan (Kanawaty, 1996, pp. 78-81; Niebel y Freivalds, 2009, p. 12):

- a) *Factores económicos*. Se debe establecer si compensa la inversión de tiempo y esfuerzo por dicha tarea escogida debido al tiempo de permanencia de los nuevos cambios. En este sentido se debe escoger las líneas de producción que generan mayor rédito económico o son costosas (consumo masivo de recursos), las operaciones que ralentizan los procesos, desplazamientos repetitivos y prolongados de materiales o personal (mal diseño de fabricación).
- b) *Factores técnicos*: La directiva en muchas ocasiones tienen la creencia que la automatización, la computarización y la tecnología son la respuesta para la productividad de la empresa. El estudio de los métodos puede resaltar otros problemas de mayor importancia que afectan directamente las labores de la empresa.
- c) *Factores humanos*: En este ámbito el malestar, la fatiga, la monotonía y la insatisfacción por parte del personal puede ser el principal problema que una empresa puede tener. El estudio del trabajo debe integrar el bienestar del personal operario para aprovechar el máximo potencial y mantener la calidad de vida de las personas involucradas en los procesos productivos.

El estudio de métodos puede tener varios enfoques que justifican su aplicación siendo los más importantes el enfoque: laboral, técnico y económico.

El *enfoque económico* su objetivo es mejorar la productividad de la empresa, mediante la eliminación de actividades no productivas y desperdicio de tiempo, además mejorar las actividades que actualmente disminuyen la calidad y rendimiento de los productos.

Kanawaty, (1996) señala que cada actividad debe ser evaluada de manera crítica, buscando eliminar las tareas innecesarias, combinar tareas, métodos sencillos, entre otros, y una vez encontrado el nuevo método este se registra para su posterior propuesta o implantación (p. 84).

Cursograma analítico

El cursograma analítico describe con mayor detalle las actividades de un proceso productivos, se utilizan todos los símbolos, observaciones acerca de las maquinas utilizadas, la distancia recorrida por el material u operario, el tiempo que toma cada actividad, entre otros (Krick, 1994, p. 104).

El diagrama SIPOC (suppliers, inputs, process, outputs, costumers) es una técnica gráfica donde se puede observar a primera vista el alcance y el enfoque de la línea de producción o de la empresa.

1.3. SIMULACIÓN

El término *simulación* tiene su origen en el año 1940 durante la segunda guerra mundial, cuando los científicos Von Neuman y Ulam trabajaban en un proyecto denominado “Montecarlo” en el cual los problemas de reacciones nucleares y su comprobación eran demasiado costosas y los cálculos matemáticos demasiado complejos. Trasladaron el problema a una computadora surgiendo innumerables aplicaciones y nuevos problemas teóricos-prácticos. De esta manera la simulación se ha utilizado en todos los campos de las ciencias e industria por sus beneficios:

- a) Simplifica cálculos matemáticos complejos.

- b) Se puede disponer del factor tiempo (acelerar o frenar un proceso).
- c) No interfiere en actividades “reales” de la empresa, por ejemplo, Bouras, Giannaka, y Tsiatsos (2009, p. 8) señalan que, para evaluar la eficiencia de servidores computacionales se simuló un escenario donde los clientes requieren información de un servidor central y aunque se alcanzó el 80% del umbral de saturación del servidor, no se detectó ningún retraso o problemas en el mismo, siendo el servidor central un factor crítico en todo el proceso en el despacho de pedidos.
- d) Se pueden evaluar varios escenarios y compararlos entre sí.
- e) Da ideas más claras acerca de un proceso en comparación con datos enteramente numéricos de un *análisis analítico*.
- f) Detecta posibles “cuellos de botella” de un sistema productivo. Bevilacqua, Ciarapica, Mazzuto, y Posacchini (2012, p. 1034), señalan en su estudio sobre la aplicación del software simul8 al tráfico aéreo portuario, que un cuello de botella no necesariamente indica la incapacidad productiva de un sector del sistema productivo. Un cuello de botella puede aparecer por la variación de la demanda-oferta (variable discreta de conocida oscilación) en el proceso productivo y puede llevar erróneamente a concluir que la solución es una expansión de la capacidad operativa (comprar maquinaria de mayor capacidad ingresando en gastos económicos altos e innecesarios) para solventar un cuello de botella. Concluyen su trabajo expresando que la expansión “necesaria” hacia un aeropuerto de cinco líneas de aterrizaje-despegue no es lo más apropiado. Un sistema de dos líneas aterrizaje-despegue disminuye los costos de “aviones en fila de aterrizaje” en un 80%.

El concepto de simulación abarca el diseño y desarrollo de modelos computacionales de uno o varios sistemas donde el objetivo de esta acción es entender el comportamiento de las estrategias propuestas y la interacción de las variables inherentes a cada proceso productivo. Los pasos generales por seguir para ejecutar una simulación se detallan (Coss, 2003, p. 12):

- a) Definir el sistema de estudio: se debe determinar las interacciones con otros sistemas, restricciones, variables, objetivos a esperar y la medida de logro de objetivos.

Aguirre, Müller, Seffino y Méndez (2008), superan a través de simulación y métodos determinísticos los tres problemas principales de una industria manufacturera de partes de motor de automóviles, siendo éstos: entregas tardías de productos a clientes, alto volumen de inventario semi procesado y carga de trabajo no balanceadas en las líneas de producción. El resultado de este estudio es la reorganización de la carga de trabajo hacia máquinas y la capacitación al personal operario en cuanto a manejar varias máquinas (multitarea) (p. 1839).

- b) Formulación del modelo: los paquetes informáticos específicos para el caso de la manufactura, tal es el caso del programa simul8, se basan en la *modelización conceptual de sistemas* aplicada en fase de anteproyecto donde se debe analizar los flujos de materiales, necesidades de materiales y almacenamiento y posibles cuellos de botella (Simcore, 2016, párrafo 5).
- c) Recolección de datos: se define qué clase de datos se deben suministrar al modelo matemático o software. Generalmente los datos provienen de registros contables, registros de la empresa y por experimentación.
- d) Correr el modelo en la computadora: aquí los datos ingresados proyectan resultados. Se utiliza lenguajes informáticos o software especializado.
- e) Validación: Es la etapa más importante del proceso de simulación. Se detectan deficiencias en el modelo o estrategia planteados. La validación se puede realizar mediante las siguientes estrategias:
- Opinión de expertos de los resultados de la validación.
 - Exactitud de proyecciones de datos históricos (contrastar con otros modelos o técnicas de proyección de datos históricos).
 - Llevar el modelo hasta el “fallo” con datos que hacen fallar el “sistema real”.
 - Inclusive se utiliza la intuición y experticia de quien va a utilizar y confiar en los resultados de la simulación.
- f) Experimentación: posterior a la validación donde se generan datos ajustados a la sensibilidad de los índices requeridos.

- g) Interpretación: es la etapa donde se toma decisiones de aceptar, modificar o rechazar los resultados de la simulación.

1.3.1 TEORÍA DE COLAS

Una línea de espera o “cola” se forma cuando la demanda de un servicio, procesamiento o fabricación, supera la capacidad del servicio solicitado (máquinas). En muchos casos la variación asociada a los fenómenos del tiempo servicio y entradas al sistema (demandas de servicio) torna necesario el uso de modelos estocásticos para describir y estudiar estos sistemas. (Azarag y García, 2013, p. 1).

Por variable aleatoria se toma como el número de transacciones o tareas en un proceso que tarda un lapso determinado. Puede tomar valores desde 0, 1, 2, 3, ...N y cada “transacción” tiene una probabilidad de ocurrencia. Se identifica dos costos principales en una línea de espera o cola: el costo de pérdida por el tiempo de espera a recibir un servicio o el costo de pérdida del cliente por abandono del sistema (se podría decir el desecho de materia prima a causa de contaminación microbiana) y el costo de ejecución del servicio (maquinado) (Azarag y García, 2013, p. 1).

La teoría de colas centra su estudio en nivelar la “cantidad” de servicio (capacidad y tiempo de procesamiento) necesario para minimizar el costo global del sistema (línea de producción) (Azarag y García, 2013, p. 2).

Bajo el supuesto de que cada estación es independiente la intensidad de tráfico se calcula con la ecuación 1.14 (Winston, 2005, p. 1081):

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} \quad [1.14]$$

Donde:

λ = cantidad de clientes por unidad de tiempo (tasa de llegadas), se expresa (generalmente) como llegadas/horas.

μ = cantidad de promedio de servicios terminados por unidad de tiempo ó tasa de servicio de cada servidor, se expresa (generalmente) como clientes/hora.

s = número de servidores

El *estado estable* (stady-stade) de cada servidor (que se puede interpretar también como la probabilidad de que j clientes estén dentro del sistema) se determina con la ecuación 1.15 (Winston, 2005, p. 1081):

$$\pi = 1 - \rho \quad [1.15]$$

La cantidad de clientes en cola para recibir servicio se calcula con la ecuación 1.16 (Winston, 2005, p. 1082):

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad [1.16]$$

La cantidad esperada de clientes “formados” en cola, se calcula con la ecuación 1.17 (Winston, 2005, p. 1082):

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad [1.17]$$

La cantidad de clientes en servicio se calcula con la ecuación 1.18 (Winston, 2005, p. 1082):

$$L_s = \rho \quad [1.18]$$

El tiempo estimado en que un cliente pasara en el sistema se calcula con la ecuación 1.19 (Winston, 2005, p. 1083):

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad [1.19]$$

El tiempo estimado que un cliente pasara en la línea a espera deservicio, se calcula con la ecuación 1.20 (Winston, 2005, p. 1084):

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} \quad [1.18]$$

El tiempo estimado en que un cliente pasa recibiendo servicio, se calcula con la ecuación 1.21 (Winston, 2005, p. 1083):

$$W_s = \frac{1}{\mu} \quad [1.19]$$

1.3.1.1. Sistemas de líneas de espera de k etapas en serie

En la mayoría de casos en las industrias las líneas de fabricación-ensamble o *workstation* están configuradas por múltiples máquinas de manera que la materia prima es transformada o ensamblada a medida que avanza por la línea de fabricación (Curry y Feldman, 2011, p. 81).

Para un proceso de fabricación lineal el cliente (materia prima o productos semiprocesado) tiene que pasar por varios servidores para que sea completamente atendido (servidor 1, 2, ... k), es decir por todas las etapas de una línea de fabricación. Este tipo de sistema de servicio se denomina “sistema de líneas de espera de k etapas en serie” (Winston, 2005, p. 1104).

El teorema desarrollado por Jackson J. en 1957 para describir estos tipos de línea de espera son:

- a) Los tiempos entre llegadas de los clientes son exponenciales con tasa λ .
- b) Los tiempos de servicio de cada servidor en la etapa i son exponenciales.
- c) Cada etapa tiene una “estación de espera” con capacidad infinita y los tiempos de llegadas dentro del sistema hacia cada etapa son exponenciales con tasa λ .

También se requiere de las siguientes características:

- a) Cada servidor o etapa tiene la capacidad suficiente para servir a todos los clientes que lleguen a una tasa λ , si $j=1, 2, \dots, k$, $\lambda > s_j \mu_j$. Si esto no se cumple la línea se “amplificará” donde exista carencia de capacidad.
- b) Si, $\lambda < s_j \mu_j$ en la etapa j , cada etapa se puede analizar con un modelo $M/M/s_j/GD/\infty_1/\infty_2$.
- c) Cada etapa de la línea de fabricación es un servidor independiente de los demás, aunque integran en conjunto una sola línea de producción (Gross et al., 2008, p. 181).
- d) Los tiempos de llegada entre llegadas son exponenciales con tasa λ y los tiempos de servicio son exponenciales con un tiempo de servicio medio de $\frac{1}{\mu_j}$. Esto porque los tiempos de salida y los tiempos de entrada de cada estación tienen la misma distribución exponencial.
- e) Una vez que el cliente ha atravesado una estación k no puede regresar a una anterior (Gross et al., 2008, p. 181).
- f) También se puede considerar que cada estación al ser independiente tiene tiempos de llegada λ con distribución Poisson.
- g) El sistema está en estado estable (ningún servidor “expandirá” o “amplificará” la línea de producción y por tanto no es necesario el apareamiento de “buffers”).

Donde:

λ = número promedio de llegadas o clientes al sistema por unidad de tiempo (tasa de llegadas)

μ = número de clientes que son servidos por unidad de tiempo (tasa de servicio)

s = número de servidores

j = j -ésimo servidor hasta k .

GD= disciplina general de línea de espera.

∞_1 = número máximo de clientes permitidos, tanto los que están recibiendo el servicio como los que están en espera.

∞_2 = tamaño de la población.

1.3.2 SOFTWARE SIMUL8

El programa simul8 es un software desarrollado de fácil uso, direccionado a cumplir objetivos de producción o servicios en sistemas de *eventos discretos*, sirviendo como puente entre el sistema ERP y la fábrica, donde se genera soluciones de planes y calendarios de actividades. (Concannon, Hunter y Tremble, 2003, p. 1488).

Un sistema ERP satisface los requerimientos financieros y de producción (en cuanto a materiales y recursos), pero tiene la desventaja de no tener una respuesta rápida de planeación y calendarización de actividades cuando un cambio aparece de improvisto (daño en máquinas, parada de la línea de producción, falta de materiales, pedidos extras o cancelaciones de última hora, cambio de productos, entre otros).

Con el programa simul8 se puede simular las diversas etapas que intervienen en un proceso de productivo (Bouras, Giannaka y Tsiatsos, 2009, p. 4):

- a) Lugar de trabajo: es el sitio donde se ejecutan actividades, los almacenamientos temporales (preparación de materiales, cambio de maquinaria, transformaciones, entre otros).
- b) Punto de entrada o salida: son los dos extremos de un proceso productivo. El primero es donde aparece “el trabajo” a ser realizado (entrada de materias primas, órdenes de trabajo, entre otros), y el segundo es donde el “trabajo” ha terminado o está hecho, aquí los productos abandonan el modelo aportando un dato importante, el tiempo que tomo el proceso.
- c) Se puede simular lo que ocurre después de la fabricación, por ejemplo, el tiempo máximo de almacenamiento (tiempo de vida útil de los productos), remanentes de partes o materias primar en “espera” a ser procesadas.

Concannon et al., (2003) indican que el software simul8 enlaza los datos de órdenes de ventas, procesos productivos, costo de materiales e inventario, capacidades productivas (detecta cuellos de botella), tiempo disponible (calendario de

operaciones), requerimientos y disponibilidad de recursos, con los consecuentes beneficios (p. 1488):

- a) Es un enlace directo con el sitio físico de fabricación (shop floor). Se puede observar y evaluar en tiempo real los detalles y reglas de la producción.
- b) Se puede establecer si un plan o un calendario de actividades se puede realizar teniendo en consideración la capacidad productiva y restricciones inherentes a la empresa. El software define el día y hora de arranque de la producción, paradas necesarias (fin de semanas, almuerzo, descanso del personal, tiempo de preparación de máquinas, cambios de turno de trabajo, entre otros).
- c) Es una herramienta flexible orientada a objetivos, por ejemplo: cambio de operarios con distinto entrenamiento, daño en maquinaria, pedidos extras, cambios repentinos de características del producto, detecta la desviación de tiempo y actividades de los planeados, entre otros.
- d) Define la disponibilidad de máquinas, recursos (en especial el tiempo) y personal en las líneas de producción.
- e) Las tablas de resultados que el software provee permiten su manipulación rápida de parámetros, por ejemplo: órdenes de producción, inventarios de materias primas y calendario de actividades de máquinas específicas.
- f) La interfaz es sencilla de interpretar.

CAPÍTULO 2

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD ACTUAL DE LA EMPRESA EL TAMBO

2.1.1. MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD TOTAL EN EL ÁREA DE FABRICACIÓN

La cuantificación de la productividad total fue realizada para el área de fabricación que está compuesta por las líneas de producción de los productos: queso, yogur y nata. Para esta medición se recopiló de los registros de producción de la empresa los valores monetarios corrientes de los insumos utilizados para la fabricación y el ingreso económico diario por ventas de los productos producidos. Estos datos fueron agrupados por tipo de producto y en periodos de meses.

Los datos de unidades monetarias corrientes (dólares corrientes) de insumos y de ventas fueron transformados a unidades monetarias constantes (dólares constantes), dividiendo los dólares corrientes para los índices mensuales de inflación-deflación nacional (eliminando la influencia externa del mercado).

A partir de los datos de dólares constantes se determinó los valores de peso-insumo de cada recurso que interviene en la producción y su influencia o magnitud de cambio en el tiempo. Se calculó los índices de productividad parcial de cada insumo a partir de los valores de dólares constantes de insumos y producción tangible total y se describió el comportamiento de las unidades monetarias que retornan por cada unidad monetaria invertida en la producción de bienes tangibles por cada periodo t (mes).

2.1.2. EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD TOTAL

La evaluación de la productividad total se realizó en el área de fabricación utilizando los datos de insumos y producción tangibles totales medidos en unidades monetarias constantes. Para este propósito se calculó el cociente entre valor monetario de la producción tangible total de cada periodo t (mes) y el valor monetario de los insumos tangibles totales de cada periodo t (mes).

Estos cocientes por cada periodo t son los índices de productividad total reales por cada periodo t y se compararon con el periodo base y entre periodos t .

El *periodo base* se obtuvo mediante una gráfica temporal de los valores de la media mensual de *producción tangible total* (PTT) contra el tiempo (meses), en la cual se proyectó una recta perteneciente a la media anual de los valores de PTT y el valor de la media mensual de PTT más próxima ésta recta corresponde al periodo base. Los lineamientos de mejora de la productividad se determinaron por análisis de los valores de ΔPT_{it} y $PVPT_{it}$.

2.1.3. EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

La evaluación de la producción se la realizó para el área de fabricación y los productos procesados. Para esta evaluación se recopiló de los registros de producción de la planta los datos de masa o volumen de los bienes producidos por día.

Los datos de ventas fueron recopilados, agrupados en periodos de meses y analizados mediante dos gráficas: un gráfico Pareto y un gráfico temporal de ventas por tipo de producto y en conjunto para el año de estudio.

En el caso de los datos de producción medidos en términos de las variables masa y/o volumen; se los agrupó por periodos de meses y tipo de producto. Los datos de las variables masa y/o volumen de cada producto fueron analizados mediante un gráfico de dispersión, un histograma de frecuencia, prueba t-student, ANOVA y prueba de contraste de Tukey. Para los análisis estadísticos se utilizó el software

libre "InfoStat" apoyado con el programa Excel con complemento Real-Statistics.

2.2. DISEÑO DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS

Para el diseño de los procesos productivos que incluyeron mejoras en el tiempo de ciclo, métodos de trabajo, tiempo de ejecución de actividades, orden de las tareas, para esto se utilizó el estudio de métodos y el estudio de tiempos.

2.2.1. ESTUDIO DE TIEMPOS

Se seleccionaron los operarios que trabajan actualmente en el área de fabricación de las tres líneas de fabricación (queso, yogur, nata). Se desglosaron los *elementos del trabajo* de los diferentes procesos de la planta y se los representó en *cursogramas analíticos de proceso* y se determinó los *puntos de quiebre* para establecer cuando una actividad inicia y termina.

Mediante la técnica de *retroceso a cero* se registraron los tiempos de duración de las actividades de cada proceso productivo en un determinado *número de ciclos* de trabajo. Se calculó el tiempo promedio, desviación estándar y el tiempo de ciclo de cada línea de producción.

2.2.2. MEDICIÓN DEL TRABAJO (MUESTREO DEL TRABAJO)

El muestreo del trabajo se realizó para cada línea de fabricación que posee la planta. Se realizaron observaciones preliminares en planta y se determinó los porcentajes generales de los dos estados posibles de la línea de producción: activo (q) e inactivo (p). Con el resultado de: los porcentajes generales de los estados de producción (p, q), el nivel de confianza, valor de Z y el error aceptado se calculó el tamaño de muestra n (número de observaciones) necesaria para realizar el muestreo del trabajo.

Se identificó y registro en cursogramas sinópticos de proceso las operaciones e

inspecciones principales de cada la línea de fabricación. Posteriormente se clasifico las operaciones en categorías de trabajo y categorías de actividad. Adicionalmente, se identificó por cada tipo de actividad la maquinaria y herramientas necesarias.

La jornada laboral se dividió en periodos y se realizaron las observaciones en cada periodo establecido y se anotó los dos posibles estados de cada maquinaria: activo e inactivo. Después se contabilizó el número de apariciones de los estados activo e inactivo y se analizó el LUR de las líneas de producción de la planta.

2.2.3. ESTUDIO DE MÉTODOS

El estudio de métodos se realizó en las líneas de fabricación de la empresa; para este análisis se registró los *tipos de actividades* en cursogramas *analíticos de proceso*, así como el tiempo de duración de cada actividad. Con el tiempo de duración de cada actividad, se determinó el tiempo de procesamiento, la cantidad de operaciones, inspecciones, transportes, esperas y almacenamiento de cada línea producción para su posterior análisis y propuesta de mejora.

Las actividades o tareas fueron comparadas con manuales técnicos de procesamiento de productos lácteos y se propuso mejoras de los métodos, supresión de actividades no productivas e implementación de nuevas actividades. Una vez establecidas las propuestas de mejora, se diseñó el nuevo proceso productivo para cada producto.

2.3. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO MEDIANTE SIMULACIÓN

Se comparó los resultados del modelo de línea de espera ($M/M/s_j/\infty/\infty$), el resultado de la simulación en simul8 y el tiempo de ciclo obtenido del estudio de métodos y medición del trabajo.

2.3.1. MODELO DE LÍNEA DE ESPERA EN SERIE M/M/s_j/∞/∞ PARA EL ÁREA DE FABRICACIÓN

Las líneas de producción de la empresa fueron evaluadas mediante el *modelo de línea de espera en serie M/M/s_j/∞/∞*, para estimar su capacidad productiva a partir de la propuesta de métodos de trabajo mejorados.

Se estableció: la tasa de arribo de clientes (λ) y la tasa de servicio (μ). Los resultados de λ y μ se utilizaron para determinar los parámetros del modelo de línea de espera: la intensidad de tránsito o factor de utilización (ρ), número de clientes esperados en el sistema (L), cantidad esperada de clientes en cola (L_q), cantidad de clientes en servicio (L_s), tiempo esperado que un cliente permanezca en el sistema (W), tiempo esperado que un cliente permanece en fila de espera a ser procesado (W_q) y el tiempo esperado que un cliente pasa en el servicio (W_s).

En cada línea de fabricación se determinó cual servidor o nodo tienen la menor tasa de servicio y se subordinó la producción a dicho nodo para evitar que un nodo se “amplifique” por deficiencia de su tasa de servicio.

Se calculó el porcentaje de incremento de producción comparando las cantidades en masa o volumen de la producción actual y la cantidad de producción en masa o volumen propuesto.

2.3.2. UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN SIMUL8.

Para realizar la simulación en el software simul8 se agrupó las actividades de fabricación en *servidores* o *nodos* bajo el criterio de que cada nodo fue una máquina que ejecuta varias actividades o que su tiempo de maquinado fue prolongado.

Se estableció la capacidad de maquinaria existente (a la capacidad registrada en manuales de operación se permitió un colchón de capacidad del 10%) y se configuró las tres líneas de fabricación de la empresa con los elementos que simulan llegadas de materia prima, almacenamiento temporal, operaciones y los

datos concernientes de: capacidad de maquinaria, tasa de servicio, tasa de llegadas, lotes de fabricación, número de operarios, tiempo de maquinado y tiempo disponible de la jornada laboral.

2.3.3. CORRIDA DE LA SIMULACIÓN

Para correr la simulación en el software SIMUL8 se ingresaron los datos correspondientes a los tiempos de arribo y cantidad de materia prima (input) que ingresa al sistema de producción, la tasa de servicio de cada nodo, la capacidad de producción de la maquinaria, la cantidad de productos semiprocados en cada nodo, la cantidad de productos procesados (output). Se espera de la corrida obtener los lotes de producción que se obtendrán en un periodo de tiempo.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE FABRICACIÓN

En la tabla 3.1 se detallan los valores en unidades monetarias (dólares) corrientes para los insumos que la empresa utiliza en su actividad productiva de derivados de leche vacuna (*insumos tangibles totales*) y el ingreso económico total por mes que la empresa percibe por ventas de sus productos (*producción tangible total*). Los datos presentados provienen de registros de la empresa en el año 2016 y están acorde al catálogo único de cuentas (CUC) expedida por la Superintendencia de Economía Popular y Solidaria del Ecuador.

En la tabla 3.2 se observan los *índices de inflación y deflación* nacionales emitidos por el Banco central del Ecuador en el año 2016 que servirán para transformar todos los datos de unidades monetarias corrientes a unidades monetarias constantes.

Tabla 3.1. Índices de inflación-deflación por mes

FECHA	VALOR
Enero-31-2016	$3,1 \times 10^{-3}$
Febrero-29-2016	$1,4 \times 10^{-3}$
Marzo-31-2016	$1,4 \times 10^{-3}$
Abril-30-2016	$3,1 \times 10^{-3}$
Mayo-31-2016	$0,3 \times 10^{-3}$
Junio-30-2016	$3,6 \times 10^{-3}$
Julio-31-2016	$-0,9 \times 10^{-3}$
Agosto-31-2016	$-1,6 \times 10^{-3}$
Septiembre-30-2016	$1,5 \times 10^{-3}$
Octubre-31-2016	$-0,8 \times 10^{-3}$
Noviembre-30-2016	$-1,5 \times 10^{-3}$
Diciembre-31-2016	$1,6 \times 10^{-3}$

Tabla 3.2. Valores en unidades monetarias (dólares) corrientes de la producción en el año 2016

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
INSUMO MANO DE OBRA												
Mano de obra indirecta												
Sueldo/mes	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380
IESS (patrono) 11,15%												
Total	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380
Mano de obra directa												
Sueldo/mes	1 098	1 098	1 098	1 098	1 098	1 098	1 098	1 098	1 098	1 098	1 098	1 098
IESS (patrono) 11,15%	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197
Horas extras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vacaciones (1)								183				
Préstamos	900											
TOTAL	2 195	1 295	1 295	1 295	1 295	1 295	1 295	1 478	1 295	1 295	1 295	1 295
TOTAL FACTOR HUMANO	2 575	1 675	1 675	1 675	1 675	1 675	1 675	1 858	1 675	1 675	1 675	1 675
INSUMO CAPITAL												
Capital fijo (depreciación/mes)												
Construcción / edificaciones	18 000	16 200	14 580	13 122	11 810	10 629	9 566	8 609	7 748	6 974	6 276	5 649
Maquinaria y equipo	45 000	40 500	36 450	32 805	29 525	26 572	23 915	21 523	19 371	17 434	15 691	14 121
Equipo de oficina	450	405	365	328	295	266	239	215	194	174	157	141
Equipos de computo	600	402	269	180	121	81	54	36	24	16	11	7
Flota y equipo de transporte	21 000	16 800	13 440	10 752	8 602	6 881	5 505	4 404	3 523	2 819	2 255	1 804
TOTAL	85 050	74 307	65 104	57 188	50 352	44 429	39 279	34 788	30 861	27 417	24 389	21 722
Capital de trabajo												
Disponible	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000
Inversión	0											
Deudores	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000

Tabla 3.1. Valores en unidades monetarias (dólares) corrientes de la producción en el año 2016 (continuación...)

INSUMOS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Inventario	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200
préstamo banco	24 231	23 308	22 385	21 462	20 539	19 616	18 693	17 770	16 847	15 924	15 001	14 078
TOTAL CAPITAL DE TRABAJO	45 431	44 508	43 585	42 662	41 739	40 816	39 893	38 970	38 047	37 124	36 201	35 278
TOTAL INSUMO CAPITAL	130 481	118 815	108 689	99 850	92 091	85 245	79 172	73 758	68 908	64 541	60 590	57 000
INSUMO MATERIALES												
TOTAL MATERIALES	10 409	14 404	16 853	16 320	19 148	16 624	16 857	16 115	16 570	17 770	10 996	14 260
INSUMO ENERGÍA												
TOTAL INSUMO ENERGÍA	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
TOTAL INSUMO OTROS GASTOS	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
INSUMO TANGIBLE TOTAL	143783	135 212	127 535	118 162	113 232	103 862	98 022	92 049	87 470	84 303	73 579	73 253
PRODUCCIÓN TANGIBLE TOTAL												
Ingresos por ventas	10 802	16 215	19 584	19 293	21 927	19 063	20 114	19 913	19 296	19 774	13 574	17 226
Ingresos por prestamos	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
TOTAL PRODUCCIÓN TANGIBLE TOTAL	10 877	16 290	19 659	19 368	22 002	19 138	20 189	19 988	19 371	19 849	13 649	17 301

En la tabla 3.3 se resumen los valores de producción tangible total, insumos utilizados en la producción (humano, capital, materiales, energía y otros gastos), Insumos tangibles totales, capital fijo y de trabajo para el año 2016, en unidades monetarias *constantes* (dólares), detallados por mes. Ejemplo de transformación de unidades monetarias corrientes a unidades monetarias constantes, para el mes de enero de la producción tangible total:

$$\text{Unidades monetarias constantes} = \frac{\text{Unidades monetarias corrientes}}{\text{índice de inflación o deflación (mes)}}$$

$$\text{Unidades monetarias constantes} = \frac{10\,802 \$}{3,131 \times 10^{-3}} = 3\,484\,595,16 \$$$

Aunque los valores se denoten altos, los índices reflejan las magnitudes de cambio y la dirección de la empresa, eliminando la percepción de valores altos.

Tabla 3.3. Valores de la producción en insumos utilizados en el año 2016 expresados en unidades monetarias constantes (dólares)

Factor	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Novien	Diciembre
Producción tangible total	3 484 595,16	11 582 403,57	13 988 371,43	6 223 437,10	73 089 016,67	5 295 209,72	21 999 366,67	12 445 315,63	12 864 183,33	24 717 243,75	9 049 566,67	10 766 453,13
Insumo Humano	830 782,90	1 196 733,57	1 196 733,57	540 460,32	5 584 756,67	465 396,39	1 861 585,56	1 161 516,88	1 116 951,33	2 094 283,75	1 116 951,33	1 047 141,88
Insumo Capital	42 090 645,16	84 867 857,14	77 634 885,71	32 209 518,65	306 970 172,42	23 679 132,78	87 969 144,98	46 098 951,11	45 938 482,60	80 675 907,79	40 393 627,92	35 625 310,25
Insumo Materiales	3 357 810,26	10 288 329,83	12 037 961,07	5 264 457,45	63 827 734,91	4 617 833,88	18 717 386,60	10 071 912,26	11 046 503,77	22 212 150,37	7 330 573,38	8 912 457,03
Insumo Energía	90 322,58	200 000,00	200 000,00	90 322,58	933 333,33	77 777,78	311 111,11	1 750 00,00	186 666,67	350 000,00	186 666,67	175 000,00
Insumo Otros Gastos	12 096,77	26 785,71	26 785,71	12 096,77	125 000,00	10 416,67	41 666,67	23 437,50	25 000,00	46 875,00	25 000,00	23 437,50
Insumos Tangibles Totales	46 381 657,68	96 579 706,26	91 096 366,07	38 116 855,77	377 440 997,33	28 850 557,49	108 900 894,92	57 530 817,74	58 313 604,37	105 379 216,92	49 052 819,30	45 783 346,65
Capital Fijo	27 435483,87	53 076 428,57	46 502 742,86	18 447 583,16	167 840 172,42	12 341 355,00	43 643 589,42	21 742 701,11	20 573 815,93	34 270 907,79	16 259 627,92	13 576 560,25
Capital de Trabajo	14 655 161,29	31 791 428,57	31 132 142,86	13 761 935,48	139 130 000,00	11 337 777,78	44 325 555,56	24 356 250,00	25 364 666,67	46 405 000,00	24 134 000,00	22 048 750,00

3.1.1. ÍNDICES DE PRODUCTIVIDAD

3.1.1.1. Índices de peso-insumos

En la tabla 3.4 se observan los *pesos e índices* de productividad para la empresa. Para obtener los pesos se aplica la ecuación 1.1 para cada peso y como ejemplo de cálculo para el insumo materiales del mes de enero del 2016:

$$WI_{ij} = \frac{I_M}{I_H + I_C + I_M + I_E + I_X}$$

$$W_M = \frac{3\ 357\ 810,26\ \$}{(830\ 782,90 + 42\ 090\ 645,16 + 3\ 357\ 810,26 + 90\ 322,58 + 12\ 096,77)\$} = 0,072$$

En este ejemplo, no se puede afirmar que a mayor cantidad de materiales utilizados mayor producción de bienes, porque los procesos productivos no son eficientes al 100 %. Es deseable que el “peso del insumo humano” se mantenga constante o disminuya y el peso del insumo material incremente su valor, con esto se podría decir que la eficiencia del insumo humano ha incrementado, es decir se produce más con la misma cantidad de insumo humano.

Tabla 3.4. Índices de pesos-insumos de productividad en el año 2016

Índices de productividad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Peso insumo Humano	0,018	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016
Peso insumo Capital	0,907	0,879	0,852	0,845	0,813	0,821
Peso insumo Materiales	0,072	0,107	0,132	0,138	0,169	0,160
Peso insumo Energía	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
Peso insumo Otros Gastos	$2,6 \times 10^{-4}$	$2,8 \times 10^{-4}$	$2,9 \times 10^{-4}$	$3,2 \times 10^{-4}$	$3,3 \times 10^{-4}$	$3,6 \times 10^{-4}$
Índices de productividad	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Peso insumo Humano	0,017	0,020	0,019	0,020	0,023	0,023
Peso insumo Capital	0,808	0,801	0,788	0,766	0,823	0,778
Peso insumo Materiales	0,172	0,175	0,189	0,211	0,149	0,195
Peso insumo Energía	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004
Peso insumo Otros Gastos	$3,8 \times 10^{-4}$	$4,1 \times 10^{-4}$	$4,3 \times 10^{-4}$	$4,4 \times 10^{-4}$	$5,1 \times 10^{-4}$	$5,1 \times 10^{-4}$

En la figura 3.1 se observa las curvas para los pesos *insumo* humano, capital y materiales

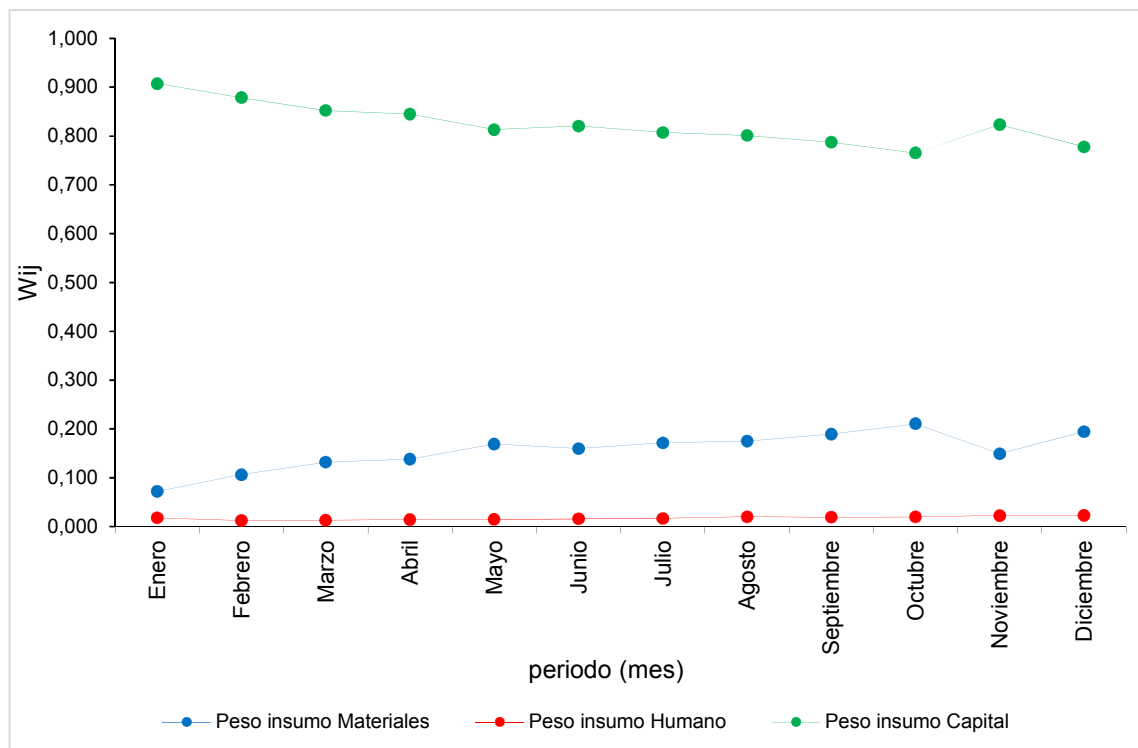


Figura 3.1. Pesos insumos humano, capital y materiales en la producción del año 2016

Se observa en la figura 3.1 que la “influencia” del peso materiales varía a lo largo del año 2016 mientras que peso capital disminuye. La tendencia del insumo materiales señala la necesidad de establecer las razones por la cuales incrementa.

Si son por razones de aumento de producción se entiende que este es paulatino y en una proporción baja, mientras tanto, efectos como la depreciación de edificaciones y maquinaria provocan que el insumo capital disminuya y se desperdicie los recursos existentes en planta.

Se observa que el insumo humano no tiene una influencia marcada pero este insumo es un gasto fijo de la empresa y debe ser mejorado en su utilización.

3.1.1.2. Índices de productividad parcial

En la tabla 3.5 se observan los datos correspondientes a los *índices de la productividad parcial* de los diferentes insumos. Estos índices muestran el comportamiento de las unidades monetarias que retornan por cada unidad monetaria invertida en la producción.

En la tabla 3.5 se observan los valores de índices de productividad parcial para cada insumo que fue utilizado en la producción para el año 2016 detallada por mes. Ejemplo de cálculo para la *productividad parcial* para el “insumo humano” para el mes de enero utilizando la ecuación 1.2:

$$PP = \frac{\text{Producción tangible total}}{\text{Insumo}}$$

$$PP_H = \frac{3\,484\,595,16 \$}{830\,782,90 \$} = 4,19$$

Tabla 3.5. Índices de productividad parcial en el año 2016

Índices de Productividad parcial	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Productividad Parcial Insumo Humano	4,194	0,103	0,086	0,087	0,076	0,088
Productividad Parcial Insumo Capital	0,083	0,041	0,045	0,108	0,011	0,147
Productividad Parcial Insumo Materiales	1,038	0,339	0,289	0,662	0,055	0,755
Productividad Parcial Insumo Energía	38,579	17,423	17,423	38,579	3,733	44,802
Productividad Parcial Insumo Otros Gastos	288,06	130,09	130,09	288,06	27,87	334,52
Índices de Productividad parcial	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Productividad Parcial Insumo Humano	0,085	0,093	0,087	0,085	0,123	0,097
Productividad Parcial Insumo Capital	0,040	0,076	0,076	0,043	0,086	0,098
Productividad Parcial Insumo Materiales	0,186	0,346	0,315	0,157	0,475	0,391
Productividad Parcial Insumo Energía	11,200	19,912	18,667	9,956	18,667	19,912
Productividad Parcial Insumo Otros Gastos	83,63	148,67	139,38	74,33	139,38	148,67

En la figura 3.2 se observa las curvas de la productividad parcial del insumo capital y del insumo humano. La producción parcial del insumo capital presenta una tendencia sinuosa, indicando que algunos meses cuando la tendencia asciende es porque la productividad ha incrementado (su eficiencia de transformación de materias primas a productos incrementa) teniendo un valor mínimo el mes de mayo con 0,011 y un valor máximo de 0,147 en el mes de junio. La productividad parcial del insumo humano señala una estabilidad durante el año, pero esta no influye en el comportamiento del insumo capital.

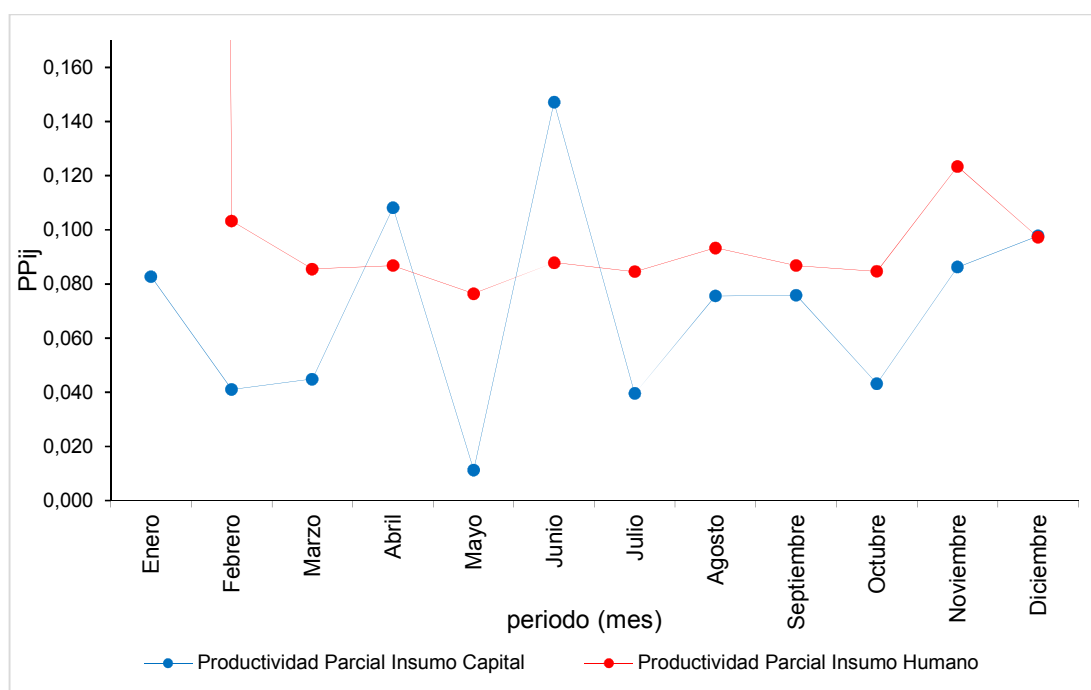


Figura 3.2. Índices de productividad parcial del insumo capital e insumo humano en el año 2016

En la figura 3.3 se observa las líneas de tendencia de la productividad parcial del insumo humano e insumo materiales. Se aprecia que la productividad parcial del insumo materiales tiene una tendencia similar a la del insumo capital (los dos insumos se encuentran estrechamente relacionados) pero en cuanto al insumo humano, nuevamente no tiene una tendencia estable y no tiene influencia sobre los demás insumos.

A través de las gráficas observadas de pesos y productividades parciales para los diferentes insumos utilizados en la producción se puede comprender que: la alta inversión en capital, el colchón de capacidad alto por parte de la maquinaria, la baja eficiencia en la transformación de materias primas y la tendencia similar entre insumo humano y producción tangible total, son las áreas donde se debe enfocar los esfuerzos para mejorar la productividad.

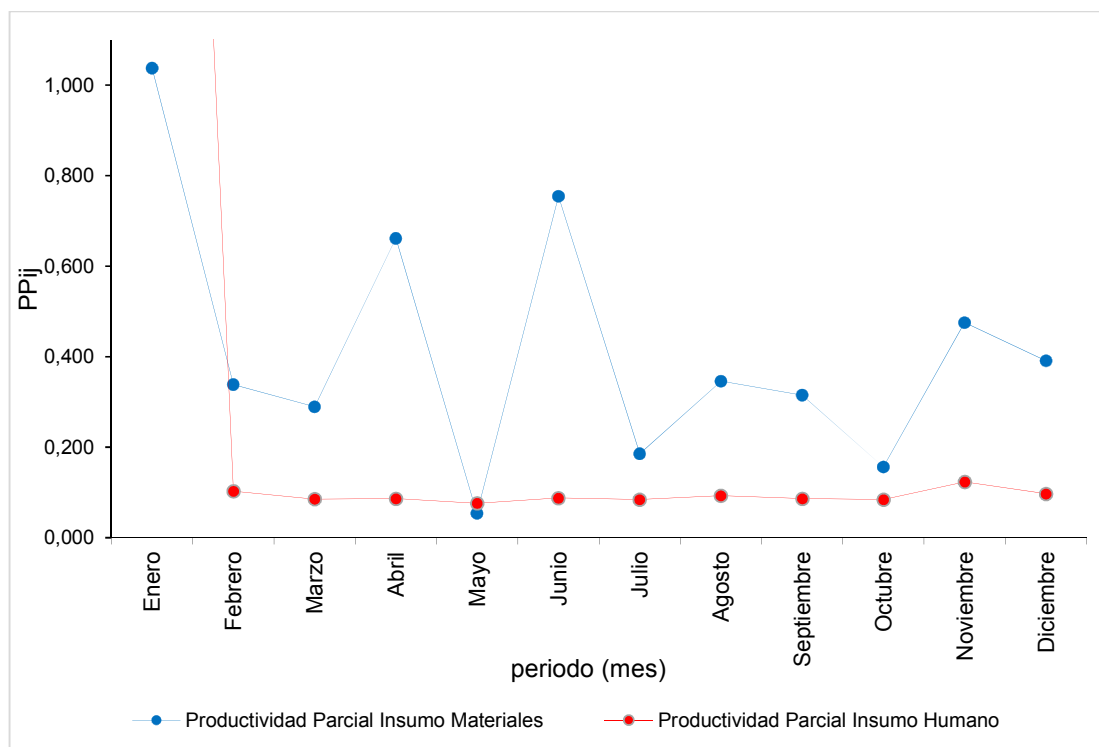


Figura 3.3. Índices de productividad parcial del insumo materiales del insumo humano en el año 2016

Se debe enfocar los esfuerzos en incrementar el grado de utilización de maquinaria (reducir los amplios colchones de producción) y mejorar la transformación de materias primas en bienes (mejorar los métodos de trabajo).

3.1.2. EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD TOTAL EN PERIODOS SUCESIVOS

3.1.2.1. Periodo base

Se calculó una media aritmética de *producción tangible total* (excluyendo el mes de mayo con el fin de evitar una variabilidad elevada).

En la figura 3.4 se observa que el periodo base es el mes de agosto.

Media 12 037 831,47 \$
Desviación estándar 6 540 907,517 \$

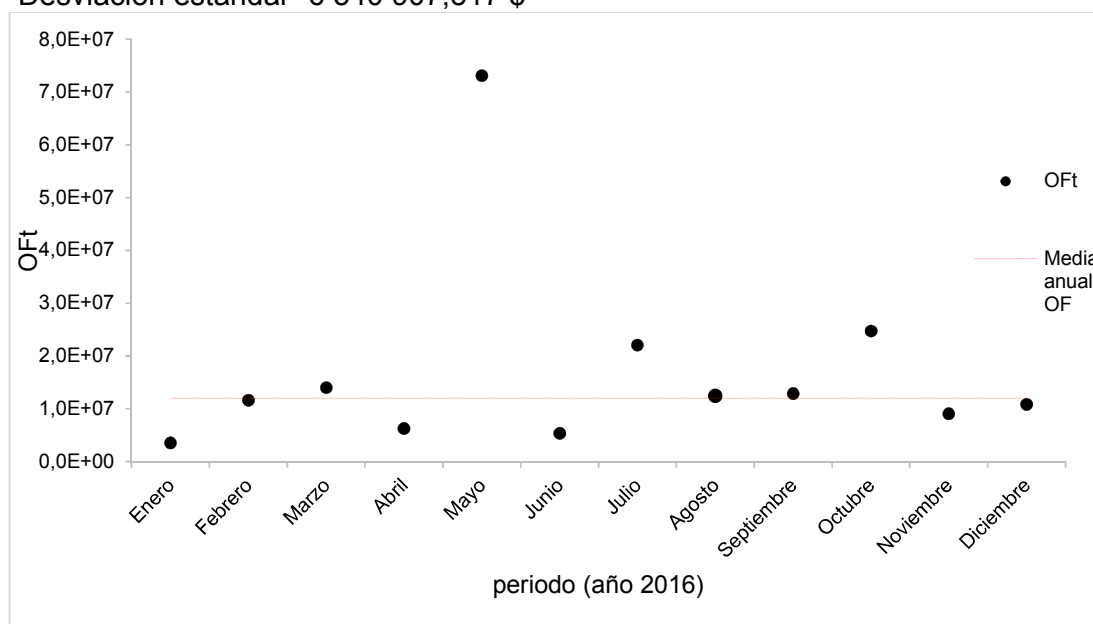


Figura 3.4. Determinación del periodo base para el año 2016

3.1.2.2. Cálculos de TPF_t , TPF_0 y $(TPIF)_t$, ΔTP_{it}

El periodo base escogido fue el de mes de agosto y su valor de TPF_0 se calcula utilizando la ecuación 1.8.

$$TPF_0 = \frac{OF_0}{IF_0}$$

$$TPF_0 = \frac{12\,445\,315,63 \$}{57\,530\,817,74 \$} = 0,22$$

Para calcular cada valor de TPF_t se utiliza la ecuación 1.7, por ejemplo, para el mes de enero se tiene:

$$TPF_t = \frac{OF_t}{IF_t}$$

$$TPF_t = \frac{3\,484\,595,16 \$}{46\,381\,657,68 \$} = 0,08$$

El cálculo de $(TPIF)_t$ se lo realiza con la ecuación 1.9, por ejemplo, para el mes de enero se tiene:

$$(TPIF)_t = \frac{TPF_t}{TPF_0}$$

$$(TPIF)_{\text{enero}} = \frac{0,08}{0,22} = 0,35$$

El cálculo de ΔTP_{it} se utiliza la ecuación 1.10, por ejemplo, el cálculo de la variación para el periodo actual $t=1$ (enero) se resta el periodo base $t=0$, cuando $t=2$ se resta t_2-t_1 , cuando $t=3$, se resta $t_3 - t_2$, y así sucesivamente.

$$\Delta TP_{it} = TP_{it} - TP_{it-1}$$

$$\Delta TP_{\text{enero}} = TP_{\text{enero}} - TP_{\text{agosto(periodo base)}}$$

$$\Delta TP_{\text{enero}} = 0,08 - 0,22 = -0,14$$

$$\Delta TP_{\text{febrero}} = 0,12_{\text{febrero}} - 0,08_{\text{enero}} = 0,04$$

También se puede calcular un ΔTP_{it} manteniendo constante el periodo base, lo que dará como resultado la variación respecto a este periodo de referencia.

Para calcular el porcentaje de variación de la productividad total en el periodo t se utiliza la ecuación 1.11, como ejemplo para el periodo 2 (febrero se tiene) se tiene:

$$PVPT_{it} = \left(\frac{PT_t}{PT_0} - 1 \right) * 100$$

$$PVPT_{\text{febrero}} = \left(\frac{0,12_{\text{febrero}}}{0,08_{\text{enero}}} - 1 \right) * 100 = 50\%$$

También se puede calcular el porcentaje de variación de la productividad total de cada periodo t, con base al periodo base t₀.

En la tabla 3.6 se observan los resultados de TPF_t, TPF₀ y (TPIF)_t, ΔTP_{it}. Se observa que los valores de la productividad total de la firma (TPF) el mes de enero tiene el menor valor de 0,08 (debido a que no hubo producción de algunos productos) y el mayor valor es del mes de diciembre. Estos factores son la relación entre la producción tangible total (OF = total current-period output of the firm) y los insumos tangibles totales (IF=total current-period input used by the firm) y marcan la eficiencia de la planta. Aunque el mes de mayo tiene el mayor registro de ventas su valor de PTF_t está por debajo del periodo base, es decir el mes de mayo la planta no fue eficiente en la transformación de la materia prima en productos. El mes de diciembre tiene el mayor valor de PTF_t siendo el periodo más eficiente de la empresa.

Los valores de índice productividad total de la empresa (TPIF)_t señalan que tan eficiente ha sido la empresa respecto al periodo base, y se observa que desde los meses de enero a julio los valores están por debajo del periodo base, solo los meses de septiembre, octubre y diciembre superan este valor referencial de producción, es decir más de la mitad del año 2016 la empresa ha tenido una eficiencia por debajo de la media de producción (un punto escogido como referencia al periodo base).

Respecto al porcentaje de variación de productividad total actual en el periodo t , ($PVPT_{it}$) en periodos sucesivos se tiene una variación elevada entre el mes de enero a febrero del ~60 %, y variaciones que pueden ir del 28,04 % de incremento (variación positiva) hasta -21,35% de decremento. Esta variación elevada demuestra que los procesos productivos en la empresa no están estandarizados y que no existe una meta fijada de producción.

Respecto a la variación con referencia al periodo base se tiene que solo el mes de octubre rebasa la media de producción anual. Es de importancia identificar a profundidad cuales son las razones de la alta variabilidad de la producción.

Tabla 3.6. Valores de TPF_t , TPF_0 y $(TPIF)_t$, ΔTP_{it} y $PVPT_{it}$ respecto a periodos sucesivos y respecto al periodo base

Parámetro / mes (periodo)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
TPF_t	0,08	0,12	0,15	0,16	0,19	0,18	0,20	0,22	0,22	0,23	0,18	0,24
$(TPIF)_t$	0,35	0,55	0,71	0,75	0,90	0,85	0,93	1,00	1,02	1,08	0,85	1,09
ΔTP_{it} (periodos sucesivos)	-0,14	0,04	0,03	0,01	0,03	-0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	-0,05	0,05
ΔTP_{it} (respecto al periodo base)	-0,14	-0,10	-0,06	-0,05	-0,02	-0,03	-0,01	0,00	0,00	0,02	-0,03	0,02
$PVPT_{it}$ (periodos sucesivos)	-	59,63	28,04	6,33	18,60	-5,22	10,07	7,08	1,98	6,32	-21,35	27,47
$PVPT_{it}$ (respecto al periodo base)	-65,27	-44,56	-29,02	-24,52	-10,48	-15,16	-6,62	0,00	1,98	8,43	-14,72	8,71

En la figura 3.5 se observa que la variación entre periodos continuos (ΔTP_{it}) tiene una tendencia estable, pero al compararla con el porcentaje de variación de la productividad (ΔTP_{it}) se observa una tendencia descendente demuestra que a través del año 2016 la empresa ha descendido el nivel de productividad.

La media del valor de TPF_t es 0,18 y la desviación estándar es 0,045, por lo tanto, su coeficiente de variación (cv) es $cv = \frac{\bar{x}}{\sigma} = 0,25$. Se considera que la productividad de la empresa es estable durante el año 2016.

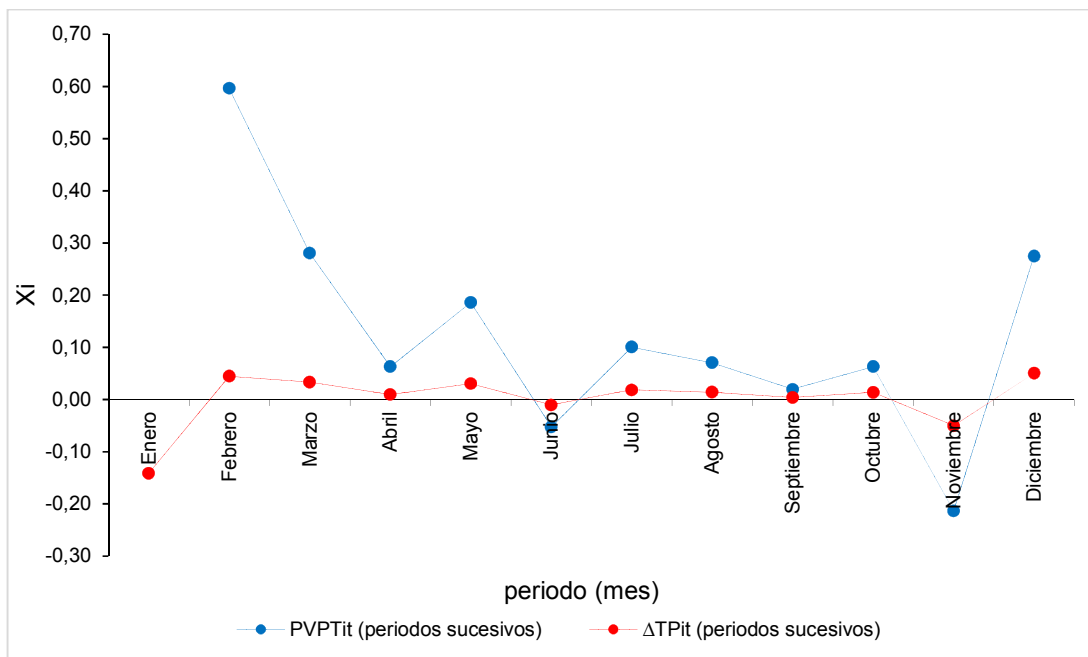


Figura 3.5. Valores de $PVPT_{it}$ y ΔTP_{it}

En la figura 3.5 se observa que la tendencia de ΔTP_{it} se considera estable con el mes de agosto escogido como periodo base que se ubica en el valor de 0 en la gráfica.

La caída de la productividad en el mes de noviembre señala que la empresa puede tener “retrocesos” en su productividad y descender notoriamente. El porcentaje de variación $PVPT_{it}$ señala una tendencia similar a la de ΔTP_{it} . Los periodos pueden tener fluctuaciones elevadas y denotar que el volumen de producción no tiene una cantidad de producción fija por mes.

Si el periodo base se tomara como un objetivo anual de producción se concluiría que le empresa no alcanzó ni supero el nivel esperado de producción anual.

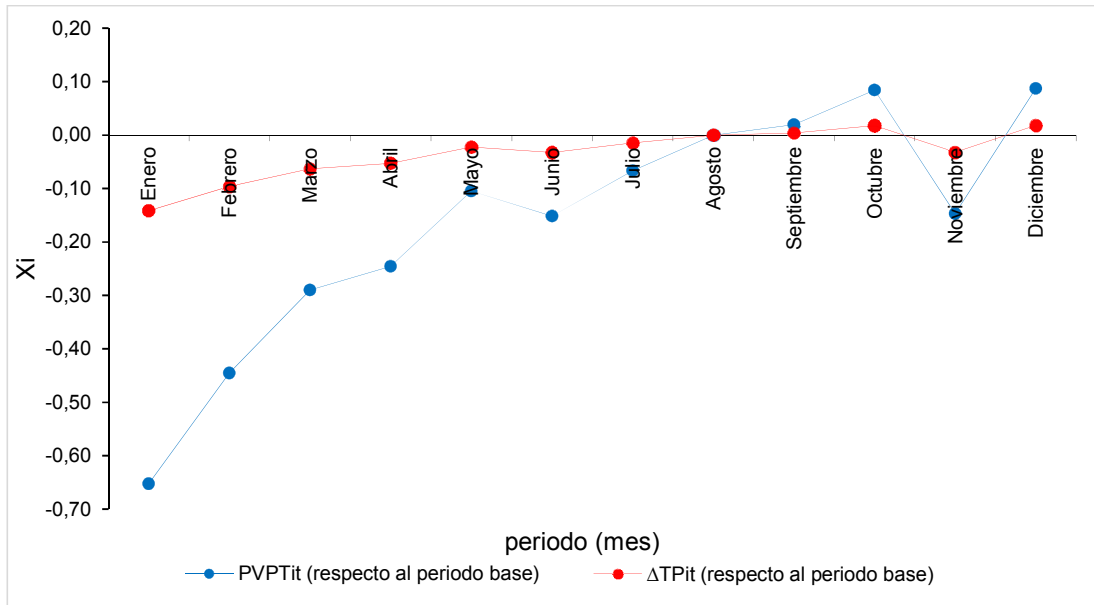


Figura 3.6. Valores de $PVPT_{it}$ y TP_{it} respecto al periodo base

3.2. ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN EN EL ÁREA DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE LA EMPRESA

A través de un gráfico de Pareto (80-20) se aprecia en la figura 3.7 que el producto queso aporta con el mayor porcentaje de ingresos económicos para la empresa, seguido del producto yogur.

El gráfico también denota que al ser el queso el “producto estrella” de la empresa se debe enfocar los esfuerzos en mejorar su productividad, procesamiento, métodos de fabricación, y rendimiento.

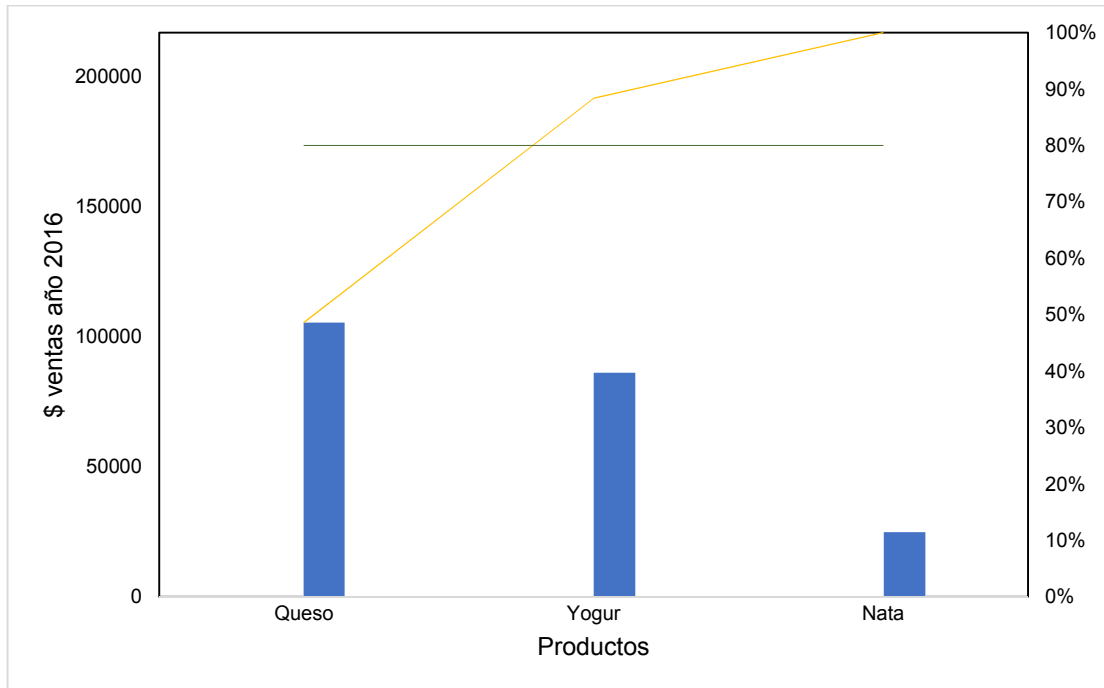


Figura 3.7. Diagrama Pareto 80-20 para ingresos económicos por producto de la empresa en el año 2016

En la figura 3.8 se representan los datos históricos de la venta de los tres productos manufacturados por la empresa en el año 2016.

Las tendencias de incremento o descenso de ventas de los productos, en especial, se deben a las actividades estudiantiles. En periodos de clases las ventas incrementan en especial del yogur que se envía a los estudiantes como refrigerios y en periodo de vacaciones incrementa la venta de nata y queso por el incremento del turismo (pero disminuye la venta de yogur). Aunque esta tendencia no es fija y tampoco asegura que se constante.

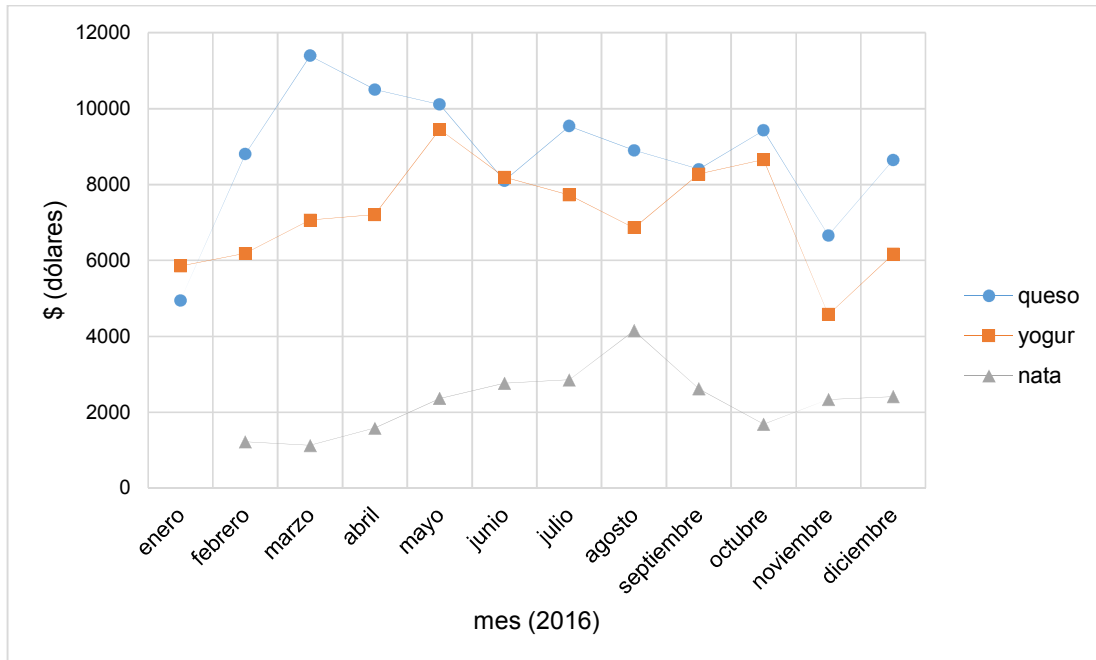


Figura 3.8. Ingresos económicos de los tres productos en el año 2016

Se observa que la tendencia de ventas para el producto queso llega a su mayor valor en los meses de marzo, abril y mayo posteriormente tiene una tendencia a la baja que se prolonga hasta el final del año, siendo el mes de noviembre el de menor ventas de queso, excluyendo el mes de enero donde no se produjo (pero él no producir también genera pérdidas económicas).

En el caso del producto yogur se tiene una tendencia sinuosa que aumenta desde enero hasta mayo (5 meses) y desciende de mayo hasta agosto (3 meses) y el mes de diciembre que son los meses de vacaciones estudiantiles de escuelas y colegios.

Con la misma variable “actividades estudiantiles” los meses de enero a mayo y agosto a septiembre se incrementan las ventas de yogur. Se identifica que las “actividades estudiantiles” es un factor que determina el incremento de ventas de yogur porque este producto, en especial, es enviado para alimentación de los estudiantes por parte de padres de familia.

Por otra parte, son los meses de vacaciones estudiantiles donde incrementa las

ventas del producto nata (en periodo de vacaciones el turismo incrementa).

En el caso del producto “nata” empezó su producción a principios de febrero del 2016 y sus ventas van en incremento desde febrero hasta el mes de agosto, siendo este último mes el de mayores ventas. El mes de agosto corresponde al periodo de vacaciones estudiantiles y en consecuencia el turismo incrementa en la ciudad de Cayambe.

La “nata” es un producto nuevo que salió al mercado de Cayambe de manera artesanal que se expende en conjunto con otros productos típicos de la zona como los bizcochos. La nata tiene la ventaja que su obtención es sencilla y su precio elevado.

Hacia el mes de septiembre y octubre caen las ventas de nata y su tendencia se estabiliza en los meses de noviembre y diciembre. Los productores de zona tienen por costumbre “copiar” los productos que otras empresas producen y que han dado resultado. En la actualidad se ha incrementado los productores de nata. Algunos productores, inclusive, han dejado de producir otros productos como el queso para desviar su actividad económica a la producción de nata.

La figura 3.9 refleja también un fenómeno que es apreciado por los propietarios de la empresa, donde en los últimos meses del año las ventas cayeron considerablemente por el incremento de competencia de otras empresas y las condiciones económicas del mercado y del país.

Hacia el final del año la competencia generó que los precios sean reducidos y las pérdidas económicas fueron para todos los productores en especial para el producto queso.

El desconocimiento de cálculos de costos de operación hizo que otros productores que compiten por el mismo mercado, expendan sus productos a precios que no justifican los insumos consumidos en su producción. Por ejemplo, se expendían

quesos de 500 g en 80 ctvs., un litro de yogur hasta en 50 ctvs., y fundas de 200 mL de yogur en 15 ctvs.

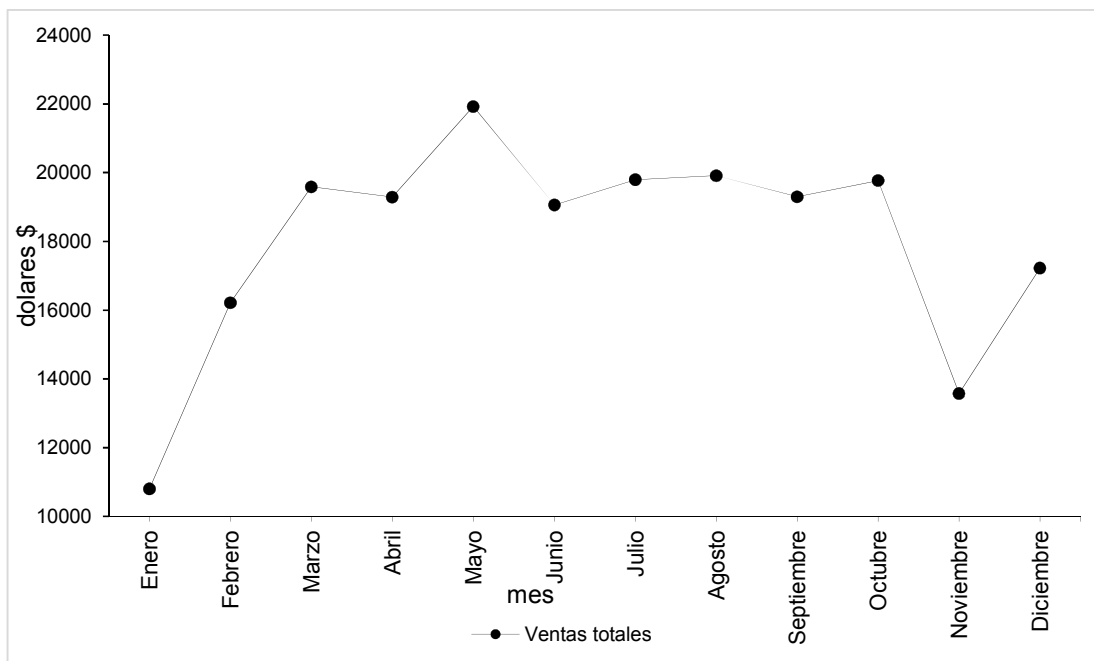


Figura 3.9. Ingresos económicos por ventas totales de productos en el año 2016

En la figura 3.9 se observa que el ingreso económico por ventas totales de los tres productos de la empresa tiene una tendencia estable en la mayor parte del año. El mes de mayo tiene el mayor valor de ventas de 22 002 \$ y el mes de enero el menor con 10 877 \$. Como se observó en la sección anterior que un periodo tenga valores elevados de ventas por mes no quiere decir que sea más eficiente.

Los meses de “estabilidad” corresponden a los meses desde marzo a octubre, pero esta tendencia no significa que se ha llegado al límite máximo de producción que físicamente la empresa puede alcanzar.

3.2.1. PRODUCTO QUESO

Los datos disponibles de la producción de queso se muestran en la tabla 3.9, se puede observar que existen días donde no se produce y se marcan con “0”. Por el

origen y naturaleza de la materia prima que utilizan las empresas lácteas no es posible detener la producción (la producción de leche del ganado vacuno es diaria durante todo el año).

Una jornada laboral marcada con “0” es un dato de importancia que afecta a la productividad de la empresa como se verá más adelante.

Se debe tomar en cuenta que los datos de *kilogramos queso producido* no son el resultado de experimentos controlados que definan su alcance y un resultado esperado sino corresponden a datos históricos recolectados con la restricción de disponibilidad de los mismos.

Tabla 3.7. Producción de kilogramos de queso en el año 2016

días/mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	0	83	79	87	78	75,5	101,5	52	51,5	137	58	56
2	0	85,5	96	76,5	77	72,5	113,5	46,5	164,625	133	0	84,13
3	0	81	80	71	69	128,5	129,5	116,5	113	69	0	94,5
4	0	84,5	120,875	72	69,5	149	32	67	128,5	45,5	0	96
5	0	125,75	140	149	71	0	63,75	96	74	50,5	0	57,5
6	0	136,5	0	159,5	48,125	72,5	68,5	113,5	37,5	0	53	46
7	0	0	72,5	0	149	14	56,5	123	0	42	66	82,75
8	0	112	64,5	89,5	140,5	48,5	110	53,5	45,5	139,25	12,5	45
9	0	19,5	70,5	148	66	0	133	40	110,5	142	101,5	87
10	0	75	66,5	151	75	41,5	129,5	26	137,5	72,5	67,5	97
11	0	82,5	108,75	44,5	53,5	159,5	32	55,5	138	67	74,5	86
12	0	45	139,5	90	75,5	89,5	35,5	100	62,5	65,625	100,5	59
13	0	144,5	0	82,5	103,5	53,5	55	122,5	30,5	36,25	95,5	45
14	0	0	71,5	69	138	73	56	127	64	77,5	103,5	61
15	12,5	129,5	69	128,75	54,5	83	104	51,5	37,5	72,5	50,5	49
16	0	77,5	120,5	145,5	63,375	0	124,5	49	131	218,5	55,5	99,13
17	0	78,5	69	143	74,5	163,5	125,5	74	69	77,2	38	169
18	12,5	79,5	141	67	60,5	127	28,5	59,5	135	54	86,25	117,5
19	12,5	129,375	145	67	70,5	126	48	98,5	71,5	64,5	96	39
20	12,5	125,5	150	67	148,625	11	43,25	114	34	0	92,5	45,5
21	12,5	0	119,5	59	81,5	110	52,5	119	47	0	50,5	70,5
22	0	87,5	174,5	121	220,5	80,5	100,5	57	0	0	53,5	71,5
23	0	74,5	180	147,5	73	116,5	127	42,5	33,5	61,5	86	100,5

Tabla 3.7. Producción de kilogramos de queso en el año 2016 (continuación...)

días/mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
24	0	91	61,5	68	75	110	111,5	59,5	125,75	476	39,5	94,5
25	12,5	129,5	177	135	74	132,5	28,5	57	0	78	79	110,5
26	0	110	132,5	52,5	53	34,5	53,5	77,5	61,5	68	87,5	63,5
27	12,5	149	135,5	48	88,5	63,5	105,75	42,5	126	0	96,5	44,5
28	12,5	0	67	71	114,5	0	57,5	67,5	82,5	122	94	50,5
29	12,5	68,5	65	118	147	21,5	103,5	124,5	55,5	137,5	41	47
30	0	-	69	143	55,5	56	123,5	53	128	67,5	38	89
31	0	-	125,5	-	74,5	-	77	149	-	12,5	-	123

En la tabla 3.8 se observan las medidas de tendencia central para el conjunto de datos de la producción de queso en el año 2016. Los días donde no hubo producción, datos en “0”, se considera que no deben ser omitidos debido a que un “0” es representativo en el sentido que la empresa continua con pagos de activos pasivos como el pago de salarios, préstamo bancario, insumos de proveedores, entre otros. Estos gastos se mantienen, aunque no haya producción.

Tabla 3.8. Medidas de tendencia central para la producción de queso medida en kilogramos en el año 2016

Media	75,34
Error estándar	2,64
Mediana	71
Moda	0
Desviación estándar	50,52
Varianza	2552,928
Rango	476
Máximo	476
Mínimo	0
Suma	27499,825
Conteo	365

En la tabla 3.9 representa la tabla de frecuencias para la producción de queso medido en kilogramos del año 2016, con 40 clases para determinar qué cantidad de queso es producida con mayor frecuencia. Se puede determinar que la clase 1, correspondiente al valor de cero “no hubo producción” su valor de 12% de frecuencia relativa similar al de los días activos (13%), este valor señala que la

planta durante el año de estudio produjo un 88% de del tiempo y un 12% pasó inactiva.

La frecuencia más alta, entre los días activos de producción, es la clase número siete con una frecuencia del 13% de ocurrencia, es decir que durante al año 2016 se produjo queso entre 71,4 y 83,3 kg de queso. Su marca de clase es 77,35 kg que se podría tomar como una “*media de producción de los días activos*”.

Tabla 3.9. Tabla de frecuencia de producción de queso en el año 2016 (variable kg de queso)

Clase	LI	LS	MC	FA	FR	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
1	0,00	11,90	5,95	45	0,12	21	238,00	249,90	243,95	0	0
2	11,90	23,80	17,85	14	0,04	22	249,90	261,80	255,85	0	0
3	23,80	35,70	29,75	10	0,03	23	261,80	273,70	267,75	0	0
4	35,70	47,60	41,65	26	0,07	24	273,70	285,60	279,65	0	0
5	47,60	59,50	53,55	43	0,12	25	285,60	297,50	291,55	0	0
6	59,50	71,40	65,45	45	0,12	26	297,50	309,40	303,45	0	0
7	71,40	83,30	77,35	46	0,13	27	309,40	321,30	315,35	0	0
8	83,30	95,20	89,25	20	0,05	28	321,30	333,20	327,25	0	0
9	95,20	107,10	101,15	20	0,05	29	333,20	345,10	339,15	0	0
10	107,10	119,00	113,05	19	0,05	30	345,10	357,00	351,05	0	0
11	119,00	130,90	124,95	30	0,08	31	357,00	368,90	362,95	0	0
12	130,90	142,80	136,85	20	0,05	32	368,90	380,80	374,85	0	0
13	142,80	154,70	148,75	16	0,04	33	380,80	392,70	386,75	0	0
14	154,70	166,60	160,65	4	0,01	34	392,70	404,60	398,65	0	0
15	166,60	178,50	172,55	3	0,01	35	404,60	416,50	410,55	0	0
16	178,50	190,40	184,45	1	0,0027	36	416,50	428,40	422,45	0	0
17	190,40	202,30	196,35	0	0	37	428,40	440,30	434,35	0	0
18	202,30	214,20	208,25	0	0	38	440,30	452,20	446,25	0	0
19	214,20	226,10	220,15	2	0,01	39	452,20	464,10	458,15	0	0
20	226,10	238,00	232,05	0	0	40	464,10	476,00	470,05	1	0,0027

Los datos de la tabla 3.9 se grafican en la figura 3.10 donde en el histograma con 40 clases se puede tomar como una “media entre los días activos” de 77,35 kg (pero el promedio diario de producción de kilos de queso es 61,7 kg/día donde se

toman en cuenta los días sin producción). También se puede observar que los días donde no se produce (marcados con 0) es un dato con frecuencia alta similar a la frecuencia máxima de producción de la empresa.

Se tiene un dato extremo (atípico) de 470,05 kg (reportado el 24 de octubre del 2016), se desconocen las causas de este dato extremo, posiblemente se deba a productos terminados almacenados y despachados en un mismo día o un pedido especial de última hora donde se utilizó un gran porcentaje de la capacidad total del área de producción de queso. Se puede establecer que la frecuencia de la inactividad de la empresa coincide con la frecuencia de producción más alta reportada.

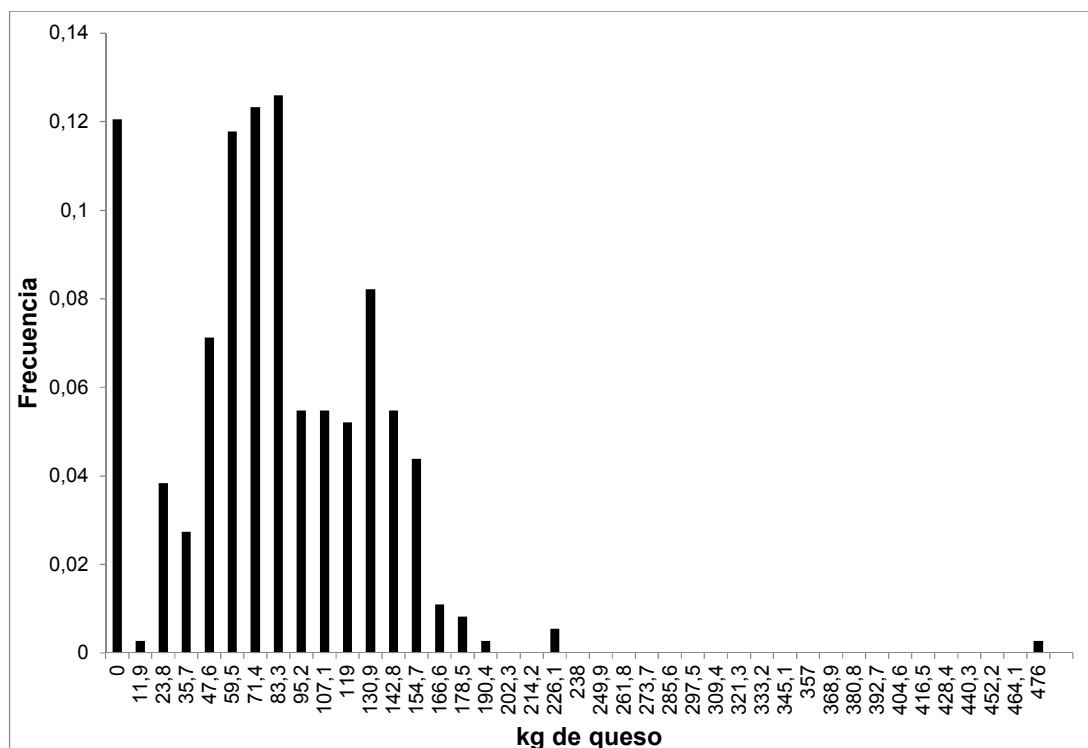


Figura 3.10. Histograma para la producción en kilogramos de queso en el año 2016

En el año 2016 se produjeron ~27 500 kg del producto queso. En la figura 3.11 los datos de producción anual de queso son representados en un gráfico de dispersión y se observa que tienen una variación elevada.

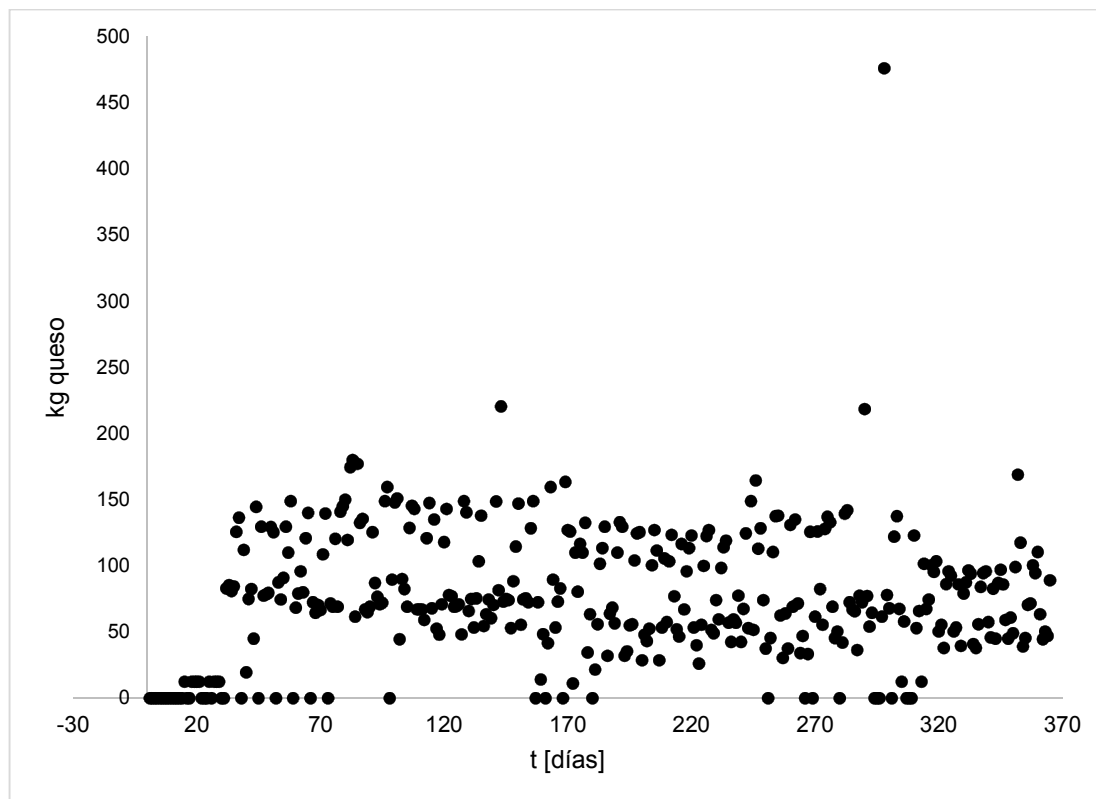


Figura 3.11. Diagrama de dispersión de kg de queso producidos en el 2016

Para el caso del total de kilogramos de producción mediante un análisis de ANOVA y prueba de Tukey, con un porcentaje de significancia de 95% ($\alpha = 0,05$) se determina qué periodos son los que tienen una diferencia significativa en cuanto a la producción.

La tabla 3.10 muestra el análisis de varianza de la producción de queso, donde la hipótesis es:

- H_0 : Las medias de producción de cada mes son iguales
 H_1 : Las medias de producción de cada mes son diferentes

Se determina que el valor de probabilidad (p value) $2,56E-05 < F(3,89)$, se rechaza H_0 y por lo tanto existen diferencias significativas en cuanto a la media de producción de queso en el año 2016.

Tabla 3.10. Análisis de varianza para la producción de queso

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Enero	31	112,50	3,63	33,27
Febrero	29	2 404,63	82,92	2 007,78
Marzo	31	3 111,13	100,36	2 129,29
Abril	30	2 870,75	95,69	1 717,51
Mayo	31	2 742,63	88,47	1 516,59
Junio	30	2 213,00	73,77	2 550,67
Julio	31	2 530,75	81,64	1 328,57
Agosto	31	2 434,50	78,53	1 132,47
Septiembre	30	2 295,38	76,51	2 218,97
Octubre	31	2 586,83	83,45	7 942,46
Noviembre	30	1 816,75	60,56	1 132,15
Diciembre	31	2 381,00	76,81	890,31

Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	208 561,429	11	18 960,13	9,240	1,3525E-14	1,815
Dentro de los grupos	726 365,582	354	2 051,88			
Total	934 927,010	365				

Para determinar cuáles periodos (meses) son los que tienen una diferencia significativa en cuanto a la producción de queso se realiza una prueba de contraste mediante la prueba de Tukey a un porcentaje de significancia del 95% ($\alpha = 0,05$).

Se observa en la prueba de Tukey de la tabla 3.11 que la diferencia de medias de los diferentes periodos comparado con el valor HSD son los meses de enero-julio, octubre, mayo, abril, marzo y el mes de noviembre-marzo.

Los valores estadísticos señalan que el periodo de enero es el que tiene una producción significativamente inferior a los periodos mencionados.

Tabla 3.11. Prueba de Tukey

La diferencia honestamente significativa (HSD)	38,06
$Q\alpha$	4,62
cuadrado del error medio (MSe)	2035,6
n	30

	Enero	Noviembre	Junio	Septiembre	Diciembre	Febrero	Agosto	Julio	Octubre	Mayo	Abril	Marzo
Enero	x	15,5	28,7	31,4	34,3	34,8	36,1	40,0	41,2	49,9	50,6	62,2
Noviembre		x	13,2	16,0	18,8	19,3	20,6	24,5	25,7	34,4	35,1	46,7
Junio			x	2,7	5,6	6,1	7,4	11,2	12,4	21,1	21,9	33,5
Septiembre				x	2,9	3,4	4,7	8,5	9,7	18,4	19,2	30,8
Diciembre					x	0,5	1,8	5,7	6,9	15,6	16,3	27,9
Febrero						x	1,3	5,1	6,3	15,0	15,8	27,4
Agosto							x	3,9	5,1	13,8	14,5	26,1
Julio								x	1,2	9,9	10,7	22,3
Octubre									x	8,7	9,5	21,1
Mayo										x	0,8	12,4
Abril											x	11,6
Marzo												x

3.2.1.1. Análisis de la producción del producto queso por tipo de presentación

Queso de 125 g

En el año 2016 se produjeron 19 610 unidades de queso de 125 g con un promedio de producción de 1 634 unidades por mes. Se debe tomar en cuenta que los productos no son fabricados a diario y en ciertas ocasiones la materia prima (leche vacuna) es vendida a otras plantas procesadoras cuando se decide no producir. Los datos de producción del producto queso de 125 g se muestra en la tabla 3.12.

Tabla 3.12. Unidades de producción de queso de 125 g en el año 2016

Periodo	u mensuales	Promedio mensual
Enero	900	29,03
Febrero	1 793	61,83
Marzo	2 061	66,48
Abril	1 770	59,00
Mayo	1 445	46,61
Junio	1 600	53,33
Julio	1 370	44,19
Agosto	3 049	51,29
Septiembre	1 459	48,63
Octubre	1 453	46,87
Noviembre	1 550	51,67
Diciembre	1 160	37,42
Promedio anual	1 634,2	49,70
Unidades totales	19 610	

La prueba t de student bilateral para una media, con $\alpha=0.05$, se trata de probar la hipótesis:

$H_0: \mu \geq 0$ (la media aritmética de cada mes supera la media anual de producción de unidades de queso de 125 g).

$H_1: \mu \leq 0$ (la media aritmética de cada mes no supera la media anual de producción de unidades de queso de 125 g).

Se rechaza H_0 y se comprueba que el promedio de producción mensual de queso de 125 g es menor o no supera el promedio de producción anual de este producto.

En la tabla 3.13 se observan los valores de la prueba t.

Tabla 3.13. Resultados de cálculo para la prueba de t student para el producto queso 125 g

Var	u mensuales
α	0,05
n	12
Media	49,70
DE	10,28
LI (95)	43,17
LS (95)	56,23
T	16,75
p (Bilateral)	<0,000 1

En la figura 3.12 se observa el valor de mayor y menor de producción: respectivamente son el mes de agosto con 3 049 unidades y enero de 900 unidades. En cuanto al producto queso de 125 g la mayor parte del año su producción está por debajo del promedio anual.

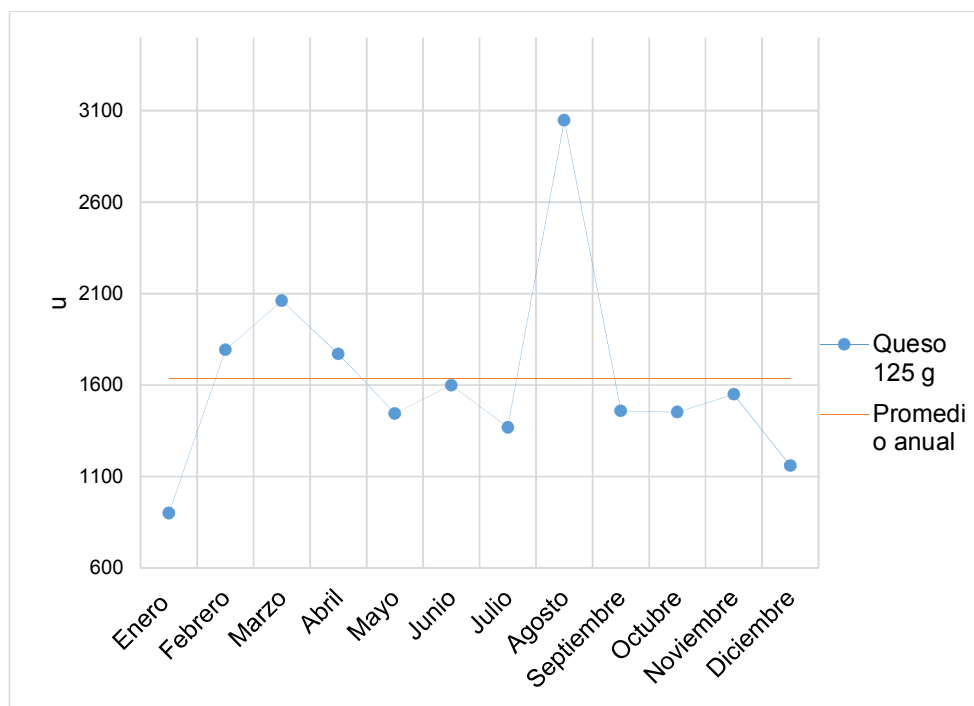


Figura 3.12. Producción de quesos de 125 g durante el año 2016

Queso 400 g

En el año 2016 se produjeron 2 823 unidades de queso de 400 g con un promedio de producción mensual de 235 unidades. Los datos de producción del producto queso de 400 g se muestra en la tabla 3.14.

Tabla 3.14. Producción de queso de 400 g en el año 2016

Periodo	u mensuales	Promedio mensual
Enero	135	4,50
Febrero	340	12,41
Marzo	360	11,61
Abril	300	10,00
Mayo	210	6,13
Junio	200	6,67
Julio	170	5,48
Agosto	470	7,10
Septiembre	250	8,33
Octubre	168	5,42
Noviembre	155	5,17
Diciembre	65	2,10
Promedio anual	235,25	7,08
Unidades totales	2 823	

La prueba t de student bilateral para una media, con $\alpha = 0,05$, se trata de probar la hipótesis:

$H_0: \mu \geq 0$ (la media aritmética de cada mes supera la media anual de producción de unidades de queso de 400 g)

$H_1: \mu \leq 0$ (la la media aritmética de cada mes no supera la media anual de producción de unidades de queso de 400 g)

Se rechaza H_0 y se comprueba que el promedio de producción mensual de queso de 400 g es menor o no supera el promedio de producción anual de este producto. En la tabla 3.15 se observan los valores de la prueba t.

Tabla 3.15. Resultados de cálculo para la prueba de t de student para el producto queso 400 g

Var	u mensuales
α	0,05
n	12
Media	7,08
DE	3,02
LI (95)	5,16
LS (95)	9,00
T	8,11
p (Bilateral)	< 0,000 1

En la figura 3.13 se muestran la producción mensual de queso de 400 g producidas en el año 2016. Se observa que los picos máximos y mínimos respectivamente son: el mes de agosto con 470 unidades y el mes de enero con 135 unidades.

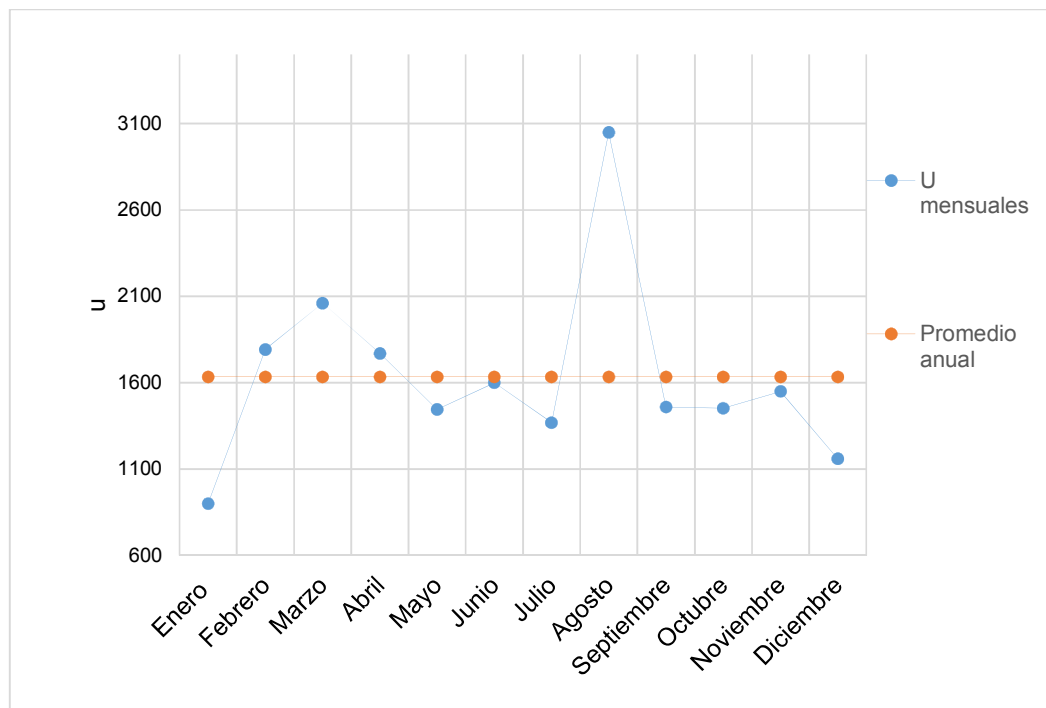


Figura 3.13. Producción de quesos de 400 g para el año 2016

Queso de 500 g

En el año 2016 se produjeron 50 929 unidades de queso de 500 g con un promedio mensual de 4 580 unidades. En la tabla 3.16 se observa los datos de producción del producto queso de 500 g.

Tabla 3.16. Producción de queso de 500 g en el año 2016

Periodo	U mensuales	Promedio mensual
Enero	2 371	76,48
Febrero	4 073	140,44
Marzo	5 419	174,80
Abril	5 059	168,63
Mayo	5 017	161,83
Junio	3 867	128,9
Julio	4 583	147,83
Agosto	4 296	138,58
Septiembre	4 026	134,2
Octubre	4 676	150,83
Noviembre	3 122	104,06
Diciembre	4 420	142,58
Promedio anual	4 244,08	139,097
Unidades totales	50 929	

La prueba t de student bilateral para una media, con $\alpha=0.05$, se trata de probar la hipótesis:

$H_0: \mu \geq 0$ (la media aritmética de cada mes supera la media anual de producción de unidades de queso de 500 g)

$H_1: \mu \leq 0$ (la la media aritmética de cada mes no supera la media anual de producción de unidades de queso de 500 g)

Se rechaza H_0 y se comprueba que el promedio de producción mensual de queso de 500 g es menor o no supera el promedio de producción anual de este producto. En la tabla 3.17 se observan los valores de la prueba t.

Tabla 3.17. Resultados de cálculo para la prueba de t de student para el producto queso 500 g

Var	u mensuales
α	0,05
n	12
Media	4 244,08
DE	850,86
LI (95)	3 703,48
LS (95)	4 784,69
T	17,28
p (Bilateral)	< 0,000 1

En la figura 3.14 se observa que los picos máximo y mínimo de producción respectivamente son: el mes de mayo con 5 017 unidades y el mes de enero con 2 371 unidades. Se denota que existe una tendencia al alza que se repite dos veces al año.

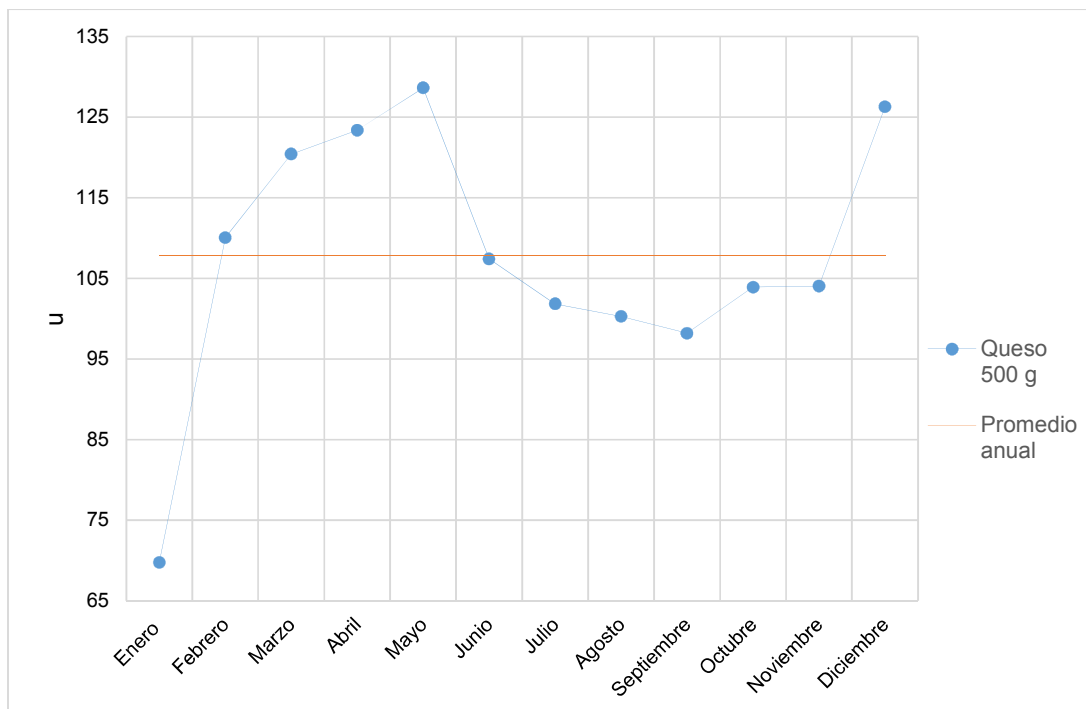


Figura 3.14. Producción de quesos de 500 g para el año 2016

Las anteriores figuras muestran que la producción de queso no es uniforme ni tampoco superan el promedio de producción por cada producto (prueba t) y a pesar de que se trata del mismo producto, pero con diferente peso de presentación.

Los consumidores eligen ciertos tipos de queso (variación solo en el peso de presentación) por el precio o el presupuesto que en ese instante maneja el cliente.

Este fenómeno se puede apreciar que en el mes de agosto la mayor producción fue de queso de 125 g (precio 0,5 \$) y 400 g (precio 1,70 \$), y que el mes de mayo lo fue para el queso de 500 g (1,80 \$).

También los precios de los productos salidos de fábrica son: para el queso de 125 g; 0,50 \$, el queso de 400 g; 1,75 \$ y el queso de 500 g; 1,80 \$, pero la empresa no tiene control en el precio externo que las tiendas imponen a los productos.

3.2.2. PRODUCTO YOGUR

En la tabla 3.18 observa la producción yogur medido en litros para el año 2016, aquí también se repite el fenómeno en el cual existen días donde no existe producción y se reporta esto con "0".

Tabla 3.18. Litros de yogur producidos en el año 2016

Día/mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	0	517,2	511,2	211	0	521	0	433	576,4	0	444	389,2
2	0	504	529	0	510,1	547	0	515	0	0	274	270
3	0	520	514,8	0	523	0	0	0	0	502	0	0
4	0	474,4	0	534,8	547	0	681,3	365	0	489	0	0
5	289,2	0	0	0	522,4	528	475,2	0	590	582	0	367,3
6	467	0	0	1076,2	0	493,2	353	0	645	422	0	358
7	434,4	0	503,5	0	0	524	495,8	0	832	0	303	697
8	260	0	504	292	0	0	0	490,2	571,6	0	640	330,4
9	0	259,8	501	0	484,3	478,4	0	504	0	0	0	0
10	0	479	503,8	0	519	0	0	492	0	532	265,4	0
11	420	452,6	0	692,5	484	0	650,7	358,8	0	458	0	0
12	493	0	0	419,2	511,4	497,6	510	0	559,3	509	0	333,6
13	527	0	0	421	0	272	494,4	0	0	400	0	386,2
14	490	0	482,9	555	0	798	512	0	590	352	0	391
15	0	0	535	0	0	0	0	493	644	0	333,6	355
16	0	46	520,8	0	505,6	0	0	477,6	0	0	365,3	0
17	0	524	0	0	544	0	0	274	0	511,9	442	0
18	0	507,8	0	524,6	498	756,4	576	400	509,2	530,8	0	56
19	502,4	0	0	528	755,8	496	457,5	0	0	490	0	0
20	519,3	0	0	526	0	0	489	0	552,3	294	0	438
21	0	0	0	491,2	0	0	496,5	0	572	0	324	282
22	0	503,5	569,8	0	0	658,4	0	0	442,4	0	352	342
23	456	511	349	0	500,9	0	0	353,2	0	0	0	0
24	0	497,2	375,8	0	519	0	0	558	0	496,9	327	0
25	0	214	0	0	515	0	644	261,6	360	462	0	0
26	0	0	0	510	624	460	497,6	271	468,5	522	0	418
27	497	0	0	266,4	233	457,9	0	0	0	490	0	427,8
28	413	0	0	537	0	0	444,4	0	279,2	0	0	304
29	0	506,2	492	0	0	671	0	0	520,6	0	414,7	346
30	0	-	0	0	659,4	468	0	470,5	0	593	334	0
31	394,8	-	543	-	492	-	354	505	-	475,5	-	0

En la tabla 3.19 se observan las medidas de tendencia central.

Tabla 3.19. Medidas de tendencia central para la producción de yogur en el año 2016

Media	248,7
Error estándar	13,2
Mediana	270
Moda	0
Desviación estándar	252,3
Varianza	63 644
Rango	1 076
Máximo	1 076
Mínimo	0
Suma	90 764
Conteo	365

En la tabla 3.20 se presenta la tabla de frecuencias para la producción de yogur, se aprecia que la clase 19 correspondiente a un rango de producción entre 484 y 511 L de yogur es la cantidad de producto que con más frecuencia se ha producido.

También se aprecia, al igual que en el caso del queso, la clase 1 que representa la no producción de yogur tiene una frecuencia alta (perdidas económicas por no producir)

Tabla 3.20. Tabla de frecuencias para la producción de yogur en el año 2016

Clase	LI	LS	MC	FA	FR	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
1	0	sd	13,45	172	0,47	21	538,10	565,01	551,55	8	0,02
2	26,91	sd	40,36	1	0,0027	22	565,01	591,91	578,46	8	0,02
3	53,81	sd	67,26	1	0,0027	23	591,91	618,82	605,36	1	0,0027
4	80,72	107,62	94,17	0	0	24	618,82	645,72	632,27	5	0,01
5	107,62	134,53	121,07	0	0	25	645,72	672,63	659,17	4	0,01
6	134,53	161,43	147,98	0	0	26	672,63	699,53	686,08	3	0,01
7	161,43	188,34	174,88	0	0	27	699,53	726,44	712,98	0	0
8	188,34	215,24	201,79	2	0,01	28	726,44	753,34	739,89	0	0
9	215,24	242,15	228,69	1	0,0027	29	753,34	780,25	766,79	2	0,01
10	242,15	269,05	255,6	5	0,01	30	780,25	807,15	793,7	1	0,0027
11	269,05	295,96	282,5	10	0,03	31	807,15	834,06	820,6	1	0,0027
12	295,96	322,86	309,41	2	0,01	32	834,06	860,96	847,51	0	0
13	322,86	349,77	336,31	9	0,02	33	860,96	887,87	874,41	0	0
14	349,77	376,67	363,22	13	0,04	34	887,87	914,77	901,32	0	0
15	376,67	403,58	390,12	6	0,02	35	914,77	941,68	928,22	0	0
16	403,58	430,48	417,03	8	0,02	36	941,68	968,58	955,13	0	0
17	430,48	457,39	443,93	9	0,02	37	968,58	995,49	982,03	0	0

Tabla 3.20. Tabla de frecuencias para la producción de yogur en el año 2016
(continuación...)

Clase	LI	LS	MC	FA	FR	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
18	457,39	484,29	470,84	17	0,05	38	995,49	1022,39	1008,94	0	0
19	484,29	511,20	497,74	44	0,12	39	1022,39	1049,30	1035,84	0	0
20	511,20	538,10	524,65	31	0,08	40	1049,30	1076,20	1062,75	1	0,0027

En la figura 3.15 se aprecia el histograma de frecuencia, donde la frecuencia de la no producción (valor de "0") tiene una alta frecuencia con un valor de 0,47 (FR) se puede decir es un valor cercano al 50 % (la mitad del año 2016 no se ha producido yogurt).

Se aprecia en la figura que la marca de clase de la clase 19 es 497,4 L de yogur siendo el mayor valor de entre los días que si se produjo yogur.

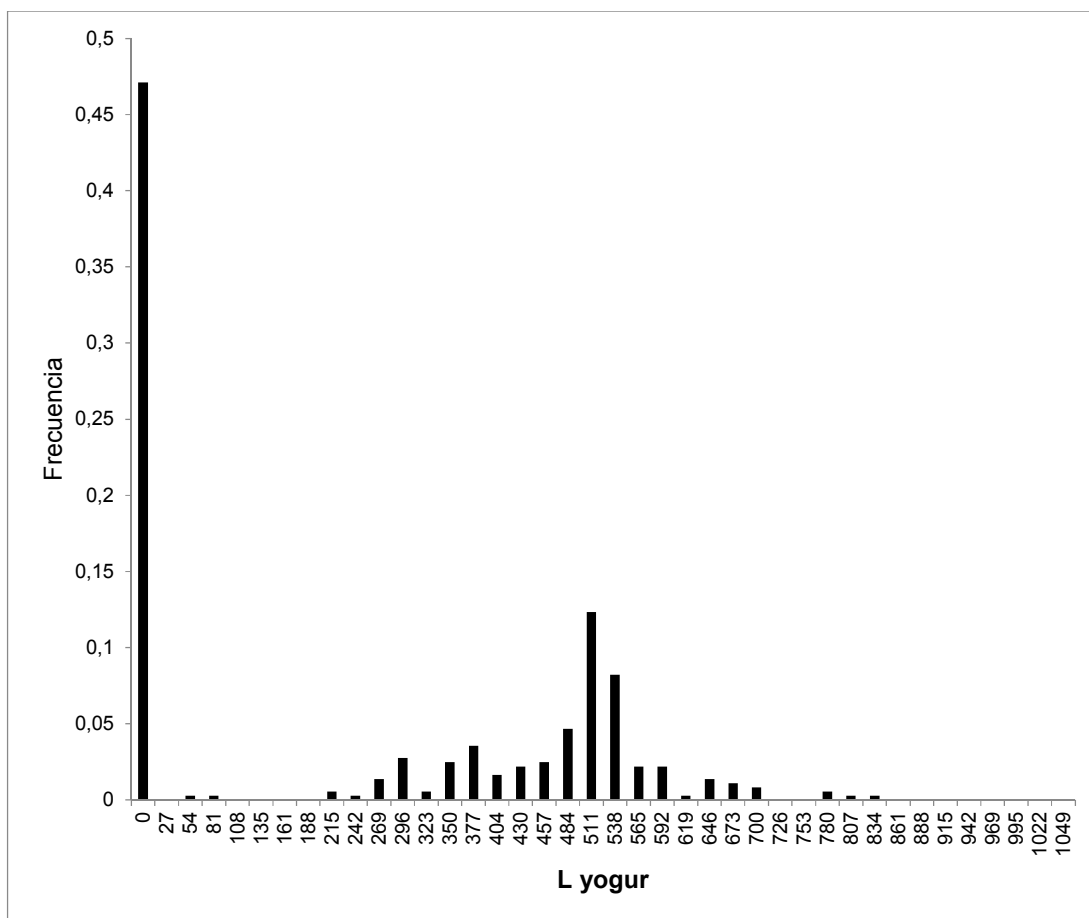


Figura 3.15. Histograma de producción de yogur en litros en al año 2016

Para el caso del yogur y debido a la disponibilidad de datos, se presenta en la tabla 3.21 los datos de producción de yogur mensual para el año 2016, expresado en litros (L).

Tabla 3.21. Producción de litros de yogur en el año 2016

Periodo	L mensuales	Promedio mensual
Enero	6 163,1	198,81
Febrero	6 516,7	224,71
Marzo	7 435,6	239,86
Abril	7 584,9	252,83
Mayo	9 947,9	320,90
Junio	8 626,9	287,56
Julio	8 131,4	262,30
Agosto	7 221,9	232,96
Septiembre	8 712,5	290,42
Octubre	9 112,1	293,94
Noviembre	4 819	160,63
Diciembre	6 491,5	209,40
Promedio anual	7 661,1	247,86
Unidades totales	90 763,5	

Se realiza la prueba t de student a una cola, $\alpha=0.05$; $H_0: \mu \leq 0$, se acepta H_0 y se determina que la producción de yogur no supera o es menor al promedio de producción de este producto. En la tabla 3.22 se observan los valores de la prueba t.

Tabla 3.22. Resultados de cálculo para la prueba de t de student para el producto yogur

Var	u mensuales
α	0,05
n	12
Media	247,86
DE	46,12
LI (95)	218,56
LS (95)	277,16
T	18,62
p (Bilateral)	< 0,000 1

En la figura 3.16 se observa que el mes de mayo fue el periodo de mayor producción con 9 998 L y el mes de noviembre con 4819 L el de menor producción.

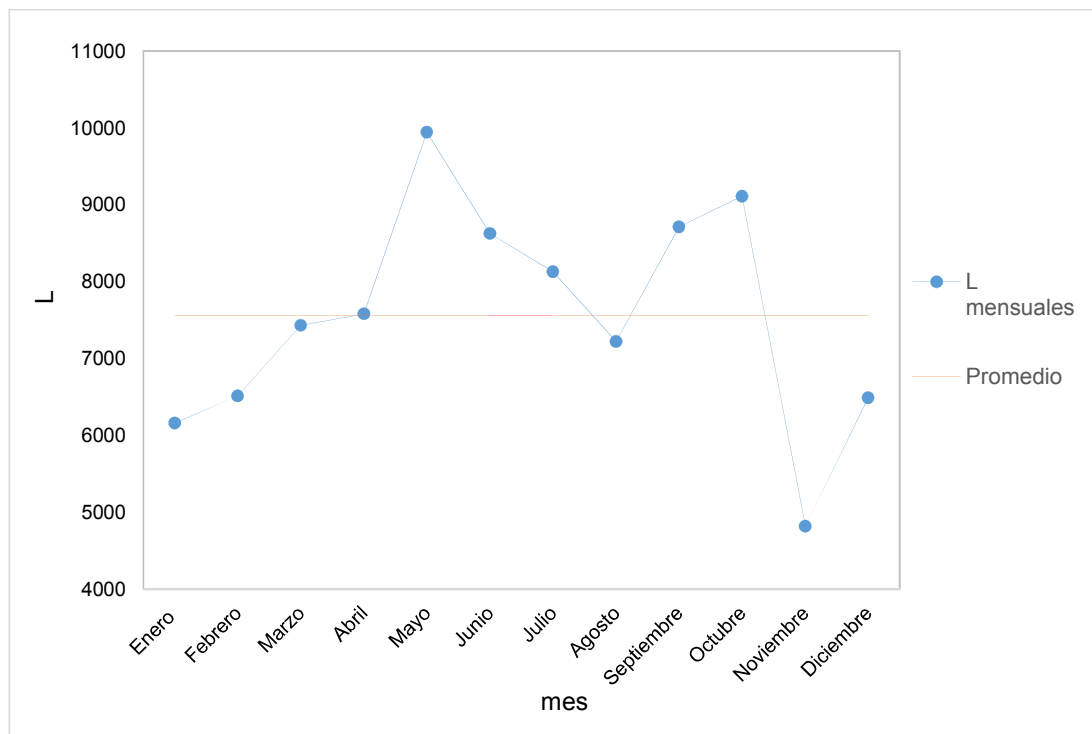


Figura 3.16. Producción de litros yogurt para el año 2016

3.2.1. PRODUCTO NATA

En la tabla 3.23 se muestra la producción del producto nata en el año 2016. Este producto empieza su producción el 5 de febrero del 2016 con una sola presentación de tarrinas de 90 g.

Se repite el fenómeno donde existen días donde no hubo producción y se marcan como "0".

Tabla 3.23. Producción del producto nata (unidades de 90 g)

Día/mes	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	-	81	22	0	115	146	150	150	0	0	0
2	-	0	84	0	126	131	146	150	0	0	125
3	-	0	0	101	133	0	143	151	0	264	0
4	-	82	0	103	0	143	150	0	0	425	0
5	76	25	77	105	0	0	302	0	146	308	0
6	105	0	0	98	139	142	0	151	150	143	144
7	66	0	75	0	152	136	0	148	166	260	0
8	86	86	85	0	151	138	162	143	0	0	128
9	33	70	0	112	0	0	310	156	0	0	127
10	0	73	0	103	144	0	310	0	150	0	0
11	47	76	86	80	152	148	341	0	0	140	134
12	58	0	88	121	0	147	340	0	0	86	0
13	60	0	82	111	147	143	155	164	150	0	140
14	68	0	82	0	159	148	0	152	151	0	0
15	75	20	85	0	143	150	0	148	0	83	122
16	79	71	0	123	155	0	150	0	0	0	130
17	69	73	0	109	150	0	154	0	0	86	86
18	79	75	88	126	0	150	131	0	150	129	0
19	78	0	89	120	0	150	150	0	150	0	138
20	72	0	91	117	137	142	0	150	150	0	140
21	0	83	98	0	162	145	0	157	150	88	137
22	0	0	98	0	159	149	133	151	0	0	140
23	71	0	0	117	144	0	150	187	0	0	135
24	0	78	19	113	150	133	301	139	0	114	138
25	72	73	105	126	0	142	0	0	0	211	0
26	75	63	95	125	0	140	420	154	0	131	0
27	0	73	83	122	0	147	41	150	124	0	137
28	0	0	103	232	149	150	0	151	119	0	142
29	85	71	102	0	157	148	161	157	0	0	134
30	-	0	25	128	150	0	161	0	0	130	304
31	-	75	-	137	-	0	150	-	120	-	0

En la tabla 3.24 se observa las medidas de tendencia para el producto nata, los valores en “0” no se pueden omitir, por ser datos representativos de “no producción”.

Tabla 3.24. Datos de tendencia central para la producción de nata en el año 2016

Media	84,32
Error estándar	4,36
Mediana	85,00
Desviación estándar	79,30
Varianza	6 287,77
Rango	425,00
Máximo	425,00
Mínimo	0,00
Suma	27 910,00
Conteo	331,00

En la tabla 3.25 se presenta la tabla de frecuencias de la producción de nata en el año 2016 con 40 clases. Se aprecia que la clase 15 correspondiente a un rango de producción comprendido entre 148,75 a 159,38 unidades de nata (tarrina de 90 g) con una marca de clase 154 u es la mayor frecuencia de producción entre los días productivos, es decir un 64 % en el año 2016. La frecuencia de días no productivos es de un 36 % del año 2016.

Tabla 3.25. Tabla de frecuencias para la producción del producto nata

Clase	LI	LS	MC	FA	FR	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
1	0,00	10,63	5,31	118	0,36	21	212,50	223,13	217,81	0	0
2	10,63	21,25	15,94	2	0,01	22	223,13	233,75	228,44	1	3×10^{-3}
3	21,25	31,88	26,56	3	0,01	23	233,75	244,38	239,06	0	0
4	31,88	42,50	37,19	2	0,01	24	244,38	255,00	249,69	0	0
5	42,50	53,13	47,81	1	3×10^{-3}	25	255,00	265,63	260,31	2	0,01
6	53,13	63,75	58,44	3	0,01	26	265,63	276,25	270,94	0	0
7	63,75	74,38	69,06	13	0,04	27	276,25	286,88	281,56	0	0
8	74,38	85,00	79,69	24	0,07	28	286,88	297,50	292,19	0	0
9	85,00	95,63	90,31	12	0,04	29	297,50	308,13	302,81	4	0,01
10	95,63	106,25	100,94	11	0,03	30	308,13	318,75	313,44	2	0,01
11	106,25	116,88	111,56	6	0,02	31	318,75	329,38	324,06	0	0
12	116,88	127,50	122,19	16	0,05	32	329,38	340,00	334,69	1	3×10^{-3}
13	127,50	138,13	132,81	22	0,07	33	340,00	350,63	345,31	1	3×10^{-3}
14	138,13	148,75	143,44	32	0,1	34	350,63	361,25	355,94	0	0
15	148,75	159,38	154,06	45	0,14	35	361,25	371,88	366,56	0	0
16	159,38	170,00	164,69	6	0,02	36	371,88	382,50	377,19	0	0
17	170,00	180,63	175,31	0	0	37	382,50	393,13	387,81	0	0
18	180,63	191,25	185,94	1	3×10^{-3}	38	393,13	403,75	398,44	0	0
19	191,25	201,88	196,56	0	0	39	403,75	414,38	409,06	0	0
20	201,88	212,50	207,19	1	3×10^{-3}	40	414,38	425,00	419,69	2	0,01

En general los porcentajes de jornadas o días no productivos de la empresa es alto y es un dato de importancia para el rendimiento económico que toda empresa procesadora de bienes desea.

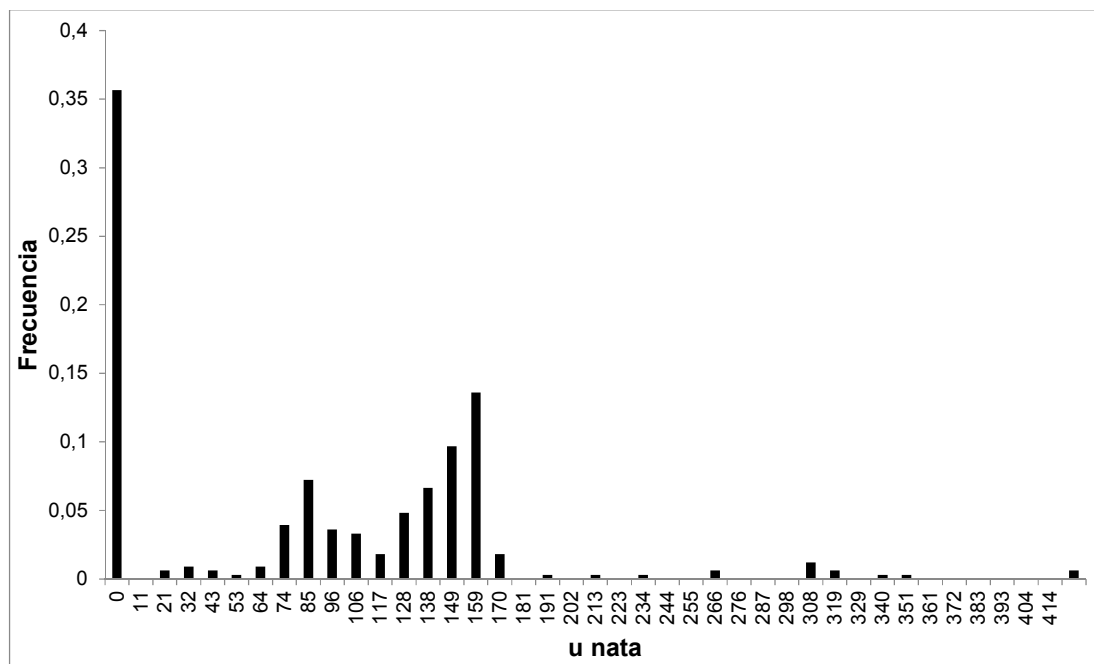


Figura 3.17. Histograma de producción de unidades (tarrina 90 g) de nata en el año 2016

En el caso de este producto tiene una sola presentación que es en envase de 90 g. En el año 2016 se produjeron 27 910 unidades de nata. Este producto es nuevo y se empezó su producción desde el mes de febrero del 2016. En la tabla 3.26 se aprecia la producción para el año 2016.

Tabla 3.26. Producción del producto nata en el año 2016

Mes	Unidades	Promedio mensual
Enero	-	-
Febrero	1 354	54,2
marzo	1 248	40,3
Abril	1 762	58,7
Mayo	2 629	84,8
Junio	3 074	102,5
Julio	3 168	102,2
Agosto	4 611	148,7
Septiembre	2 909	97,0

Tabla 3.26. Producción del producto nata en el año 2016 (continuación...)

Mes	Unidades	Promedio mensual
Octubre	1 876	60,5
Noviembre	2 598	86,6
Diciembre	2 681	86,5
Promedio anual	2 537,27	93,81
Unidades totales	27 910	

La prueba t de student, a una cola, $\alpha = 0,05$; $H_0: \mu \leq 0$, se acepta la H_0 y se determina que la producción de nata no supera el promedio de producción de éste producto. En la tabla 3.27 se observan los valores de la prueba t.

Tabla 3.27. Resultados de cálculo para la prueba de t de student para el producto nata

Var	u mensuales
α	0,05
n	11
Media	83,82
DE	30,05
LI (95)	63,63
LS (95)	104,01
T	9,25
p (Bilateral)	< 0,000 1

En la figura 3.18 se observa que el mes de agosto fue el periodo de mayor producción y el mes de marzo el de menor producción. Este producto en particular se ha visto afectado por el crecimiento rápido de nuevos competidores que disminuyen los precios de sus productos afectando y desestabilizando los precios de venta.

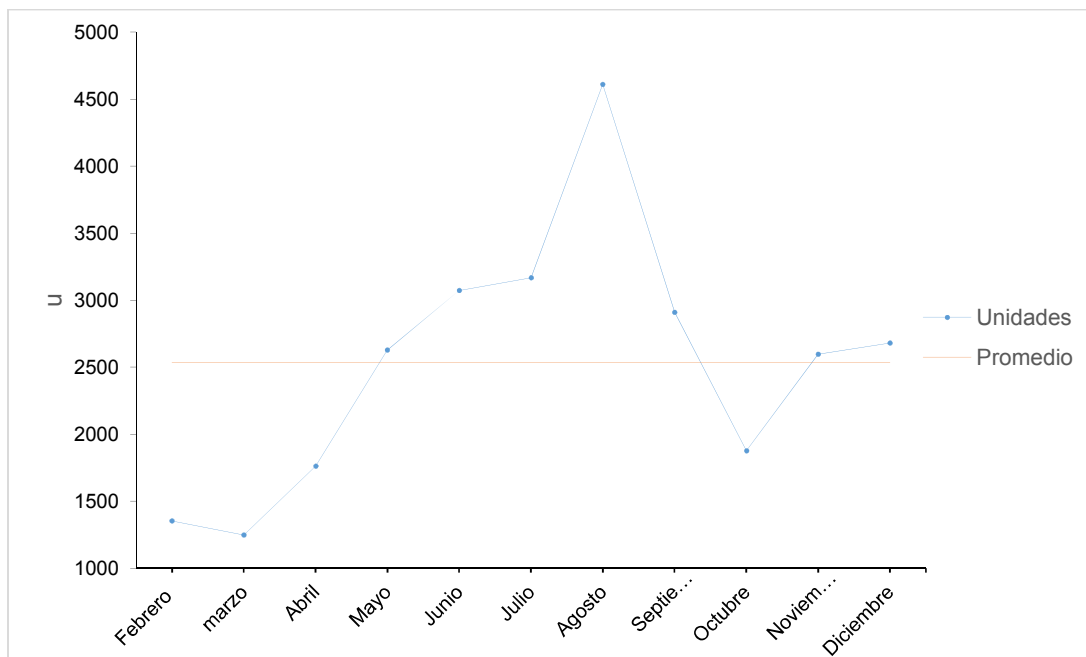


Figura 3.18. Producción de nata en el año 2016

3.3. MEDICIÓN Y ANÁLISIS DEL MUESTRO DEL TRABAJO

3.3.1. TAMAÑO DE MUESTRA

Por método determinístico y observaciones aleatorias preliminares se determinó que el promedio global del estado “activo” la empresa el Tambo es del 60% (valor de q) y el porcentaje de inactividad es del 40% (valor de p).

Para determinar el tamaño de muestra se utiliza la ecuación 1.12, a un nivel de confianza del 95 %, con $Z = 1,96$, con un margen de error aceptado del 5 %, el valor de n es:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p(1 - p)}{e^2}$$

$$n = \frac{1,96^2 \cdot 0,4(1 - 0,4)}{0,05^2} \approx 369$$

El tamaño de muestra es un número bajo de observaciones debido a que la proporción estimada inicialmente de inactividad de la empresa es del 40 % del tiempo. Esta aseveración se apoya en los cálculos de productividad anteriormente descritos donde se observa que existe un alto colchón de capacidad en cuanto a productividad parcial de diversos insumos de la empresa.

Para realizar las observaciones (muestras de 100 observaciones) de estado “activo” o “inactivo” (porcentaje de *aparecimiento* de una actividad) de las diferentes actividades productivas se debe realizar una división interna del trabajo y el cálculo final de LUR (Labor Utilization Rate).

3.3.2. MUESTREO DEL TRABAJO EN EL ÁREA DE FABRICACIÓN DE LA EMPRESA

En el muestreo de trabajo se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones para su correcta interpretación:

Los datos obtenidos tanto de LUR como de las proporciones de aparecimiento de cada actividad (trabajo efectivo, inefectivo y esencial contributivo) se deben interpretar según su “conveniencia” de aparecimiento y que también se puede traducir como el tiempo que dura cada actividad.

Por ejemplo, en el caso de la actividad incubación del procesamiento de yogur se interpreta de la siguiente manera:

Como trabajo esencial colaborativo, se tiene un porcentaje de aparecimiento de 36 % y en LUR de 50,8 %. Aparentemente la transformación de la materia prima de leche fluida a yogur tiene un grado de utilización alto (aparente efectivo) con al menos un 50 % de utilización de la maquinaria. Pero por observación y posterior estudio de métodos, se determina que la utilización de la marmita (el equipo donde se lleva a cabo la transformación) es excesiva. Debido a que, la incubación a una

temperatura de 42 a 43 °C, 2,5 a 3% de inoculación debe ser entre 2,5 a 3 h, y actualmente en la planta a la incubación toma en promedio 24 h de incubación.

La prolongada utilización de la marmita, por un mal método, no permite mayor producción de yogur en la semana (en la actualidad se procesa solo dos o tres días por semana).

Otro ejemplo en el envasado de yogur se ha observado que los tanques de 40 L donde reposa el yogur a la espera de adición de colorantes, saborizantes y edulcorantes se prolongan entre 4 a 6 horas. El personal operativo mezcla otras actividades que en algunos casos no se relacionan con la producción de yogur por ejemplo poner los envases en la mesa, guardar los envases, sacarlos nuevamente, lavar el envasador manual, colocar etiquetas plásticas en los envases, mover el envasador manual, mover la mesa, mover nuevamente los envases, entre otros (actividades no productivas).

Mientras tanto los tanques con yogur continúan con la fermentación y gana acides. Aquí se tiene un 25 % y un LUR de 35 %, el porcentaje de aparición de esta actividad da la interpretación que se envasa una cantidad alta de litros de yogur, pero no es la razón correcta por la cual esta actividad de envasado tenga un aparente 25 % efectivo (tiempo prolongado).

Por los dos ejemplos antes expuesto, la interpretación del porcentaje de apareamiento no se la realiza con la generalidad de “mientras más alto, mejor” porque algunas actividades deben tener un menor o mayor porcentaje de “apareamiento” (tiempo que toma cada actividad y que es mejorado por el estudio de métodos), de esta forma se optimiza el tiempo de cada actividad y se elimina el trabajo inefectivo.

3.3.3. MUESTREO DEL TRABAJO DE LA LÍNEA DE FABRICACIÓN DE QUESO

Para la clasificación de actividades por tipo de trabajo se parte de un cursograma

de elaboración para cada producto. En la figura 3.19 se observa el cursograma de elaboración de queso (método actual) donde se aprecian las principales actividades del procesamiento y que se detallan:

Inspección 1: Realizar pruebas de andén (recepción de la materia prima) Acidez, densidad, prueba de antibióticos, prueba de alcohol.

Operación 1: Bombear (la materia prima se bombea al interior de la planta con filtrado por lienzos).

Operación 2: Calentar la leche.

Inspección 2: Controlar la temperatura de pasteurizado a 74 °C por 15 s.

Operación 3: Enfriar leche.

Inspección 3: Controlar temperatura de enfriado hasta 40 °C.

Operación 4: Adicionar CaCl y cuajo.

Operación 5: Cuajar la leche.

Inspección 4: Visualizar la cuajada (apariencia tipo espejo).

Operación 6: Cortar cuajada.

Operación 7: Batir cuajada.

Operación 8: Desuerar cuajada.

Operación 9: Moldear cuajada.

Operación 10: Prensar cuajada (formación del queso).

Operación 11: Salar los quesos (poner en salmuera).

Operación 12: Almacenar.

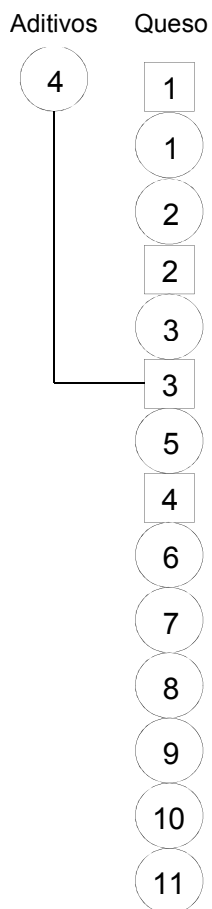


Figura 3.19. Cursograma sinóptico de elaboración de queso

En la tabla 3.28 se muestra la clasificación de las diferentes actividades realizadas en la elaboración de queso de acuerdo con la clasificación del trabajo (efectivo, inefectivo y esencial colaborativo). Para este propósito se clasifica la elaboración de queso en tres actividades principales.

Actividades de tratamiento de la materia prima: son las actividades que aseguran la calidad microbiológica de los productos, como las pruebas de andén, la temperatura correcta de: pasterización, adición de CaCl y cuajo.

Actividades de transformación: son las actividades que transforman la materia prima líquida en el producto sólido característico de los quesos. La coagulación (cuajada), desuerado, batido son esenciales para formar al “grano de queso”, y

Actividades de acabado: son actividades que dan la forma física del producto final, como el moldeado (mallas dan la textura de superficie del queso), prensado (consistencia y contenido de humedad del queso) y salado (sabor característico del queso fresco).

Tabla 3.28. Clasificación de actividades para la elaboración de queso

Categoría	Actividades		
	Tratamiento de materia prima	Transformación de materia prima	Acabado
Trabajo efectivo	Pruebas de andén. Inspecciones de temperatura. Calentamiento/enfriamiento – pasteurización	Adición de CaCl y cuajo Cortar cuajada Desuerado Batido	Moldeado Prensado Salado
Trabajo esencial contributivo	Receptar materia prima (vaciar tanques) Limpieza y lavado de maquinaria y utensilios. Bombeo de materia prima.	Mecer la materia prima (acelerar el calentamiento y enfriamiento).	Transportar los moldes hacia la prensa y salado. Colocar peso sobre los moldes.
Trabajo inefectivo.	Caminar para hacer anotaciones. Salir de la planta para vender productos. Esperar (más del tiempo necesario en cada operación). No hacer nada.		

En la tabla 3.29 se detalla la maquinaria o utensilio que se utiliza para cada actividad antes descrita en el cursograma sinóptico de elaboración de queso, de esta forma se pueden describir dos parámetros con cada observación: la actividad o tipo de trabajo y la maquinaria o herramienta (utensilio) que se ocupa.

Tabla 3.29. Maquinaria y herramientas utilizadas en cada actividad de la producción de queso

Actividades	Maquinaria	Herramientas (utensilios)
Receptar materia prima	Tanque receptor	Lienzos
Realizar pruebas de andén	-	Lactodensímetro, bureta, equipo de pruebas de antibióticos, mezclador manual.
Bombear materia prima	Bomba hidráulica	Lienzos para filtrar la leche
Calentar leche	Olla de cocción	Mezclador manual, termómetro
Inspección de temperatura	Olla de cocción	Termómetro
Enfriar	Olla de cocción	Termómetro
Inspección de temperatura	Olla de cocción	Termómetro

Tabla 3.29. Maquinaria y herramientas utilizadas en cada actividad de la producción de queso (continuación...)

Actividades	Maquinaria	Herramientas (utensilios)
Adicionar CaCl y Cuajo	Olla de cocción	Vasos graduados
Cuajar leche	Olla de cocción	
Cortar cuajada	Olla de cocción	Lira
Batir cuajada	Olla de cocción	Lira
Desuerar	Olla de cocción	Baldes, jaula de acero, filtro de lienzo
Moldear cuajada	Mesa de trabajo	Moldes, baldes, mallas plásticas, “tacos”, bandejas de acero
Prensar cuajada	Prensa manual	Bandejas de acero, tanques llenos con agua (pesos)
Salar	Tina de saldo	Bandejas de acero
Almacenar	Cuarto frío	Estantería

En la tabla 3.30 se muestra el resultado de las observaciones aleatorias en la línea de producción del producto queso y se detallan sus resultados:

Tratamiento de la materia prima

Trabajo efectivo realizado que considera las actividades de pruebas de andén, inspecciones de temperatura, tratamientos térmicos tienen una utilización del 46 %. La diferencia de 54 % se constituiría como el colchón de capacidad que tiene el trabajo efectivo en el tratamiento de la materia prima.

Se debe tener en cuenta que no sería posible elevar hasta el 100% de utilización del trabajo efectivo de la maquinaria y herramientas-utensilios que estas actividades ocupan, debido a que esto significaría que la empresa tiene por única actividad económica la de receptor leche y darle un tratamiento térmico.

El *trabajo esencial productivo* tiene un 38 %, se denota que actividades como el lavado (20 %) consumen recursos de energía (agua) y tiempo de forma excesiva (los operarios lavan los tanques de los transportistas, trapean la plataforma de recepción dos o tres veces, entre otros).

El *trabajo inefectivo* con un 16 %, aquí se observan que, en la descarga de la leche cruda desde los tanques de los transportistas hacia el tanque receptor de la planta,

los tanques son enfilados a un costado de la plataforma y para lavarlos se los acomoda nuevamente (desperdicio de recurso tiempo).

Transformación de materia prima

El trabajo efectivo tiene una tasa de utilización del 57 %. Aquí se tiene un fenómeno de transformación que toma un tiempo irreductible (cuajada con 26 %) pero no existe un método cuantitativo que asegure el fin del proceso de “cuajada” y proceder a cortarla.

El fin de la cuajada se determina por inspección visual (efecto de espejo) y en ocasiones el tiempo de cuajada se extiende o se acorta a discreción del operario de turno.

En el trabajo esencial contributivo se debe tomar especial atención a la actividad de “batir” (4 %), la bibliografía señala esta actividad puede reducir el tiempo de calentamiento y enfriamiento en un 50 %.

El trabajo inefectivo se estima en un 26 % y se considera como trabajo inefectivo el esperar que la materia prima se “caliente” o “enfríe” sin batido o hacerlo esporádicamente. Se observó que en ese lapso de tiempo que dura la actividad de calentamiento se realizan acciones también consideradas como trabajo inefectivo, por ejemplo: mover tanques que no intervienen ni interfieren en el trabajo, llenar con agua bidones para el lavado de manos, cambiar de posición los moldes para queso de la mesa que previamente ya estaban acomodados, anotar datos que debieron realizarse al principio del proceso, aplicar agua a la entrada de la planta con mangueras, entre otras actividades que no son de preparación o productivas.

Acabado

El trabajo efectivo es un 60 % de utilización, debido a que todas las tareas son manuales como el moldeo y aquí también existen actividades que requieren esperas necesarias como el prensado o apelmazado de la cuajada en los moldes

PVC y salado (22 %).

El trabajo esencial contributivo está aprovechado en un 31 %, aquí se tiene actividades como lavado (11 %) que consiste en lavar moldes utilizados el día anterior a pesar de que la planta cuenta con una reserva suficiente de moldes de PVC y el prensado (15 %) que se lo realiza por “partes”. En el trabajo esencial contributivo se debe mejorar el uso de los moldes PVC disponibles y la técnica de prensado para mejorar el tiempo de producción.

El trabajo inefectivo (9 %) se considera a actividades, por ejemplo, ubicar y reubicar “latas” con quesos listos para moldearse, mover tanques, “buscar” herramientas - utensilios que no se utilizan, entre otros.

LUR

El tratamiento de la materia prima tiene un porcentaje de apareamiento de 55,2 % de la capacidad total (como referencia se toma el tiempo de observación) de la maquinaria, trabajo de los operadores y herramientas-utensilios de la línea de producción del producto queso.

Se tiene un colchón de capacidad de 44,8 % que podría ser menor si se mejoran algunas técnicas de producción, reduciendo el trabajo inefectivo y optimizando el trabajo esencial contributivo. Con la optimización de los colchones de producción se puede incrementar más ciclos de producción, como se verá posteriormente.

Tabla 3.30. Resultados del muestreo del trabajo en la elaboración del producto queso

Actividades	Muestreo del trabajo por tipo de actividad		No de observaciones	Proporción %	Total %	LUR
Tratamiento de materia prima	Trabajo afectivo	Realizar pruebas de anden	25	0,03	46%	55,2%
		Inspección de temperatura	38	0,04		
		Calentar leche	191	0,22		
		Enfriar	143	0,16		
	Trabajo esencial contributivo	Recepción materia prima	67	0,08	38%	
		Limpieza	176	0,20		
		Bombear materia prima	22	0,03		
		Preparación	71	0,08		
	Trabajo inefectivo	Anotar, no hacer nada	139	0,16	16%	
	Total en el tratamiento de materia prima			872	1,00	
Transformación de materia prima	Trabajo afectivo	Adicionar CaCl y Cuajo	28	0,05	57%	61,3%
		Cuajar leche	142	0,26		
		Cortar cuajada	31	0,06		
		Batir cuajada	38	0,07		
		Desuerar	30	0,06		
		Batido	40	0,07		
	Trabajo esencial contributivo	Mecer	24	0,04	17%	
		Preparación	71	0,13		
	Trabajo inefectivo	Anotar no hacer nada	139	0,26	26%	
	Total Transformación de materia prima			543	1	
Acabado	Trabajo Efectivo	Moldear cuajada	204	0,13	60%	68,0%
		Prensar cuajada	237	0,15		
		Salar	334	0,22		
		Almacenar	156	0,10		
	Trabajo esencial contributivo	Transportar moldes a la prensa	61	0,04	31%	
		Lavar	176	0,11		
		Prensado	237	0,15		
	Trabajo inefectivo	Anotar no hacer nada. descanso	139	0,09	9%	
	Total de acabado			1544	1	

3.3.4. MUESTREO DEL TRABAJO DE LA LÍNEA DE FABRICACIÓN DE YOGUR

Se procede con la misma metodología de muestreo del trabajo empleada en el producto queso. La descripción del cursograma de operación y su descripción son:

Inspección 1: Realizar pruebas de andén (recepción de la materia prima) Acidez, densidad, prueba de antibióticos, prueba de alcohol.

Operación 1: Bombeo (la materia prima se bombea al interior de la planta con filtrado por lienzos).

Operación 2: Calentar la leche.

Inspección 2: Controlar la temperatura de pasteurizado a 74 °C por 15 s.

Operación 3: Adicionar azúcar (50 kg).

Operación 4: Enfriar leche

Inspección 3: Controlar temperatura (hasta 40 °C).

Operación 5: Adicionar cultivos lácticos

Operación 6: Encubar (la leche se transforma en yogur por acción de las bacterias lácticas).

Operación 7: Batir ("romper" el coágulo de yogurt)

Inspección 4: Verificar la consistencia del yogur.

Operación 8: Adicionar saborizantes y colorantes según sea la presentación.

Operación 9: Envasar o enfundar.

Operación 10: Almacenar

En la figura 3.20 se observa el cursograma sinóptico de procesamiento del yogur, donde se observan las operaciones e inspecciones importantes de este proceso.

Para el caso de la elaboración del yogur, la clasificación de actividades se muestra en la tabla 3.31.

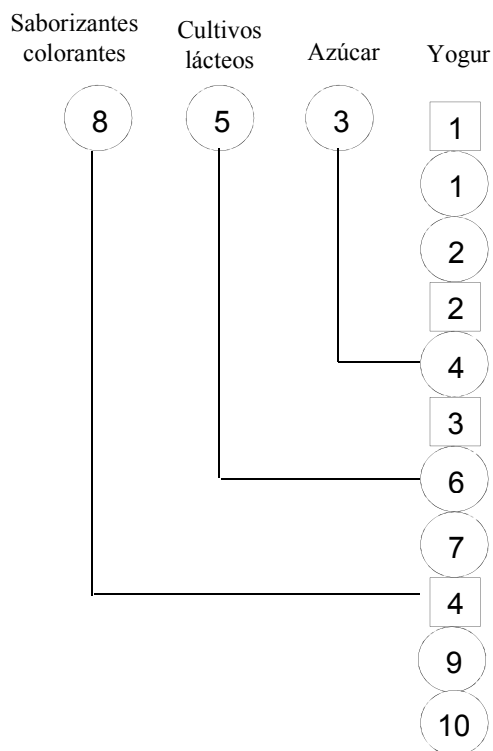


Figura 3.20. Diagrama de proceso del producto yogur

Tabla 3.31. Clasificación de actividades para la elaboración de yogur

Categoría	Actividades		
	Tratamiento de materia prima	Transformación de materia prima	Acabado
Trabajo afectivo	Pruebas de andén. Inspecciones de temperatura. Calentamiento – pasteurización	Adición de cultivos lácteos Incubación Batido Inspección de temperatura de marmita.	Adición de edulcorante, saborizantes y colorantes
Trabajo esencial contributivo	Receptar materia prima (vaciar tanques) Limpieza y lavado de maquinaria y utensilios. Bombeo de materia prima.	Mecer la materia prima (acelerar el calentamiento y enfriamiento)	Trasvasar a tanque de aluminio (mezclar saborizantes y edulcorante) Trasladar el yogur a la envasadora manual o enfundadora automática Preparar envases para el yogur. Preparar la enfundadora automática. Preparar la envasadora manual
Trabajo inefectivo.	Caminar para hacer anotaciones. Salir de la planta para vender productos. Esperar (más del tiempo necesario en cada operación).		

En la tabla 3.32 se muestra la maquinaria y herramientas necesarias para ejecutar cada actividad antes descrita en la elaboración de yogur.

Tabla 3.32 Maquinaria y herramientas utilizadas en cada actividad de la producción de yogur

Actividades	Maquinaria	Herramientas (utensilios)
Receptar materia prima	Tanque receptor	
Realizar pruebas de andén		Lactodensímetro, bureta, equipo de pruebas de antibióticos, mezclador manual.
Bompear materia prima	Bomba hidráulica	Lienzos para filtrar la leche
Calentar leche	Marmita	
Adicionar edulcorante	Marmita	
Enfriar leche	Marmita	
Controlar temperatura	Marmita	Termómetro
Adicionar cultivos lácteos	Marmita	Vaso plástico
Encubar	Marmita	
Batir	Marmita	
Verificar consistencia de yogur	Marmita	
Trasvasar yogur		Tanques de aluminio
Adicionar saborizantes, colorantes		Tanques de aluminio, mezclador manual, pipeta.
Envasar o enfundar	Envasadora manual / enfundadora automática	Mesa de trabajo, jarras y baldes plásticos
Almacenar	Cuarto frío	Estantería

La tabla 3.33 muestra el resultado de las observaciones aleatorias realizadas en el muestreo del trabajo para el producto yogurt y su interpretación:

Tratamiento de la materia prima

El trabajo efectivo tiene un porcentaje de utilización del 48 % donde los tratamientos térmicos representan el mayor porcentaje. Se tiene un colchón de capacidad de 29 % que en coordinación con las otras actividades de producción de este producto no es posible incrementarlo al 100 % debido a que se cuenta solo con una marmita y la misma se utiliza en casi todo el proceso.

Procesos de incubación ocupan la maquinaria un tiempo excesivo, como se describió, el tiempo de incubación debe ser mejorado para incrementar ciclos de

producción en una misma jornada laboral.

El trabajo esencial colaborativo, existen actividades donde el consumo de recursos es alto como la limpieza (agua – 9 %) y preparación (12 %).

El trabajo inefectivo (53 %), donde existen actividades como acomodar tanques, lavar tanques, “esperar” a llenar el tanque de agua para la limpieza, se consideran como trabajo inefectivo que debe eliminarse.

Transformación de la materia prima

Trabajo efectivo es aprovechado en un 48 %. Los procesos correspondientes a la transformación de la materia prima (incubación en especial) son altos debido a que en la marmita se dan los procesos térmicos, de incubación y batido. Es de importancia mejorar la utilización de la marmita y sobre todo el tiempo de fermentación que se atribuye a la mala técnica de adición de 50 kg de azúcar antes de colocar el fermento lácteo. En el estudio de métodos se detalla este fenómeno.

Trabajo esencial contributivo representa un 10 % de aparición o utilización. En la elaboración de yogur al contar con un equipo como la marmita, semi automática, disminuye las actividades de preparación que deben ser aprovechadas para preparar envases y envasadoras manual y automática.

El trabajo inefectivo (42 %) se considera así el mover tanques repetidamente sin que esto sea una actividad preparatoria para el envasado y otras actividades similares.

Una vez que inicia el proceso de incubación (24 h en el proceso actual) las actividades del operario de turno “finalizan” debido a que la marmita donde ocurre la mayor parte del procesamiento de yogur es utilizada una sola vez en un promedio de 3 veces por semana.

Acabado

Trabajo efectivo es de corta duración, pero como se verá más adelante la preparación de edulcorantes, saborizantes, colorantes y batido pueden ser mejorados al integrar estas actividades en conjunto con la marmita. Existe un fenómeno que se mencionó anteriormente. Los tanques donde el yogur espera la adición de colorantes, edulcorante y saborizantes se prolongan hasta por 6 horas sin razón que justifique dicha demora.

Trabajo esencial contributivo se tiene un porcentaje de utilización del 35 %, que en este caso se considera elevado. Se observó que las actividades de transporte que comprende el lapso que toma trasvasar el yogur batido desde la marmita a los tanques de 40 L para la adición de edulcorantes, saborizantes y colorantes se puede prolongar hasta por 4 horas sin justificación de la demora.

Trabajo infectivo tiene un porcentaje de apareamiento es de un 61 %, debido a que el producto yogur no se procesa todos los días. Y la no utilización de la maquinaria es prolongada.

LUR

Se tiene que la transformación de la materia prima es la actividad que tiene el apareamiento más alto, siendo las actividades de incubación (en proceso actual) es en promedio 24 h de utilización de la maquinaria marmita. Se debe poner atención en mejorar el porcentaje de utilización del tratamiento de la materia prima (mejorar el proceso de pasteurizado mediante las técnicas correctas de purga de vapor del equipo), y el acabado donde se pueden integrar algunas actividades al proceso de batido de yogur como lo son las actividades de adición y envasado.

Tabla 3.33 Resultados del muestreo del trabajo en la elaboración del producto yogur

Actividades	Muestreo del trabajo por tipo de actividad		No de observaciones	Proporción %	Total %	LUR
Tratamiento de materia prima	Trabajo afectivo	Realizar pruebas de anden	17	0,02	23%	29,2%
		Pruebas de anden	5	0,01		
		Calentar leche	111	0,14		
		Enfriar	56	0,07		
	Trabajo esencial contributivo	Recepción materia prima	17	0,02	24%	
		Limpieza	74	0,09		
		Bombear materia prima	9	0,01		
		Preparación	95	0,12		
Trabajo inefectivo	Anotar, no hacer nada	430	0,53	53%		
Total en el tratamiento de materia prima			814	1,00	100%	
Transformación de materia prima	Trabajo efectivo	Adicionar cultivos lácteos	6	0,01	48%	58,9%
		Incubación	377	0,36		
		Batido	110	0,11		
		Inspección de temperatura	6	0,01		
	Trabajo esencial contributivo	Mecer	11	0,01	10%	
		Preparación	95	0,09		
	Trabajo inefectivo	Anotar no hacer nada	429	0,42	42%	
Total Transformación de materia prima			605	1034	100%	
Acabado	Trabajo Efectivo	Adicionar edulcorante	6	0,01	4%	12,9%
		Adicionar saborizante y colorante	26	0,03		
	Trabajo esencial contributivo	Trasvasar	69	0,09	35%	
		Trasladar yogur (envasadora)	11	0,01		
		Envasar	197	0,25		
	Trabajo inefectivo	Anotar, no hacer nada. Descanso	477	0,61	61%	
	Total de acabado			786	1	

3.3.5. MUESTREO DEL TRABAJO DE LA LÍNEA DE FABRICACIÓN DE NATA

Se procede con la misma metodología de muestreo del trabajo empleada para los productos queso y yogur. El producto nata difiere de los anteriores en que su procesamiento no parte desde la recepción de la materia prima, sino, de la operación 2 del queso. Se toma una alícuota de 80 a 90 L y se la hace hervir en una olla de aluminio, cómo se describe a continuación:

Operación 1: Sacar alícuota de leche

Operación 2: Hervir la leche en olla de aluminio

Inspección 1: Verificar que la leche haya hervido por inspección visual.

Operación 3: Trasvasar la alícuota hacia la olla de cocción.

Operación 4: Mantener caliente la leche a 75°C.

Inspección 2: Verificar visualmente la formación de nata.

Operación 5: Recolección de nata.

Operación 6: Adicionar leche y conservantes alimenticios

Operación 7: Envasar manualmente

Operación 8: Almacenar

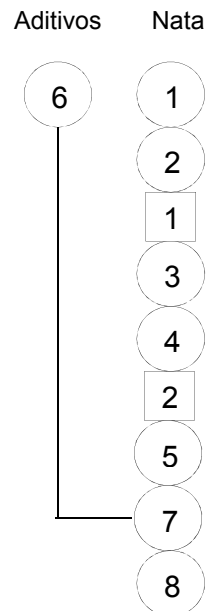


Figura 3.21. Cursograma sinóptico de la elaboración de nata

Para el caso de la elaboración de nata, la clasificación de actividades se muestra en la tabla 3.34.

Tabla 3.34. Clasificación de actividades para la elaboración de nata

Categoría	Actividades		
	Tratamiento de materia prima	Transformación de materia prima	Acabado
Trabajo afectivo	Calentamiento hasta ebullición.	Mantener la temperatura de calentamiento todo el tiempo que dure la recolección del producto. Tiempo de espera para la formación natural de nata. Recolección de nata.	Adición de leche (consistencia del producto) y conservantes. Batido del producto.
Trabajo esencial contributivo	Limpieza y lavado de maquinaria y utensilios. Trasvasar leche hacia olla de aluminio. Trasvasar leche hacia olla de cocción.	Mecer la materia prima (acelerar el calentamiento hasta ebullición y enfriamiento reducir la temperatura a 74°C). Mantener la estabilidad de la leche en calentamiento (no mecer).	Trasladar nata hacia mesa
Trabajo inefectivo.	Caminar para hacer anotaciones. Salir de la planta para vender productos. Esperar (más del tiempo necesario en cada operación).	Caminar para hacer anotaciones. Salir de la planta para vender productos. Esperar (más del tiempo necesario en cada operación).	Esperar (más del tiempo necesario en cada operación).

En la tabla 3.35 se muestra la maquinaria y herramientas necesarias para ejecutar cada actividad antes descrita en la elaboración de nata.

Tabla 3.35. Maquinaria y herramientas-utensilios utilizados en la elaboración de nata

Actividades	Maquinaria	Herramientas (utensilios)
Hervir leche	Cocineta	Olla de aluminio, batidor manual
Verificar ebullición		
Trasvasar leche	Olla de cocción	Lienzos
Calentar leche	Olla de cocción	
Verificar la formación de nata	Olla de cocción	Visualmente
Recolección de nata	Olla de cocción	Balde, colador plástico
Adicionar leche fluida y conservantes		Balde, cucharón
Envasar	Mesa de trabajo	Balde, cucharón, tarrinas.
Almacenar	Cuarto frío	Estantería

En la tabla 3.36 se muestran los resultados de las observaciones del muestreo del trabajo y su interpretación:

Tratamiento de materia prima

El *trabajo efectivo* se estima como de corta duración (23 %), la actividad de llevar a

ebullición aporta a la estabilidad microbiológica y se considera necesaria para la producción correcta de este producto. En la literatura no se ha encontrado un método para la elaboración de nata, debido a que la nata hace algunas décadas era la forma de obtener la crema de leche que en la actualidad se obtiene por descremadoras automáticas.

El trabajo esencial contributivo con un 22 % de apareamiento es casi comparable con el trabajo efectivo, por la actividad de limpieza que representa un 17 % y además incluye el lavado de la olla de aluminio, mover la cocina, retornar la cocina a su sitio, guardar la olla y tapa, quitar la alfombra de caucho donde se asienta la cocina, entre otros.

El trabajo inefectivo con un 55 % se debe a que éste proceso de obtención de nata se lo realiza una sola vez por jornada laboral (en la mañana) y no se la procesa todos los días.

Transformación de la materia prima

El trabajo efectivo con un 45 % de apareamiento, corresponde a la actividad de mantener a 75 °C la leche para la formación de nata. Esta actividad toma la mayor parte de tiempo de procesamiento.

Se tiene un fenómeno donde en el tiempo de espera hasta que se forma la capa de nata los operarios realizan otras actividades y no se tiene un tiempo determinado para la recolección, quedando a discreción del personal de turno la recolección.

Trabajo esencial contributivo con un 35 % donde la actividad de “no batir” o reposo es necesaria para la formación.

Trabajo inefectivo con 20% se considera a remover baldes plásticos, colador plástico, mover y llenar tanques de agua, permanecer de pie observando el producto, entre otros no justifica esas demoras.

Acabado

Trabajo efectivo con un 16% consiste en procesos de adición de leche fluida para darle la densidad correcta del producto.

Trabajo esencial contributivo son las actividades donde se traslada el recipiente donde se recolectó la nata, se prepara tarrinas para envasar.

Trabajo inefectivo la elaboración de nata se lo realiza en un lapso aproximado de 3 horas una sola vez en la jornada laboral. Además también se observa que una vez terminado el procesamiento de nata, ésta permanece en el recipiente recolector hasta que otras actividades como lavar la olla de cocción, los utensilios, descargar la leche remanente de la olla de cocción, enjuagar la mesa donde se envasará el producto (se observa que se ocupa la misma mesa de producción de queso que está siendo utilizada, es decir primero se terminan las actividades de producción de queso, se lava la mesa, utensilio, olla de cocción entre otros, mientras tanto el producto nata permanece en espera para ser envasada teniendo una probabilidad de contaminación, a pesar de que se tiene una mesa disponible de la zona de yogur) preparar las tarrinas toma un tiempo prolongado e injustificado.

LUR

La transformación de la materia prima es el proceso que tiene mayor porcentaje e apareamiento mantener la temperatura constante y la leche en reposo constituye la mayor parte del procesamiento, siendo esto un tiempo irreductible del trabajo.

Tabla 3.36. Resultados del muestreo del trabajo en la elaboración del producto nata

Actividades	Muestreo del trabajo por tipo de actividad		No de observaciones	Proporción %	Total %	LUR
Tratamiento de materia prima	Trabajo afectivo	Calentamiento (hervir) leche	142	0,23	23%	28,3%
	Trabajo esencial contributivo	Limpieza	108	0,17	22%	
		Tomar alícuota	16	0,03		
		Trasvasar leche	16	0,03		
	Trabajo inefectivo	Anotar, no hacer nada	344	0,55	55%	
Total en el tratamiento de materia prima			626	1,00	100%	
Transformación de materia prima	Trabajo afectivo	Mantener temperatura	617	0,34	45%	54,2%
		Formación de nata	39	0,02		
		Recolectar nata	159	0,09		
	Trabajo esencial contributivo	Mecer	8	0,00	35%	
		No mecer	617	0,34		
	Trabajo inefectivo	No hacer nada	352	0,20	20%	
Total Transformación de materia prima			1792	1,00	100%	
Acabado	Trabajo Efectivo	Adición de leche fluida y conservantes	12	0,03	16%	16,7%
		Envasar	62	0,13		
	Trabajo esencial contributivo	Trasladar nata a mesa	18	0,04	4%	
	Trabajo inefectivo	Anotar, salir de la planta, no hacer nada.	379	0,80	80%	
	Total de acabado			471	1	

3.4. ESTUDIO DE TIEMPOS DEL ÁREA DE FABRICACIÓN

Para el estudio de tiempos de las líneas de fabricación de la empresa, se escogió a los tres operarios que actualmente trabajan en la empresa. Cada operario está encargado de una línea de fabricación específica, pero en conjunto los operarios circulan en todas las líneas de fabricación prestando ayuda en ciertas tareas (moldeo, limpieza de olla de cocción, recepción, envasado, entre otros).

Como se observó en el muestreo del trabajo las actividades consideradas como *trabajo inefectivo* tienen valores elevados que deben ser suprimidos y el *trabajo esencial contributivo* debe ser controlado (se tiene actividades que son necesarias para la fabricación, por ejemplo, preparar los envases del yogur, pero al reacomodarlos varias veces se desperdicia el insumo tiempo y mano de obra) y el trabajo efectivo debe ser mejorado.

Para determinar el tiempo que cada actividad toma (método actual) se estudió 15 ciclos de trabajo y mediante la técnica de *regreso a cero* del cronómetro se determinó el tiempo de duración. Se calculó el promedio y la desviación estándar.

3.4.1. TIEMPO DE CICLO DEL PROCESAMIENTO DEL PRODUCTO QUESO

En la tabla 3.37 se observa el registro de tiempo de las actividades de procesamiento del producto queso donde se observa que los tiempos tienen una desviación estándar elevada y esto significa que las actividades realizadas no están estandarizadas y tampoco se tiene un control sobre las mismas.

Se calculó el promedio y la desviación estándar entre los ciclos donde si se ocurrió cada actividad. Se debe recalcar que el primer almacenamiento tiene un tiempo prolongado debido a que el queso cuando sale del tanque del salado se almacena hasta el día siguiente.

Tabla 3.37. Tiempo (min) de cada actividad del procesamiento del producto queso medido en un lapso de 15 ciclos

Activid/ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Prom
Recepción materia prima	35,8	9,0	9,0	9,0	53,8	26,9	26,9	13,4	9,0	9,0	22,4	13,4	22,4	17,9	24,0	20,1±12,6
Realizar pruebas de anden	31,4	4,5	-	4,5	4,5	13,4	4,5	4,5	4,5	9,0	4,5	4,5	4,5	9,0	4,8	77±7,3
Bombear materia prima	13,4	4,5	4,5	4,5	9,0	4,5	9,0	9,0	4,5	9,0	4,5	4,5	4,5	4,5	9,6	6,6±2,9
Calentar leche	103,0	58,2	40,3	62,7	44,8	121,0	62,7	62,7	40,3	26,9	35,8	26,9	22,4	40,3	115,2	57,6±31,8
Inspección de temperatura	13,4	13,4	4,5	9,0	4,5	9,0	4,5	4,5	9,0	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	-	6,3±3,7
Enfriar	98,6	22,4	40,3	40,3	26,9	89,6	22,4	22,4	13,4	13,4	40,3	53,8	26,9	53,8	81,6	43,1±27,4
Inspección de temperatura	4,5	4,5	4,5	4,5	9,0	13,4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	0,0	5,4±2,6
Adicionar CaCl y Cuajo	13,4	4,5	9,0	4,5	9,0	9,0	4,5	4,5	4,5	4,5	9,0	9,0	4,5	26,9	9,6	8,4±5,8
Cuajar leche	9,0	35,8	22,4	76,2	71,7	80,6	26,9	26,9	40,3	40,3	44,8	22,4	31,4	9,0	105,6	42,9±28,2
Cortar cuajada	13,4	4,5	9,0	17,9	13,4	22,4	9,0	9,0	4,5	4,5	9,0	4,5	4,5	4,5	9,6	9,3±5,5
Batir cuajada	17,9	9,0	9,0	4,5	13,4	17,9	9,0	9,0	9,0	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	14,4	12,0±3,7
Desuerar	9,0	9,0	4,5	4,5	13,4	13,4	9,0	9,0	4,5	4,5	9,0	17,9	13,4	4,5	9,6	9,0±4,2
Moldear cuajada	62,7	53,8	40,3	22,4	125,4	98,6	35,8	35,8	35,8	85,1	67,2	53,8	53,8	35,8	115,2	61,4±31,3
Prensar cuajada	121,0	85,1	62,7	62,7	62,7	53,8	44,8	44,8	22,4	76,2	58,2	26,9	103,0	76,2	172,8	71,6±38,2
Salar	94,1	76,2	40,3	129,9	121,0	44,8	80,6	80,6	134,4	183,7	112,0	40,3	94,1	76,2	201,6	100,7±47,9
Almacenar	977,9	1018,2	1027,2	1013,8	1036,2	1036,2	991,4	991,4	1049,6	1004,8	1013,8	991,4	973,4	973,4	1003,2	1006,8±23,9
Envasar	40,0	25,0	32,0	44,0	47,0	32,0	30,0	55,0	26,0	40,0	45,0	49,0	38,0	33,0	28,0	37,6±9,1
Almacenar	12,0	15,0	9,0	11,0	12,5	16,0	8,0	17,0	8,0	15,0	5,0	9,0	5,0	4,0	6,7	10,2±4,2

En la tabla 3.38 se presentan el diagrama analítico de proceso para el producto queso, el cual tiene un *tiempo de ciclo* de 1 516,6 min con 13 operaciones, 2 transportes, 0 esperas, 2 inspecciones y 2 almacenamientos. Se debe tener en cuenta que el primer almacenamiento ocurre después del salado, donde el queso se almacena hasta el día siguiente para ser empacado y nuevamente almacenado.

Tabla 3.38. Diagrama analítico de proceso del producto queso (método actual)

	Descripción	d (m)	t (min)	Símbolo					Observaciones
				○	⇒	D	□	▽	
1	Recepción materia prima	-	20,1	·					Se lavan tanques transportadores del proveedor.
2	Realizar pruebas de andén	-	7,7	·					
3	Bombear materia prima	10	6,6		·				
4	Calentar leche	-	57,6	·					Sin batido
5	Inspección de temperatura	-	6,3				·		Se lo realiza esporádicamente
6	Enfriar	-	43,1	·					Sin batido
7	Inspección de temperatura	-	5,4				·		Con termómetro
8	Adicionar CaCl y Cuajo	-	8,4	·					No se preparan los aditivos con antelación
9	Cuajar leche	-	42,9	·					Inspección visual
10	Cortar cuajada	-	9,3	·					
11	Batir cuajada	-	12,0	·					Se bate con la lira de corte
12	Desuerar	-	9,0	·					No se realiza lavado de cuajada
13	Sacar cuajada	-	-		·				
14	Moldear cuajada	-	61,4	·					
15	Prensar cuajada	-	71,6	·					Se prensa por partes
16	Salar	-	100,7	·					
17	Almacenar	-	1 006,8					·	En cuarto frío hasta el día siguiente
18	Envasar		37,6	·					
19	Almacenar		10,2					·	
	Total		1 516,6	13	2	0	2	2	

Al tiempo de las actividades no se añaden *holguras* debido a que existen operaciones con maquinado prolongado, por ejemplo, la pasteurización no requiere la presencia del operario en ese tiempo de maquinado el operario podría preparar los insumos necesarios para la siguiente actividad o descansar.

3.4.2. TIEMPO DE CICLO DEL PROCESAMIENTO DEL PRODUCTO YOGUR

En la tabla 3.39 se observa el registro de tiempos de las actividades del procesamiento del producto yogur. Se observa que los tiempos tienen desviaciones estándar elevadas. Estas variaciones elevadas denotan que las actividades no están estandarizadas y falta control del proceso. Se debe tomar en cuenta que la incubación se da por 24 h.

El tiempo de estudio fue de 15 ciclos tomando en cuenta los valores donde si se produjeron las actividades.

Tabla 3.39. Tiempo (min) de cada actividad del procesamiento del producto yogur medido en un lapso de 15 ciclos

Activid/ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Prom
Receptar materia prima	-	9,0	9,0	9,0	-	-	-	-	9,0	-	9,0	13,4	-	17,9	-	10,9±3,5
Realizar pruebas de anden	-	9,0		4,5	-	-	-	-	4,5	-	4,5	-	-	-	-	5,6±2,2
Bombear materia prima	-	4,5	4,5	9,0	-	-	-	-	4,5	-	4,5	4,5	-	9,0	-	5,8±2,2
Calentar leche	-	85,1	58,2	67,2	-	-	-	-	9,0	-	49,3	76,2	-	152,3	-	71,0±43,5
Adicionar edulcorante	-	4,5	9,0	4,5	-	-	-	-	-	-	4,5	4,5	-		-	5,4±2
Enfriar leche	-	22,4	49,3	58,2	-	-	-	-	-	-	44,8	26,9	-	49,3	-	41,8±14,1
Controlar temperatura	-	4,5	9,0	0,0	-	-	-	-	-	-	4,5	4,5	-	4,5	-	4,5±2,8
Adicionar cultivos lácteos	-	4,5	4,5	4,5	-	-	-	-	-	-	4,5	4,5	-	4,5	-	4,5
Encubar	-	1 237,8	1 287,0	1 269,1	-	-	-	-	-	-	1 228,8	1 228,8	-	1 197,4	-	1 241,5±32
Batir	-	53,8	62,7	17,9	4,5	-	-	-	89,6	62,7	58,2	76,2	40,3	-	28,8	49,5±26,5
Verificar consistencia de yogur	-	4,5	4,5	17,9	-	-	-	-	4,5	-	4,5	4,5	4,5	-	4,8	5,5±4,9
Trasvasar yogur	-	35,8	58,2	9,0	13,4	-	-	-	22,4	4,5	62,7	26,9	40,3	-	38,4	31,2±19,7
Adicionar saborizantes, colorantes	-	13,4	0,0	4,5	40,3	-	-	-	17,9	4,5	9,0	9,0	4,5	-	14,4	11,7±11,4
Envasar o enfundar	-	62,7	183,7	85,1	138,9	-	-	-	35,8	67,2	71,7	58,2	147,8	-	33,6	88,5±50,8
Almacenar	-	13,4	13,4	0,0	13,4	-	-	-	13,4	4,5	0,0	0,0	17,9	-	9,6	8,6±6,8

En la tabla 3.40 se presenta diagrama analítico de proceso para el producto yogur, el cual tiene un tiempo de ciclo de 1 585,9 min, con 10 operaciones, 2 transportes, 0 esperas, 3 inspecciones y un almacenamiento.

Tabla 3.40. Cursograma analítico de proceso para la elaboración de yogur (método actual)

	Descripción	d (m)	t (min)	Símbolo					Observaciones
				○	⇒	D	□	▽	
1	Receptar materia prima	-	10,9	·					Se lavan tanques de proveedores
2	Realizar pruebas de andén	15	5,6	·					En ocasiones no se realiza
3	Bombear materia prima	-	5,8		·				
4	Calentar leche	-	71,0	·					A 80 °C
5	Adicionar edulcorante	-	5,4	·					50 kg de azúcar
6	Enfriar leche	-	41,8	·					
7	Controlar temperatura	-	4,5					·	Disolver azúcar y mezclar el fermento
8	Adicionar cultivos lácteos	-	4,5	·					Fermentos lácticos y azúcar
9	Encubar	-	1241,5	·					Se fermenta por 24 h
10	Batir	-	49,5	·					Mezclador de leche y pala de madera
11	Verificar consistencia de yogur	-	5,5					·	Por observación directa la textura correcta
12	Trasvasar yogur		31,2		·				Hacia tanques de 40 L
13	Adicionar saborizantes, colorantes	-	11,7	·					Colorantes y saborizantes en cada tanque para cada tipo de presentación
14	Envasar o enfundar		88,5	·					Sellar y etiquetar
15	Almacenar	-	8,6					·	En cuarto frío
16	Inspeccionar		1					·	Revisión de calidad
	Total		1 585,9	10	2	0	3	1	

Al tiempo de las actividades no se añaden *holguras* debido a que existen operaciones con maquinado prolongado, por ejemplo, el calentamiento no requiere la presencia del operario en ese tiempo de maquinado el operario podría preparar los insumos necesarios para la siguiente actividad o descansar.

3.4.3. TIEMPO DE CICLO DEL PROCESAMIENTO DEL PRODUCTO NATA

En la tabla 3.41 se observa el registro de tiempo de las actividades de procesamiento del producto nata donde se observa que los tiempos tienen una desviación estándar elevada y esto significa que las actividades realizadas no están

estandarizadas y tampoco se tiene un control sobre las mismas. Se calculo la media y desviación estándar. Para los cálculos se tomaron no se tomó en cuenta los ciclos donde no hubo producción.

En la tabla 3.42 se observa el diagrama analítico de proceso para el producto nata, el cual tiene un *tiempo de ciclo* de 391,2 min, con 6 operaciones, 1 transportes, 0 esperas, 1 inspecciones y 1 almacenamiento.

Tabla 3.41. Diagrama analítico de proceso del producto nata (método actual)

	Descripción	d (m)	t (min)	Símbolo					Observaciones
				○	⇒	D	□	▽	
1	Sacar alícuota	-	5.6		·				Sacar alícuota de 80 a 90 L, del proceso de queso hacia cocineta
2	Hervir leche	-	49.1	·					Hasta ebullición
3	Verificar ebullición	-	5.2	·					Visualmente se inspecciona que la leche hierva
4	Trasvasar leche	-	5.5		·				Hacia olla de cocción
5	Calentar leche	-	214.0	·					Mantener la temperatura a 75°C
6	Verificar la formación de nata	-	13.8					·	Se verifica visualmente la formación de nata (aproximadamente cada 10 min)
7	Recolección de nata	-	55.1	·					Nata en un recipiente plástico
8	Adicionar leche fluida y conservantes	-	4.5	·					Conservantes y leche fluida
9	Envasar	-	23.3	·					En cuarto frío
10	Almacenar	-	15.2					·	Inspección final del producto terminado
	Total	-	391.2	6	1	0	1	1	

No se añaden *holguras* debido a actividades prolongadas, por ejemplo, la formación de la nata (calentamiento) donde no se requiere la presencia del operario en ese tiempo de maquinado el operario podría preparar los insumos necesarios para la siguiente actividad o descansar.

Tabla 3.42. Tiempo (min) de cada actividad del procesamiento del producto nata en un lapso de 15 ciclos

Activid/ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Prom
Sacar alicuota	4,5	4,5	9,0	-	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	9,0	-	4,5	4,5	4,5	9,6	5,6±2,1
Hervir leche	58,2	17,9	40,3	-	26,9	89,6	89,6	89,6	80,6	40,3	-	26,9	17,9	35,8	24,0	49,1±28,7
Verificar ebullición	9,0	4,5	9,0	-	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	-	4,5	4,5	4,5	4,8	5,2±1,7
Trasvasar leche	13,4	4,5	9,0	-	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	-	4,5	4,5	4,5	4,8	5,5±2,7
Calentar leche	264,3	197,1	188,2	-	233,0	228,5	138,9	138,9	268,8	219,5	-	282,2	179,2	183,7	259,2	214±47,6
Verificar la formación de nata	71,7	40,3	4,5	-	4,8	4,5	4,5	4,5	26,9	4,5	-	4,5	4,5	0,0	4,8	13,8±20,8
Recolección de nata	71,7	49,3	58,2	-	58,2	58,2	35,8	40,3	62,7	53,8	-	67,2	49,3	49,3	62,4	55,1±10,2
Adicionar leche fluida y conservantes	4,5	4,5	0,0	-	4,5	-	4,5	4,5	4,5	4,5	-	4,5	9,0	4,5	4,8	4,5±1,9
Envasar	4,5	26,9	13,4	-	26,9	-	26,9	26,9	26,9	35,8	-	22,4	35,8	4,5	28,8	23,3±10,5
Almacenar	17,9	9,0	13,4	-	22,4	-	4,5	4,5	-	26,9	-	4,5	31,4	17,9	14,4	15,2±9,2

3.5. ESTUDIO DE MÉTODOS DEL ÁREA DE FABRICACIÓN

Para la aplicación del análisis y propuestas de mejora en los métodos utilizados en las líneas de producción de la empresa se recurre a los resultados del muestreo de trabajo que indican las actividades no productivas y los diagramas analíticos de procesamiento donde se determinó el tiempo de ciclo que se han realizado durante todo el lapso de estudio. Las propuestas de mejora de las actividades del procesamiento se tomaron de los manuales de procesamiento lácteo y el texto de ingeniería de alimentos.

3.5.1. ESTUDIO DE MÉTODOS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE QUESO

En la tabla 3.43 se detalla, mediante un diagrama SIPOC (suppliers, inputs, process, outputs, costumers); proveedores, entradas, proceso, salida, clientes el alcance y el enfoque de la línea de producción de quesos.

Cada actividad registrada está asociada directamente a una maquinaria o herramienta-utensilio (a su utilización) y no se puede clasificar el apareamiento de una actividad bajo la idea de “mayor es mejor” porque los resultados de la tabla 3.30 identifican actividades no productivas, esperas innecesarias e inactividad que demoran el tiempo de procesamiento y desperdician recursos.

Tabla 3.43 Diagrama SIPOC de la línea de procesamiento de queso

Proveedor	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
Ganaderos locales	Leche fluida	Inspeccionar	Datos de calidad de materia prima.	Cliente
Empresa de insumos agrícolas	Insumos de laboratorio	Pasteurizar	Materia prima con calidad microbiológica estable.	Tiendas
Gasolinera	Diesel	Enfriar		Criaderos de ganado porcino.
Empresa de envases plásticos	Vapor (energía)	Adicionar	Cuajada	
	Aditivos (cuajo, CaCl)	Cuajar	Suero	
	Lira	Cortar	Residuos de queso	
	Baldes plásticos	Batir	Queso fresco	
	Tanque receptor	Desuerar		
	Moldes PVC, tacos, mallas	Moldear		
	Mesa	Prensar		
	Latas	Salar		
	Prensa			
	Pesos			
	Salmuera			
	Empaque			

3.5.1.1. Descripción de los métodos a ser mejorados de la línea de fabricación de queso

En la tabla 3.44 se detallan los problemas identificados y el método actual utilizado en el proceso de fabricación de queso y el método mejorado propuesto.

Tabla 3.44. Propuestas de mejora en el procesamiento de queso

Método actual	Propuesta de método mejorado
<p>El tiempo improductivo que representa en el tratamiento de la materia prima un 16%, en transformación de materia prima un 26% y en acabado un 9%.</p>	<p>Eliminar a través de supervisión de personal técnico (actualmente la empresa es manejada a discreción de los operarios).</p>
<p>Tiempo dedicado a limpieza, garantiza la inocuidad de los alimentos, pero al ser repetidas con alta frecuencia incurrir en desperdicio de tiempo y recursos.</p>	<p>El lavado de manos sea solo cada cambio de actividad.</p> <p>Se utilice la reserva de moldes, tacos y mallas para el moldeo de quesos, se instalen llaves automáticas en mangueras y no llenar la marmita o tanques con agua para limpieza de planta.</p>
<p>Tiempo de tratamientos térmicos: no se purgan las tuberías principales ni secundarias al finalizar e iniciar los procesos productivos.</p> <p>El vapor tiene que “empujar” el agua condensada de los serpentines y tubería principal (la parte inferior de la olla de cocción esta fría y la parte superior caliente) y el tiempo transcurrido hasta la saturación con vapor en las tuberías la olla de cocción demora el procesamiento.</p>	<p>Purgar tubería y maquinaria al finalizar y empezar el proceso productivo.</p>
<p>El tiempo de tratamiento térmico, calentamiento toma en promedio 40 minutos y el enfriamiento 20 minutos.</p> <p>El tiempo es prolongado porque no se bate la leche y se espera a que la temperatura incremente o descienda por si sola.</p> <p>Las ollas de cocción no se purgan al inicio ni al final del proceso, esto provoca que el condensado de vapor permanezca en la tubería y el vapor tenga que “empujar el condensado” hasta purgar las tuberías.</p> <p>El tiempo de calentamiento también se torna excesivo por esta razón.</p>	<p>Purgar la maquinaria (olla de cocción y tubería principal) hasta la salida de vapor seco. Cerrar la válvula de purga y aumentar el flujo de vapor.</p> <p>Bombear la leche hacia las ollas de cocción o marmita.</p> <p>Mediante tapas con aspas mecánicas batir constantemente tanto en el proceso de calentamiento como de enfriamiento (actualmente no se tiene tapas con aspas mecánicas de batido).</p> <p>El calentamiento hasta la temperatura de 75°C toma un tiempo de 600 min).</p>

Tabla 3.44. Propuestas de mejora en el procesamiento de queso (continuación...)

Método actual	Propuesta de método mejorado
<p>Adición el cuajo y el CaCl se añaden al mismo tiempo y temperatura.</p>	<p>Añadir el CaCl en proporción de 5 a 20 g/100 kg de leche. El CaCl₂ mejora la capacidad de la leche para formar coágulos (cuajada). Su uso excesivo provoca un cuajo muy firme y la textura del queso sea elástica. Su deficiente adición provoca un cuajo muy blando y la textura del queso sea quebradizo. El CaCl₂ debe ser añadido 15 min antes de la adición del cuajo.</p> <p>A la temperatura de 50 °C, adicionar un “cultivo iniciador termófilo” o <i>starter</i>, en una proporción de 0.5 a 1 % de la cantidad total de leche.</p> <p>Las bacterias termófilas a utilizarse pueden ser <i>Streptococcus thermophilus</i>, <i>Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus</i>, <i>Lactobacillus herlveticus</i>, entre otros, con el objetivo de generar ácido láctico por el metabolismo de la lactosa. La acidificación del medio controla el crecimiento de bacterias dañinas como los coliformes, incrementa el “flavor” del queso y añade características organolépticas al producto.</p> <p>A la temperatura de 40°C se agrega 30 mL cuajo líquido con un poder coagulante entre 1:10 000 a 1:15 000 y se lo disuelve mínimo en el doble de cantidad de agua para su distribución en la tina.</p>
<p>Cuajado, no tiene un tiempo estimado de fin de esta actividad, puede tomar de 30 a 60 min.</p>	<p>La renina o cuajo añadido a la leche tiene su máximo desarrollo en un tiempo entre 30 y 40 min.</p> <p>Si el tiempo se prolonga se incurre en desperdicio de tiempo y energía (vapor del caldero porque la temperatura se debe mantener a 40 °C).</p> <p>Se establece que el tiempo correcto de coagulación sea de 30 min porque si el corte se realiza en una cuajada muy blanda se pierde gran cantidad de materia seca en el suero y el rendimiento del queso disminuye.</p> <p>Si el corte es realizado en una cuajada muy firme, el corte se dificulta, el “grano” es heterogéneo y la separación del suero, acidificación y textura final del queso se ven afectados.</p> <p>Se debe realizar dos tipos de corte con liras horizontal y vertical para asegurar al tamaño del grano de cuajada. Las liras de corte pueden ser como se observa en el anexo I.</p>

Tabla 3.44. Propuestas de mejora en el procesamiento de queso (continuación...)

Método actual	Propuesta de método mejorado
<p>Batido, se lo realiza con la misma “lira” de corte e inmediatamente después del corte, esto disminuye el tamaño de “grano del cuajo”. Un tamaño de “grano” pequeño (menor a 1.5 cm de lado, lo correcto es entre 1.5 a 2 cm) libera materia seca hacia el suero y disminuye el rendimiento del queso. No permitir un tiempo de reposo de la cuajada provoca un cuajo débil y que pierda humedad en gran medida.</p>	<p>Después del corte los “granos” de queso son blandos y débiles, se debe permitir el “reposo” del grano por un tiempo de 5 min, se gana firmeza del grano y salida de suero del mismo.</p> <p><i>Primer batido</i>, en los primeros minutos, debe ser gentil y se procura deshacer los aglomerados que se haya formado. Se produce una salida rápida de suero del grano, la firmeza incrementa y se puede intensificar el batido.</p>
<p>Desuerado, se lo realiza en su totalidad e inmediatamente después del batido. Esto provoca que gran cantidad de materia seca se disuelva en el suero y el rendimiento de kg de queso descienda.</p>	<p>El tiempo recomendado de batido es de 10 a 25 min y se lo realiza con una pala de acero inoxidable.</p> <p><i>Primer desuerado</i>: Después del primer batido, se desuera la mezcla de granos de cuajada con el suero. Se retira un 30 a 35 % de suero, esta acción permite: el espacio físico necesario para el agua de lavado, disminución de lactosa y en consecuencia la disminución de la acidificación por parte de las bacterias termófilas y un batido de los granos de cuajada más intenso.</p> <p><i>Calentamiento y lavado de cuajada</i>: El lavado de cuajada se realiza con agua de buena calidad a 40 °C (incrementa la sinéresis del suero y disminuye la acción acidificante de las bacterias termófilas.</p> <p>Aproximadamente en la misma proporción que se retiró el suero y tiene que ser vertida conjuntamente con agitación de cuajada por las paredes de la olla o tina de cocción.</p> <p>El agua de lavado también contiene NaCl disuelta en una proporción de hasta 600 g NaCl/100 L de leche. La sal proporciona características organolépticas propias del queso, textura, control de actividad de microorganismos y enzimas. La adición de sal al lavado de la cuajada también permite disminuir el tiempo de “salado” y acelerar la producción.</p> <p><i>Segundo batido</i>: Se mantiene el batido vigoroso por un tiempo de 5 a 10 min. El segundo batido no afecta la humedad ni el pH final del queso, pero organolépticamente mejora su consistencia (“cuerpo”) en relación con los quesos semi duros.</p> <p><i>Segundo desuerado y separación de la cuajada</i>: Se debe extraer el 70 % del suero restante. Se utiliza la jaula de acero inoxidable y un filtro de lienzo. El suero es recolectado para otras operaciones o para ser vendido como alimento de ganado porcino.</p>

Tabla 3.44. Propuestas de mejora en el procesamiento de queso (continuación...)

Método actual	Propuesta de método mejorado
<p>Presando, se lo realiza por “partes”. Debido a la técnica actual de prensado se necesita después del salado un pre almacenamiento por 24 h hasta que el queso libere todo el suero retenido por falla de presión y tiempo de prensado.</p>	<p><i>Prensado:</i> Permite la unión completa de los granos de cuajada, formación de la corteza del queso y dar forma y consistencia característica del queso, debe ser paulatino porque la corteza puede encapsular gotas de suero dentro del cuerpo del queso. Se calcula una presión de 300 g/cm² de superficie de queso.</p> <p>Se recomienda que la prensa sea colocada y adaptada de manera horizontal como se observa en el anexo II, la presión será regulada mediante la instalación de un tornillo.</p> <p>El tiempo debe ser de entre 30 y 60 min a presión constante y se consigue que el queso no libere más suero y posterior su empacado sea inmediato (cuando el prensado se ejecuta correctamente el queso no libera suero una vez empacado).</p> <p>Se evitaría el “pre almacenamiento” y el uso de espacio en el cuarto frío además que la producción de queso se realizaría en una sola jornada laboral y no en partes (un día la producción y al día siguiente el empacado).</p>

Con las propuestas se diseña y propone el nuevo proceso para la elaboración del producto queso (diagrama analítico de proceso), representado en la tabla 3.45.

Con la propuesta de mejora de los métodos utilizados en la fabricación de quesos, enfocado en reducir el tiempo de procesamiento y los métodos detectados como problemáticos se tiene una reducción de tiempo de procesamiento a 228 min, con 16 operaciones, 3 transportes, 0 esperas, 7 inspecciones y 1 almacenamiento. El tiempo de ciclo del trabajo propuesto es de 228 min (3,8 h)

Tabla 3.45. Diagrama de analítico de proceso para la elaboración de queso (método propuesto)

	Descripción	d (m)	t (min)	Símbolo					Observaciones
				○	⇒	D	□	▽	
1	Receptar	-	10				.		Se realizan las pruebas de andén a la materia prima
2	Filtrar	-	-	.					Al mismo tiempo del trasvaso de bidones al tanque receptor
3	Bombear	10	2		.				Hacia olla de cocción
4	Calentar	-	15	.					Pasteurizar con batido mecánico hasta 72°C
5	Enfriar		10						Con batido mecánico hasta 60 °C
6	Inspeccionar T	-	0.1				.		A 60°C
7	Adicionar CaCl	-	0.1	.			.		A la temperatura de 60°C
8	Adicionar cuajo	-	0.1	.			.		A la temperatura de 40°C y mantener a esta temperatura
9	Batir	-	1	.					
10	Coagular	-	30	.					
11	Inspeccionar consistencia de cuajada		0.1				.		Efecto “espejo”
12	Cortar		0.5	.					Cortar cuajada “grano haba”
13	Reposo		5						
14	Batir		10	.					Primer batido, con pala
15	Desuerar		1	.					Primer desuerado, del 30 a 35% del total del suero
16	Lavar de cuajada		5	.					Con agua caliente a 40°C y con 2-3% de sal
17	Batir		10	.					Segundo batido, con pala
18	Desuerar		3						Segundo desuerado, aproximadamente el 70% del suero.
19	Moldear		30	.					Moldes de PVC, mallas.
20	Prensar		60	.					En la prensa horizontal
21	Salar		15	.			.		
22	Envasar		20	.					Enfundar
23	Inspeccionar calidad		0.1						
24	Almacenar		5	.			.		
	Total	21.6	233	16	3	0	7	1	

3.5.2. ESTUDIO DE MÉTODOS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE YOGUR

En la tabla 3.46 se detalla, mediante un diagrama SIPOC el alcance y el enfoque de la línea de producción de yogur.

Tabla 3.46. Diagrama SIPOC de la línea de procesamiento de yogur

Proveedor	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
Ganaderos locales	Leche fluida	Inspeccionar	Datos de calidad de materia prima.	Clientes Tiendas
Empresa de insumos agrícolas	Insumos de laboratorio	Pasteurizar	Materia prima con calidad microbiológica estable.	
	Diesel	Adicionar 1		
Gasolinera (diésel para caldero)	Vapor (energía)	Enfriar	Leche semi cuajada (yogur sin sabor)	
	Azúcar	Adicionar 2		
Empresa de envases plásticos	Fermento lácteo	Encubar	Yogur batido (liquido)	
	Colorante	Batir	Yogur saborizado	
	Saborizante	Adicionar 3		
	Empaque (envase plástico y etiqueta).	Envasar		
		Almacenar		

Para la propuesta de mejora de los métodos de trabajo y tiempo del ciclo de procesamiento, se sigue la misma metodología del análisis del producto queso y se identifican las operaciones que toman el mayor tiempo de procesamiento a partir de los resultados de la tabla 3.33 (muestreo del trabajo) que señalan el porcentaje de “apareamiento” de las actividades en el ciclo de procesamiento.

3.5.2.1. Descripción de los métodos a ser mejorados en la elaboración de yogur

En la tabla 3.47 se compara los problemas identificados y el método actual utilizado en el proceso de fabricación de yogur y el método mejorado propuesto.

Tabla 3.47. Propuestas de mejora en el procesamiento de yogur

Método actual	Propuesta de método mejorado
<p>El tiempo improductivo que representa en el tratamiento de la materia prima un 53%, en transformación de materia prima un 42% y en acabado un 61%.</p>	<p>Eliminar a través de supervisión de personal técnico (actualmente la empresa es manejada a discreción de los operarios).</p>
<p>Tiempo dedicado a limpieza, garantiza la inocuidad de los alimentos, pero al ser repetidas con alta frecuencia incurren en desperdicio de tiempo y recursos.</p>	<p>El lavado de manos sea solo cada cambio de actividad, el lavado de herramientas y maquinaria sea realizado al finalizar las actividades una sola vez de manera correcta para evitar el lavado “reiterado”.</p>
<p>Tiempo de tratamientos térmicos: se incurre nuevamente en el problema en común de que no se purgan la tubería ni la maquinaria, demorando el calentamiento.</p> <p>En la marmita calienta a 80°C la leche. Este equipo en especial permite el calentamiento teórico hasta 100°C, pero se lo utiliza para calentar agua para la limpieza de la planta.</p>	<p>Purgar tubería y maquinaria al finalizar y empezar el proceso productivo.</p>
<p>El tiempo de tratamiento térmico, calentamiento toma en promedio 40 minutos y el enfriamiento 20 minutos.</p> <p>No se utiliza las aspas mecánicas con las que cuenta el equipo.</p>	<p>Purgar la maquinaria. Cerrar la válvula de purga y aumentar el flujo de vapor. Bombear la leche hacia la marmita. En el calentamiento utilizar las aspas para acelerar el calentamiento y enfriamiento de la leche.</p>
<p>Adición, se añaden 50 kg de azúcar por cada parada de yogur procesado mientras se realiza el calentamiento de la leche.</p> <p>Una concentración superior al 10% de edulcorante altera las condiciones de fermentación por cambio en la presión osmótica de la leche.</p>	<p>Se debe verter solamente el fermento láctico y en la actividad de batido se debe agregar los edulcorantes., saborizantes y colorantes.</p> <p>A la temperatura de 40 a 45 °C se vierte el cultivo fermentador del tipo D.V.S (direct vat set) que contienen microorganismos liofilizados termófilos como lo son: <i>Streptococcus salivarius ssp. thermophilus</i>, <i>Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus</i>, <i>Lactobacillus helveticus</i> y <i>Lactobacillus lactis</i> que son microorganismos homofermentativos (transforman la lactosa de la leche en ácido láctico dando las características de sabor y aroma al yogur, la acidificación inhibe la acción de otras bacterias dañinas) y su temperatura óptima de desarrollo está comprendida entre los 40 a 45 °C.</p>
<p>Batido 1, se bate con el mezclador manual que se utiliza para mezclar la leche y con una pala de madera.</p>	

Tabla 3.47. Propuestas de mejora en el procesamiento de yogur (continuación)

<p>Incubación, se lo realiza por 24 h, esto implica el consumo prolongado de energía (vapor del caldero), el tiempo de proceso sea extenso.</p> <p>El tiempo de incubación se extiende debido a la adición previa de azúcar (el incremento de presión osmótica afecta la actividad de las bacterias lácticas). Por inspección visual se determina que el yogur se ha formado.</p>	<p>La marmita es un equipo diseñado para mantener la temperatura de incubación. El tiempo recomendado de incubación es de 3 h y se recomienda realizar pruebas de laboratorio para verificar que el yogur tenga una acidez entre 60 a 70 °D.</p>
<p>Batido 2, No se utilizan las aspas mecánicas de la marmita. Se bate con la pala de madera y el mezclador de leche.</p>	<p>Se debe utilizar las aspas mecánicas con las que cuenta el equipo.</p> <p>Las aspas garantizan un batido uniforme, evita el ingreso de aire en el cuerpo del yogurt, disminuye el tiempo y esfuerzo de batido y se obtiene la textura y fluidez correctas del yogur.</p>
<p>Trasvaso hacia tanques de 40 L, esto es debido a la variedad de sabores y presentaciones (en volumen) de productos que tiene la empresa.</p> <p>Cada tanque es adicionado con saborizantes y colorante lo que toma un tiempo prolongado de preparación, adición y batido.</p>	<p>Se recomienda que tanto la adición de edulcorantes (almíbar de alta densidad, jarabes o mermelada), saborizantes y colorantes sea en el proceso de batido y que sea de una sola presentación para reducir el tiempo que implica preparar varios sabores, aunque se mantenga la variación de presentaciones (volúmenes).</p> <p>Se debe la instalación de una válvula que salga directamente desde la marmita para el envasado.</p> <p>El trasvaso primero hacia los tanques de aluminio de 40 L (adición de saborizantes, y colorantes) después el trasvaso hacia el tanque de llenado manual de 100 L, demora esta actividad, genera desperdicio en recursos (se lava el tanque de llenado manual cada cambio de sabor y se lavan más tanques).</p>

En la tabla 4.48 se observa el nuevo proceso propuesto.

Tabla 3.48. Cursograma analítico de proceso para la elaboración de yogur (método propuesto)

	Descripción	d (m)	t (min)	Símbolo					Observaciones
				○	⇒	D	□	▽	
1	Receptar	-	10				.		Pruebas de anden
2	Filtrar	-	-	.					
3	Bombear	15	2		.				Hacia marmita
4	Calentar	-	20	.					Esterilizado a 80°C por 20 min con batido mecánico.
5	Inspeccionar T	-	0.1				.		Inspección de temperatura y tiempo de tratamiento correcto.
6	Enfriar	-	15	.					Hasta 50 °C con batido mecánico.
7	Inspeccionar T	-	0.1				.		Inspección de temperatura
8	Inocular	-	0.1	.					Fermentos lácteos
9	Mezclar	-	5	.					Con batido mecánico
10	Incubar	-	180	.					En marmita, en reposo a 45°C
11	Inspeccionar T	-	0.1				.		Verificar T
12	Inspeccionar acidez	-	5				.		Realizar prueba de laboratorio para comprobar que la acidez se encuentre entre 60 – 70°D
13	Batir	-	10	.					Batido mecánico para dar textura al yogur (yogur batido)
14	Inspeccionar consistencia	-	0.1				.		Inspección visual
15	Adición		2	.					Edulcorante, saborizante y colorante
16	Batir		5	.					Con batido mecánico para mezclar edulcorantes, saborizantes y colorantes.
18	Envasado		40	.					
19	Almacenamiento	-	5					.	
20	Inspección	-	0.1				.		Inspeccionar calidad del yogur envasado
	Total	15	299.6	10	1	0	7	1	

Con la propuesta de mejora de los métodos utilizados en la fabricación de yogur, enfocado en reducir el tiempo de procesamiento y los métodos detectados como problemáticos se tiene una reducción de tiempo de procesamiento a ~300 min, con 10 operaciones, 1 transporte, 0 esperas, 7 inspecciones y 1 almacenamiento. El tiempo de ciclo del trabajo propuesto es de 299,6 min (~5 h).

Aunque solamente se puede realizar un ciclo de trabajo en la jornada laboral, la propuesta de incremento se visibiliza en que la elaboración de una parada de yogur no tomará dos días (elaboración de dos a 3 veces por semana en el método actual), con el método propuesto será una parada por día.

3.5.3. ESTUDIO DE MÉTODOS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE NATA

En la tabla 3.49 se detalla, mediante un diagrama SIPOC el alcance y el enfoque de la línea de producción de nata. Teniendo en cuenta que el proceso de elaboración de nata no parte de la recepción de la materia prima, sino se extrae una alícuota de leche del proceso de elaboración de quesos.

El diagrama SIPOC para este caso consideró que la materia prima para la elaboración de la nata, parte desde la recepción de la materia prima (pruebas de andén).

También se debe tomar en cuenta que la elaboración de nata fue la forma antigua de obtención de crema de leche (ahora se obtiene por descremadores mecánicos) no existe un manual de operación.

Se partirá el proceso desde la misma técnica de procesamiento y se darán las propuestas de mejoramiento del proceso.

Tabla 3.49. Diagrama SIPOC de la línea de procesamiento de nata

Proveedor	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
Ganaderos locales	Leche fluida	Inspeccionar	Datos de temperatura	Clientes Tiendas
Empresa de insumos agrícolas	Insumos de laboratorio	Calentar	Materia prima con calidad microbiológica estable.	
	Diesel	Trasvasar		
Gasolinera (diésel para caldero)	Vapor (energía)	Calentar	Leche con su componente graso con menor densidad (el calor desestabiliza las emulsiones)	
Empresa de envases plásticos	Aditivos (conservantes)	Adicionar		
	Empaque (envase plástico y etiqueta).	Envasar		
		Almacenar	Capa de grasa y componente proteico (nata)	

3.5.3.1. Descripción de los métodos a ser mejorados en la elaboración de nata

Para la propuesta de mejora de los métodos de trabajo y tiempo del ciclo de procesamiento se identifican las operaciones que toman el mayor tiempo de procesamiento a partir de los resultados de la tabla 3.36 (muestreo del trabajo) que señalan el porcentaje de “apareamiento” de las actividades en el ciclo de procesamiento.

Tabla 3.50. Propuestas de mejora en el procesamiento de nata

Método actual	Propuesta de método mejorado
El tiempo improductivo que representa en el tratamiento de la materia prima un 55%, en transformación de materia prima un 20% y en acabado un 80%.	Eliminar a través de supervisión de personal técnico (actualmente la empresa es manejada a discreción de los operarios).
Tiempo dedicado a limpieza , garantiza la inocuidad de los alimentos, pero al ser repetidas con alta frecuencia incurren en desperdicio de tiempo y recursos.	El lavado de manos sea solo cada cambio de actividad, el lavado de herramientas y maquinaria sea realizado al finalizar las actividades una sola vez de manera correcta para evitar el lavado “reiterado”.
Tiempo de tratamientos térmicos , el problema de no purgar la tubería ni maquinaria es constante para todos los productos.	Purgar tubería y maquinaria al finalizar y empezar el proceso productivo.
El tiempo de tratamiento térmico , primero se hierve la leche en una olla de aluminio (ocupa gas, transporte incensario, acomodar la cocina industrial). La leche se trasvasa nuevamente una de las dos ollas de cocción ocupando por un lapso aproximado de 4 horas para la extracción de la nata.	Purgar la maquinaria. Cerrar la válvula de purga y aumentar el flujo de vapor. Bombear la leche hacia la marmita. No se debe hervir la leche, de los ácidos grasos que posee la leche el que tiene mayor importancia para este producto (nata) es el “ácido esteárico” debido a su punto de fusión que es el más alto (69.3 °C). La temperatura del pasteurizado que es de 70-72 °C y permitirá “derretir” todos los ácidos grasos existentes en la leche. Por diferencia de densidades la grasa asciende juntamente con una fracción desnaturalizada de la lactoalbúmina formando la capa de nata. La actividad de hervir la materia prima consume recursos (gas, agua de lavado, tiempo) se podría procesar directamente en la olla de cocción #3 que actualmente no se utiliza o se la utiliza para calentar agua para limpieza.

Con las propuestas de mejora de los métodos se propone el siguiente proceso representado en el siguiente diagrama analítico de proceso, como se observa en la tabla 3.51.

Tabla 3.51. Cursograma analítico de proceso para la elaboración de nata (método propuesto)

	Descripción	d (m)	t (min)	Símbolo					Observaciones
				○	⇒	D	□	▽	
1	Receptar	-	10					·	Se realizan las pruebas de andén a la materia prima
2	Filtrar	-	-	·					Al mismo tiempo del trasvaso de bidones al tanque receptor
3	Bombear	10	2		·				Hacia olla de cocción
4	Calentar	-	15	·					Pasteurizar con batido mecánico hasta 72 °C
5	Inspeccionar	-	0.1					·	Temperatura a 72 °C
6	Estabilizar		240	·					Mantener a la temperatura de 72 °C y en reposo
7	Inspeccionar	-	5					·	Por inspección visual determinar la formación de nata
8	Recolección	-	5	·					Con colador plástico recolecta la nata en un recipiente
9	Adicionar	-	0.1	·					Sorbato de potasio como conservante
10	Batir	-	2	·					Con cucharón
11	Envasar	-	20	·					En tarrinas de 90 g
12	Almacenar	-	2					·	En cuarto frío
	Total	10	301	7	1	0	3	1	

Con la propuesta de mejora de los métodos utilizados en la fabricación de nata, enfocado en reducir el tiempo de procesamiento y los métodos detectados como problemáticos se tiene una reducción de tiempo de procesamiento a 301 min, con 7 operaciones, 1 transporte, 0 esperas, 3 inspecciones y 1 almacenamiento. El tiempo de ciclo del trabajo propuesto es de 301 min (~5 h).

En el caso de la nata el tiempo de la actividad principal (mantener la temperatura de 72 °C constante en el periodo de 4 h) no es posible reducirlo, sino, se trabaja en las actividades contributivas para reducir el tiempo total de producción eliminando en especial el tiempo improductivo.

3.6. PROGRAMA DE SIMULACIÓN SIMUL8.

3.6.1. DETERMINACIÓN DE NODOS Y CAPACIDAD DE SERVIDORES DEL ÁREA DE FABRICACIÓN

Para determinar la cantidad y capacidad de servidores (nodos) por cada línea de fabricación se tomaron las siguientes consideraciones:

- a) Las líneas de fabricación de derivados lácteos: queso, yogur y nata son independientes unos de otros y para cada producto se tiene la maquinaria y herramientas necesarias para su producción.
- b) De la matriz “productos vs procesos” se establece que la fabricación de los productos de la empresa es del tipo “proceso por lotes grandes” es decir con un flujo lineal desconectado, trabajo moderadamente complejo, con múltiples productos y con un volumen bajo a moderado.
- c) Los productos fabricados no reciben sub ensambles o partes compradas, sino que pasan de un nodo a otro hasta ser completados.
- d) Actualmente la empresa no utiliza toda la capacidad de la maquinaria ni del recurso tiempo.
- e) Se realizó los cálculos de *capacidad de carga* de maquinaria permitiendo un 10% de colchón de capacidad en las ollas de cocción y marmita (ocupar el 100% de la capacidad incrementaría el peligro de derrames de leche, cuajo, suero, yogur, colorantes, entre otros).
- f) No se estima holgura para los tiempos estándar definidos en la sección anterior debido a que existen actividades donde el operario no debe realizar ninguna acción (actividades de maquinado), por ejemplo: en el pasteurizado, enfriado, cuajado, incubación, batido y mezclado automático del yogur y tiempo de formación de nata. En dichos procesos de inactividad del operario podrá utilizarse para actividades de preparación y descansos.

En la tabla 3.52 se observa el valor del porcentaje de *capacidad de carga* de maquinaria (porcentaje de *utilización de capacidad*) disponible y existente en la planta.

Se utilizará el promedio anual de litros procesados y su densidad para cada tipo de producto del año 2016. Como se mencionó anteriormente, un “0” significa que no hubo producción y es un dato relevante porque los costos fijos de la empresa continúan, aunque no se produzca.

Tabla 3.52. Capacidad de carga de maquinaria del área de fabricación medido en masa (kg) y volumen (L) y porcentaje de utilización de capacidad de maquinaria actual de la empresa

Máquina-herramienta	Capacidad teórica (capacidad “de manual”)	Carga de maquinaria estimada para fabricación con 10% de colchón de capacidad.	Capacidad utilizada (promedio por día en el 2016)	% de utilización	Observación
Tanque receptor	500 L	-	-	100%	Se considera de capacidad infinita debido a que éste paso se utiliza para filtrar y bombear la leche hacia la planta.
Olla de cocción 1	600 L	540 L	219 L	41%	1 vez por día para la producción de queso
Olla de cocción 2	600 L	540 L	53 L	10%	1 vez por día para la producción de nata
Olla de cocción 3	500 L	450 L	0 L	0%	Se utiliza para calentar agua
Mesa 1	152 moldes/ques o 500 g	-	~144 u/día	94.7 %	1 vez por día
	435 moldes/ques o 125g	-	~55 u/día	13%	1 vez por día (no se produce todos los días)
	150 moldes/ques o 400g	-	~9 u/día	6%	1 vez por día (no se produce todos los días)
Mesa 2	330 moldes/ques o 500g	-	0 u/día	0%	Ésta mesa se utiliza para actividades varias: mezclar aditivos del yogurt, “sostener” envases, entre otras actividades no productivas.
	516 moldes/ques o 125g	-	0 u/día	0%	
Prensa	moldes/ques o 500 g		~ 130 moldes/día		Existen en reserva aproximadamente 800 moldes.
	moldes/ques o 125g		~150 moldes/día		
	moldes/ques o 400g		~25molde s/día		
Marmita	600 L	540 L	~247 L	46%	No se produce todos los días

Tabla 3.52. Capacidad de carga de maquinaria del área de fabricación medido en masa (kg) y volumen (L) y porcentaje de utilización de capacidad de maquinaria actual de la empresa (continuación ...)

Enfundadura automática	Fundas de yogurt de 100 y 150 mL/semana	115 200 u/semana	300 u/semana	0,3%	1 vez por semana
Tanque para envasado manual	100 L	90 L	90L	100%	Una de las recomendaciones es la adaptación de una válvula dosificadora que salga directamente desde la marmita hacia el envasado
Reserva de moldes para queso	800 moldes de 500g	800 moldes	140 moldes/día	18%	Se utilizan los moldes del día anterior
	400 moldes de 400g	400 moldes	7 moldes/día	2%	Se utilizan los moldes del día anterior
	400 moldes de 125g	400 moldes	50 moldes/día	13%	Se utilizan los moldes del día anterior

3.6.2. VARIABLES PARA LA SIMULACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE QUESO

Se realizaron las siguientes consideraciones para homologar en una sola unidad de medida de masa (kg) la materia prima y productos obtenidos:

- La cantidad de leche que pueden receptor las dos ollas de cocción del área de fabricación de quesos es de 1 080 L (con el 10 % de colchón de capacidad como lo indica la tabla 3.52).
- Para obtener una unidad de queso de 500 g se necesitan 3 litros de leche. Es decir, se obtendrían: $1\ 080\ L / 3\ L\ \text{por queso de } 500\ g = 360\ \text{quesos de } 500g$ ($360\ \text{quesos} \times 500\ g = 180\ \text{kg de queso}$).
- La capacidad de producción de las dos ollas de cocción es de 180 kg queso/lote.
- La densidad de leche es de $1\ 030\ \text{kg/m}^3$ y se tiene que la masa de leche que pueden ser procesada por lote es de 1 112,4 kg de leche/lote.

Se realizaron las siguientes consideraciones para determinar los nodos de la línea de fabricación del queso:

- a) Cada nodo tiene una máquina que realiza múltiples actividades, por ejemplo, en el nodo 2 se encuentran las “ollas de cocción” que realizan las actividades de tratamientos térmicos, cuajado, corte, moldeo, entre otros, o cada nodo tienen una máquina que tiene un tiempo prolongado de maquinada, por ejemplo, el salado (60 min).
- b) El tiempo de procesamiento e cada nodo se obtuvo sumando el tiempo individual de cada actividad.

En la tabla 3.53 se observa las actividades que realizan cada servidor o nodo de la línea de producción de queso (actividades propuestas que se observan en la tabla 3.45 y la capacidad de los equipos de la tabla 3.52), donde se determina que existen 6 nodos para este producto.

Tabla 3.53. Nodos o servidores en el procesamiento del producto queso

Servidor (nodo)	Actividades	Tiempo de procesamiento		Capacidad [kg/lote]
		t [min]	t [h]	
1. Recepción	Pruebas de andén. Bombear la materia prima	12	0,283	∞
2. Ollas de cocción	Calentar (tratamientos térmicos) Enfriar, Inspeccionar Adicionar CaCl Adicionar cuajo Batir Coagular Inspeccionar consistencia de cuajada Cortar Reposo Batir, Desuerar	~86	1,431	180
3. Mesas de acero	Moldeo	30	0,5	241
4. Prensa	Prensado	60	1	130
5. Salado	Salar	15	0,25	300
6. Envasado	Envasado	20	0,333	-

3.6.3. VARIABLES PARA LA SIMULACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE YOGUR

Se realizaron las siguientes consideraciones para determinar los nodos de la línea de fabricación del yogur y homologar en una sola unidad de medida de masa (kg) la materia prima y productos obtenidos:

- a) Cada nodo tiene una máquina que realiza varias actividades (por ejemplo, la marmita realiza actividades como el calentamiento, enfriamiento, incubación, entre otros) o un tiempo prolongado de maquinado (el envasado tiene una duración de 40 min).
- b) El tiempo de procesamiento e cada nodo se obtuvo sumando el tiempo individual de cada actividad.
- c) La capacidad de carga de la marmita es de 540 L.
- d) La leche tiene una densidad de 1 030 kg/m³, la marmita tendría una capacidad de 556,2 kg/lote.

En el caso del producto yogur se tiene tres servidores o nodos: Recepción, tratamientos térmicos y envasado. De los cuales la marmita se ocupa 242,5 min de 299,6 min (~81 %).

En la tabla 3.54 se observa las actividades propuestas que realiza cada servidor o nodo en la producción de yogur (actividades propuestas provenientes de la tabla 3.48 y la capacidad de los equipos de la tabla 3.52).

Tabla 3.54. Nodos o servidores en la línea de procesamiento de yogur

Servidor / nodo	Actividades	Tiempo de procesamiento		Capacidad [L/lote]
		t [min]	t [h]	
1. Recepción	Pruebas de andén. Bombear la materia prima Filtrar	12	0,2	∞
2. Marmita	Calentar (tratamientos térmicos) Inspeccionar Enfriar Inspeccionar T Inocular Mezclar Incubar Inspeccionar T Inspeccionar acidez Batir Inspeccionar consistencia Adición Batir	242,5	4,04	540
3. Envasado	Envasar	40	0,66	-

3.6.4. VARIABLES PARA LA SIMULACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE NATA

Se realizaron las siguientes consideraciones para homologar hacia unidades de masa el producto nata y determinar los nodos de la línea de fabricación de la nata:

- a) El producto “nata” se expende en tarrinas de presentación de 90 g y por lo tanto su producción y cálculos se los realizaron en unidades de kilogramos.
- b) La densidad de la leche es de 1 030 kg/m³, por lo tanto, la capacidad de la olla de cocción #3 es de 463,5 kg.
- c) En el año 2016 el promedio de kilogramos de leche utilizados para la producción de nata es de 87,01 kg (promedio de leche utilizada es 84,48 L) y el promedio por día (entre los días que si se produjo nata) de kilogramos de nata obtenidos fue de 11,74 kg, es decir que de la cantidad de leche utilizada se obtuvo un 13 % en masa de producto nata.
- d) Las actividades propuestas y la capacidad de máquinas se toman de la tabla 3.51 y 3.52 respectivamente.
- e) La recepción, envasado y recolección (nodos 1, 3 y 4) tienen capacidad infinita y se adaptan a la capacidad máxima de la olla de cocción #3.
- f) Cada nodo tiene una máquina que realiza múltiples actividades (por ejemplo, la olla de cocción #3 tiene los procesos térmicos, formación de la nata, entre otros) o tiene tiempo prolongado de maquinado.

En la tabla 3.55 se observa los nodos y las actividades que realizan cada servidor de la línea de producción de nata.

Tabla 3.55. Nodos o servidores en el procesamiento del producto nata

Servidor / nodo	Actividades	Tiempo de procesamiento		Capacidad [kg/lote]
		t [min]	t [h]	
1. Recepción	Pruebas de andén. Bombear la materia prima Filtrar	12	0,2	∞
2. Olla de cocción #3	Calentar (tratamientos térmicos) Inspeccionar Estabilizar Inspeccionar Recolección (nata)	265,1	4,418	60,23
3. Recipiente plástico	Adicionar Batir	2,1	0,035	∞
4. Envasado	Envasar Almacenar	22	0,366	-

El tiempo de arribo se obtuvo de la sumatoria del nodo 1 y 2 para ciclos de trabajo sucesivos (el tiempo de arribo entre paradas se configuró en cuanto el nodo 2 termina su tiempo de maquinado) y para el producto nata se toman en cuenta las siguientes acotaciones:

El programa simul8 permitió detectar el siguiente problema. Las líneas de producción tienen diferentes tiempos de procesamiento y cada vez que queda libre el nodo 2 (ollas de cocción o marmita de todas las líneas de producción) y que se ha identificado que tienen la menor tasa de servicio (μ) se puede realizar una nueva carga leche, pero la producción de leche vacuna desde el hato ganadero no se produce en cantidades pequeñas ni exactas. Para resolver este problema la instalación de un silo refrigerante para leche (“tanque frío”), el cual tiene la capacidad de disminuir la temperatura de la leche a 4 °C y se puede preservar la materia prima durante la jornada laboral para su posterior y total utilización cuando el nodo 2 de alguna línea de fabricación quede libre.

3.7. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO (MODELOS DE FILA DE ESPERA Y PROGRAMA SIMUL8)

3.7.1. MODELO DE FILA DE ESPERA $M/M/s_j/GD/\infty/\infty$

Para la aplicación del modelo de línea de espera $M/M/s_j/GD/\infty/\infty$, se utilizó las variables: capacidad de procesamiento de cada servidor (nodo), tiempo de procesamiento de cada nodo (medido en h), tiempo de arribo de la materia prima (por kg o L de materia prima), tiempo de arribo entre nodos y se calculó: la tasa de servicio (μ), tasa de arribo (λ) y la intensidad de tránsito o factor de utilización (ρ) y se comprobó es estado estable de cada nodo (π).

Se determinó cual nodo tiene el menor valor de μ dividiendo la cantidad materia prima (kg) de cada nodo entre el tiempo de maquinado y se subordinó los restantes nodos a la capacidad y tasa de arribo de éste “nodo limitante”.

Se calculó las características de los sistemas de línea de espera: L (número de clientes esperados en el sistema), L_q (cantidad esperada de clientes en cola), L_s (cantidad de clientes en servicio), W (tiempo esperado que un cliente permanezca en el sistema), W_q (tiempo esperado que un cliente permanece en fila de espera a ser procesado), W_s (tiempo esperado que un cliente pasa en el servicio).

3.7.1.1. Modelamiento de línea de espera $M/M/s_j/GD/\infty/\infty$ para el producto queso

Para aplicar el modelo de línea de espera $M/M/s_j/GD/\infty/\infty$ para la línea de producción del producto queso se tomaron las siguientes consideraciones:

- a) Los cálculos se los realizó en kg.
- b) Un kilogramo de materia prima (leche vacuna) equivale a un “cliente”.
- c) Las unidades de tiempo se expresan en horas.
- d) Los tiempos de arribo y procesamiento son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas con una distribución exponencial.

- e) La capacidad de cada nodo proviene de la tabla 3.52 y el tiempo de procesamiento proviene de la tabla 3.45.
- f) La densidad de la leche es de $1\ 030\ \text{kg/m}^3$ para realizar las conversiones de litros a kilogramos.
- g) La capacidad de procesamiento de las dos mesas de acero (nodo 3) se presenta en kg y no en unidades (moldes de 500, 400 y 125 g).
- h) El tiempo de arribo entre nodos se determinó mediante un gráfico de Gantt entre dos ciclos de trabajo sucesivos. Se observó el tiempo de inicio a inicio de cada nodo y se obtuvo que el tiempo de arribo entre nodos es de 96 min como se puede observar en la figura 3.22.
- i) Para el caso de carga-descarga del nodo 2 se permitió un tiempo de preparación de la maquinaria (actividades de lavado y limpieza de las ollas de cocción, lira de corte, aspas de batido mecánico).
- j) En el caso de los restantes nodos no se adicionó un tiempo de preparación debido a que las operaciones de maquinado anteriores son prolongadas y no se requiere la presencia de operario y mientras ocurre el maquinado se puede preparar el siguiente nodo para sus respectivas actividades.
- k) Los ciclos de trabajo se configuraron con base en el uso de las ollas de cocción (nodo 2) debido a que éste proceso requiere de mayor número de recursos (recurso tiempo, energía y mano de obra) y tiene la menor *tasa de servicio* (μ).

En la tabla 3.56 se observa que los valores de μ superan a los valores de λ esto permite que el *estado estable* sea constante y la línea de fabricación no se “amplifique”.

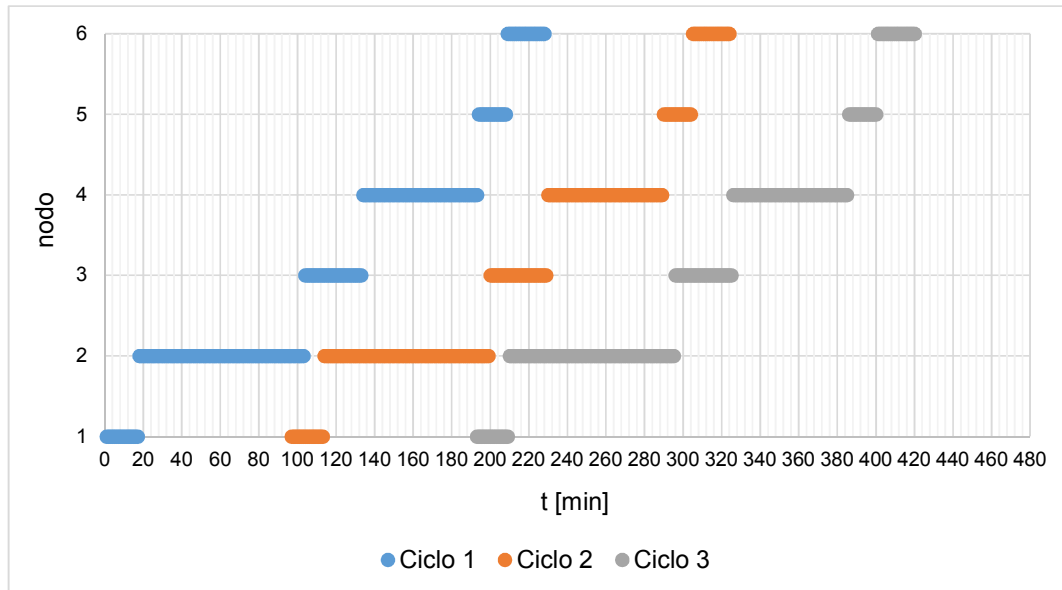


Figura 3.22. Diagrama de Gantt de ciclos sucesivos de trabajo para el producto queso (determinación de tiempos de arribo entre nodos)

En la tabla 3.56 se observan los valores de tiempo de procesamiento o maquinado en horas, la capacidad de máquinas medido en kilogramos. Se determinó que el nodo 2 tiene la menor tasa de servicio y por lo tanto este nodo limita a toda la producción de la línea de fabricación de queso.

Ejemplo de cálculo de la tasa de servicio (μ) para el nodo 2, con la ecuación 1.14.

$$\mu = \frac{\text{clientes atendidos}}{\text{tiempo de servicio}}$$

$$\mu = \frac{180 \text{ kg}}{1,43 \text{ h}} = 126 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\mu = 126 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Tabla 3.56. Valores de tiempo de maquinado, capacidad de nodo y tasa de servicio para la línea de fabricación de queso

Nodo	Tiempo de maquinado [h]	Capacidad de nodo [kg/lote]	μ =[kg/h]
1	0,20	180	900
2	1,43	180	126
3	0,50	241	482
4	1,00	200	200
5	0,25	300	1 200
6	0,33	180	540

Teniendo en cuenta que el nodo 2 es limitante en la línea de fabricación el resto de nodos se subordinan para evitar que alguno nodo se “amplifique”. Se tiene que el tiempo de arribo (medido con el tiempo de arribo entre nodos que es el mismo para todos y la capacidad de máquina del nodo 2) calculado con la ecuación 1.14:

$$\lambda = \frac{\text{clientes que arriban}}{\text{tiempo}}$$

$$\lambda = \frac{180 \text{ kg}}{1,6 \text{ h}} = 113 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

3.7.1.2. Modelamiento de línea de espera M/M/sj/GD/∞/∞ para el producto queso con μ mínimo

Con el nodo 2 como limitante se subordinó los restantes nodos, es decir por lote de fabricación se podrá procesar solo 180 kg de leche a una tasa de arribo de 113 kg/h.

En la tabla 3.56 se observa que el factor de utilización (ρ) en los nodos 1, 3, 5 y 6 fue bajo, es decir tienen un colchón de capacidad elevado (al ser elevado el colchón de capacidad se incurre en pérdidas económicas por no producir).

El valor de ρ para el nodo 2 fue de 0,9 o 90 % de utilización, siendo el nodo limitante

se ha incrementado su utilización y tiene un 10 % de colchón de capacidad.

Se calculó el *estado estable* (π) utilizando la ecuación 1.15. Ejemplo de cálculo para el nodo 2. En todos los nodos se mantiene el estado estable si y solo si $\pi < 1$.

$$\pi = 1 - \rho$$

$$\pi = 1 - 0,90 = 0,10$$

En la tabla 3.57 también se puede observar los valores de L (número de clientes esperados en el sistema). Ejemplo de cálculo para el nodo 2 utilizando la ecuación 1.16. En total se obtiene 8,60 clientes (kg) en todo el sistema.

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

$$L = \frac{113 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{126 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 113 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 8,60$$

El valor de L_q (cantidad esperada de clientes formados en cola). Ejemplo de cálculo utilizando la ecuación 1.17 para el nodo 2. En total se obtiene 9.01 clientes (kg) formado en cola.

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$$

$$L_q = \frac{\left(113 \frac{\text{kg}}{\text{h}}\right)^2}{126 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \left(126 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 113 \frac{\text{kg}}{\text{h}}\right)} = 7,7$$

El valor de L_s (cantidad de clientes en servicio) se calculó con la ecuación 1.18. Ejemplo de cálculo para el nodo 2. En total se obtiene para el nodo 2 un 0.90 o 90%.

$$L_s = \rho$$

$$L_s = 0,90$$

El valor de W (tiempo esperado que un cliente permanezca en el sistema) se calculó con la ecuación 1.19. Ejemplo de cálculo para el nodo 2. En total se tiene 0.10 h/cliente(kg).

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

$$W = \frac{1}{126 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 113 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 0,07 \frac{\text{h}}{\text{kg}}$$

El valor de W_q (tiempo esperado que un cliente permanece en fila de espera a ser procesado) se calculó con la ecuación 1.20. Ejemplo de cálculo para el nodo 2. En total se obtuvo 0.08 h/kg.

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$$

$$W_q = \frac{113 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{126 \frac{\text{kg}}{\text{h}} (126 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 113 \frac{\text{kg}}{\text{h}})} = 0,068 \frac{\text{h}}{\text{kg}}$$

El valor de W_s (tiempo esperado que un cliente pasa en el servicio) se calculó utilizando la ecuación 1.21 y se obtuvo un valor de 0,02 h/kg. Ejemplo de cálculo para el nodo 2.

$$W_s = \frac{1}{\mu}$$

$$W_s = \frac{1}{126 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 0,008 \frac{\text{h}}{\text{kg}}$$

Tabla 3.57. Cálculos para el modelamiento de línea de espera M/M/s/GD/∞/∞ para el producto queso con μ mínimo (nodo 2)

Nodo	μ [kg/h]	ρ	π	L	Lq	Ls	W [h/kg]	Wq [h/kg]	Ws [h/kg]
1	900	0,13	0,88	0,14	0,018	0,1	0,0013	0,0002	0,0011
2	126	0,90	0,10	8,60	7,704	0,9	0,0764	0,0685	0,0080
3	360	0,23	0,77	0,30	0,071	0,2	0,0027	0,0006	0,0021
4	180	0,56	0,44	1,29	0,723	0,6	0,0114	0,0064	0,0050
5	720	0,09	0,91	0,10	0,010	0,1	0,0009	0,0001	0,0008
6	540	0,21	0,79	0,26	0,055	0,2	0,0023	0,0005	0,0019
$\lambda = 113 \text{ kg/h}$			total	10,70	8,58	2,12	0,09511	0,08	0,0188

De los datos observados se tiene que, si la empresa el Tambo desea incrementar la producción en la línea de fabricación de queso fresco, se debería implementar capacidad en el nodo 2 y 4, es decir, la adquisición de más ollas de cocción y de una prensa para quesos con mayor capacidad, respectivamente.

El tiempo que pasa un cliente (kg) en el servicio es de 0,0188 h/kg es decir; $0,0188 \text{ h/kg} \times 180 \text{ kg/lote} \times 60 \text{ min/h} = 203,41 \text{ min/lote}$ y si se espera a que un ciclo sea completado para empezar otro se podría repetir 2 veces por día de trabajo. Como se observó en el gráfico de Gantt de la figura 3.23 el nodo 2 por ser limitante se apresura su carga/descarga, es decir el ciclo se podría repetir 3 veces por jornada.

La línea de fabricación de queso (limitado por el nodo 2) tiene una capacidad de producción de 180 kg/ciclo multiplicado por 3 ciclos/jornada se tiene:

$$\text{Producción} = 180 \frac{\text{kg}}{\text{ciclo}} * 3 \frac{\text{ciclo}}{\text{jornada}} = 540 \frac{\text{kg}}{\text{jornada}}$$

Si se compara la cantidad promedio diario actual para el año 2016 de producción de kilos de queso producidos con el método actual y la cantidad de kilos de queso que se producirían con el método propuesto se tiene:

$$\text{Incremento de producción} = \frac{p - p_0}{p_0} * 100$$

$$\text{Incremento de producción} = \frac{540 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - 75,34 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{75,34 \frac{\text{kg}}{\text{día}}} * 100$$

$$= \sim 617 \% \text{ de incremento}$$

3.7.1.3. Modelamiento de línea de espera M/M/sj/GD/∞/∞ para el producto yogur

Para aplicar el modelo de línea de espera M/M/sj/GD/∞/∞ para la línea de producción del yogur se tomaron las siguientes consideraciones:

- a) Los cálculos se los realizó en kg.
- b) Un kilogramo de materia prima (leche vacuna) equivale a un “cliente”.
- c) Las unidades de tiempo se expresan en horas.
- d) Los tiempos de arribo y procesamiento son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas con una distribución exponencial.
- e) Para realizar dos ciclos de trabajo la jornada laboral debe extenderse por 108 min (1.8 h).
- f) Se permitió un espacio de 10 min entre la carga y descarga de la marmita para actividades de limpieza y lavado del equipo.
La capacidad de cada nodo proviene de la tabla 3.52 y el tiempo de procesamiento proviene de la tabla 3.48.
- l) La densidad de la leche es de 1 030 kg/m³ para realizar las conversiones de litros a kilogramos.
- m) Como se mencionó en la tabla 3.48 se debe instalar válvulas para el envasado que parten desde la marmita hacia los envases.
- n) En el nodo 1, correspondiente a la recepción con capacidad infinita y esta puede ser igual a la capacidad del nodo limitante y el envasado.
- o) El tiempo de arribo entre nodos se determinó mediante un gráfico de Gantt entre dos ciclos de trabajo sucesivos como se observa en la figura 3.23. Se observó el tiempo inicio a inicio de cada nodo y se obtuvo que el tiempo de arribo entre nodos es de 4,92 h.

En la figura 3.23 se observa el grafico de Gantt para el proceso de elaboración de quesos y se determina el tiempo de arribo entre nodos.

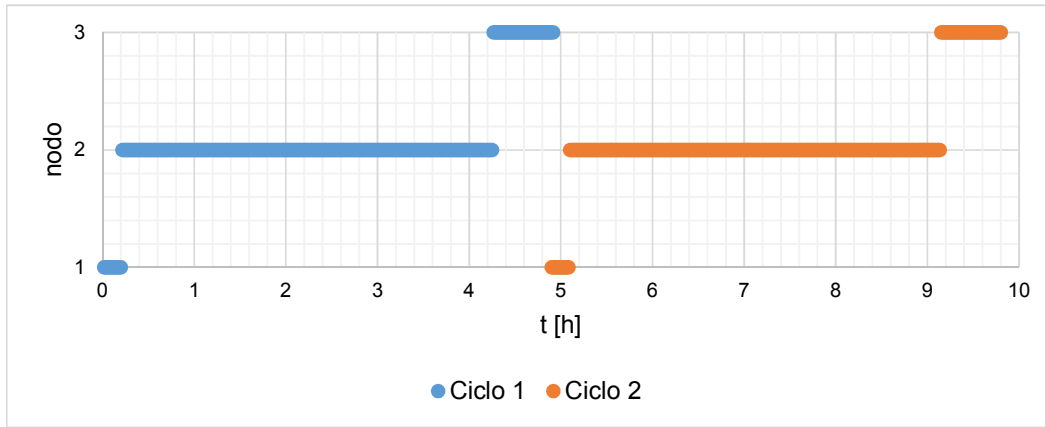


Figura 3.23. Diagrama de Gantt de ciclos sucesivos de trabajo para el producto yogur (determinación de tiempos de arribo entre nodos)

En la tabla 3.58 se observan los valores de tiempo de procesamiento o maquinado en horas, la capacidad de máquinas medido en kilogramos. Se determinó que el nodo 2 tiene la menor tasa de servicio y por lo tanto este nodo limita a toda la producción de la línea de fabricación de yogur.

Tabla 3.58. Valores de tiempo de maquinado, capacidad de nodo y tasa de servicio para la línea de fabricación de yogur

Nodo	Tiempo de maquinado [h]	Capacidad de nodo [kg/lote]	μ [kg/h]
1	0,20	556,2	2 781
2	4,09	556,2	136
3	0,67	556,2	834

El nodo 2 limitó la línea de fabricación y para evitar que este nodo se “amplifique” se subordinó a los restantes nodos a las características del nodo limitante. El tiempo de arribo (medido con el diagrama de Gantt para el tiempo de arribo entre nodos y la capacidad de máquina marmita) fue de:

$$\lambda = \frac{\text{clientes que arriban}}{\text{tiempo de arribo}}$$

$$\lambda = \frac{556,2 \text{ kg}}{4,92 \text{ h}} = 113,04 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

3.7.1.4. Modelamiento de línea de espera M/M/s_j/GD/∞/∞ para el producto yogur con μ mínimo

EL nodo 2 (maquina marmita) fue limitante para toda la línea de fabricación de yogur, es decir se podrá procesar 556,2 kg de leche por lote de producción y con una tasa de arribo (λ) de 113,04 kg/h.

El factor de utilización (ρ) de la marmita fue de 0,86 o 86% lo cual se considera apropiado debido a que casi todo el proceso de producción se ocupa esta máquina. Los nodos 1 y 3 tuvieron un colchón de productividad elevado y se incurre en desperdicio de los recursos.

En la tabla 3.59 se puede observar los valores de: *estado estable* (π), L (número de clientes esperados en el sistema) de 5,14 clientes, kg de leche en procesamiento. L_q (cantidad esperada de clientes en cola) de 4,13 kg de leche en procesamiento. L_s (cantidad de clientes en servicio) de 1,01 kg. W (tiempo esperado que un cliente permanezca en el sistema) de 0,06 h. W_q (tiempo esperado que un cliente permanece en fila de espera a ser procesado) de 0,05 h. W_s (tiempo esperado que un cliente pasa en el servicio) de 0,008 h.

Tabla 3.59. Cálculos para el modelamiento de la línea de espera M/M/s_j/GD/∞/∞ para el producto yogur con μ mínimo

Nodo	μ [L/h]	ρ	π	L	L _q	L _s	W [h/kg]	W _q [h/kg]	W _s [h/kg]
1	2 781	0,04	0,96	0,04	0,002	0,0	0,0004	0,00002	0,0004
2	136	0,83	0,17	4,94	4,106	0,8	0,0437	0,0363	0,0074
3	834	0,14	0,86	0,16	0,021	0,1	0,0014	0,0002	0,0012
$\lambda = 113,04 \text{ kg/h}$			Total	5,14	4,13	1,01	0,05	0,04	0,00891

De los datos calculados para incrementar el volumen de producción de yogur se debe incrementar la capacidad del nodo 2.

El tiempo que pasa un cliente (kg) en el servicio es de 0,00891 h/kg, es decir; 0,00891 h/kg \times 556,2 kg/lote \times 60 min/h= 297,5 kg/lote y para incrementar 2 ciclos por día de trabajo se debería añadir 2 h de mano de obra.

La línea de fabricación de yogur limitada por el nodo 2 tiene una capacidad de producción de 556,2 kg/lote o 540 L/lote. Aunque no se utiliza las 3 horas “sobrantes” de la jornada laboral, pero se comparó el valor propuesto de producción con el promedio diario de producción de yogur en el año 2016, se tiene un incremento de:

$$\text{incremento de producción} = \frac{p - p_0}{p_0} * 100$$

$$\text{incremento de producción} = \frac{540 \frac{\text{L}}{\text{jornada}} - 248,7 \frac{\text{L}}{\text{jornada}}}{248,7 \frac{\text{L}}{\text{jornada}}} * 100$$

$$= 117,12 \% \text{ de incremento}$$

3.7.1.5. Modelamiento de línea de espera M/M/sj/GD/ ∞/∞ para el producto nata

Para aplicar el modelo de línea de espera M/M/sj/GD/ ∞/∞ para la línea de producción del producto nata se tomaron las siguientes consideraciones:

- El procesamiento del producto nata empezará su proceso directamente en la olla de cocción número 3 utilizando su capacidad de 450 L.
- Como se indicó en la sección 3.6.4, literal d), la cantidad de nata que se obtiene de la cantidad de leche utilizada corresponde al 13%, es decir que de 450 L que ingresan a la olla de cocción se obtendrá 58,8 kg (~60 kg) de nata. Entonces la capacidad de la olla de cocción es de 60 kg.
- La recepción y el envasado fueron de capacidad infinita y esto permite que su capacidad se adapte a la capacidad de la olla de cocción #3 (nodo 2 limitante).

En la figura 3.24 se observa el grafico de Gantt para el proceso de elaboración de nata y se determina el tiempo de arribo entre nodos es de 292 min (4,86 h).

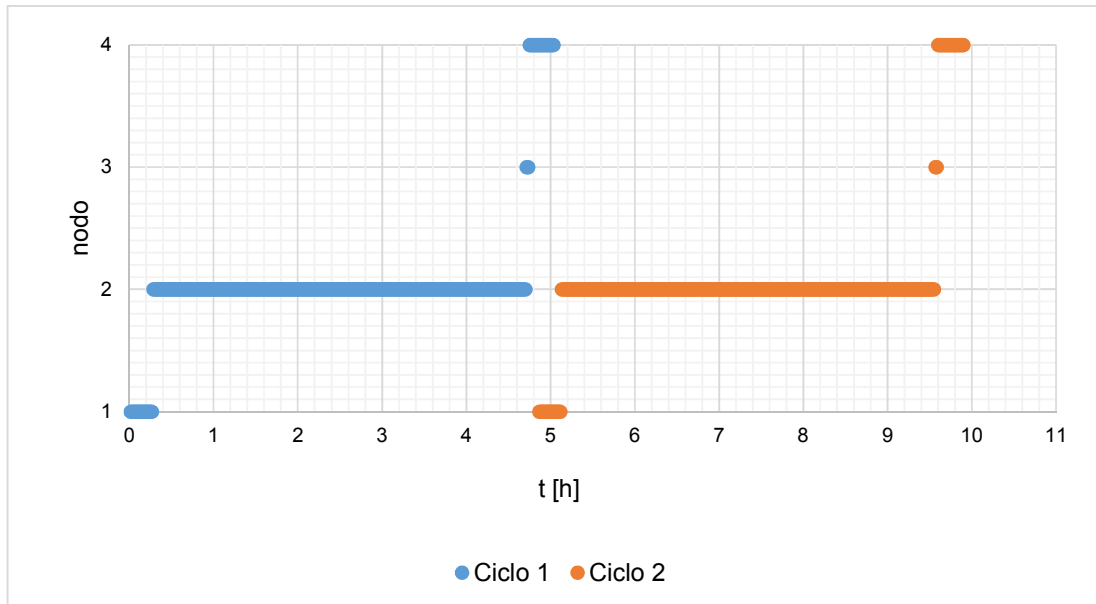


Figura 3.24. Diagrama de Gantt de ciclos sucesivos de trabajo para el producto nata (determinación de tiempos de arribo entre nodos)

En la tabla 3.60 se observan los valores de tiempo de procesamiento o maquinado en horas, la capacidad de máquinas (olla de cocción #3) medido en kilogramos. Se determina que el nodo 2 tiene la menor tasa de servicio y por lo tanto este nodo limita a toda la producción de la línea de fabricación de nata.

Tabla 3.60. Valores de tiempo de maquinado, capacidad de nodo y tasa de servicio para la línea de fabricación de queso

Nodo	Tiempo de maquinado [h]	Capacidad de nodo [kg/lote]	μ [kg/h]
1	0,20	60	300
2	4,42	60	14
3	0,04	60	1 714
4	0,37	60	164

La línea de fabricación se la subordinó en referencia al nodo 2 por tener la tasa de servicio menor de todos. El tiempo de arribo de clientes (kg) es de 4,86 h y con la capacidad del nodo 2 (60 kg) se tiene:

$$\lambda = \frac{\text{clientes que arriban}}{\text{tiempo}}$$

$$\lambda = \frac{60 \text{ kg}}{4,86 \text{ h}} = 12,34 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

3.7.1.6. Modelamiento de línea de espera M/M/sj/GD/∞/∞ para el producto nata con μ mínimo

Se subordinó todos los nodos al valor de la tasa de servicio menor (nodo 2), es decir por lote de fabricación se puede procesar 60 kg de nata con una tasa de arribo (λ) de 12,34 kg/h.

Se observa en la tabla 3.61 que el factor de utilización del nodo 2 es de 0,91 ó 91%, lo cual es aceptable, en comparación con el resto de nodos que poseen colchones de capacidad elevados.

Se calculó el *estado estable* (π), los valores de L (número de clientes esperados en el sistema) de 10,09 kg de nata. L_q (cantidad esperada de clientes en cola) de 9,05 kg de nata. L_s (cantidad de clientes en servicio) de 1,03 kg de nata. W (tiempo esperado que un cliente permanezca en el sistema) de 0.82 h. W_q (tiempo esperado que un cliente permanece en fila de espera a ser procesado) de 0.73 h. W_s (tiempo esperado que un cliente pasa en el servicio) de 0.08 h.

Tabla 3.61. Cálculos para el modelamiento de línea de espera M/M/s; GD/∞/∞ para el producto nata con μ mínimo (nodo 2)

Nodo	μ [kg/h]	ρ	π	L	Lq	Ls	W [h/kg]	Wq [h/kg]	Ws [h/kg]
1	300	0,04	0,96	0,04	0,002	0,0	0,0035	0,00014	0,0033
2	14	0,91	0,09	9,95	9,045	0,9	0,8066	0,73296	0,0736
3	1714	0,01	0,99	0,01	0,0	0,0	0,0006	0,0	0,0006
4	164	0,08	0,92	0,08	0,006	0,1	0,0066	0,00050	0,0061
$\lambda = 12,34$ kg/h			total	10,09	9,05	1,03	0,82	0,73	0,08

De los datos obtenidos se necesita incrementar la capacidad del nodo 2 para incrementar la capacidad de producción de la línea de fabricación de nata.

EL tiempo que pasa un cliente (kg) en el servicio es de 0,08367 h/kg es decir; $0,08367 \text{ h/kg} \times 60 \text{ kg/lote} \times 60 \text{ min/h} = 301,20 \text{ min/lote}$. Existen aproximadamente 3 h que no se utilizan del total de tiempo disponible de la jornada laboral (8 h/jornada), se requieren 3 h de mano de obra extra para completar dos ciclos de trabajo.

Se comparó el valor propuesto de producción con el promedio diario de producción de nata de 84.32 unidades de 90 g (7,58 kg nata/jornada) en el año 2016 de la tabla 3.27 se obtiene un incremento de:

$$\text{Incremento de producción} = \frac{p-p_0}{p_0} * 100$$

$$\text{Incremento de producción} = \frac{60 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - 7,58 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{7,58 \frac{\text{kg}}{\text{día}}} * 100$$

$$= \sim 691 \% \text{ de incremento}$$

3.7.2. CORRIDA DEL PROGRAMA SIMUL 8

Las variables ingresadas en el programa de simulación fueron:

Para la “llegada de materia prima”: tiempo entre llegadas de la materia prima (inter arrival times), cantidad de materia prima por lote (batching), dirección (routing out).

Para cada nodo: tiempo de maquinado (timing), tipo de distribución exponencial, la cantidad de recursos humanos necesarios (resources), la procedencia y cantidad de la materia prima (routing in), hacia donde y en que cantidad sale la materia prima o productos semiprocesados (percent, batching-collect -out), la prioridad (priority default 50).

Para el silo de almacenamiento temporal “tanque frío”: capacidad de almacenamiento (capacity), tiempo de vida útil de la materia prima (shelf life) y cantidad de materia prima almacenada previamente (number of ítems in storage).

Para la salida de lotes procesados (works completed)

Para la cantidad de recursos utilizados (resource, pool resource).

En la simulación se diseñó que, en la llegada de la materia prima las pruebas de andén se realicen antes de que la leche vacuna sea descargada al tanque frío (silo de almacenamiento temporal refrigerado para mantener la calidad microbiana de la leche). Por este motivo el nodo 1 (recepción y pruebas de andén) es común para todas las líneas de producción, es decir por día de producción se recibe una sola vez toda la cantidad de leche necesaria para toda la producción de las líneas de fabricación de la empresa (~4 098 L/jornada).

La leche es almacenada temporalmente en el silo y enfriada a 4 °C para mantener su calidad microbiológica, desde el “tanque frío” la materia prima se distribuye a las diferentes líneas de producción.

Visualmente la configuración del programa se muestra en la figura 3.25.

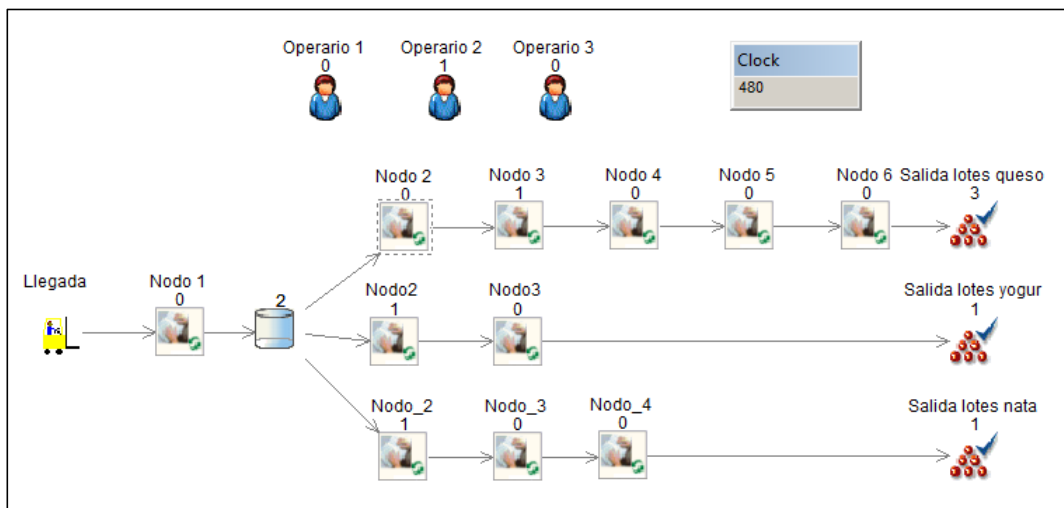


Figura 3.25. Visualización de la configuración en simul8 para la planta procesadora

En la figura 3.25 se muestra la cantidad de lotes que podría producir la empresa tomando en cuenta las mejoras propuestas. Para el producto queso se produciría 3 paradas (~540 kg de queso), para el producto yogur se produciría 1 parada (~540 L) y para el producto nata 1 lote (60 kg).

El resultado de múltiples corridas del sistema (Trial) se muestran los siguientes resultados:

Para el producto queso: El tiempo promedio de trial de 5 corridas sucesivas fue de 348 min (5,8 h) a lo largo de la jornada laboral y se pudo completar 3 paradas de queso. El tiempo máximo en el sistema fue de 461,3 min (7,68 h) casi toda la jornada laboral. Estos datos demuestran que la línea de procesamiento del queso fue la más eficiente porque ocupa la mayor parte del tiempo disponible y produjo tres lotes de productos, además en el gráfico Pareto se demostró que el producto queso es el que provee de mayores ingresos económicos hacia la empresa.

Para el producto yogur: El tiempo promedio y máximo en el sistema de fabricación fue de 320,8 min (5,34 h), se denota que “sobran” 2,65 h de tiempo disponible, pero esta cantidad de tiempo es insuficiente para procesar otro lote de yogur. Se

necesitarían adicionar ~2,65 h de mano de obra para completar otro lote de fabricación de yogur. Se debe destacar que, aunque por día se desperdicien 2,65 h se puede completar un lote, en comparación con el método actual que procesa lotes de yogur cada 2 o 3 días.

Para el producto nata: El tiempo promedio en el sistema fue de 301,6 min (5,02 h), también con un desperdicio de 2.97 h. Aquí se podría decir que, aunque existe el desperdicio de tiempo disponible y comparando con la cantidad y métodos actuales de procesamiento de la nata (actualmente una media diaria de ~11 kg/jornada), se obtendría 60 kg/jornada de nata.

Los resultados del “trial” de corridas en el programa simul8 se muestran en la tabla 3.62.

Tabla 3.62. Resultados de corridas simultaneas de las líneas de producción queso, yogur y nata (trial) en el programa simul8

Simulation Object	Performance Measure	1	2	3	4	5	-95%	Averag	95%
Salida lotes queso	Average Time in System	348,9	345,3	345,3	345,3	345,3	344,0	346,0	348,0
	Number Completed	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	In System less than time	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	% In System less than time limit	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	St Dev of	110,7	116,0	116,0	116,0	116,0	112,0	114,9	117,9
	Maximum Time in System	461,3	461,3	461,3	461,3	461,3	461,3	461,3	461,3
	Minimum Time in System	240,0	229,3	229,3	229,3	229,3	225,5	231,4	237,4
Salida lotes yogur	Average Time in System	309,0	296,1	302,9	323,0	285,1	285,6	303,2	320,8
	Number Completed	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	In System less than time	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	% In System less than time limit	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	St Dev of	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Maximum Time in System	309,0	296,1	302,9	323,0	285,1	285,6	303,2	320,8
	Minimum Time in System	309,0	296,1	302,9	323,0	285,1	285,6	303,2	320,8
Salida lotes nata	Average Time in System	221,6	326,5	293,9	268,4	397,6	219,7	301,6	383,5
	Number Completed	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	In System less than time	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	% In System less than time limit	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	St Dev of	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Maximum Time in System	221,6	326,5	293,9	268,4	397,6	219,7	301,6	383,5
	Minimum Time in System	221,6	326,5	293,9	268,4	397,6	219,7	301,6	383,5

Se observa en el grafico 3.26 la sucesión de eventos en la línea de fabricación de queso, donde se puede observar que el nodo 2 (siendo el de menos tasa de servicio y el limitante de producción) se utilizó en su mayor medida.

El espacio entre cada carga de las ollas de cocción se utilizaría en actividades de preparación del nodo 2: lavar las ollas de cocción, purgar la tubería del vapor, bombear una nueva carga, poner en marcha el batido mecánico (método propuesto), preparar la cantidad de cuajo, CaCl y sal, agua para el lavado, liras de corte de cuajada, entre otros.



Figura 3.26. Diagrama de tiempo para del procesamiento del producto queso

El resto de nodos tienen un porcentaje de utilización bajo (debido) a las operaciones del nodo 2 y las actividades que son lineales en la elaboración del queso. Se observa que en línea de producción este represado 1 lote de producción, se deben añadir tiempo extra de mano de obra para completarlo.

En la figura 3.27 se observa un diagrama de tiempo para el procesamiento del producto yogur. Aquí se puede apreciar la alta utilización de la marmitta, debido a que la mayor parte de las actividades de procesamiento del yogur se llevan a cabo en este equipo y también se aprecia que un lote de producción se encuentra represado en la línea de fabricación.



Figura 3.27. Diagrama de tiempo para el procesamiento del producto yogurt

En la figura 3.28 se observa el diagrama de tiempo para la elaboración del producto nata. Se puede observar que el nodo 2 (olla de cocción) se ocupa en la mayor parte del tiempo y por esta razón es considerado este nodo como limitante de la producción de nata. Se observa que un lote de producción se encuentra represado en la línea de fabricación.

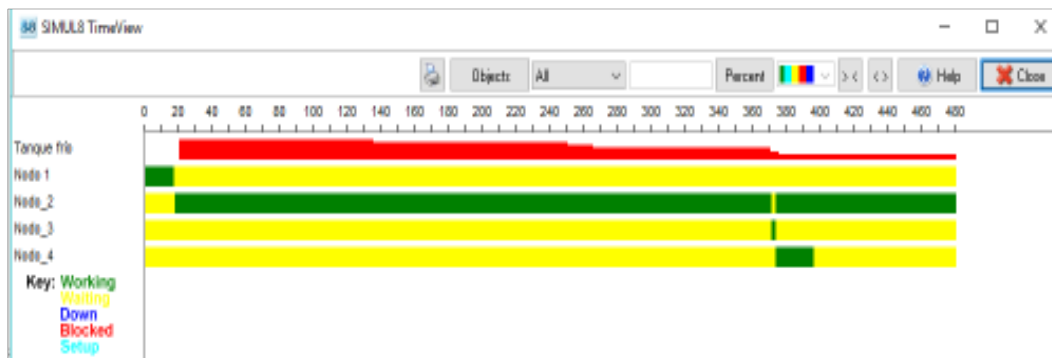


Figura 3.28. Diagrama de tiempo para el procesamiento del producto nata

3.7.3. PROPUESTA DE MEJORA

3.7.3.1. Propuesta de mejora en el área de fabricación para la línea de producción de queso

Es de importancia que sean instaladas tapas con aspas de batido mecánico en las ollas cocción para disminuir el tiempo de calentamiento y de enfriamiento, la temperatura de pasteurización sea uniforme en todo el volumen de leche y evitar la

contaminación por plagas (insectos que puedan caer en la materia prima. Esto también es aplicable para las otras líneas de fabricación).

Los controles de temperatura deben ser medidos en el centro de ollas de cocción para obtener una lectura más precisa de la temperatura y asegurar la calidad microbiana.

La adición de CaCl_2 debe ser añadida 15 minutos antes adición del cuajo a la temperatura de 40 °C.

La adición del “cultivo iniciador termófilo” o *starter* (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Lactobacillus helveticus*) debe ser añadido a la temperatura de 50 °C en una proporción de 0.5 a 1 % de la cantidad total de leche.

Para el corte de la cuajada se debe utilizar dos tipos de liras (un corte horizontal y otro vertical) para homologar el tamaño de coágulo, la salida de suero, la humedad y las características posteriores al prensado.

La actividad de batido es necesario utilizar las aspas de batido para deshacer los aglomerados que pudieran formarse (un tiempo de 10 min). El primer desuerado deberá estar en una proporción de 30 a 35 %. El “lavado” de la cuajada se lo debe realizar con una solución de sal (600 g NaCl / 100 L de leche utilizada) a una temperatura de 40 °C. Es necesario que el segundo batido tome un tiempo de 10 min y el segundo desuerado sea de 70 % del total de suero.

Para reducir el tiempo de moldeo es necesario utilizar la reserva de moldes, tacos, mallas plásticas en bodega y no re utilizar los moldes del procesamiento de queso del día anterior (desmoldar, lavar y desinfectar moldes, mallas y tacos).

Para asegurar que el producto final no libere suero en el almacenamiento se requiere que la presión ejercida por la prensa se sea uniforme y se debería implementar una prensa horizontal con un tornillo de ajuste.

3.7.3.2. Propuesta de mejora en el área de fabricación para la línea de producción de yogur

En el proceso de incubación (fermentación) se debe añadir exclusivamente el cultivo fermentador a la temperatura de 40 °C y no adicionar edulcorantes y así evitar el incremento de presión osmótica que afecta el desarrollo de bacterias lácteas.

Transcurrido el tiempo de incubación es necesario detener la fermentación disminuyendo la temperatura de la marmita y verificar que la acidez esté entre 60 a 70 °D. En conjunto se debe realizar el batido del coagulo y la adición de edulcorantes (la adición de sólidos solubles también frena la actividad de las bacterias lácticas).

Para reducir el tiempo de envasado se debería instalar una válvula dosificadora que parta directamente desde la marmita hacia los envases.

3.7.3.3. Propuesta de mejora en el área de fabricación para la línea de producción de nata

La materia prima no debe ser calentada hasta ebullición sino mantenida a la temperatura de 75 °C (esta temperatura asegura la calidad microbiológica, la fusión del ácido graso esteárico y la correspondiente formación de nata) en la misma olla de cocción #3 para evitar sacar la alícuota de otra olla de cocción, el transporte innecesario de leche hacia la cocineta y el transporte nuevamente hacia la olla de cocción.

3.7.4. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

En el caso del producto queso los resultados obtenidos mediante la simulación del programa simul8, señala que para el producto queso el tiempo de procesamiento fue de 348±117,9 min/lote (tres lotes de producción por jornada) y el modelo de línea de espera M/M/sj/GD/∞/∞ señaló un tiempo de 203,41 min/lote y este valor se

encontró dentro del rango de los datos del programa. El valor de tiempo que proporciona el programa simul8 fue más cercano al tiempo de ciclo propuesto de 233 min.

En el caso del producto yogur, el programa simul8 dio un valor de tiempo de procesamiento por ciclo de trabajo de $320,8 \pm 0$ min/lote y en el modelo de línea de espera $M/M/s_j/GD/\infty/\infty$ fue de 297,5 min/lote y el tiempo de ciclo de trabajo propuesto fue es de 299.6 min. Se deduce que el modelo de línea de espera tuvo un valor más cercano al propuesto. El *modelo de línea de espera* tuvo un resultado más exacto.

En el caso del producto nata, el programa simul8 arrojó un tiempo de ciclo de operación de $383,5 \pm 0$ min/lote y el modelo de línea de espera proporcionó un valor de 301,20 min/lote que fue igual al tiempo de ciclo propuesto. El dato proporcionado por el modelo de línea de espera es igual al tiempo de ciclo de procesamiento propuesto.

De las tres comparaciones, el producto queso tuvo mayor variabilidad. Las dos técnicas tienen ventajas e inconvenientes. En cuanto al software, tiene por ventajas que se pueden llevar a cabo varias corridas (trial) y por la variabilidad inherentes al proceso sus resultados se pueden interpretar de varias maneras para tomar decisiones a nivel gerencial o advertir el comportamiento futuro de la producción. Por inconvenientes se tiene que la simulación no permite ingresar datos de tasa de arribo diferentes para cada línea de producción.

El modelo de línea de espera tiene por ventaja la visualización parcial o total de los valores de las características de los modelos de líneas de espera y se puede observar que nodo es el limitante de una línea de producción.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- El análisis de la productividad actual mostró que el *índice de productividad total de la empresa* (IPTF_t) o eficiencia, muestra un comportamiento regular, evidenciado por el coeficiente de variación $cv= 0,25$. Este índice de productividad varía desde un valor mínimo de 0,35 hasta un valor máximo de 1,09.
- El porcentaje de variación de la productividad total (PVPT_{it}) actual, de la empresa evidencia una tendencia descendente, variando desde un valor máximo de 59,63 %, hasta un valor mínimo de -21,37 %.
- El diseño de los procesos productivos para el área de fabricación a través de la medición del trabajo y estudio de métodos, arrojaron los siguientes resultados: En la línea de fabricación de queso se obtuvo una reducción del tiempo de ciclo de 1 516,6 min a 233 min (84,94 % de reducción); para el producto yogur se redujo de 1 585,9 min a 299,6 min (reducción de 80,90 %) y para el producto nata de 391,2 a 301 min (reducción del 23,05 %).
- La propuesta de mejora implementada reduce el tiempo de calentamiento/enfriamiento de las ollas de cocción de 100,7 a 25 minutos en el producto queso, de 112,8 a 35 minutos en caso del yogur y de 49 min a 15 minutos para la nata.
- Se validó las propuestas de mejoras a través del modelo de línea de espera M/M/s_j/GD/∞/∞ y el programa simul8. En el queso el programa simul8 generó un resultado de tiempo de ciclo de procesamiento de 348±117,9 min/lote siendo el valor que entrega el software, más cercano al tiempo obtenido mediante estudio de métodos que corresponde a 233 min. En el yogur el modelo de línea de espera se acercó más al valor propuesto con 297,5 min/lote del tiempo propuesto de 299,6 min. En la nata, el modelo de línea de espera dio un tiempo de 301,20 min/lote que es igual al tiempo propuesto.

- La hipótesis nula planteada se aceptó debido a que la línea de producción de queso puede incrementar de uno a tres ciclos de trabajo por jornada con una producción de 540 kg/lote; la línea de yogur de uno a dos ciclos de trabajo con una producción de 1 112 kg/lote por jornada y el producto nata cambia de uno a dos ciclos de trabajo con una producción de 120 kg/lote por jornada.

4.2. RECOMENDACIONES

- Es importante implementar registros de producción diarios y de insumos consumidos con mayor detalle y en una sola unidad de medida.
- Se debería realizar un estudio de la productividad con frecuencia para detectar posibles variaciones no deseadas tanto de la producción como de la productividad.
- Es importante realizar un control de las actividades de los trabajadores a fin de eliminar el tiempo y actividades no productivas.
- Se recomienda realizar un estudio de los costos de producción para tener una idea más cercana del consumo de los recursos, mediante costeo ABC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adithan, M. (2007). Process Planning and Cost Estimation. Daryaganj, Delhi, IND: New Age. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2051/lib/bibliotecaups/reader.action?docID=10318693> (febrero, 2017).
2. Aguirre, A., Müller, E., Seffino, S., y Méndez, C. (2008). Applying a simulation-based tool to productivity management . IEEE, 1838 - 1846. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=yarnumber=4736273>
3. Alvarado, J. D. (1996). Principios de ingeniería aplicados a alimentos. Ambato-Ecuador: Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos.
4. Andrango, M. (2016). Entrevista a personal administrativo de la empresa "El Tambo". (Entrevistador D. Carrillo, agosto) Cayambe, Pichincha, Ecuador.
5. Araque, W. (2015, Febrero/Marzo). Caracterización de la PYME ecuatoriana. Gestión. (248), 64-67.
6. Azarang, M., y Garcia, E. (2013). Simulación y análisis de modelos estocásticos. México: McGraw Hill.
7. Bain, D. (1985). Productividad, la solución a los problemas de la empresa. México: McGraw Hill.
8. Balzarina, M., Gonzales, L., Tablada, E., Casanoves, F., Di Riezno, J., y Robledo, C. (2008). Manual del usurario. Córdoba, Argentina: Brujas.
9. Bevilacqua, M., Ciarapica, G., Mazzuto, L., y Posacchini, L. (2012). Air traffic management of an airport using discrete event simulation method. IEEE, 1034-1038. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=yarnumber=6837898>
10. Blank, L., y Tarquin, A. (2006). Ingeniería Económica (6 ed.). México: McGraw Hill.
11. Bonét, B., Dalmau, J., Gil, I., Gil, P., Juárez, M., Martín, P., y Ortega, R. (2015). Leche, nata, mantequilla y otros productos lácteos. Monografía científica. España. Recuperado de

- http://www.lacteosinsustituibles.es/p/archivos/pdf/monografia_leche_nata_mantequilla_otros.pdf
12. Bouras, C., Giannaka, E., y Tsiatsos, T. (2009). A framework model for DVEs using SIMUL8. SIMUTools, 2-6. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Eri_Giannaka/publication/228967018_A_framework_model_for_DVEs_using_SIMUL8/links/0fcfd50bbe828c7b5700000.pdf
 13. Bylund, G. (1995). Dairy processing Handbook. Lund-Sweden: Tetra Pak.
 14. Carro, R., y González, D. (2015). Diseño y medición de puestos de trabajo. La Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales.
 15. Concannon, J., Hunter, K., y Tremble, J. (2003). SIMUL-planner simulation-base planning and scheduling. IEEE-Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, 1488-1493. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=yarnumber=1261593>
 16. Coss Bu, R. (2003). Simulación. Un enfoque práctico. México: LIMUSA, S.A.
 17. Curry, G., y Feldman, R. (2011). Manufacturing systems modeling and analysis (2 ed.). Texas-USA: Springer.
 18. Czumanski, T., y Lödding, H. (2012). Integral Analysis of Labor Productivity. Elsevier B.V/ 45 th CIRP Conference on Manufacturing Systems (Procedia CIRP 3), 55-60.
 19. De la Roca, D. (1994). Manual de prácticas de ingeniería de métodos (1ra ed.). Guatemala, Guatemala: Textos y formas impresas.
 20. Dudley, N. A. (1968). Work Measurement: Some research studies. London: Macmillan Education.
 21. Flinker, S., Knickman, J., Hendrickson, G., Lipkin, M., y Thompson, W. (1993). A comparison of work-sampling and time-and-motion techniques for studies in health services research. Ontario, Canada: HRS: Health services research 28:5.
 22. Fundación de investigaciones latinoamericanas, F. (2002). Productividad, competitividad, empresas. Los engranajes del crecimiento. Bueno Aires, Argentina: Fundación de investigaciones latinoamericanas.

23. García, R. (2005). Estudio del Trabajo Ingeniería de métodos y medición del trabajo (2da ed.). México: McGraw Hill.
24. Grijalva, J. (2011, Enero/Junio). La industria lechera en Ecuador: un modelo de desarrollo. Retos, I, 65-72.
25. Gross, D., Shortle, J., Thompson, J., y Harris, C. (2008). Fundamentals of queueing theory (4 ed.). New Jersey: Wiley and Sons.
26. Gutiérrez, J. (2006). Tecnología de Lacteos. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
27. Hernández, E. (2007). La productividad multifactorial: concepto, medición y significado. Economía: Teoría y Práctica. Nueva Época(26), 1-37.
28. Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2010). Metodología de la investigación (5 ed.). México: McGraw Hill.
29. Hindle, K., y Duffin, M. (2006). SIMUL8-Planner for composites manufacturing. IEEE, 1779 - 1784. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4117813>
30. INEN. (1984). Leche. Determinacion de la densidad relativa. (1ra revisión) Quito: Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización.
31. INEN. (2011). Leches fermentadas. Requisitos. Ecuador: INEN. Recuperado de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2395.2011.pdf> (Junio 2016)
32. INEN. (2012). Leche cruda. Requicitos. Norma INEN 0009 (1ra, 5ta revisión ed.). Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
33. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, I. (2002). El ABC de los indicadores de productividad. México: www.inegi.gob.mx.
34. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, I. (2016). Metodología del cálculo de indicadores de productividad laboral en la industria manufacturera. Mexico: INEGI. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/bibliografia/7AC06BCF.pdf> (Octubre 2016)
35. Jenkins, J., y Daryl, O. (2003). Productivity improvement through work sampling. AACE International Transactions, CS51.
36. Jiménez, Á., Delgado, E., y Gaona, G. (2001). Modelo de productividad de David Sumanth aplicado a una empresa del sector de maquinaria no eléctrica. Ingeniería, 6(2), 81-87. Recuperado de

- <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reviving/article/view/2707/3907>
37. Kanawaty, G. (1996). Introducción al estudio del trabajo (4ta ed.). (O. I. Trabajo, Ed.) Ginebra: Organización internacional del trabajo.
 38. Khalid, A.-S. (2011). Productivity improvement of a motor vehicle inspection station using motion and time study techniques. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*(23), 33-41.
 39. Krajewsky, L., Ritzman, L., y Malhotra, M. (2008). Administración de las operaciones (8 ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
 40. Krick, E. (1994). Ingeniería de métodos. México: Limusa.
 41. Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos. México: Limusa.
 42. Morelos, J., Fontalvo, T., y Vergara, J. (2013). Incidencia de la certificación ISO 9001 en los indicadores de productividad y utilidad financiera de empresas de la zona industrial de Mamonal en Cartagena. *Elsevier Doyma (Estudios Gerenciales)*(29), 99-109.
 43. Murodif, A., Widyarti, E., y Widyarti, M. (2016). Measurement of Productivity Using Work Sampling Method at Menara Sentraya. *Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET)*, 244-248. Recuperado de www.saspublisher.com
 44. Nezu, R., y Giovannini, E. (2001). Measuring Productivity. MEASUREMENT OF AGGREGATE AND INDUSTRY-LEVEL PRODUCTIVITY GROWTH. OECD Manual. Paris: OECD.
 45. Niebel, B., y Freivalds, A. (2009). Ingeniería Industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo. México: McGraw Hill.
 46. Prokopenko, J. (1989). Gestión de la productividad. Manual Práctico. Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo.
 47. Simcore. (2016, Septiembre 15). SIMCORE Expert en performance industrielle et logistique. Recuperado de <http://www.simcore.fr/espanol/software-de-simulación/>
 48. Sumanth, D. (1984). Productivity Engineering and Management. USA: McGraw Hill.
 49. Winston, W. (2005). Investigación de operaciones. Aplicaciones y algoritmos. México: Cengage Learnig.

ANEXO I

Instrumentos manuales.



Figura AI.1. Liras de corte horizontal y vertical

Fuente: Recuperado en 10/01/2017 <http://mexico-df.all.biz/liras-o-cortadores-de-cuajada-g46144>



Figura AI.2. Pala de batido manual

Fuente: Recuperado en 10/01/2017 <https://www.latiendadelcervecero.com/palas-y-cucharas/1010-pala-de-acero-inoxidable-para-remover-92-cm.html>

Prensa horizontal para queso

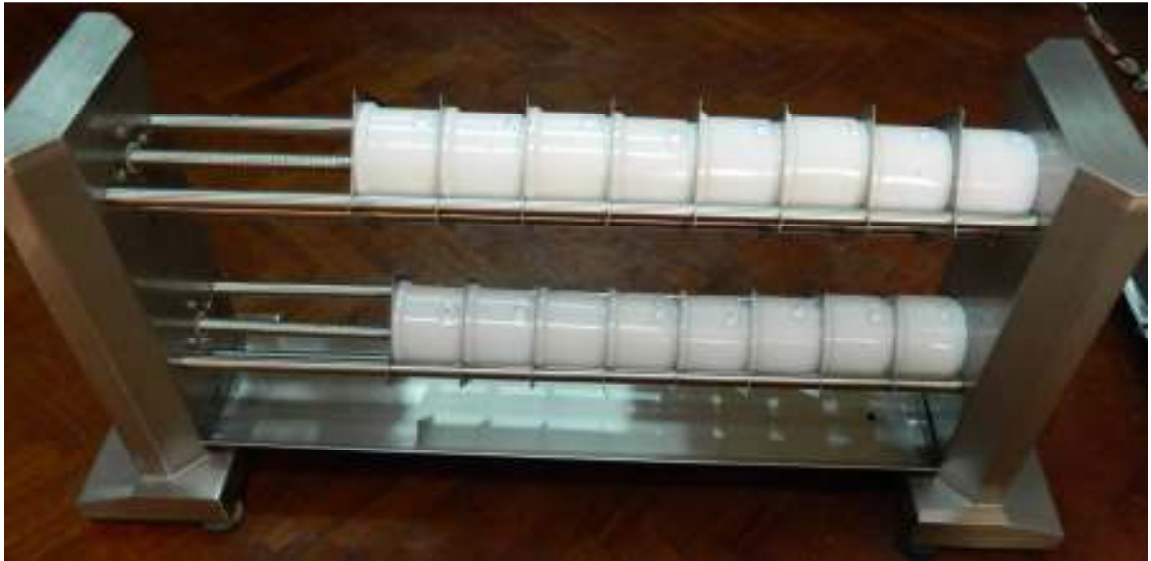


Figura AI.3. Prensa horizontal para queso

Fuente: Recuperado en 11/1/2017 http://clasificados.teleserviciosperu.com/prensa-quesera-horizontal/compra_venta/

Tabla AII. 1. Muestreo del trabajo para el producto queso (continuación...)

Periodo	t	Recepción materia prima	Realizar pruebas de andén	Bombear materia prima	Calentar leche	Inspección de temperatura	Enfriar	Inspección de temperatura	Adicionar CaCl, Cuajo	Cuajar leche	Cortar cuajada	Batir cuajada	Desuerar	Moldear cuajada	Prensar cuajada	Salar	Almacenar	Lavar	Mecer	Transporte manual	Preparación	Descanso	trabajo inefectivo		
99	2:50:24																							1	
100	2:55:12																								1
	3:00:00																								1
	Total	2	2	2	6	1	3	1	1	9	1	3	1	19	17	41	10	0	0	0	11	2		33	