



**PROPUESTA DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA EL PROCESO DE TRILLA
EN EL SECTOR CAFETERO: CASO ESPECÍFICO RACAFÉ S.A MEDELLÍN**

SERGIO ANDRÉS LÓPEZ TRUJILLO

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MEDELLÍN**

2014

**PROPUESTA DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA EL PROCESO DE TRILLA
EN EL SECTOR CAFETERO: CASO ESPECÍFICO RACAFÉ S.A MEDELLÍN**

SERGIO ANDRÉS LÓPEZ TRUJILLO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial

Director

JAVIER DARÍO FERNÁNDEZ LEDESMA

Magíster en Ingeniería

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

MEDELLÍN

2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma

Nombre

Presidente del Jurado

Firma

Nombre

Jurado

Firma

Nombre

Jurado

Agosto de 2014

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

A mi familia y amigos más cercanos por su apoyo incondicional a lo largo de la carrera y a los profesores y compañeros de la Universidad Pontificia Bolivariana por haber contribuido a mi formación profesional y crecimiento personal.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO.....	12
RESUMEN.....	13
INTRODUCCIÓN.....	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. METODOLOGÍA.....	17
4. ANTECEDENTES CONCEPTUALES.....	18
4.1 CONCEPTOS GENERALES.....	18
4.1.1 Conceptualización del pensamiento sistémico.....	18
4.1.2 Teoría general de sistemas.....	18
4.1.3 Simulación.....	19
4.1.4 Dinámica de sistemas.....	21
4.2 CONCEPTOS ESTADÍSTICOS.....	22
4.2.1 Estudio de tiempos.....	22
4.2.2 Datos atípicos.....	22
4.2.3 Media.....	22
4.2.4 Desviación estándar.....	22
4.2.5 Pruebas de hipótesis.....	23
4.2.6 Valor P.....	23
4.2.7 Intervalos de confianza.....	23
4.2.8 Diagrama de cajas.....	23
4.2.9 Histograma.....	24
4.3 Distribución de probabilidad.....	24
4.3.1 Distribución Normal.....	24
4.3.2 Distribución Gamma.....	25
4.3.3 Distribución Erlang.....	25
4.3.4 Distribución Beta.....	25
4.3.5 Distribución Lognormal.....	26
4.3.6 Distribución Weibull.....	26
4.3.7 Distribución Poisson.....	27
4.3.8 Distribución Uniforme.....	27

4.4Otras consideraciones	28
4.4.1 Statgraphics	28
4.4.2 Promodel	28
5. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	29
6. ANTECEDENTES CONTEXTUALES	32
7. CASO DE APLICACIÓN	34
7.1 Descripción de la empresa	34
7.2 Definición del Problema	38
7.3 Conceptualización del modelo de simulación	38
7.4 Recolección de datos	40
7.5 Verificación, validación y prueba del modelo	41
7.6 Simulación y Análisis	51
7.7 Escenarios	69
7.7.1 Escenario 1: Resultado modificando el número de operarios a 20	69
7.7.2 Escenario 2: Resultado modificando el número de operarios a 30	72
8. CONCLUSIONES	75
Bibliografía	77
ANEXOS	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción nacional de café y su tendencia 1.990-2.012.....	32
Figura 2. Diagrama de proceso.....	37
Figura 3. Diagrama de cajas y bigotes de Descargue.....	41
Figura 4. Diagrama de cajas y bigotes de Trilla.....	42
Figura 5. Diagrama de cajas y bigotes de Empaque.....	43
Figura 6. Diagrama de cajas y bigotes de Cargue.....	44
Figura 7. Histograma con ajuste de distribuciones. Descargue.....	45
Figura 8. Histograma con ajuste de distribuciones. Trilla.....	47
Figura 9. Histograma con ajuste de distribuciones. Empaque.....	48
Figura 10. Histograma con ajuste de distribuciones. Cargue.....	50
Figura 11. Información general del modelo.....	51
Figura 12. Construir locaciones.....	52
Figura 13. Locación descargue.....	52
Figura 14. Locación trilla.....	52
Figura 15. Locación empaque.....	53
Figura 16. Locación Cargue.....	53
Figura 17. Layout de las locaciones.....	54
Figura 18. Caracterización de las Locaciones.....	54
Figura 19. Entidad Café Pergamino.....	55
Figura 20. Entidad Café Excelso.....	55
Figura 21. Construir entidades.....	56
Figura 22. Caracterización de las entidades.....	56
Figura 23. Caracterización de las llegadas.....	57
Figura 24. Construir redes.....	57
Figura 25. Caracterización de la red.....	59
Figura 26. Construir recursos.....	60
Figura 27. Construir procesos.....	60
Figura 28. Opciones de simulación.....	62
Figura 29. Reporte estadístico de locaciones.....	63
Figura 30. Reporte estadístico de locaciones con multicapacidad.....	64
Figura 31. Reporte estadístico de recursos.....	65
Figura 32. Reporte estadístico de actividad de las entidades.....	66
Figura 33. Reporte estadístico de locaciones del escenario 1.....	70

Figura 34. Reporte estadístico de recursos del escenario 1.....	71
Figura 35. Reporte estadístico de entidades del escenario 1	71
Figura 36. Reporte estadístico de locaciones del escenario 2	72
Figura 37. Reporte estadístico de recursos del escenario 2.....	73
Figura 38. Reporte estadístico de entidades del escenario 2	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de cada proceso para la producción del café tipo consumo, pasilla y excelso.	36
Tabla 2. Estadísticos Descargue	41
Tabla 3. Estadísticos Trilla.....	42
Tabla 4. Estadísticos Empaque	43
Tabla 5. Estadísticos Cargue	44
Tabla 6. Pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling en Descargue	46
Tabla 7. Pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling en Trilla.....	47
Tabla 8. Pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling en Empaque	49
Tabla 9. Pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling en Cargue..	50
Tabla 10. Caracterización de Procesos.....	61
Tabla 11. Resultados de las réplicas trilla	67
Tabla 12. Resultados de las replicas Operarios	68
Tabla 13. Tiempos de los operarios en el sistema real.....	68
Tabla 14. Validación estadística del modelo	69

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: TIEMPOS DE PROCESO.....	81
ANEXO B: ARTÍCULO PUBLICABLE	83

GLOSARIO

Competitividad: La competitividad es la capacidad que muestra una empresa para mantener o acrecentar su participación en un mercado. El fenómeno que se quiere medir es el resultado comparado de su acción en los mercados (Ministerio de Economía y Finanzas, 2006).

Eficiencia: Es el criterio económico que revela la capacidad administrativa de producir el máximo de resultados con el mínimo de recursos, energía y tiempo (Sander, 1990).

Efectividad: Es el criterio que refleja la capacidad administrativa de satisfacer las demandas por la comunidad externa reflejando la capacidad de respuesta a las exigencias de la sociedad (Sander, 1990).

Modelo: Un modelo es una representación de un objeto, sistema o idea, de forma diferente al de la entidad misma. El propósito de los modelos es ayudarnos a explicar, entender o mejorar un sistema (Bermón, 2010).

Promodel: Es un software que permite simular diversos tipos de modelos de diferentes campos de la industria y procesos productivos. Es un programa que permite simular prácticamente cualquier sistema y crear modelos de forma flexible (ProModel Corporation).

Simulación: Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo de un sistema o proceso real y conducir experimentos con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias (dentro de límites impuestos por un criterio o conjunto de criterios) para la operación del sistema (Shannon, 1988).

RESUMEN

Este trabajo presenta el modelo de simulación del proceso de producción de café excelso en la empresa Racafé Medellín. Este producto es de vital importancia para la compañía al ser el que tiene mayor presencia en el mercado al exportarse a diferentes países. Se presentan inicialmente conceptos claves para el desarrollo del modelo, seguido de los antecedentes investigativos en el área de la simulación junto con un análisis del contexto del sector cafetero. Posteriormente se analiza el proceso productivo de la empresa que sirve como base para determinar las bases del modelo. Una vez conceptualizado el modelo, se procede a la recolección de datos, que son analizados estadísticamente para realizar el desarrollo del modelo en el software Promodel. A través de los resultados obtenidos se plantean dos escenarios buscando dar recomendaciones a la empresa en cuanto a la eficiencia en la planeación de la producción con base al recurso humano; esto la hará tomar mejores decisiones y ser más competitiva en un entorno cada vez más difícil para este sector.

Palabras clave: Café excelso, Simulación, modelo, eficiencia, competitiva.

INTRODUCCIÓN

La globalización es un proceso de integración mundial que se ha venido presentando en las últimas décadas generando profundos cambios en muchos aspectos de la vida humana. En el campo económico ha supuesto la disminución en las regulaciones de los mercados y la integración entre distintas economías, abriendo un mundo de nuevas oportunidades para el crecimiento de un país y mayor comercio internacional.

Estos cambios en el mercado han afectado sin duda al sector cafetero que es uno de los más importantes en Colombia. En los últimos veinte años este gremio ha experimentado una serie de dificultades que han hecho que las exportaciones de café al resto del mundo vayan disminuyendo año tras año. Entre estas dificultades se encuentra un mayor crecimiento de la competencia que obligan a las empresas a ser más eficientes si desean ser competitivas y sobrevivir en el mercado siendo rentables.

En este trabajo se analizó a una empresa colombiana exportadora de café desde su parte productiva, en la cual no se tenía conocimiento sobre su capacidad de producción y eficiencia de sus recursos, para lo cual se efectuó una simulación con la herramienta Promodel, buscando que en esta se tomen decisiones acertadas en la optimización de los procesos, que reduzcan los costos de producción y hagan más eficiente a la compañía en este mercado tan competitivo.

En el presente documento se comenzó analizando los antecedentes investigativos que han permitido a través de modelos de simulación plantear mejoras en distintos sectores económicos de la industria. Posteriormente se explicó el contexto actual del sector cafetero en el mundo y en Colombia y se estudió el proceso productivo de la empresa Racafé, estableciendo las condiciones bajo las cuales se creó el modelo que representaba el sistema de forma más adecuado. Por último se creó el modelo de simulación y se plantearon dos posibles escenarios enfocados a la optimización de sus recursos en la planeación de la producción y se validó el modelo, lo que permitió dar a la empresa una herramienta para la toma de decisiones.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El sector cafetero en Colombia ha sido de gran importancia para el desarrollo económico y social del país. Sin embargo la producción y el rendimiento nacional han ido disminuyendo en los últimos años, lo cual se refleja en una caída en las exportaciones de café de 13,9 millones de sacos en 1.990 a 7,2 millones en 2.012. Por otra parte el consumo mundial entre el año 2.000 y 2.012 creció un 24%, lo cual no ha sido aprovechado por Colombia ya que el mercado internacional es cada vez más competitivo: han entrado a competir nuevos países como Perú y Etiopía mientras que otros como Brasil, han aumentado enormemente su participación mundial; Colombia por su parte, entre 2.000 y 2.012 pasó de representar el 9,21% al 5,55% de la producción mundial de café (Departamento Nacional de Planeación, 2013).

Además de esto la gran volatilidad que ha tenido el precio del café en los últimos años, sumado a efectos del cambio climático y a los programas de renovación de cafetales han causado crisis en empresas colombianas que ya no cuentan con la misma rentabilidad que en años anteriores.

Racafé S.A es una empresa colombiana dedicada a la producción y comercialización de café en el mercado nacional y extranjero. Para que la compañía sea competitiva en este mercado debe cumplir con estándares de calidad internacionales, obligándola a ser muy exigente en sus parámetros de productividad y eficiencia. Sin embargo en la sede de Medellín no se tiene un conocimiento claro de la capacidad actual de la planta presentando dificultades para realizar una correcta planeación de la producción; esto conduce a que se especule en la contratación de personal para atender los picos operativos, lo cual genera sobrecostos por exceso de recursos o problemas para cumplir con la demanda en el tiempo pactado, afectando la calidad del servicio y la imagen de la empresa.

Debido a esto se evidencia la necesidad de construir un modelo que permita a la empresa diagnosticar el estado actual de sus procesos, tiempos de operación y rendimiento de sus recursos, que logre identificar situaciones problemáticas. Este modelo servirá como soporte en la toma de decisiones en lo concerniente a la administración óptima de sus recursos y en la planeación de la capacidad de producción con base en la demanda que se presente.

Con esto se espera que Racafé logre una disminución en tiempos y costos que aumenten su productividad, logrando tener altos niveles de eficiencia y eficacia con sus objetivos de negocio y permitiéndole a la compañía estar mejorando en un entorno cada vez más exigente y competitivo, en donde la optimización de los procesos son claves si desea mantenerse en el mercado.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer un modelo de simulación que permita analizar y optimizar el proceso de trilla de la empresa Racafé S.A de Medellín.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar el proceso de trilla en la empresa Racafé S.A de Medellín.
2. Identificar las variables y elementos que permitan explicar el comportamiento del proceso de trilla.
3. Diseñar un modelo de simulación del proceso de trilla en la empresa Racafé S.A Medellín.
4. Diseñar escenarios de simulación que permitan dar recomendaciones a la empresa acerca de la planeación de la producción.

3. METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos mencionados anteriormente se siguieron los siguientes pasos:

1. Realizar visitas a la empresa para conocer el proceso productivo utilizado en la empresa Racafé. A partir de esto se definen las variables que influyen en el proceso de trilla y sus relaciones lógicas.
2. Recolectar los tiempos y demás datos necesarios para la construcción del modelo de simulación a través de toma directa en la empresa. Así mismo una vez tomados, estos se deben analizar estadísticamente para la construcción del modelo.
3. Construir el modelo de simulación con la herramienta Promodel.
4. Ejecutar el modelo y realizar los ajustes necesarios, posteriormente analizar los resultados obtenidos y plantear escenarios para hacer comparaciones.
5. Entregar un documento técnico con los resultados del proceso simulado y las recomendaciones o sugerencias para su optimización.

4. ANTECEDENTES CONCEPTUALES

4.1 CONCEPTOS GENERALES

4.1.1 Conceptualización del pensamiento sistémico

“...El pensamiento sistémico ayuda a analizar la complejidad del sistema a partir de dos factores: la complejidad de detalle, que está relacionada con el número de componentes del sistema y como estos se deben agrupar dependiendo de sus condiciones particulares; el otro factor es la complejidad dinámica, que se basa en la forma como se dan las distintas relaciones entre las partes del sistema y como estas pueden tener un impacto en todo el sistema

Este enfoque es práctico y efectivo; su objetivo es facilitar la identificación de reglas, patrones de comportamiento y hechos que permitan influir sobre el sistema que se quiere analizar, esto a partir de un estudio de las relaciones entre las causas y los efectos de un fenómeno determinado, tanto de sus partes como de su comportamiento como un todo frente al entorno. El conocimiento de estas reglas y patrones se convierte en una base para la toma de decisiones y a partir de esto se tiene un grado mayor de control sobre el sistema y se puede determinar si la causa de un problema se debe a un componente del sistema o si por el contrario a la estructura del mismo” (O`Connor & McDermott, 1998).

4.1.2 Teoría general de sistemas

La primera formulación de este enfoque se debe al biólogo Ludwig von Bertalanffy quien buscaba una integración entre las ciencias naturales y sociales, y crear al mismo tiempo un instrumento para la formación de científicos. De esto se desprendió el principio clave en el que se basa la teoría general de sistemas: la noción de totalidad orgánica. Este principio contradujo el paradigma planteado hasta ese momento basado en una imagen inorgánica del mundo que se basaba en un enfoque analítico-reduccionista. La Teoría General de Sistemas (TGS) plantea un enfoque en el análisis de los sistemas y genera una serie de interpretaciones de su funcionamiento desde las características comunes a todos (Jacobsen & Bronsen, 1987).

Se puede definir un sistema como un conjunto de partes coordinadas y en interacción para alcanzar unos objetivos. Mientras tanto el *General Systems Society for Research*, entidad que cuenta con una amplia gama de investigadores de Teoría de Sistemas, lo define como un conjunto de partes y sus interrelaciones (Johansen B, 2004). Estos sistemas se dividen en abiertos y cerrados dependiendo, respectivamente, si intercambian o no energía con el medio.

Los sistemas cerrados no están correlacionados con agentes externos, lo cual implica que no reciben influencia alguna del ambiente ni tampoco lo afectan. Los sistemas abiertos por su parte representan la mayor parte de los sistemas y están compuestos por cuatro partes:

a) Corrientes de entrada: Es la energía que requiere el sistema para funcionar. Esto tiende a cumplir con la ley de la conservación de la masa, sin embargo también se debe tener en cuenta el flujo de información a través del sistema que se comporta según “la ley del incremento”.

b) Proceso de conversión: Es la transformación de la energía que se da dentro del sistema.

c) Corriente de salida: Es la exportación que el sistema hace al medio.

d) La comunicación de retroalimentación: Es la información que le indica al sistema como está logrando su objetivo y que es introducida nuevamente al sistema mediante correcciones pertinentes que ayuden a que se siga cumpliendo con el objetivo.

La TGS es una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad a través de una perspectiva holística e integradora teniendo en cuenta el contexto, en donde se le da una vital importancia a las relaciones y los conjuntos que emergen de estas (Arnold & Osorio, 1998).

La TGS se puede aplicar en sistemas naturales (organismos), artificiales (máquinas) y también en fenómenos humanos, sociales y culturales. Para aplicarla correctamente se deben tener buenos conocimientos de equivalencias entre organismos, máquinas, hombres y estructuras sociales en donde se pueda usar este enfoque (Arnold & Osorio, 1998). Esta teoría es vista como una práctica estimulante para formas de trabajo interdisciplinarias que permitan acercar cada vez más los modelos de sistemas a su comportamiento real.

Como paradigma fundamental se integran la sinergia, la recursividad, la viabilidad, la funcionalidad, el equilibrio, la estructura, la organización, el modelo y otras características propias de un sistema que permiten entender las relaciones entre los diferentes componentes de este e identificar las propiedades del conjunto visto como un todo (Arnold & Osorio, 1998).

4.1.3 Simulación

La disciplina de la simulación como técnica numérica apareció durante la segunda guerra mundial cuando Von Neumann y Ulam aplicaron los métodos de Montecarlo a problemas de difusión de neutrones en el desarrollo de la bomba atómica (Ríos et al, 2009). Esta disciplina ha ido evolucionando con el tiempo y por medio del avance de los medios digitales en los últimos años está ganando importancia y está siendo

utilizada para la modelización y simulación a problemas complejos de diversas disciplinas.

Según Martin Shubick en 1960, la simulación de un sistema u organismo es la operación de un modelo o simulador que es la representación del sistema u organismo. Este modelo puede tener relación con manipulaciones que serían imposibles de realizar en un sistema real, demasiado costosas o imprácticas. La operación del modelo puede estudiarse y de ese estudio pueden analizarse las propiedades relacionadas con el comportamiento del sistema o subsistema real (Ríos et al, 2009).

La simulación es una técnica experimental para resolver problemas, esto se hace generalmente a través de un computador (Calderón, 1983). Este estudio dependerá de la naturaleza del sistema. Entre algunas de las ventajas que tiene la simulación para tomarse como herramienta para solucionar problemas están:

-La simulación hace posible estudiar y experimentar con las interacciones complejas que se dan en un sistema.

-Se pueden estudiar ciertos cambios informativos, de organización o ambientales en la operación de un sistema y observar los efectos de estas alteraciones en el comportamiento del sistema.

-La observación detallada del sistema que se está simulando conduce a un mejor entendimiento del mismo y proporciona sugerencias para mejorarlo.

-La simulación permite estudiar los sistemas dinámicos, ya sea en tiempo real, comprimido o expandido.

Sin embargo también hay desventajas como advierten Ríos y compañía ya que no hay garantía de que a pesar del esfuerzo y tiempo dedicados a la modelización se produzcan resultados útiles y satisfactorios. Esto también puede tener que ver con falta de recursos o de ingenio o a la visión particular cerrada del investigador llevando a un modelo de poca o nula utilidad (Ríos et al, 2009).

La metodología seguida en la simulación es la siguiente (Calderón, 1983):

1. Formulación o definición del problema.
2. Análisis de los requerimientos de datos y de las fuentes disponibles de información.
3. Formulación del modelo y submodelos matemáticos.
4. Estimación de los parámetros y variables de la simulación.
5. Evaluación del modelo y de los parámetros estimados.
6. Formulación del programa de computador.
7. Validación del modelo.

8. Diseño de experimentos de simulación.
9. Análisis de datos simulados.
10. Implementación de los resultados de la simulación.

Por lo anterior la simulación es una herramienta bastante útil en tiempos en donde el entorno es cada vez más exigente y competitivo; por esto en la actualidad muchas empresas tanto públicas como privadas han usado la simulación para ser más eficientes en sus proyectos obteniendo una mejor flexibilidad y calidad. Además sirve de apoyo para enfrentar problemáticas sociales complejas en la que muchas variables entran en juego y a través de la elaboración de un modelo se puede realizar una representación fiable de la realidad, permitiendo intervenir y mejorar el sistema, y logrando dar una perspectiva que le permita predecir el comportamiento de este.

4.1.4 Dinámica de sistemas

Este concepto proviene del trabajo realizado por un equipo de trabajo del Instituto Tecnológico de Massachusetts, el cual era dirigido por el profesor Jay Forrester. Estos trabajos se realizaron a finales de los años 50 y originalmente se denominó dinámica industrial. A mediados de los 60 se comenzó a aplicar la técnica desarrollada también en sistemas urbanos, la cual solo se había usado hasta entonces para estudios industriales. A finales de los años 60 se realizó un estudio denominado el primer informe al Club de Roma, sobre los límites al crecimiento, que se basó en un modelo de dinámica de sistemas y en el que se analizaba la probable evolución de una serie de magnitudes agregadas a nivel mundial, como por ejemplo la población, los recursos y la contaminación. Con el modelo se evaluaban posibles interacciones entre las magnitudes, evaluando todo como un sistema en donde todos los elementos tenían un efecto sobre los otros. A partir de esto se adoptó entonces la denominación de dinámica de sistemas.

En la naturaleza estructural de los sistemas dinámicos se identifican las variables y se analiza cómo influyen las partes entre sí. Por el término dinámico se quiere dar a entender el carácter cambiante que tienen los sistemas continuamente. Para esto se hace uso del diagrama causal o de influencia, el cual suministra información rica de la estructura del sistema y permite así hacer una representación formal o modelo del sistema estudiado (Aracil & Gordillo, 1997).

La dinámica de sistemas permite entonces modelar situaciones reales en formatos dinámicos virtuales, haciendo uso de los modelos mentales de los actores involucrados y expresándolos en un lenguaje formal o matemático (Jacobsen & Bronsen, 1987). Además de esto permite realizar lecturas de lo representado y modificar sus condiciones iniciales, buscando predecir su comportamiento (que será el reflejo de las interacciones de sus partes) y facilitando una mejor toma de decisiones en pro de alcanzar los objetivos planteados.

4.2 CONCEPTOS ESTADÍSTICOS

A continuación se presentan diferentes conceptos estadísticos que son necesarios comprender para realizar posteriormente el modelo de simulación en la empresa Racafé Medellín.

4.2.1 Estudio de tiempos

El estudio de tiempos es una técnica utilizada para registrar y estimar los tiempos asociados a la realización de una tarea, teniendo en cuenta unas condiciones definidas, buscando saber cuánto tiempo se necesita para realizarla. Existe un contenido de trabajo que se refiere al tiempo que tarda una operación en condiciones “ideales”, en donde tanto personas como máquinas trabajan a cierto ritmo y donde no hay pérdida de tiempo en el proceso. Sin embargo en la práctica estos tiempos “perfectos” nunca se dan debido a que un proceso es afectado por múltiples variables que hacen que su ejecución tenga un tiempo mayor (Kanawaty, 1996).

4.2.2 Datos atípicos

Cuando se trabaja con datos producto de un proceso de medición, por lo general se producen datos extraños que pueden provenir de errores en la captura o ser producto de algún suceso raro o atípico. A estos valores en estadística se les denomina *outliers* o atípicos, los cuales se deben analizar primero y dependiendo de los resultados se decide si se eliminan o si se mantienen buscando no afectar los análisis a realizar; para este proceso se empleó el paquete estadístico Statgraphics (Hernandez, 2008) .

4.2.3 Media

La media aritmética es la suma de los valores individuales de una muestra dividido por el número de observaciones de la muestra. En algunos casos se usa la media aritmética ponderada en donde es necesario asignar pesos específicos a los distintos datos para hallar correctamente la media (Chou, 1977).

4.2.4 Desviación estándar

Es la medida de variabilidad más empleada, da una idea de los dispersos que están los datos en una muestra con respecto a la media aritmética. Si se comparan dos o más conjuntos de datos con las mismas unidades de medición aquella que tenga una menor desviación estándar será la muestra con menor medida de dispersión (Chou, 1977).

4.2.5 Pruebas de hipótesis

Las hipótesis estadísticas son conjeturas con respecto a una o más poblaciones. Cuando se trata de aceptar o rechazar una hipótesis se debe tener en cuenta que para poder afirmar esto completamente habría que examinar toda la población, lo cual no es práctico. Al no rechazarla hipótesis a partir de una muestra lo que se expresa es que los datos no dan la suficiente evidencia para rechazarla, siendo muy probable que sea verdadera. Por otra parte el rechazo de la hipótesis inicial o nula excluye prácticamente la hipótesis.

Al aplicar pruebas de hipótesis se obtendrá un estadístico de prueba que permitirá aceptar o rechazar la hipótesis planteada, teniendo en cuenta si este se encuentra dentro de la región de aceptación (se acepta) o la región crítica (se rechaza); el valor que separa la región de aceptación de la región crítica se denomina valor crítico (Walpole, 1999).

4.2.6 Valor P

Un valor P es el nivel de significancia más bajo en el que el valor observado de la estadística de prueba es significativo. Este se debe comparar con un nivel de significancia α y a partir de esta comparación se toma la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis. Cuando se usa el valor P no hay necesidad de definir una región crítica (Walpole, 1999).

4.2.7 Intervalos de confianza

Los intervalos de confianza se calculan en primer lugar estableciendo un nivel de confianza, el cual es una medida del grado de confiabilidad del intervalo. Los niveles de confianza más usados son 95%, 99% y 90%. Un intervalo de confianza busca dar una idea más clara de los valores de una muestra, estableciendo un límite inferior y un límite superior entre los cuales se deben agrupar la mayoría de datos según el nivel de confianza empleado, por ejemplo para un nivel de confianza del 95% se espera que al calcular el intervalo de confianza y se tomen los datos en una muestra solo haya un 5% de estos que no estén dentro del intervalo (Devore, 2005).

4.2.8 Diagrama de cajas

Sirven para representar gráficamente el comportamiento de datos para comparar los procesos, tratamientos y en general para realizar un análisis por estratos. Este se realiza por cuartiles y divide el rango de variación de los datos en cuatro grupos, en donde en cada uno contiene el 25% de las mediciones. A partir de esto se puede observar cómo se ubican los datos en los diferentes cuartiles.

Por otra parte se encuentran los diagramas de cajas simultáneos que básicamente permiten comparar distintos tratamientos y analizar factores como la media, la desviación de sus datos y observar si se presenta traslape entre los diferentes diagramas (Gutiérrez & De La Vara, 2003).

4.2.9 Histograma

Un histograma permite representar gráficamente las frecuencias de clase, este busca representar las frecuencias por medio de barras. A diferencia de los diagramas de barras los rectángulos se dibujan juntos y las frecuencias están representadas por el área que hay en el rectángulo, más no por su altura. En un histograma el eje vertical representa la densidad de frecuencia mientras que el eje horizontal es la línea de intervalos de clase (Portus, 1988).

4.3 Distribución de probabilidad

Una distribución de probabilidad es un modelo particular para asignar probabilidades a subconjuntos de números reales. Esta presenta valores probables de un experimento en un evento futuro. Existen distribuciones asociadas a variables aleatorias discretas y a variables aleatorias continuas (Rincón, 2007).

4.3.1 Distribución Normal

Es la distribución más usada de las distribuciones continuas, esto se debe a que esta representa adecuadamente las distribuciones de muchos fenómenos físicos. Es de suma importancia en el análisis de datos en la inferencia estadística y en ella los datos se distribuyen gráficamente en forma de campana simétrica, en donde esta se extiende sin límite hacia el eje positivo y hacia el eje negativo (Canavos, 1988).

Una variable aleatoria X presenta una distribución normal si su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[\frac{-1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] - \infty < x < \infty, -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0$$

Los parámetros en esta distribución son μ que representa la media y σ que es la desviación estándar.

4.3.2 Distribución Gamma

La distribución gamma se usa en diversos casos como por ejemplo representar el tiempo aleatorio de falla de un sistema debido al comportamiento de sus componentes o para problemas de líneas de espera cuando hay subestaciones que funcionan de manera independiente y a una frecuencia promedio (Canavos, 1988).

Una variable aleatoria X tiene una distribución Gamma si su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x; \alpha, \theta) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\alpha)\theta^\alpha} x^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x}{\theta}\right) & x > 0, \quad \alpha, \theta > 0 \\ 0 & \text{Para cualquier otro valor} \end{cases}$$

Los parámetros de la función gama son α y θ que son los factores de forma y de escala.

4.3.3 Distribución Erlang

La distribución Erlang se deriva de la gamma pero con la condición de que el parámetro α sea positivo. La variable aleatoria de Erlang es la suma de α valores aleatorias independientes que están distribuidas exponencialmente, de esta forma un número de Erlang es la suma de α valores aleatorios exponenciales (Rodríguez, 2007).

La función de densidad de probabilidad para la distribución Erlang es:

$$f(x; \alpha, \theta) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\theta^\alpha} x^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x}{\theta}\right) \quad x > 0$$

4.3.4 Distribución Beta

Es una distribución que puede tomar una gran variedad de formas en su función de densidad al elegir valores para sus parámetros. Es utilizada para representar variables

físicas que pertenezcan a un intervalo de longitud finita y para encontrar límites de tolerancia (Rodríguez, 2007).

La función de densidad de probabilidad está dada por:

$$f(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} & 0 < x < 1, \quad \alpha, \beta > 0 \\ 0 & \text{Para cualquier otro valor} \end{cases}$$

Los parámetros α y β son parámetros de perfil. Por su parte Γ es la función gamma.

4.3.5 Distribución Lognormal

La distribución lognormal se utiliza cuando el logaritmo de la variable aleatoria posee una distribución normal (Depool & Monasterio, 2013). Su función de densidad está dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta \sqrt{2\pi}} x^{-1} e^{-\frac{(\ln x - \alpha)^2}{2\beta^2}} & x > 0, \quad \beta > 0 \\ 0 & \text{Para cualquier otro valor} \end{cases}$$

Los parámetros α y β representan la media y la desviación estándar respectivamente.

4.3.6 Distribución Weibull

Esta distribución sirve para representar el esfuerzo al que se someten ciertos materiales. Ha sido ampliamente utilizada en modelos del tipo tiempo-falla en componentes mecánicos y electrónicos (Canavos, 1988).

Una variable aleatoria X sigue la distribución de Weibull si su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x; \alpha, \theta) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\theta^\alpha} x^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\theta}\right)^\alpha\right] & x > 0, \quad \alpha, \theta > 0 \\ 0 & \text{Para cualquier otro valor} \end{cases}$$

Los parámetros de la función Weibull son α y θ que son los factores de forma y de escala.

4.3.7 Distribución Poisson

Los experimentos que entregan como resultado valores numéricos de una variable X y que representan el número de resultados durante un intervalo de tiempo o en una región determinada se les denomina comúnmente experimentos de Poisson; teniendo en cuenta que el intervalo de tiempo puede ser de cualquier duración, ya sean una hora, un día, una semana, un año, etc. Sirve por ejemplo para representar el número de llamadas telefónicas por hora que se recibe en una oficina o el número de juegos aplazados debido al clima en una temporada de fútbol (Morales, 2012).

$$p(x; \lambda) = \begin{cases} \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} & x = 0, 1, 2, \dots; \lambda > 0 \\ 0 & \text{Para cualquier otro valor} \end{cases}$$

El parámetro de la distribución Poisson es λ que representa el número promedio de ocurrencias del evento por unidad de tiempo.

4.3.8 Distribución Uniforme

La distribución uniforme describe variables aleatorias con probabilidad constante sobre un intervalo finito. Es conocida también como distribución rectangular por la forma que tiene su función de densidad (Depool & Monasterio, 2013).

Sea X una variable aleatoria distribuida uniformemente sobre un intervalo (a, b) , su función de densidad está dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 0 & \text{Para cualquier otro valor} \end{cases}$$

Los parámetros a y b representan los valores máximos y mínimos respectivamente del conjunto de datos.

4.4 Otras consideraciones

4.4.1 Statgraphics

Es un programa que permite llevar a cabo diferentes procedimientos estadísticos desde lo más básico como de estadística descriptiva o de análisis exploratorio de datos hasta procedimientos más complejos como diseño de experimentos o métodos multivariados. Tiene gran aplicación para el procesamiento y análisis de datos tomados experimentalmente lo que hace que sea muy usado en las diferentes industrias (Tec-quest).

4.4.2 Promodel

Es un software que permite simular diferentes modelos de diferentes campos de la industria y procesos productivos. Es un programa que permite simular prácticamente cualquier sistema y crear modelos de forma flexible.

Al contar con el modelo el programa permite simular diversos escenarios y encontrar los valores óptimos de los parámetros más importantes del modelo, buscando generar, entre otras cosas, impactos como reducir costos, ser más eficientes en los procesos y hacer al sistema lo más productivo posible a través de la integración de un módulo de optimización (ProModel Corporation).

5. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La simulación ha tenido un alto impacto en procesos industriales buscando la optimización de estos. Se ha evidenciado a través de la generación de múltiples modelos la importancia de manejar eficientemente la relación entre personal, productos y procesos teniendo en cuenta un óptimo manejo de los recursos y un despliegue estratégico que haga que en una empresa todos apunten hacia los mismos objetivos; esta es la base para ser más productivos y competitivos (Fernandez, 2010). En esta sección se presentan algunos casos específicos en que esta herramienta ha sido de utilidad en diferentes sectores.

En el sector floricultor se realizó un modelo de simulación en la empresa Inversiones Coquette, la cual está dedicada al cultivo, preparación y distribución de flores. El modelo estuvo basado en el proceso productivo de poscosecha de la rosa donde se llevó a cabo un estudio de métodos y tiempos que permitió realizar el modelo de simulación en la herramienta Promodel. Este permitió a la empresa analizar que sus procesos críticos en la poscosecha eran los de clasificación y boncheo ya que eran los que más tiempo demandaban (Monsalve & Ortiz, 2011).

Por otra parte se encontró que no se estaba optimizando el recurso de mano de obra al presentar un alto grado de ociosidad y que además los operarios deben realizar grandes desplazamientos generando desgaste y siendo improductivos al gastar mucho tiempo en esto. A partir de esto se generó un escenario hipotético para la poscosecha buscando mejorar los errores observados y volviendo a la empresa más productiva a partir de la optimización de recursos como la mano de obra y el tiempo. En este caso se observa la gran ventaja que ofrece la simulación de generar escenarios hipotéticos y experimentar como se ve afectado el sistema, algo que sería muy complejo de hacer en la práctica al poder ocasionar problemas en los tiempos de producción o en los costos.

En este mismo sector en 2004 se aplicaron dos modelos de dinámica de sistemas en donde se buscaba mejorar la competitividad de las empresas analizando como interactuaban entre si las variables de precio, competidores, ventas, utilidades, capacidad y eficiencia en innovación y desarrollo y costos de producción. A través de esta comprensión se observó claramente que al aumentar la inversión en innovación y desarrollo los costos de producción disminuían considerablemente, permitiendo a la empresa así ser más productiva y competitiva generando utilidades más altas (Grialdo & Marín, 2005).

En 2012 se presentó un modelo de simulación en una empresa del sector metalmeccánico de Antioquia buscando mejorar su productividad y competitividad. El modelo fue realizado en la empresa Termofijo S.A y se evidenció la necesidad de organizar la producción buscando cumplir a tiempo con la demanda, reducir los costos y desperdicios en los procesos, manteniendo altos niveles en la calidad y mejorar la logística (Ayala & Rhenals, 2012).

Este modelo permitió encontrar que había grandes tiempos de espera antes de algunos procesos generando altos inventarios de producto en proceso, esto debido a que el proceso no tenía un flujo normal. Además esto generaba que muchos operarios de algunos procesos tuvieran altos porcentajes de tiempos de inactividad. A partir de este modelo se permitieron hacer recomendaciones enfocadas al mejor aprovechamiento de los recursos, buscando planear la producción más eficientemente y modificando la capacidad de algunos de sus procesos críticos.

Todas las conclusiones que se pueden generar a partir de un modelo de simulación que represente confiablemente un sistema real, pueden incrementar significativamente la competitividad y rentabilidad de una empresa. Por ello es que resulta muy importante tener una metodología adecuada que lleve a crear un modelo estadísticamente válido y ajustado a la realidad.

En el sector textil también se han realizado modelos de simulación como el que presentaron Muñoz y Jiménez al realizar un estudio en la empresa Proteco Ltda. en donde se encontró que el proceso cuello de botella era el de lavado, en donde más tiempo se gastaba y el cual era fundamental para pasar a otros procesos, lo que llevó a sugerir nuevos escenarios en donde se mejoraran algunos procesos llevando a la empresa a tener un funcionamiento más eficiente (Muñoz & Jimenez, 2004).

Además se encontró que la empresa no tenía estandarizadas muchas actividades ni documentados correctamente sus procesos lo que hacía que la empresa no fuera flexible ni lo suficientemente productiva, por esto se sugirió emplear algunas normas de calidad ISO que a largo plazo permitiría tener a la empresa un mejor funcionamiento en sus diferentes procesos y a su vez contar con datos históricos que le puedan permitir hacer análisis completos e implementar las mejoras respectivas.

Los modelos de simulación también han sido usados en problemas sanitarios como es el caso del basurero de Navarro en la ciudad de Santiago de Cali, en donde se evaluaron las rutas de transporte de los residuos y las emisiones de gas que se generaban, buscando analizar el impacto en los habitantes que vivían cerca (Castillo, Lain, & Gandini, 2012). Al analizar las concentraciones de los gases para la simulación se tomaron datos teóricos teniendo en cuenta las características específicas de estos, por lo que el modelo puede no ser muy preciso para representar la realidad al no tomar datos experimentales.

Luego de analizar el modelo se concluyó entre otras cosas la importancia de mejorar la planeación ambiental y la toma de decisiones para no poner en riesgo la salud de las personas al tener residuos sólidos en zonas no aptas y rutas de transporte inadecuadas. Se lograron identificar las zonas con mayor riesgo de estar expuestas a estos contaminantes según su ubicación y condiciones meteorológicas.

En el sector agroindustrial se han realizado diversos modelos como es el caso del realizado en Mendoza, Argentina sobre la viabilidad de técnico-económica de sembrar cerezo (Tacchini & Tacchini, 2012). En este modelo se analizaron diversas variables como por ejemplo variables ecológicas, de ubicación para sembrar, costos de cosecha y precio de venta, entre otras. De esta forma se logra llegar a un resultado sobre los

mejores lugares para que los productores de cerezo siembren y obtengan de sus empresas la mayor rentabilidad posible.

Por otra parte se han realizado comparaciones entre modelos de simulación para establecer cuál es el mejor. Estos fueron realizados mediante el software Promodel en una empresa manufacturera en donde en uno de los modelos la empresa funcionaba bajo el sistema de costos estándar y en el otro bajo conceptos de la teoría de restricciones, principalmente en la parte logística (Ortiz, Nuño, Torres, & Báez, 2008).

En esta comparación se buscaba saber en cual sistema se obtenían las mejores ventajas competitivas como menor inventario en proceso y el flujo sincronizado de producción. Se encontró que usando teoría de restricciones se lograba tener un sistema logístico con un inventario en proceso mucho menor, en donde la materia prima fluía mejor, logrando que se disminuyan los gastos de operación, mejorando la liquidez de la empresa y siendo un sistema más productivo.

En un almacén de colchones de Medellín se realizó un modelo de simulación que buscó mejorar el proceso de la recepción de producto terminado que lo consideraban como uno de los más importantes ya que se deseaba satisfacer las necesidades del cliente de una forma ágil. Se identificaron los factores más importantes que afectaban las variables de interés en dicho proceso y a partir de esto se realizaron mejoras que permitieron reducir el tiempo de operación de 30 a 5 minutos aproximadamente por colchón, a través de la optimización de personal y equipo de manejo de materiales, haciendo que la cadena productiva fuera más eficiente y fluyera más rápido (Gómez & Correa, 2011).

6. ANTECEDENTES CONTEXTUALES

Colombia es uno de los principales productores de café a nivel mundial siendo el tercer país que más lo produce. Este producto es uno de los más exportados e incluso es uno de los principales símbolos con que se relaciona al país en todo el mundo. El sector cafetero al ser uno de los más grandes en Colombia, ha ayudado a financiar el desarrollo de la infraestructura en muchas regiones e incluso a potenciar otras industrias y proyectos (Banco Mundial, 2002).

Sin embargo en los últimos años la participación del sector cafetero ha venido disminuyendo tanto en el sector rural como en la economía en general del país: en cuanto a la participación en el sector agropecuario pasó de ser el 23,32% en 1990 al 8,18% en 2011; en cuanto al peso sobre el PIB nacional pasó del 2,33% en 1990 al 0,52% en 2011. A su vez la participación del café en el valor de las exportaciones nacionales en 2011 fue del 5% (Departamento Nacional de Planeación, 2013).

Por otra parte la producción de café ha venido decreciendo como se muestra en la siguiente gráfica:

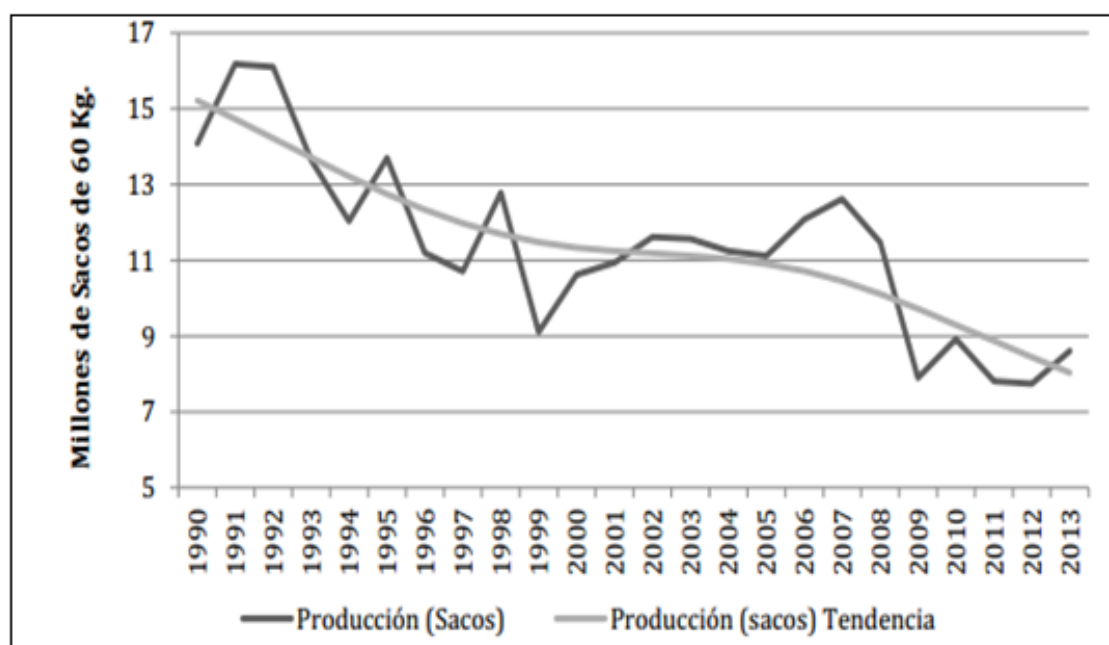


Figura 1. Producción nacional de café y su tendencia 1.990-2.012
Fuente: Departamento nacional de planeación

Esta caída en la producción de café incidió en las exportaciones, pasando de 13,9 millones de sacos en 1990 a 7,9 millones en 2012, presentando un decrecimiento del 48%. Mientras esto pasaba en la economía nacional, las exportaciones mundiales de café crecieron a una tasa anual del 1,4% pasando de 79 millones de sacos a 104 millones.

Colombia ha perdido competitividad en el mercado internacional por varios motivos como lo son: la alta volatilidad del precio nacional e internacional del café en los últimos años, la revaluación del peso, altos impactos del cambio climático, el alza en los precios de los fertilizantes y el programa de renovación de cultivos, el cual busca mejorar el rendimiento del café haciéndolo más resistente a enfermedades del café como la roya. Sin embargo en el proceso de renovación miles de hectáreas quedaron parcialmente siendo improductivas (Departamento Nacional de Planeación, 2013).

Para ayudar a potenciar el sector cafetero en 1927 se creó un gremio que es la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia; esta organización representa nacional e internacionalmente a todos los cafeteros colombianos y vela por sus intereses, siendo el gremio más grande del país (Federación Nacional de Cafeteros, 2013). Por esto a pesar de la disminución en la producción en los últimos años este busca continuamente la forma de crear estrategias que ayuden a las más de medio millón de familias que viven del café en el territorio nacional.

Es por esto que el presidente de la federación hace énfasis en una mejora en la eficiencia en el nuevo entorno mundial, en donde afirma que los cafeteros del país deben apuntar hacia la “capacidad regional para gestionar y mantener la productividad, la competitividad y reducir los costos”, coordinando eficientemente la cadena productiva y aumentando la capacidad de negociación. Agrega que el Ministerio de Agricultura se encuentra actualmente realizando un análisis de los costos más representativos, entre ellos el de los fertilizantes que tanto han impactado (Precios del café podrían seguir altos todo el 2014, 2014).

Otras estrategias que pueden ayudar a que mejore la competitividad del sector están orientadas a un aumento en la publicidad y estrategias de comercialización que hagan que dentro del país crezca el consumo de café como ocurrió en Brasil, el cual actualmente es el segundo consumidor a nivel mundial. Además de esto otra estrategia que ha venido creciendo es la de aumentar la presencia en el mercado de cafés diferenciados, que a pesar de ser más pequeño puede ofrecer una alta rentabilidad. También se advierte la necesidad de utilizar tecnologías que no incrementen de manera significativa los costos de producción ya que a pesar de que puedan ser más nuevas y tener una mayor capacidad de producción pueden incurrir en altos costos, especialmente en mano de obra, que son difíciles de recuperar con los precios bajos que presenta el entorno económico actual. (Banco Mundial, 2002).

7. CASO DE APLICACIÓN

7.1 Descripción de la empresa

Racafé S.A es una empresa del sector cafetero que tiene como objeto social la promoción y distribución de café a los mercados nacionales y extranjeros, la cual ha logrado un alto posicionamiento la industria basándose en estrictos parámetros de productividad y eficiencia, que hacen que se produzca un café de la más alta calidad.

En cuanto a los productos fabricados, la empresa ofrece una gran variedad a sus clientes; en primer lugar para la industria torrefactora nacional, se ofrecen una variedad de productos tipo consumo y tipo pasilla, adaptables a los tostadores y cumpliendo con las necesidades específicas de cada cliente, teniendo como referencia las normas de calidad ICONTEC 4806 para consumos y 3633 para pasillas. En cuanto a los mercados extranjeros, la empresa produce café excelso, además de producir cafés con las características específicas que algún cliente solicite.

Las características que distinguen los diferentes tipos de café son: el sabor que puede ser intenso medio o delicado, la acidez que puede ser media, media/baja o baja, el aroma que puede ser intenso medio o ligero, el cuerpo que puede ser pleno, bueno o débil y el carácter que puede ser fuerte, balanceado o ligero.

Además de esto los lineamientos de la empresa dan especial importancia a la sostenibilidad del negocio, en donde los productores deben tener acceso a las prácticas de cultivo de café más avanzadas, buscando que se produzca un gran aprovechamiento de los recursos que genere un producto de óptima calidad, pero dejando la menor huella ambiental posible y compitiéndose además en la parte social con las comunidades en donde Racafé impacta.

7.1.1 Descripción del proceso para la producción de café tipo consumo, pasilla y excelso

Proceso	Descripción
Recepción de materia prima	La materia prima del proceso de trilla es café pergamino, proveniente de caficultores y cooperativas cafeteras. Este ingresa por medio de un camión a la zona de descargue, donde se pesa el vehículo cargado.
Descargue	El café que proviene en sacos, es descargado a través de una banda transportadora, donde operarios los reciben y los llevan a la parrilla de recibo.

Pre-Limpieza	Los operarios cortan los sacos y los vacean en la parrilla para retirar impurezas. En este punto se arma una fila ya que la red tiene capacidad para pasar 50.000 Kg cada tres horas.
Almacenamiento en silos	A través de un elevador, se transporta el café pergamino sin impurezas hacia tres silos de almacenamiento. Estos alimentan continuamente el proceso.
Limpieza	El pergamino almacenado pasa por una banda transportadora hacia el monitor de pergamino y posteriormente hacia la máquina despregadora, donde se retiran diferentes impurezas tales como: polvo o impurezas de semejante tamaño al grano.
Trilla	El pergamino limpio, pasa a un regulador que es una tolva de almacenamiento que va alimentando la maquina trilladora, donde se retira la cascarilla y sale café almendra. Se produce una merma por cisco al quitarle la cascarilla.
Granulometría (Clasificación por tamaño)	La almendra que se obtiene llega a unas tolvas de almacenamiento, que pasan al monitor de almendra, en donde esta es dividida en varias fracciones según su tamaño.
Clasificación por peso	Una vez clasificado por tamaño, la almendra pasa a catadoras que clasifican el grano según su peso. De las catadoras pasan a <i>steeles</i> que realizan una nueva clasificación por peso. El grano más liviano pasa a los <i>steeles</i> 12 y 13, mientras que el pesado pasa a los <i>steeles</i> 14, 15,16, 17 y 18. En los <i>steeles</i> de grano liviano se procesa el café tipo consumo y pasilla, mientras que en los demás el café excelso. Una vez procesados los granos por los <i>steeles</i> , los más livianos de los <i>steeles</i> de café excelso pasan al proceso de café tipo consumo y pasilla. El grano de los <i>steeles</i> 12 y 13 pasa por un último proceso de repaso para asegurarse de haber clasificado bien sus pesos.
Selección electrónica	Los granos que presentan defectos por su color (granos amarillos o negros) o alteraciones en la superficie, deben ser retirados a través de máquinas electrónicas que detectan estas irregularidades. Una vez detectados, se

	retiran del café excelso.
Empaque	El producto terminado se va almacenando en dos tolvas, una para consumo y pasilla y otra para excelso. El café se va empacando por operarios en sacos de tejido.
Almacenamiento de producto terminado	Los sacos se manipulan manualmente en dos bodegas una para excelso y otra para consumo y pasilla.
Cargue	El café almacenado en sacos, es cargado dentro de camiones por parte de los operarios. Estos se ubican junto a las bodegas de almacenamiento.

**Tabla 1. Descripción de cada proceso para la producción del café tipo consumo, pasilla y excelso.
Fuente: Creación propia**

7.1.2 Diagrama de proceso

A continuación se presenta el diagrama de proceso de la empresa Racafé Medellín para la producción de café para consumo tipo pasilla, consumo y excelso. El proceso comprende desde la llegada de la materia prima hasta el empaque del producto terminado:

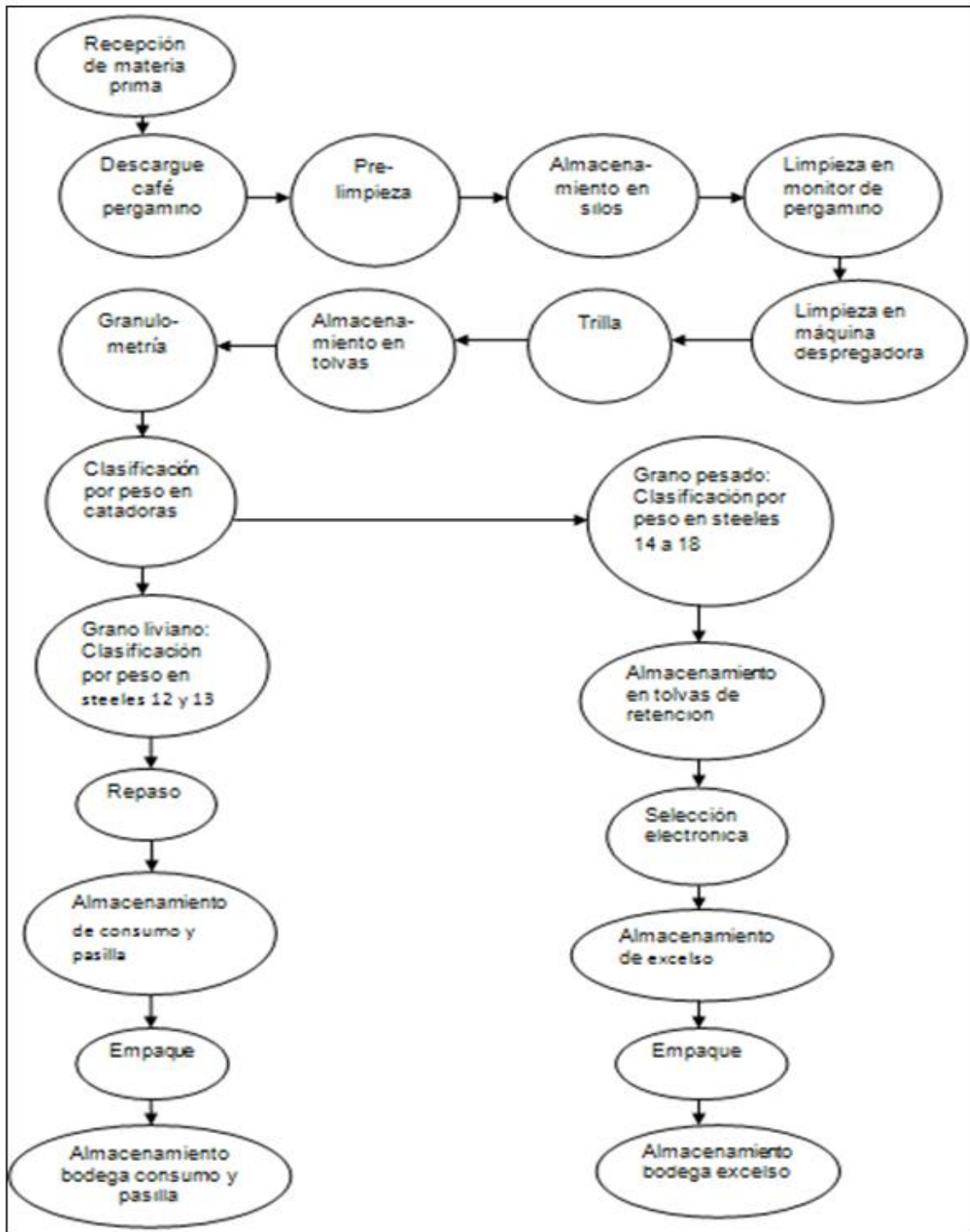


Figura 2. Diagrama de proceso
Fuente: Autoría Propia

7.2 Definición del Problema

En la empresa Racafé Medellín se presentan problemas a la hora de planear la producción con base a la demanda ya que no se tiene conocimiento de la capacidad actual de la planta y se especula en la contratación de personal conforme la demanda vaya cambiando. Actualmente la empresa no cuenta con capital disponible para realizar inversiones en maquinaria, lo cual ha llevado a los directivos a pensar en una optimización de sus procesos con base a una eficiente contratación de personal, en donde no se presenten excesos que lleven a incrementar los costos y también teniendo en cuenta los tiempos de entrega pactados con los clientes, para así trabajar lo más eficientemente posible mientras se sigue posicionando a la empresa con base a su calidad y cumplimiento.

De esta forma a la hora de analizar el proceso de trilla, se pretende realizar un estudio de métodos y tiempos que permita llevar a cabo la ejecución de un modelo de simulación aplicable a Racafé Medellín. Este modelo estará basado en la totalidad del proceso de producción de café excelso pero se centrará principalmente en los subprocesos donde intervienen operarios, que es lo que en definitiva se desea optimizar con la ejecución de este trabajo. Además cabe anotar que los volúmenes de producción cambian mucho a lo largo del año; nuestro modelo estará basado en la temporada de cosecha que es la que mayor volumen de producción demanda y donde la empresa tiene mayores inconvenientes a la hora de efectuar la planeación.

7.3 Conceptualización del modelo de simulación

En esta fase se busca identificar y caracterizar el funcionamiento del sistema, determinando las entidades de estudio, las locaciones, las variables del modelo y la definición de supuestos. Todo esto pretende entender de forma más completa las relaciones entre los diferentes componentes del sistema que lleven a crear un modelo lo más ajustado posible al proceso real.

7.3.1 Definición de entidades

De acuerdo a las necesidades de la empresa, el proceso a optimizar es el de trilla del producto café excelso ya que es el más complejo y el que mayores ingresos le genera a Racafé. Como se mencionó al documentar el proceso la materia prima que entra es café pergamino y la salida después del proceso de trilla es café excelso, el cual es empacado en bultos para su distribución a los diferentes clientes, por esto son las dos entidades que se tendrán en cuenta en el modelo al ser las que pasen a través de las locaciones.

7.3.2 Definición de locaciones

Como el principal objetivo del modelo es obtener una mayor claridad a la hora de contratar personal y planear su producción de acuerdo a la demanda, las locaciones a tener en cuenta son aquellas en donde intervienen operarios, mientras que el proceso de trilla, donde intervienen numerosas máquinas, será tomado como un solo tiempo debido a que trabaja en forma continua y con base al presupuesto de la empresa, no hay capital disponible para invertir en maquinaria ni realizar ajustes. Debido a esto, la empresa desea contar con un alto grado de conocimiento del rendimiento del recurso humano dentro del proceso de trilla para optimizarlo. Además se debe tener en cuenta que después del descargue, los sacos tardan un tiempo en entrar al proceso de producción ya que se arma una fila para pasar por las rejillas. Las locaciones del modelo son:

- Zona de descargue
- Fila
- Trilla
- Bodega
- Zona de cargue

7.3.3 Supuestos del modelo

Los supuestos del modelo son:

1. Una hora real de trabajo corresponde a 60 minutos reales de trabajo.
2. Los operarios no tienen una única función definida, estos comienzan su jornada en el proceso de descargue y también son los mismos encargados de empaclar y cargar.
3. El número de trabajadores permanece constante.
4. Las locaciones de descargue, empaque y cargue tienen capacidad infinita ya que se desarrollan en espacios de área muy grande donde es muy difícil que se llenen con lo que se produce. Lo que limita a estos procesos es el número de operarios.
5. La jornada laboral consta de 10 horas al día, con un solo turno.
6. Se realizan 15 réplicas.
7. El modelo se representa una semana de trabajo, por lo que termine una vez pasan 70 horas de trabajo.

7.3.4 Declaración de variables

Las variables de interés para el modelo son:

-Cantidad de bultos de café pergamino

-Cantidad de bultos de café excelso

7.4 Recolección de datos

7.4.1 Observación del proceso

En primer lugar se realizaron visitas a la empresa con el fin de conocer las condiciones actuales bajo las que funcionaba el proceso de trilla además de todos los procesos y subprocesos, analizando la distribución de la planta, maquinaria y distancia recorrida por los operarios. Estas visitas se realizaron con ayuda del jefe de producción.

Por otra parte se encontró que no se han realizado estudios de métodos y tiempos dentro de la fábrica, lo que dificulta a la empresa calcular los costos operacionales, realizar controles de rendimiento a los operarios y calcular el tiempo de ciclo ya que no se han estandarizado los tiempos de la operación. Debido a esto al no contar con datos en los módulos de trabajo se realizó el estudio de tiempos en la planta.

7.4.2 Identificación de la aleatoriedad

Para garantizar que la toma de datos no estuviera sesgada se tuvieron en cuenta diferentes factores a la hora de su recolección. Los datos fueron tomados a diferentes horas de la jornada laboral y en diferentes días en un período total de un mes, buscando con esto tener una aproximación más real de la operación normal.

7.4.3 Tabulación de datos

Se tomaron entre 10 y 11 tiempos de operación por cada proceso del modelo. En los procesos donde intervenían operarios, según el día había un número diferente de estos oscilando entre 3 y 11 personas y con diferentes cantidades de café; por esto cada tiempo corresponde al número de sacos promedio descargados, empacados o cargados por operario por minuto. Este es el número de operarios que había en una época del año donde no hay cosecha, ya que en ese período el número de operarios es mucho mayor, sin embargo nos da la información necesaria del tiempo por operación que puede tardar un operario.

Cabe anotar que la toma de cada tiempo fue tomada por varios minutos e incluso horas mientras los trabajadores operaban en su totalidad la cantidad de café requerido en el momento en cada proceso.

En la sección anexos se muestran los datos obtenidos después de la recolección. La unidad de tiempo para todos ellos fue definida en minutos.

7.5 Verificación, validación y prueba del modelo

7.5.1 Verificación del modelo

En primer lugar, los datos recolectados deben ser analizados estadísticamente para asegurarse que no estén afectados por datos atípicos que hagan menos preciso al modelo. Con Statgraphics se analizó para cada muestra de recogida: principales parámetros estadísticos, intervalos de confianza y el diagrama de cajas.

- Descargue

Recuento	11
Promedio	2,06691
Desviación Estándar	0,547608
Coefficiente de Variación	26,494%
Mínimo	0,806
Máximo	2,68
Rango	1,874
Sesgo Estandarizado	-1,67784
Curtosis Estandarizada	1,19504

Tabla 2. Estadísticos Descargue
Fuente: StatGraphics

Gráfico de Caja y Bigotes

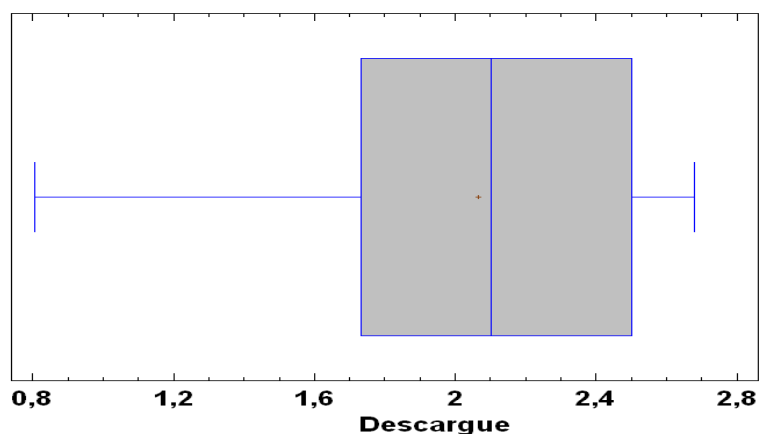


Figura 3. Diagrama de cajas y bigotes de Descargue
Fuente: StatGraphics

Al analizar el diagrama de cajas del proceso de descargue no se observa la presencia de datos atípicos que incrementen la desviación y el error. Los intervalos de confianza de los 95% calculados con Statgraphics son los siguientes:

Para la media $2,06691 \pm 0,367889$ [1,69902; 2,4348] y para la desviación estándar [0,382623; 0,961013].

- Trilla

Recuento	10
Promedio	1,2096
Desviación Estándar	0,191531
Coefficiente de Variación	15,8343%
Mínimo	0,96
Máximo	1,567
Rango	0,607
Sesgo Estandarizado	0,678309
Curtosis Estandarizada	-0,102364

Tabla 3. Estadísticos Trilla
Fuente: StatGraphics

Gráfico de Caja y Bigotes

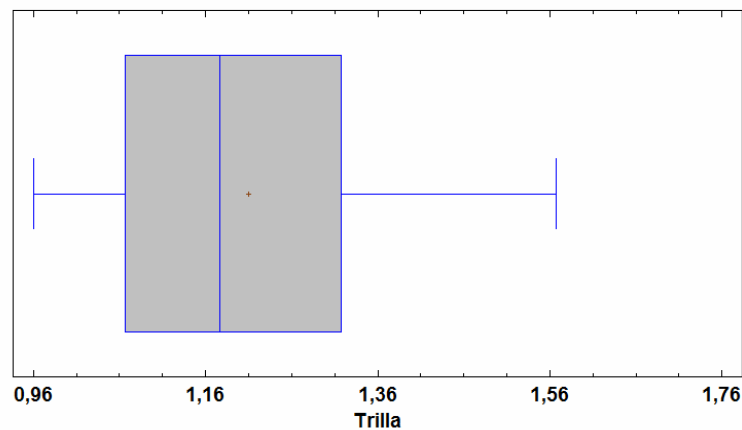


Figura 4. Diagrama de cajas y bigotes de Trilla
Fuente: StatGraphics

En el diagrama de cajas y bigotes se observa que no existe la presencia de datos atípicos que afecten la confiabilidad de los resultados. Los intervalos de confianza del 95% calculados para el proceso de trilla son:

Para la media: $1,2096 \pm 0,137014$ [1,07259; 1,34661] y para la desviación estándar [0,131742; 0,349662].

- Empaque

Recuento	10
Promedio	0,3775
Desviación Estándar	0,119224
Coefficiente de Variación	31,5824%
Mínimo	0,147
Máximo	0,563
Rango	0,416
Sesgo Estandarizado	-0,513441
Curtosis Estandarizada	0,218273

Tabla 4. Estadísticos Empaque
Fuente: StatGraphics

Gráfico de Caja y Bigotes

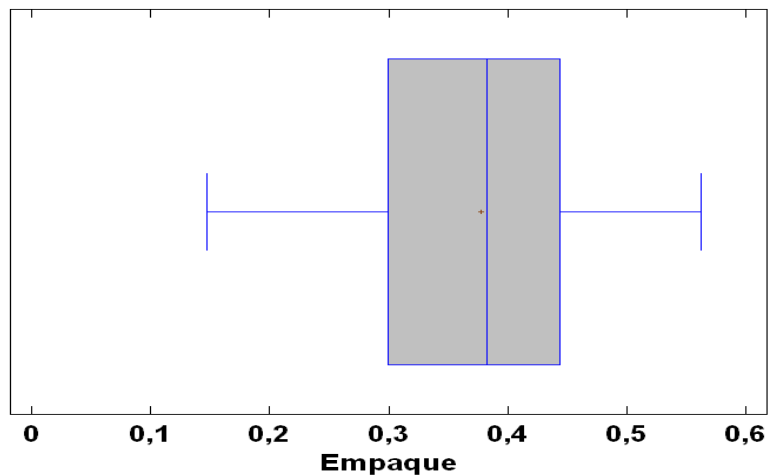


Figura 5. Diagrama de cajas y bigotes de Empaque
Fuente: StatGraphics

El diagrama de cajas y bigotes para el proceso de empaque no presente datos atípicos. Posteriormente se obtuvieron los intervalos de confianza del 95% con Statgraphics, obteniendo:

Para la media: $0,3775 \pm 0,0852877$ [0,292212; 0,462788] y para la desviación estándar [0,0820062; 0,217656].

- Cargue

Recuento	10
Promedio	0,8464
Desviación Estándar	0,368193
Coficiente de Variación	43,5011%
Mínimo	0,333
Máximo	1,375
Rango	1,042
Sesgo Estandarizado	-0,101321
Curtosis Estandarizada	-0,910649

Tabla 5. Estadísticos Cargue
Fuente: StatGraphics

Gráfico de Caja y Bigotes

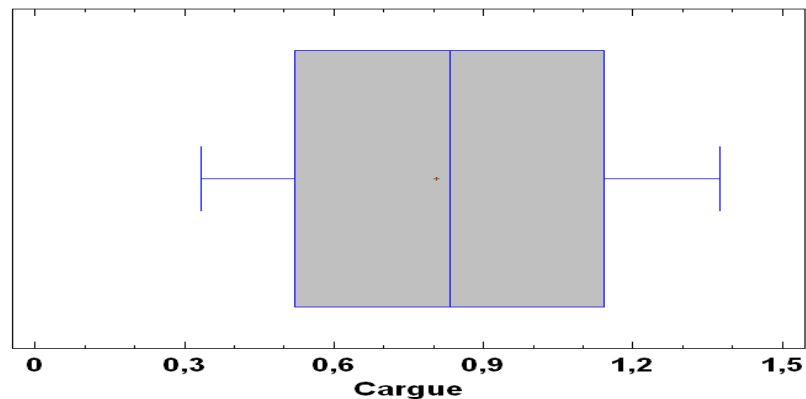


Figura 6. Diagrama de cajas y bigotes de Cargue
Fuente: StatGraphics

En el diagrama de cajas y bigotes se observa que no existe la presencia de datos atípicos que afecten los resultados. Los intervalos de confianza del 95% calculados para el proceso de cargue son:

Para la media: $0,8464 \pm 0,26339$ [0,58301; 1,10979] y para la desviación estándar [0,253256; 0,672177]

7.5.2 Identificación de distribución de probabilidad

Una vez analizados los datos tomados en el estudio de tiempos y garantizando que no existe la presencia de datos atípicos, se continua realizando la validación de estos, lo

cual permite identificar a qué tipo de distribución pertenecen y define sus parámetros, que son la base para ingresar en el software de simulación.

La validación se realizó para cada uno de los procesos, teniendo en cuenta que antes de identificar el tipo de distribución se debe identificar la naturaleza de la variable, las cuales al tratarse de tiempos en nuestro modelo se definen como continuas. A partir de esto se sabrá el tipo de distribución continua a la cual pertenece cada subgrupo de datos que corresponden a los procesos de descargue, trilla, empaque y cargue.

Para realizar dicho análisis se utilizó la herramienta Stat::fit del software de simulación Promodel. Este a partir de la serie de datos, define a cuales distribuciones se pueden ajustar, a través de la siguiente prueba de hipótesis:

H_0 = Conjunto de datos se ajusta a la distribución.

H_1 =Conjunto de datos no se ajusta a la distribución.

Además esta herramienta brinda un histograma que permite visualizar cual distribución se ajusta mejor en caso de que hayan varias que se ajusten.

- Descargue

Al analizar los datos tomados en la herramienta Stat::fit, este arrojó que en las distribuciones normal, lognormal y uniforme no se podía rechazar la hipótesis, lo que llevó a analizar por medio del histograma con distribución ajustada cual representaría mejor al conjunto de datos:

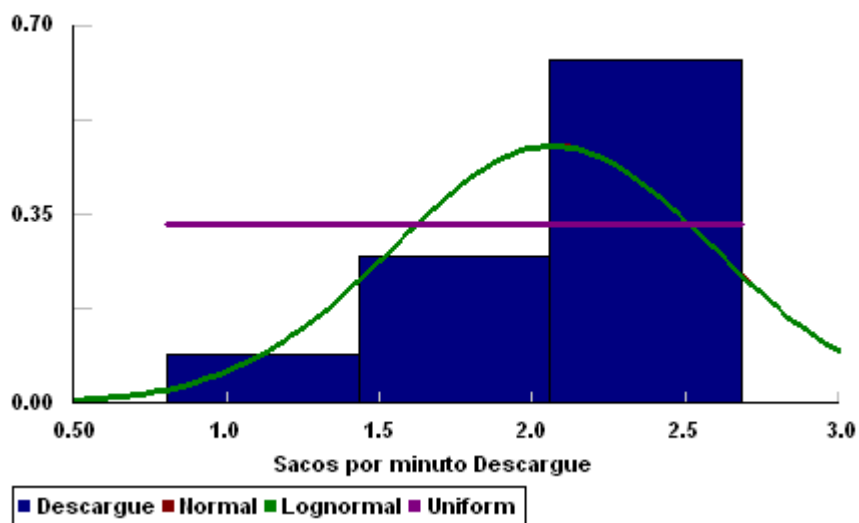


Figura 7. Histograma con ajuste de distribuciones. Descargue
Fuente: StatGraphics

A partir de la gráfica se observa que la distribución normal y lognormal tienen el mismo comportamiento y son las que mejor se ajustan al proceso de descargue; la curva roja no se observa ya que es exactamente igual a la verde. Se eligió la distribución normal en este caso.

Para la distribución normal el *Stat::fit* calculó las pruebas de Smirnov Kolmogorov y Anderson-Darling, que son pruebas no paramétricas que analizan si un conjunto de datos provienen de una distribución específica. En estas la hipótesis inicial afirma que la distribución observada se ajusta a la distribución teórica; si esta es rechazada los datos no se ajustan a la distribución. De esta forma el programa arrojó los siguientes resultados mostrando que la hipótesis no se podía rechazar:

Distribución normal	
Mean	2.06691
Sigma	0.522123
Kolmogorov-Smirnov	
data points	11
Ks stat	0.207
Alpha	5.e-002
Ks stat (11,5 e-002)	0.391
p-value	0.659
result	DO NOT REJECT
Anderson-Darling	
Data points	11
Ad stat	0.411
Alpha	5.e-002
Ad stat(5.e-002)	2.49
p-value	0.837
result	DO NOT REJECT

Tabla 6. Pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling en Descargue
Fuente: *Stat::fit*

Los parámetros arrojados por el software para la distribución normal son (2.07, 0.522).

- Trilla

Se evaluaron los datos tomados del proceso de trilla, tomado como un solo proceso, en la herramienta *Stat::fit*, este arrojó que en las distribuciones normal, lognormal, exponencial y uniforme no se podía rechazar la hipótesis, lo que llevó a analizar por medio del histograma con distribución ajustada cual representaría mejor al conjunto de datos:

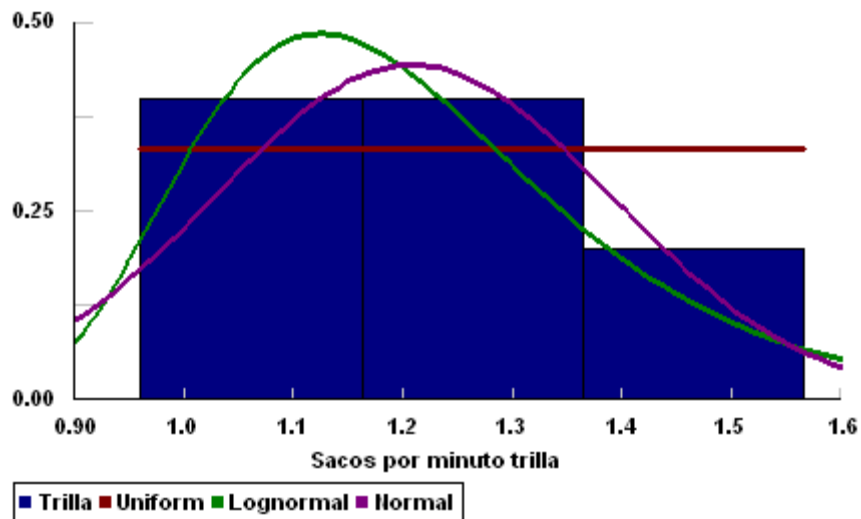


Figura 8. Histograma con ajuste de distribuciones. Trilla
Fuente: StatGraphics

A partir del gráfico con ajuste de distribuciones se definió representar el proceso de trilla con la distribución uniforme.

Para la distribución uniforme el Stat::fit calculó las pruebas de Smirnov Kolmogorov y Anderson-Darling, validando la hipótesis de que los datos se ajustan a esa distribución:

Distribución uniforme	
Minimum	0.96
Maximum	1.566
Kolmogorov-Smirnov	
data points	10
Ks stat	0.229
Alpha	5.e-002
Ks stat (10,5 e-002)	0.409
p-value	0.596
result	DO NOT REJECT
Anderson-Darling	
Data points	8
Ad stat	0.882
Alpha	5.e-002
Ad stat(5.e-002)	2.49
p-value	0.426
result	DO NOT REJECT

Tabla 7. Pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling en Trilla
Fuente: Stat::fit

Una vez definida esta distribución, se toman los parámetros arrojados por el software que serán los datos a incluir al construir el modelo, estos son (0.96, 1.566).

- Empaque

Procesando los datos en la herramienta Stat::fit, este arrojó que en las distribuciones normal, lognormal y uniforme no se podía rechazar la hipótesis, lo que llevó a analizar por medio del histograma con distribución ajustada cual representaría mejor al conjunto de datos:

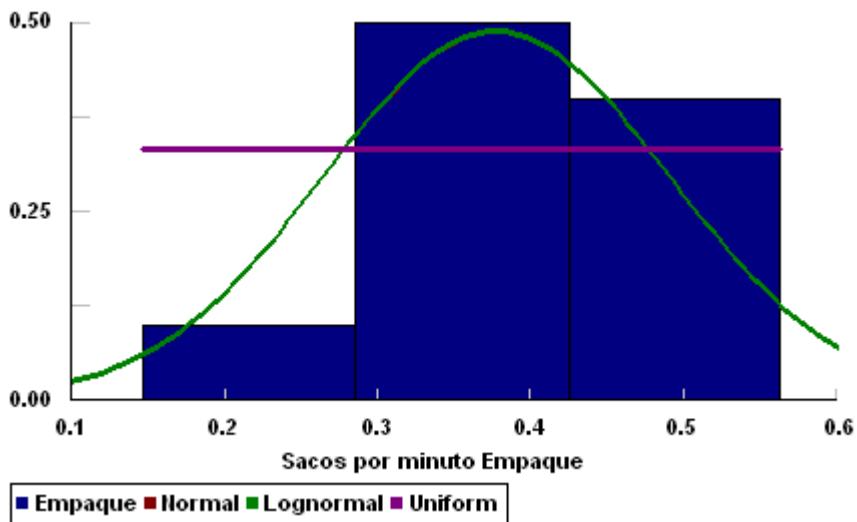


Figura 9. Histograma con ajuste de distribuciones. Empaque
Fuente: StatGraphics

A partir de la gráfica se observa que las distribuciones normal y lognormal tienen el mismo comportamiento y son las que mejor se ajustan al proceso de empaque. En este caso se optó por escoger la lognormal por representarlo mejor.

Para la distribución lognormal el Stat::fit calculó las pruebas de Smirnov Kolmogorov y Anderson-Darling, validando la hipótesis de que los datos se ajustan a esa distribución:

Distribución lognormal	
Minimum	-291.561
Mu	5.67654
sigma	3.87454e-004
Kolmogorov-Smirnov	
data points	10
Ks stat	0.137
Alpha	5.e-002
Ks stat (11,5 e-002)	0.409
p-value	0.98
result	DO NOT REJECT
Anderson-Darling	
Data points	10
Ad stat	0.212
Alpha	5.e-002
Ad stat(5.e-002)	2.49
p-value	0.987
result	DO NOT REJECT

Tabla 8. Pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling en Empaque
Fuente: Stat::fit

Los parámetros arrojados por el software son (-292, 5.68, 3.87e-004).

- Cargue

Al analizar los datos tomados en la herramienta Stat::fit, este arrojó que en las distribuciones normal, lognormal y uniforme no se podía rechazar la hipótesis, lo que llevó a analizar por medio del histograma con distribución ajustada cual representaría mejor al conjunto de datos:

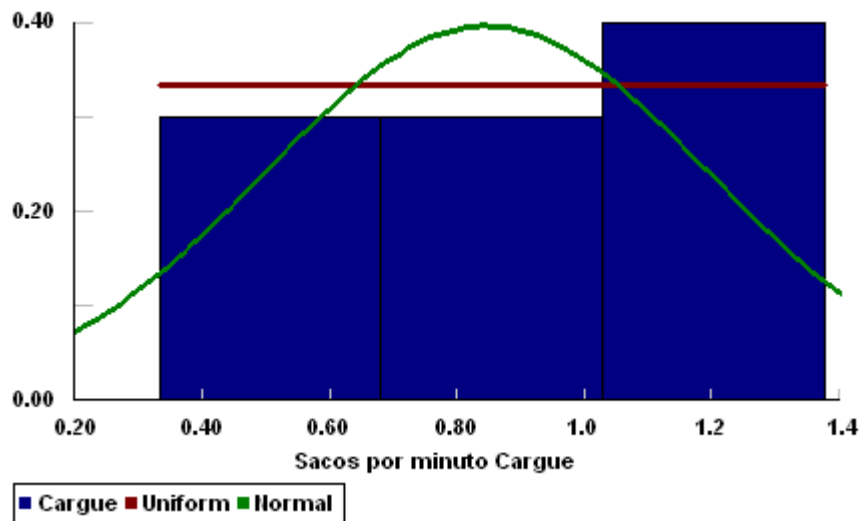


Figura 10. Histograma con ajuste de distribuciones. Cargue
Fuente: StatGraphics

A partir de la gráfica se observa que la distribución uniforme es la que mejor se ajusta al proceso de cargue.

Para la distribución uniforme el Stat::fit calculó las pruebas de Smirnov Kolmogorov y Anderson-Darling, validando la hipótesis de que los datos se ajustan a esa distribución:

Distribución uniforme	
Minumum	0.333
Maximum	1.375
Kolmogorov-Smirnov	
data points	10
Ks stat	0.177
Alpha	5.e-002
Ks stat (10,5 e-002)	0.409
p-value	0.859
result	DO NOT REJECT
Anderson-Darling	
Data points	8
Ad stat	0.266
Alpha	5.e-002
Ad stat(5.e-002)	2.49
p-value	0.961
result	DO NOT REJECT

Tabla 9. Pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling en Cargue
Fuente: Stat::fit

Los parámetros arrojados por el software para esta distribución son (0.333, 1.38).

A pesar de haber realizado estos análisis con 10 datos, estos comprenden largos períodos de tiempo que inclusive pueden ser horas, en donde la misma operación se repite muchas veces por distintos operarios, dando una idea muy clara de cuánto tiempo toma cada operación.

7.6 Simulación y Análisis

La construcción del modelo empieza abriendo el software de simulación Promodel, en donde se ingresa la información general del modelo a realizar, eligiendo como unidad de tiempo el minuto y la unidad de distancia en metros, lo cual se muestra a continuación:

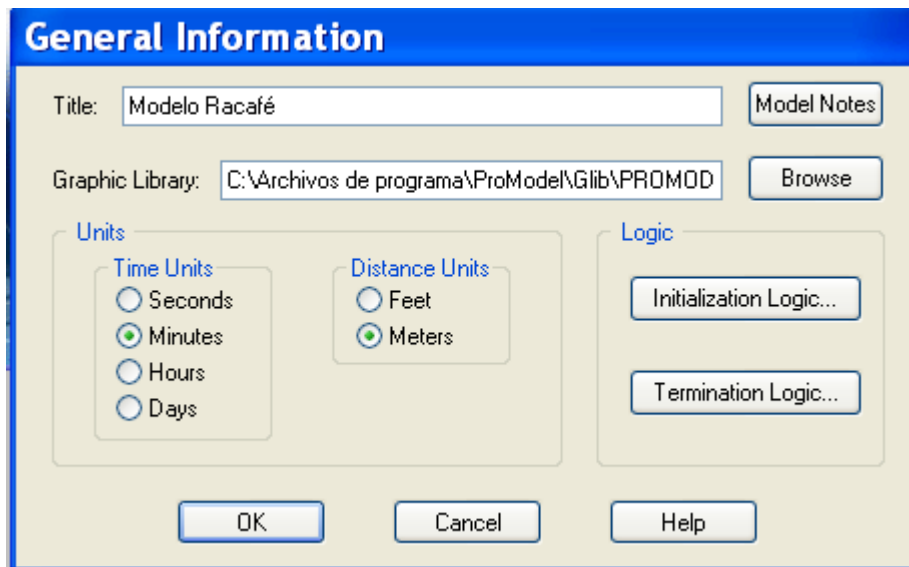


Figura 11. Información general del modelo
Fuente: Promodel ®7

7.6.1 Construir Locaciones

Las locaciones a tener en cuenta son la zona de descargue de la materia prima, una fila que se forma después de que los sacos son descargados y que representa el tiempo que demoran los sacos de café en entrar al proceso de producción, la trilla, el empaque y la zona de cargue de café excelso ya que es allí donde las entidades

tienen distintos tipos de tratamiento. El proceso para construir locaciones en el software comienza como se muestra a continuación:

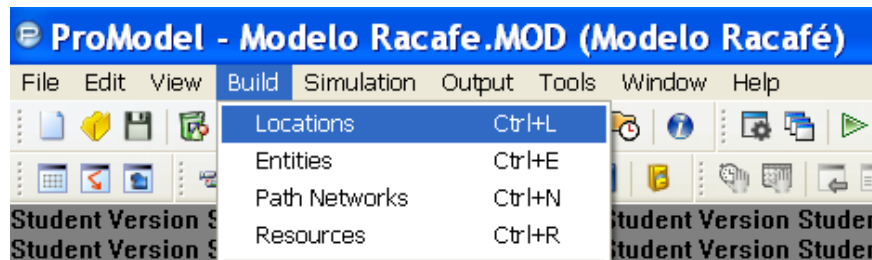


Figura 12. Construir locaciones
Fuente: Promodel ®7

A cada locación se le asignó una representación gráfica. Para la locación de descargue se utilizó una imagen de un camión que se muestra a continuación (Dibujos, 2010):



Figura 13. Locación descargue
Fuente: www.galeria.dibujos.net



Figura 14. Locación trilla
Fuente: Autoría propia



Figura 15. Locación empaque
Fuente: Autoría propia

Para la locación de cargue se utilizó una representación gráfica similar a los camiones utilizados para transportar el café excelso (Pixabay, 2014):



Figura 16. Locación Cargue
Fuente: www.Pixabay.com

Para la locación fila se utilizó una de las figuras predeterminadas con las que cuenta el software Promodel para representarlas.

Una vez importados estos gráficos en el software Promodel, se procede a determinar las diferentes locaciones. En este punto emergen tres ventanas que permiten ingresar toda la información necesaria de las mismas: En primer lugar está el cuadro *Locations*, en donde se establece el nombre de cada locación y sus características de funcionamiento, en segundo lugar está el cuadro *Graphics* que contiene todas las figuras para realizar el modelo y en tercer lugar está el cuadro *Layout* que es donde se hace la representación gráfica del modelo. A continuación se presenta el layout de las locaciones y la información asociada a cada una:

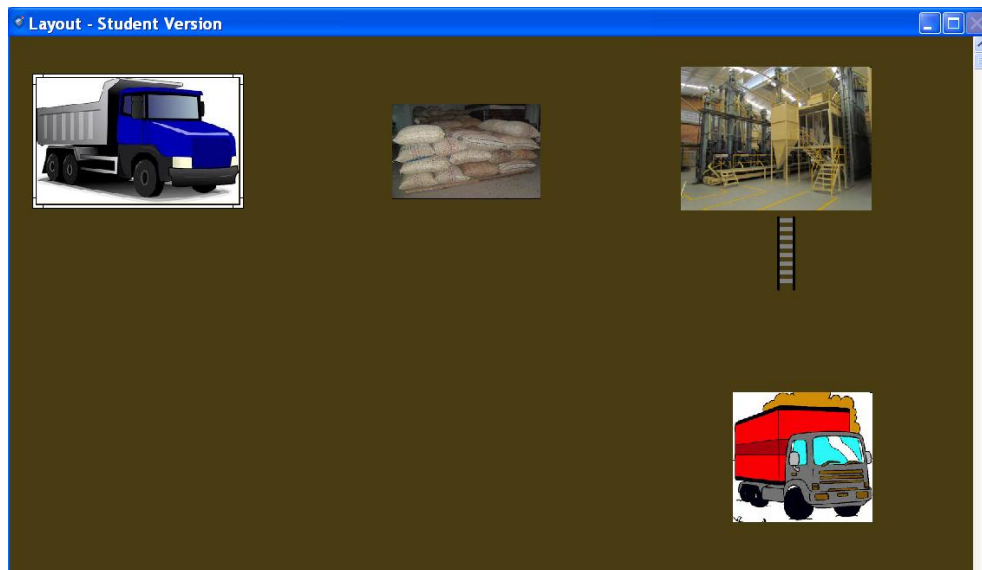


Figura 17. Layout de las locaciones
Fuente: Promodel ®7






Locations						
Icon	Name	Cap.	Units	Dts...	Stats	Rules...
	Descargue	inf	1	None	Time Series	Oldest
	Fila	200	1	None	Time Series	Oldest
	Trilla	2000	1	None	Time Series	Oldest
	Empaque	inf	1	None	Time Series	Oldest
	Cargue	inf	1	None	Time Series	Oldest

Figura 18. Caracterización de las Locaciones
Fuente: Promodel ®7

Las capacidades de las locaciones fila y trilla son 200 y 2.000 sacos respectivamente, ya que es lo máximo que permiten tener en un momento determinado.

7.6.2 Construir entidades

Una vez definidas las locaciones, se procede a crear las entidades que pasarán por estas. Como se mencionó anteriormente las locaciones del modelo son sacos de café pergamino, que es la materia prima que ingresa a la planta y sacos de café excelso

que es el principal producto de la empresa y que es la salida del proceso de trilla. A continuación se muestran las gráficas utilizadas para su representación dentro del modelo:



Figura 19. Entidad Café Pergamino
Fuente: Autoría propia



Figura 20. Entidad Café Excelso
Fuente: Autoría propia

Para ingresar las entidades en el modelo se realizan los siguientes pasos:

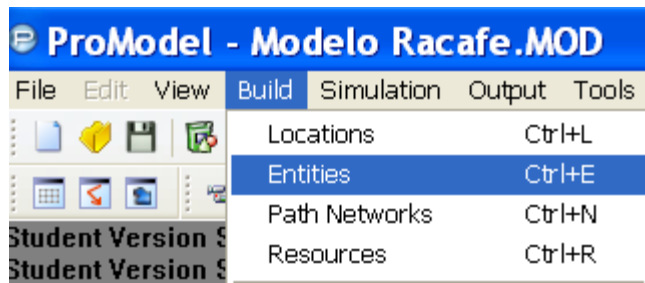


Figura 21. Construir entidades
Fuente: Promodel ®7

Una vez se da la instrucción de crear las entidades se deberá ingresar la información de cada una de estas en el cuadro *Entities*, en donde se le asigna el nombre a cada una dentro del modelo, se le asocia su representación gráfica, se establece la velocidad con que la entidad se mueve dentro del modelo y definir que estadísticas recoge.

Se definió que la velocidad asociada a las entidades fuera de 50 metros por minuto, además se seleccionó la opción *Time Series* en la columna *Stats*, que calcula y grafica información del modelo con respecto al tiempo. A continuación se muestra la información de las entidades del modelo Racafé:

Icon	Name	Speed (mpm)	Stats
	Cafe_Pergamino	50	Time Series
	Cafe_Excelso	50	Time Series

Figura 22. Caracterización de las entidades
Fuente: Promodel ®7

7.6.3 Construir Llegadas

La materia prima que ingresa a la planta es el café pergamino. Por esto al construir las llegadas, se debe definir el nombre de la entidad en ingresar al sistema, la locación a la que llega, la cantidad de entidades que llegan juntas, el tiempo en el que llega el primer lote, el número de ocurrencias y la frecuencia entre una llegada y otra.

El número de ocurrencias se asignó como infinito ya que el modelo funciona con base al tiempo definido en la simulación.

El café pergamino ingresa a la locación de descargue y llega con una frecuencia variable según la demanda que se tenga a lo largo del año. Como el modelo de simulación está representando el sistema en época de cosecha se asignó una frecuencia entre llegadas de 50 minutos a lo largo de la jornada; este llega en camiones cargados en promedio con 150 sacos. Sin embargo esta frecuencia no permanece igual en época de cosecha pero es un tiempo entre llegadas muy común en algunas semanas.

A continuación se muestra el cuadro con las características de las llegadas:

Entity...	Location...	Qty Each...	First Time...	Occurrences	Frequency	Logic...	Disable
Cafe_Pergamino	Descargue	150	0	inf	50 MIN		No

Figura 23. Caracterización de las llegadas
Fuente: Promodel ®7

7.6.4 Construir Redes

Utilizando la opción *Path Network* del software se definen los recorridos de los recursos asociados al proceso, en este caso los operarios. De esta forma al crear la red se define que los operarios se transporten entre las locaciones de descargue, empaque y cargue, que es donde realizan sus operaciones.

Para crear la red, se sigue el siguiente procedimiento en Promodel:

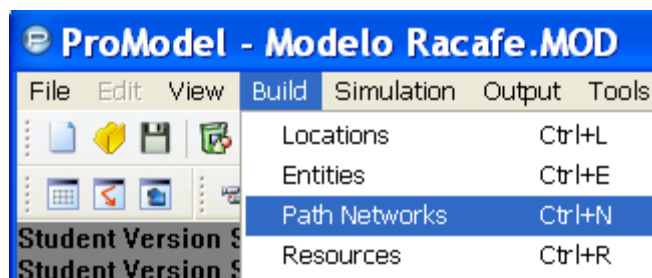


Figura 24. Construir redes
Fuente: Promodel ®7

Se abrirá una ventana con el nombre de *Path Networks* en donde se ingresa toda la información asociada a la red. En primer lugar se establece la forma gráfica que

permite visualizar la red en el modelo. Posteriormente se ingresa el nombre de la red, el tipo de red que determina el comportamiento de los recursos, la velocidad o el tiempo que tarda el recurso en transportarse entre los nodos, caracterizar los movimientos entre los nodos y asociar las locaciones a la red.

En la opción *Type* se estableció *Passing* ya que de esta forma los operarios se pueden desplazar libremente por la red. En la opción *T/S* se estableció *time* como parámetro para medir cuánto tarda un operario en desplazarse entre los nodos. En la opción *Interfaces* se asociaron a los nodos las locaciones de descargue, fila, empaque y cargue. Por último en la opción *Paths* se estableció que los operarios se transportaran entre los nodos mencionados y que fuera bidireccional su movimiento, ya que estos deben estar también regresando conforme va llegando materia prima. El tiempo promedio que tarda un operario entre los diferentes nodos se calculó en la planta de Racafé y los resultados fueron: 10 segundos entre la zona de descargue y la fila, 5 segundos entre la fila y la trilla, 15 segundos entre la trilla y el empaque y 10 segundos entre la zona de empaque y la zona de cargue. A continuación se muestra como se ingresó la información de la red en Promodel:

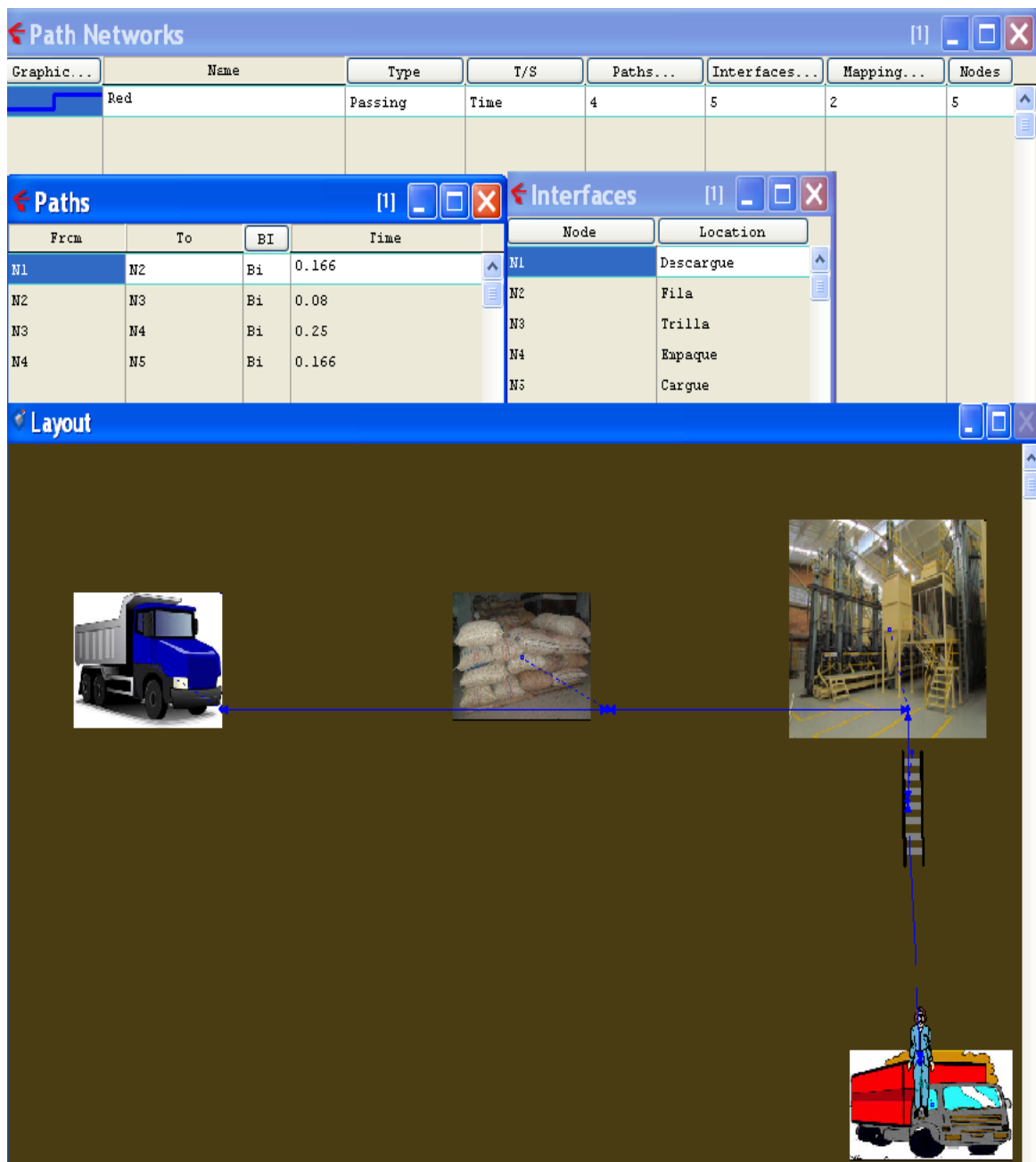


Figura 25. Caracterización de la red
Fuente: Promodel ®7

7.6.5 Construir Recursos

Como el principal objetivo del modelo es determinar el número de operarios necesarios en la planta, estos se deben crear como recursos. El proceso de construir recursos en el software Promodel comienza así:



Figura 26. Construir recursos
Fuente: Promodel ®7

Se desplegará un cuadro denominado *Resources* que permite ingresar el nombre del recurso, su representación gráfica, la cantidad, el número de unidades que manipulan y además permite asociarlos a alguna red que defina sus movimientos en el modelo.

El recurso utilizado en el modelo de Racafé fue denominado *Operario* y se eligieron 25 por supuestos del modelo ya que es un número de operarios usado constantemente en la empresa en temporada de cosecha, sin embargo en la realidad este número varía constantemente. Estos fueron asociados a la red creada anteriormente y como nodo de partida, donde los operarios comienzan sus labores se estableció la zona de descargue ya que es donde comienza el proceso.

A continuación se presenta como se ingresó la información en el software

7.6.6 Construir Procesos

A partir de todo lo anterior, se procedió a crear los procesos comenzando en Promodel así:

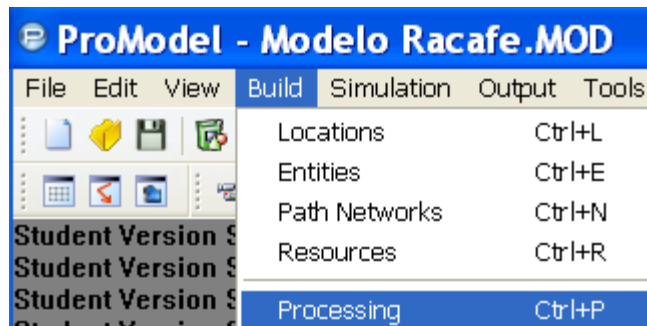


Figura 27. Construir procesos
Fuente: Promodel ®7

Posteriormente se ingresó toda la información de los procesos desarrollados en Racafé, que fueron explicados anteriormente. Se ingresó la información de las

distribuciones asociadas a los tiempos de cada proceso y se asociaron los operarios a las actividades en las que participan, especificando además el paso de las entidades por las diferentes locaciones. Para el proceso de cargue se tuvo en cuenta que solamente comienza cuando hay 250 sacos empacados.

En Promodel se ingresó esta información como se muestra a continuación:

Entity	Location	Process		Routing		
		Operation	Blk Output	Destination	Rule	Move Logic
Cafe_Pergamino	Descargue	GET Operario WAIT N(2.07, 0.522)				
		free Operario	1	Fila	FIRST 1	Move with operario then free
Cafe_Pergamino	Fila		1	Trilla	FIRST 1	move for 0.25
Cafe_Pergamino	Trilla	WAIT U(0.96, 1.566)				
			1	Cafe_Excelso Empaque	FIRST 1	
Cafe_Excelso	Empaque	GET Operario WAIT L(5.68, 0.000387)				
		free operario	1	Cafe_Excelso Cargue	FIRST 1	move with operario then free
Cafe_Excelso	Cargue	Accum 250 GET Operario WAIT U(0.333, 1.38)				
		free Operario	1	Cafe_Excelso EXIT	FIRST 1	

Tabla 10. Caracterización de Procesos
Fuente: Promodel ®7

7.6.8 Opciones de Simulación

Una vez definidas las locaciones, entidades, redes, recursos, llegadas y procesos, se procede a determinar las características bajo las cuales se va a correr el modelo. Esta información se ingresó en la opción *Simulation Options* definiendo un tiempo de simulación de 70 horas, correspondiente a una semana de trabajo y realizando 15 réplicas para tener información confiable a la hora de validar el modelo de la empresa Racafé Medellín. De esta forma se ingresó la información como se muestra a continuación:

Simulation Options

Output Path:

Run Length

Time Only
 Weekly Time
 Calendar Date

Warmup Period

Warmup Time*:

Run Time*:

*Time units default to hours unless otherwise specified.

Disable

Animation Cost
 Array Export Time Series

Clock Precision

Second Hour
 Minute Day

At Start

Pause Trace
 Display Model Notes

Output Reporting

Standard
 Batch Mean
 Periodic

Interval Length:

Number of Replications:

General

Adjust for Daylight Savings
 Generate Animation Script
 Common Random Numbers
 Skip Resource DTs if Off-shift

Figura 28. Opciones de simulación
Fuente: Promodel ®7

7.6.9 Resultados del modelo

Una vez se han realizado todas las réplicas el software arrojó los resultados y se procede a analizarlos comenzando con el análisis de las locaciones. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

General Report (Normal Run - Avg. Reps)									
General	Locations	Location States Multi	Resources	Resource States	Failed Arrivals	Entity Activity	Entity States	Variables	
Copia de Modelo Racafe2.MOD (Normal Run - Avg. Reps)									
Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization	
Descargue	70,00	999999,00	12750,00	224,08	680,26	1646,80	1646,80	0,07	
Fila	70,00	200,00	11103,00	0,22	0,58	23,70	0,40	0,29	
Trilla	70,00	2000,00	11101,80	1,02	2,70	83,20	2,10	0,13	
Empaque	70,00	999999,00	11099,70	129,52	342,29	475,70	418,00	0,03	
Cargue	70,00	999999,00	10680,90	108,89	276,91	479,20	404,80	0,03	

Figura 29. Reporte estadístico de locaciones
Fuente: Promodel ®7

Al obtener los resultados de las locaciones encontramos que en una semana entran aproximadamente 12.750 sacos de café pergamino de 70 Kg, lo que da un equivalente de alrededor de 892 toneladas.

El *Avg Time Per Entry* representa el tiempo promedio de estancia de las entidades en cada locación, en donde se observa que las locaciones en las que los operarios participan (descargue, empaque y cargue) son las que más tiempo demoran a las entidades, siendo el proceso de descargue el que más tiempo gasta con 224 minutos, seguido del empaque con 129 minutos y del cargue con 109 minutos. Esto se explica ya que a pesar de que son operaciones de corta duración, se tiene una gran cantidad de sacos lo que hace que tengan tiempos de espera mientras los operarios van realizando sus labores y aumentan el tiempo de los sacos en cada locación. En la fila y en la trilla, donde no hay operarios los tiempos promedio de cada entidad son mucho más cortos. Esto también se corrobora analizando los datos arrojados en la columna *Avg Contents* en donde el número de sacos es mayor en las operaciones de los trabajadores.

Por otra parte se observa que la locación que llega a un mayor número de entidades en un momento determinado es la zona de descargue; esto se debe a que los camiones con café pergamino llegan muy seguido y en el momento en que arriban los operarios pueden estar apenas entrando a la operación de empaque para después cargar los camiones, lo que hace que se puedan llegar a acumular muchos sacos.

Para tener un conocimiento más completo de las locaciones analizamos el cuadro arrojado de las locaciones con multicapacidad, que en este caso son todas ya que permiten procesar más de un saco a la vez:

General Report (Normal Run - Avg. Reps)						
General	Locations	Location States Multi	Resources	Resource States	Failed Arrivals	
Copia de Modelo Racafe2.MOD (Normal Run - Avg. Reps)						
Name	Scheduled Time (HR)	% Empty	% Part Occupied	% Full	% Down	
Descargue	70,00	3,64	96,36	0,00	0,00	
Fila	70,00	86,12	13,88	0,00	0,00	
Trilla	70,00	71,63	28,37	0,00	0,00	
Empaque	70,00	0,70	99,30	0,00	0,00	
Cargue	70,00	1,86	98,14	0,00	0,00	

Figura 30. Reporte estadístico de locaciones con multicapacidad
Fuente: Promodel ®7

A partir de esto observamos en primer lugar que ninguna locación llega a estar llena ni no disponible en ningún momento de la semana; esto se da ya que la planta cuenta con espacios en su planta muy amplios que permiten agrupar sin problema grandes cantidades de sacos como por ejemplo en el descargue, empaque o cargue, en donde la capacidad está determinada por el número de operarios que puedan manipularlas a la vez y por esto se supusieron infinitas. Esto hace también que no haya *failed arrivals*, ósea que todas las entradas de café pergamino entran a l proceso de producción.

La columna *%Empty* muestra que la locación fila es la que menos se utiliza al permanecer vacía un 86% del tiempo ya que tiene un tiempo de espera muy corto para cada entidad y no está limitado por el número de operarios. A esta locación le sigue la trilla mientras que las locaciones de descargue, empaque y cargue tienen unos porcentajes muy altos de ocupación parcial, que indica que al menos cuentan con un saco procesándose en ellas; el empaque lidera con un 99,3% seguido del cargue con un 98,14 % y del descargue con un 96,36%.

Posteriormente se analiza el comportamiento durante las 70 horas de los recursos, que en este caso corresponden a 25 operarios:

Copia de Modelo Racafe2.MOD (Normal Run - Avg. Repts)								
Name	Units	Scheduled Time (HR)	Number Times Used	Avg Time Per Usage (MIN)	Avg Time Travel To Use (MIN)	Avg Time Travel To Park (MIN)	% Blocked In Travel	% Utilization
Operario.1	1,00	70,00	2237,60	1,73	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.2	1,00	70,00	2223,40	1,74	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.3	1,00	70,00	2216,90	1,74	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.4	1,00	70,00	2237,50	1,73	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.5	1,00	70,00	2226,80	1,74	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.6	1,00	70,00	2209,40	1,75	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.7	1,00	70,00	2202,20	1,76	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.8	1,00	70,00	2219,60	1,74	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.9	1,00	70,00	2214,50	1,75	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.10	1,00	70,00	2223,10	1,74	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.11	1,00	70,00	2199,00	1,76	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.12	1,00	70,00	2207,40	1,75	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.13	1,00	70,00	2200,50	1,76	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.14	1,00	70,00	2207,10	1,75	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.15	1,00	70,00	2228,20	1,74	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.16	1,00	70,00	2211,30	1,75	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.17	1,00	70,00	2223,20	1,74	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.18	1,00	70,00	2191,60	1,77	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.19	1,00	70,00	2209,90	1,75	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.20	1,00	70,00	2232,20	1,73	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.21	1,00	70,00	2224,00	1,74	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.22	1,00	70,00	2218,40	1,75	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.23	1,00	70,00	2219,40	1,74	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.24	1,00	70,00	2213,10	1,75	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.25	1,00	70,00	2217,00	1,75	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario	25,00	1750,00	55413,30	1,75	0,15	0,00	0,00	100,00

Figura 31. Reporte estadístico de recursos
Fuente: Promodel ®7

En primer lugar se observa que cada operario tarda en promedio 1,75 minutos durante cada operación que realiza mientras que tarda en promedio 9 segundos en cada desplazamiento que hace. Además de esto no tiene porcentaje de tiempo de esperas en sus desplazamientos. Cabe anotar que la toma de tiempos se efectuó por varias horas en condiciones normales, en donde los operarios iban al baño, comían o tomaban algo o descansaban durante instantes. Por esto el ritmo normal de diez horas de trabajo al día contempla todas estas variables.

Como principal dato tenemos que los operarios trabajan un 100% del tiempo y no presentan tiempo ocioso, mostrando una alta eficiencia. Dada la gran cantidad de café que entra son ellos los responsables de que la empresa produzca más o menos café excelso. Como se observó en las locaciones, los procesos en los que intervienen los operarios son los que más tiempo demandan en el proceso. Sin embargo la empresa debe contar con los operarios suficientes acorde a su demanda, ya que de nada servirá producir más si no lo requiere.

Para terminar, Promodel nos arroja los resultados de las entidades:

Copia de Modelo Racafe2.MOD (Normal Run - Avg. Reps)							
Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Operation (MIN)	Avg Time Blocked (MIN)
Cafe Excelso	10276,10	823,60	439,65	122,94	229,88	9,52	77,31
Cafe Pergamino	0,00	1650,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 32. Reporte estadístico de actividad de las entidades
Fuente: Promodel ®7

Según los resultados de la simulación se observa que la planta de producción con 25 operarios produce en una semana 10.276,1 sacos de café. Esto equivale a 1.468 sacos al día. Por otra parte se encuentra que el mayor tiempo de cada saco en el sistema es el de espera, siendo 229,88 minutos en promedio. Posteriormente le sigue el tiempo en movimiento que corresponde en promedio a 122,95 minutos y el tiempo promedio en el que cada saco estuvo bloqueado para llegar a su locación de destino y por último encontramos que el tiempo de operación por saco es de 9,52 minutos.

Dado todo lo anterior se encuentra que el número de operarios en la planta Racafé Medellín es el encargado de modificar los tiempos de operación y de producción de café excelso, en donde se debe buscar encontrar el número adecuado según la demanda, el tiempo de respuesta y teniendo un porcentaje de utilización preferiblemente mayor al 95%.

Buscando conocer el impacto que tiene algún cambio en el recurso humano dentro del proceso de producción y su capacidad se plantearon dos escenarios variando el número de operarios que se presentan a continuación.

7.6.10 Validación del modelo

Una vez obtenidos los resultados del modelo, se procede a validarlo estadísticamente para analizar si representa adecuadamente la realidad. Para esto se utilizó el teorema central del límite, ya que debido a la aleatoriedad en los resultados que arroja un modelo se hace necesario construir intervalos de confianza con base a las réplicas que arroja el modelo de simulación, en nuestro caso 15. La fórmula empleada para construir los intervalos de confianza es:

$$IC = \left[\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{r}} * 1,96, \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{r}} * 1,96 \right]$$

Donde s representa la desviación estándar, r el número de réplicas y 1,96 corresponde a un cuantil del 95% en la distribución normal.

La validación se realizó para el proceso de trilla, según el tiempo de procesamiento por unidad en sus locaciones, obteniendo los siguientes resultados del Promodel:

Réplica	Tiempo por entrada
1	1,04
2	1,01
3	1,01
4	1,00
5	0,97
6	1,01
7	0,98
8	0,98
9	1,01
10	1,04
11	0,98
12	1,02
13	1,02
14	1,05
15	1,01

Tabla 11. Resultados de las réplicas trilla
Fuente: Promodel

Los procesos de descargue, empaque y cargue al estar asociados a recursos, se compararon teniendo en cuenta los datos de las réplicas de los recursos. En este punto el software Promodel arrojó como dato, el tiempo que demora un trabajador en operar un saco en promedio, sin tener en cuenta si es descargue, empaque o cargue. De esta forma para poder comparar los datos simulados con los reales, se debe calcular el tiempo promedio entre las tres actividades de un trabajador operando un saco. Como los datos que tenemos están divididos en descargue, empaque y cargue, se deben sumar entre si y posteriormente calcular un promedio, realizando esto en cada réplica. Los tiempos que se tenían correspondían a sacos por minuto de un operario, lo que hace que en primer lugar estos datos se pasen a minutos por saco, para que queden en las mismas unidades de los resultados del Promodel y así poderlos comparar.

Para el recurso operario, Promodel arrojó los siguientes tiempos que corresponden al tiempo que demoran en operar un saco:

Replica	Operario (tiempo promedio por operación de saco)
1	1,60
2	1,88
3	1,77
4	1,81
5	1,74
6	1,73
7	1,71
8	1,74
9	1,72
10	1,73
11	1,82
12	1,87
13	1,86
14	1,82
15	1,71

Tabla 12. Resultados de las replicas Operarios
Fuente: Promodel

Al realizar el cambio de unidades para los datos asociados a los operarios y un promedio entre las operaciones por cada réplica, los datos que se obtuvieron para calcular los intervalos de confianza fueron:

Replica	Operario (tiempo promedio por operación de saco)
1	1,77
2	1,67
3	2,70
4	1,47
5	1,57
6	1,53
7	1,41
8	1,81
9	1,72
10	1,17

Tabla 13. Tiempos de los operarios en el sistema real
Fuente: Autoría propia

De esta forma, al ingresar estos datos en *Statgraphics* los intervalos de confianza del sistema real y del sistema simulado son:

Operación	Sistema Real			Sistema Simulado		
	Media	Desv. Estándar	Intervalo de confianza	Media	Desv. Estándar	Intervalo de confianza
Trilla	1,2096	0,191531	[1,07259; 1,34661]	1,0087	0,0238647	[0,99545; 1,02188]
Descargue-empaque-cargue	1,68338	0,406054	[1,39291; 1,97386]	1,7685	0,0748103	[1,72712; 1,80998]

Tabla 14. Validación estadística del modelo
Fuente: Creación propia

La tabla 9 muestra que para los procesos asociados a los operarios los intervalos se traslapan en varios puntos, por lo que se concluye que en el modelo se representó adecuadamente el proceso real. En el proceso de trilla, los intervalos del sistema real y simulado no se traslapan, presentando una diferencia de aproximadamente tres segundos, la cual no es muy significativa, por lo cual no se considera un error que afecte la validez del modelo.

7.7 Escenarios

7.7.1 Escenario 1: Resultado modificando el número de operarios a 20

En este primer escenario se buscó analizar el impacto en la capacidad de producción y en el sistema, de contar con cinco operarios menos. La simulación fue realizada con el mismo número de réplicas y de horas. A continuación se muestran los resultados de las locaciones:

General Report (Normal Run - Avg. Reps)									
General	Locations	Location States Multi	Resources	Resource States	Failed Arrivals	Entity Activity	Entity States	Variables	
Copia de Modelo Racafe2.MOD (Normal Run - Avg. Reps)									
Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization	
Descargue	70,00	999999,00	12750,00	700,45	2126,36	4568,10	4568,10	0,21	
Fila	70,00	200,00	8181,80	0,22	0,43	18,30	0,10	0,21	
Trilla	70,00	2000,00	8181,70	1,02	1,99	67,80	2,00	0,10	
Empaque	70,00	999999,00	8179,70	198,37	386,34	472,80	419,20	0,04	
Cargue	70,00	999999,00	7759,80	164,10	303,18	491,30	259,80	0,03	

Figura 33. Reporte estadístico de locaciones del escenario 1
Fuente: Promodel ®7

Al entrar 12.750 sacos, solo llegan al cargue en una semana 7.759, mostrando que es muy grande la cantidad de entradas al sistema para su capacidad. Por otra parte el tiempo promedio de un saco en las locaciones de fila y trilla continuó igual que si se trabajara con 25 operarios; el cambio se produjo en las locaciones donde intervienen los operarios, donde en la zona de descargue se pasó de 224 a 700 minutos, más del triple del tiempo. Las locaciones de empaque y cargue por su parte pasaron de 129 y 108 minutos con 25 operarios, a demorarse 386 y 303 minutos respectivamente, casi triplicando el tiempo anterior.

Por otra parte la locación descargue es la que más problemas presenta ya que con llegadas cada 50 minutos y los tiempos de operación, llegó a acumular hasta 4.568 sacos en un momento determinado, lo cual ocuparía gran cantidad de espacio y generaría un cuello de botella para el proceso.

A continuación se presentan los resultados de la actividad de los recursos:

Name	Units	Scheduled Time (HR)	Number Times Used	Avg Time Per Usage (MIN)	Avg Time Travel To Use (MIN)	Avg Time Travel To Park (MIN)	% Blocked In Travel	% Utilization
Operario.1	1,00	70,00	2143,10	1,81	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.2	1,00	70,00	2196,70	1,76	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.3	1,00	70,00	2197,10	1,76	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.4	1,00	70,00	2178,10	1,78	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.5	1,00	70,00	2178,70	1,78	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.6	1,00	70,00	2201,80	1,76	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.7	1,00	70,00	2175,50	1,78	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.8	1,00	70,00	2210,40	1,75	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.9	1,00	70,00	2217,90	1,74	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.10	1,00	70,00	2205,80	1,75	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.11	1,00	70,00	2199,60	1,76	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.12	1,00	70,00	2187,20	1,77	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.13	1,00	70,00	2158,10	1,80	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.14	1,00	70,00	2196,60	1,76	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.15	1,00	70,00	2178,30	1,78	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.16	1,00	70,00	2192,00	1,76	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.17	1,00	70,00	2192,40	1,76	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.18	1,00	70,00	2185,60	1,77	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.19	1,00	70,00	2176,60	1,78	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario.20	1,00	70,00	2151,30	1,80	0,15	0,00	0,00	100,00
Operario	20,00	1400,00	43722,80	1,77	0,15	0,00	0,00	100,00

Figura 34. Reporte estadístico de recursos del escenario 1
Fuente: Promodel ®7

A partir de estos resultados se observa que los operarios como es de esperar, siguen teniendo los mismos tiempos promedio por operación o traslado y que tienen un porcentaje de utilización del 100%. Dada la gran cantidad de café pergamino que va entrando estos deben trabajar al máximo sin tiempo ocioso y aún así es insuficiente para atender todo el proceso creando cuellos de botella en todas las operaciones donde intervienen.

Para completar el análisis de este escenario, los datos arrojados por Promodel de las entidades son:

General	Locations	Location States Multi	Resources	Resource States	Failed Arrivals	Entity Activity	Entity States	Variables
Copia de Modelo Racafe2.MOD (Normal Run - Avg. Reprs)								
Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Operation (MIN)	Avg Time Blocked (MIN)	
Cafe Excelso	7500,00	679,70	983,85	192,56	359,43	9,52	422,34	
Cafe Pergamino	0,00	4570,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Figura 35. Reporte estadístico de entidades del escenario 1
Fuente: Promodel ®7

Al variar el número de operarios de 25 a 20, las salidas de café excelso pasaron de 10.276 a 7.500 sacos, una disminución en la producción del 37%. La producción diaria con 20 operarios es de aproximadamente 1.071 sacos. El tiempo en que los sacos están bloqueados o en espera fueron los mayores, seguidos de los tiempos de transporte y por último el de operación. En total el tiempo promedio de un saco en el sistema pasó de ser 439,6 a 983,8 minutos, siendo este más del doble.

Con veinte operarios y las entradas registradas en tiempo de cosecha la capacidad presenta serias dificultades al llevar sus recursos al máximo y no dar abasto con la gran cantidad de sacos. Sin embargo si se tiene una demanda menor de café se puede establecer con el proveedor aumentar el tiempo entre llegadas y de esta forma optimizar los recursos y producir solo lo necesario.

7.7.2 Escenario 2: Resultado modificando el número de operarios a 30

En el segundo escenario se buscó analizar el impacto en la capacidad de producción y en el sistema, de contar con cinco operarios más. La simulación fue realizada con el mismo número de réplicas y de horas. A continuación se muestran los resultados de las locaciones:

Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
Descargue	70,00	999999,00	12750,00	11,69	35,48	150,00	150,00	0,00
Fila	70,00	200,00	12600,00	0,22	0,66	27,30	0,00	0,33
Trilla	70,00	2000,00	12600,00	1,02	3,05	86,10	0,00	0,15
Empaque	70,00	999999,00	12600,00	28,18	84,55	150,00	0,00	0,01
Cargue	70,00	999999,00	12600,00	37,57	112,70	337,40	100,00	0,01

Figura 36. Reporte estadístico de locaciones del escenario 2
Fuente: Promodel ®7

En comparación con el modelo inicial de 25 operarios se observa que todas las entradas logran llegar al proceso de cargue, además hay una gran disminución en el tiempo promedio por saco en cada locación: con 25 operarios en la zona de descargue tardaban 224 minutos mientras que con 30 operarios tardan solo 11,7 minutos en promedio, siendo casi veinte veces menos de lo que demoraba. Los tiempos de empaque y cargue estaban en promedio por saco en 342 y 276 minutos respectivamente; estos pasaron a ser de tan solo 84 minutos en el empaque y 112 minutos en el cargue.

Las locación que llega a tener un mayor número de sacos en un determinado momento es la zona de cargue, a diferencia del escenario anterior donde era la zona de descargue, lo que muestra que con los recursos actuales no se presentarían problemas para atender las llegadas de café pergamino.

Analizando la actividad de los recursos tenemos:

Name	Units	Scheduled Time (HR)	Number Times Used	Avg Time Per Usage (MIN)	Avg Time Travel To Use (MIN)	Avg Time Travel To Park (MIN)	% Blocked In Travel	% Utilization
Operario.1	1,00	70,00	2134,00	1,70	0,10	0,00	0,00	91,11
Operario.2	1,00	70,00	2111,40	1,71	0,10	0,00	0,00	90,79
Operario.3	1,00	70,00	2102,90	1,72	0,10	0,00	0,00	90,86
Operario.4	1,00	70,00	2081,00	1,74	0,09	0,00	0,00	90,81
Operario.5	1,00	70,00	2101,10	1,72	0,09	0,00	0,00	90,82
Operario.6	1,00	70,00	2075,80	1,74	0,09	0,00	0,00	90,83
Operario.7	1,00	70,00	2099,90	1,72	0,09	0,00	0,00	90,75
Operario.8	1,00	70,00	2086,80	1,73	0,09	0,00	0,00	90,83
Operario.9	1,00	70,00	2121,00	1,70	0,10	0,00	0,00	90,82
Operario.10	1,00	70,00	2117,40	1,71	0,09	0,00	0,00	90,85
Operario.11	1,00	70,00	2089,80	1,73	0,10	0,00	0,00	90,78
Operario.12	1,00	70,00	2104,30	1,72	0,10	0,00	0,00	90,76
Operario.13	1,00	70,00	2077,50	1,74	0,09	0,00	0,00	90,76
Operario.14	1,00	70,00	2114,70	1,71	0,10	0,00	0,00	90,81
Operario.15	1,00	70,00	2100,00	1,72	0,10	0,00	0,00	90,77
Operario.16	1,00	70,00	2100,90	1,72	0,10	0,00	0,00	90,73
Operario.17	1,00	70,00	2070,40	1,75	0,09	0,00	0,00	90,87
Operario.18	1,00	70,00	2084,60	1,74	0,10	0,00	0,00	90,82
Operario.19	1,00	70,00	2099,60	1,72	0,09	0,00	0,00	90,85
Operario.20	1,00	70,00	2071,20	1,75	0,09	0,00	0,00	90,81
Operario.21	1,00	70,00	2077,30	1,74	0,09	0,00	0,00	90,91
Operario.22	1,00	70,00	2095,10	1,73	0,10	0,00	0,00	90,86
Operario.23	1,00	70,00	2087,30	1,73	0,09	0,00	0,00	90,79
Operario.24	1,00	70,00	2108,80	1,71	0,09	0,00	0,00	90,80
Operario.25	1,00	70,00	2079,70	1,74	0,09	0,00	0,00	90,85
Operario.26	1,00	70,00	2091,50	1,73	0,10	0,00	0,00	90,81
Operario.27	1,00	70,00	2121,70	1,70	0,09	0,00	0,00	90,71
Operario.28	1,00	70,00	2092,50	1,73	0,10	0,00	0,00	90,79
Operario.29	1,00	70,00	2088,60	1,73	0,09	0,00	0,00	90,91
Operario.30	1,00	70,00	2113,20	1,71	0,10	0,00	0,00	90,86
Operario	30,00	2100,00	62900,00	1,72	0,09	0,00	0,00	90,82

Figura 37. Reporte estadístico de recursos del escenario 2

Fuente: Promodel ®7

A partir de esta tabla se observa que ahora los operarios han bajado el tiempo de operación de 1,75 a 1,72 minutos mientras que el tiempo que demoran en promedio en traslados pasó de 0,15 a 0,9 minutos. Además su porcentaje de utilización pasó del 100% al 90,82% en promedio por operario, presentándose un tiempo ocioso del 9,18% en su jornada laboral de 10 horas, que equivaldría a 55 minutos.

Para completar el análisis analizamos las entidades:

Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Operation (MIN)	Avg Time Blocked (MIN)
Cafe Excelso	12500,00	100,00	79,63	16,90	53,21	9,52	0,00
Cafe Pergamino	0,00	150,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 38. Reporte estadístico de entidades del escenario 2

Fuente: Promodel ®7

Con 30 operarios se tiene capacidad para atender todas las llegadas y se llegan a producir semanalmente 12.500 sacos de café excelso, mientras que con 25 se producen 10.276. Con esta tasa se producirían en promedio al día 1.785 sacos equivalentes a casi 125 toneladas de café.

Por otra parte el tiempo total en el sistema por saco es de 79,63 minutos, a diferencia del modelo inicial con 25 operarios donde este tiempo era de 439,65 minutos. No hay bloqueo de los sacos al pasar por los procesos y el tiempo que más demora a los sacos continua siendo el de espera, aunque disminuye de 229,88 a solo 53,21 minutos.

De esta forma con 30 operarios se tiene capacidad para atender la totalidad de las llegadas y se alcanza la tasa de producción más alta posible con esa frecuencia entre llegadas. Por otra parte no es rentable tener tantos operarios ya que hay un 9,18% de tiempo ocioso por cada uno de ellos, que equivale a pagar casi 30 horas en vano al día, lo cual incrementa los costos y hace que a pesar de que se trabaje más rápido no se logre tanta rentabilidad.

8. CONCLUSIONES

A partir del modelo de simulación para el proceso de trilla de café excelso se encontró que para la planeación de la producción el recurso del personal es vital para conocer la capacidad que se puede alcanzar en un momento determinado. Como se pudo observar en los diferentes escenarios (variando el número de operarios de 25 a 20 y a 30), los procesos de descargue, empaque y cargue ocupan la mayor cantidad de tiempo dentro del proceso; en estos los operarios son los que determinan su duración ya que según su cantidad, estas actividades varían su tiempo de operación.

Por esto a la hora de buscar optimizar todo el proceso de trilla se debe contar con el número exacto de trabajadores que garanticen el cumplimiento de una orden de producción en un tiempo establecido por el cliente y que puedan contar con un porcentaje de utilización mayor al 95% para así evitar tiempos ociosos que incrementen los costos.

Al comparar los diferentes escenarios del modelo se observó que con cambios en los operarios de 25 a 20 o a 30, el sistema sufría grandes cambios. En primer lugar solo con 30 operarios se logra transformar la totalidad de entradas que se tienen en café excelso. Por otra parte el tiempo total en el sistema de un saco de 70 Kilogramos tiene duraciones de 79, 439 o 983 minutos si hay 30, 25 o 20 operarios respectivamente, lo que representa una alta variabilidad en el proceso variando este recurso.

De esta forma es claro que la empresa no puede seguir especulando a la hora de contratar personal ya que esto le puede traer consecuencias como generar altos costos por recursos ociosos o por tener que pagar horas extras, no cumplir con las órdenes de los clientes perjudicando la imagen y seriedad de la empresa o comprar más materia prima de la requerida en un momento determinando ocupando gran cantidad de espacio en la empresa en inventarios y pudiendo afectar la liquidez innecesariamente.

Estas diferencias en el número de operarios muestran que además de afectar considerablemente los tiempos de cada operación, la capacidad de producción varía notablemente, llegando a 12.500 sacos por semana con 30 operarios, 10.276 sacos con 25 y 7.500 sacos con 20. Esto además teniendo en cuenta que con 30 operarios se llega a producir un tiempo ocioso en los operarios del 9% a diferencia de los otros casos donde los recursos pasan la totalidad del tiempo ocupados, lo que indica que con menos operarios se podría haber logrado la misma tasa de producción.

Como se mencionó anteriormente, el tiempo entre las llegadas de café pergamino varía según la temporada del año y la cantidad específica de café demandada por el mercado. A partir de la orden de producción la empresa debe comenzar a planear su producción teniendo en cuenta el tiempo entre llegadas y cantidad de café requerido, el tiempo de respuesta que requiere el cliente y el número de operarios necesarios para cumplir a tiempo, logrando la máxima eficiencia posible en el uso de los recursos.

Con la explicación de este modelo de simulación al jefe de producción de la empresa Racafé Medellín se busca que este pueda adaptarlo a cada orden de producción de un

cliente, buscando obtener la cantidad necesaria de materia prima en el momento necesario y contando con el número de operarios que puedan hacer que la empresa cumplan con su responsabilidad frente a este, teniendo en cuenta que estos tengan un porcentaje de utilización de más del 95%. Con esto la empresa disminuirá los costos de producción y mejorar sus tiempos de respuesta.

Al validar el modelo con el teorema central del límite se calcularon los intervalos de confianza del sistema real y del sistema simulado, observando que el modelo representaba adecuadamente la realidad. Las diferentes herramientas que ofrece la ingeniería industrial para la optimización de procesos son cada vez más importantes a la hora de intervenir empresas como en el caso de Racafé Medellín, que cada día cuentan con más competencia y que deben lograr llevar su productividad y eficiencia al máximo si desean subsistir y aumentar su presencia en el mercado.

Bibliografía

- Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). *Dinámica de Sistemas*. Madrid: Alianza Editorial.
- Arnold, M., & Osorio, F. (1998). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 2-12.
- Ayala, C., & Rhenals, J. (2012). *Propuesta de un modelo de simulación para la gestión de la productividad en industrias del sector metalmeccánico de Medellín caso específico: Termofijo S.A.* Medellín.
- Banco Mundial. (2002). *Estudio del Sector Cafetero en Colombia*. Washington.
- Bermón, L. (2010). *Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado el 15 de Mayo de 2014, de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4060010/lecciones/Capitulo1/modelo.htm>
- Calderón, B. (1983). En B. Calderón, *Introducción a la Simulación* (págs. 25-30). Medellín: Editorial asociación de ingenieros industriales, Universidad de Antioquia.
- Canavos, G. (1988). *Probabilidad y Estadística, Aplicaciones y Métodos*. Mexico D.F: McGraw Hill, Interamericana de Mexico S.A.
- Castillo, M. P., Lain, S., & Gandini, M. A. (2012). Simulación de la ruta de transporte y dispersión de emisiones gaseosas provenientes del basurero de Navarro, Cali (Colombia). *Ingeniería y Universidad*.
- Chou, Y.-L. (1977). *Análisis Estadístico*. México,D.F: Nueva Editorial Interamericana S.A.
- Cultura E Medellín*. (2013). Obtenido de <http://www.culturaemedellin.gov.co/sites/CulturaE/CulturaE/Paginas/Cedezo.aspx>
- Departamento Nacional de Planeación. (2013). *Documento Conpes 3763*. Bogotá D.C.
- Depool, R., & Monasterio, D. (2013). *Probabilida y Estadística. Aplicaciones a la Ingeniería*. Barquisimeto: Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre.
- Devore, J. (2005). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias, sexta edición*. México D.F.: International Thomson Editores.
- Dibujos*. (15 de Diciembre de 2010). Recuperado el 5 de Junio de 2014, de <http://galeria.dibujos.net/vehiculos/camiones/camion-3-pintado-por-nahuel-7926460.html>
- Federacion Nacional de Cafeteros. (2013). *Federación Ncional de Cafeteros de Colombia*. Recuperado el Abril de 2014, de http://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/quienes_somos/

- Fernandez, J. (2010). *Modelo de productividad y competitividad caso específico: Termofijo S.A.* Medellín.
- Fernández, V. (2008). CLUSTERS y desarrollo regional en América Latina. En V. fernandez. Buenos Aires, Argentina: Editorial Miño y Dávila.
- Gómez, R., & Correa, A. (2011). Mejoramiento de la recepción en una empresa de colchones . *Revista Lasallista de Investigación* .
- Grialdo, A., & Marín, D. (2005). La Investigación y Desarrollo en el Sector Floricultor: Modelamiento y Análisis. *II Congreso colombiano de dinámica de sistemas*. Santa Marta.
- Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2003). *Análisis y diseño de experimentos*. México D.F.: McGraw-Hill /Interamericana Editores S.A.
- Hernandez, M. (4 de Octubre de 2008). *Optimización y Estadística*. Obtenido de <http://optyestadistica.wordpress.com/2008/10/04/valores-outliers/>
- Jacobsen, C., & Bronsen, R. (1987). Defining Sociological concepts as variables for system dynamics modeling. *System Dynamics Review*, Vol.3 , 1-7.
- Johansen B, O. (2004). Introducción a la Teoría General de Sistemas. En O. Johansen B, *Introducción a la Teoría General de Sistemas* (págs. 53-81). Editorial Limusa.
- Kanawaty, G. (1996). *Introducción al estudio del trabajo, cuarta edición*. Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo.
- Keating, M. (1998). *The new regionalism in Western Europe: Territorial Restructuring and Political Change*. UK: Cheltenham:Edward Elgar.
- Martínez, C. (2005). *Estadística y Muestreo, Décimo Segunda Edición*. Bogotá D.C.: Ecoe Ediciones.
- Medellín Ciudad Clúster*. (2013). Recuperado el 12 de Marzo de 2013, de <http://www.medellincidadcluster.com/>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2006). *Competitividad: Concepto y Determinantes*. República de Uruguay.
- Monsalve, A., & Ortiz, D. (2011). *Propuesta de un modelo de simulación para un proceso de poscosecha: caso específico inversiones coquette*. Medellín.
- Morales, A. (2012). *Estadística y Probabilidades*. Chile: Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- Muñoz, H., & Jimenez, J. (2004). *Diseño de un modelo de simulación para optimizar los procesos en una lavandería industrial como parte de la industria de la confección*.

- O'Connor, J., & McDermott, L. (1998). *Introducción al Pensamiento Sistemico*. España: Ediciones Urano S.A.
- Ortiz, F., Nuño, P., Torres, R., & Báez, O. (2008). COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE COSTOS ESTANDAR Y LA TEORIA DE RESTRICCIONES PARA EL CONTROL DEL FLUJO DE MATERIALES MEDIANTE UN MODELO DE SIMULACIÓN. *Revista de la Ingeniería Industrial* .
- Pixabay. (2014). Recuperado el 5 de Junio de 2014, de <http://pixabay.com/es/cami%C3%B3n-transporte-del-motor-24362/>
- Portus, L. (1988). *Curso Práctico de Estadística*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Precios del café podrían seguir altos todo el 2014. (25 de Febrero de 2014). *Portafolio* .
- ProModel Corporation. (s.f.). Recuperado el 13 de Agosto de 2013, de <http://www.promodel.com.mx/promodel.php>
- Rincón, L. (2007). *Curso elemental de Probabilidad y Estadística*. México D.F.: Facultad de Ciencias UNAM.
- Ríos et al, D. (2009). En D. Ríos, S. Ríos, J. Martín, & A. Jiménez, *Simulación: Métodos y Aplicaciones* (Segunda edición ed., págs. 96-104). México: Editorial Alfaomega Grupo Editor.
- Rodríguez, L. (2007). *Probabilidad y Estadística básica para ingenieros*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Sander, B. (1990). *Educación, Administración y Calidad de Vida: Caminos Alternativos del Consenso y del Conflicto*. Buenos Aires: Ediciones Santillana.
- Scott, A., & Storper, M. (2003). *Regions and the World Economy: The Coming Shape of Global Production, Competition and Political Order* . Oxford University Press.
- Shannon, R. (1988). *Simulación de sistemas: diseño, desarrollo e implantación*. Mexico : Ed.Trillas.
- Tacchini, J., & Tacchini, F. (2012). Producción de cerezo en Mendoza: viabilidad técnico-económica, basada en un modelo de simulación. . *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* .
- Tec-quest. (s.f.). Recuperado el 13 de Agosto de 2013, de <http://www.tec-quest.com/statgraphics.htm>
- Walpole, R. (1999). *Probabilidad y Estadística Para Ingenieros, Sexta Edición*. México D.F: Prentice Hall Hispanoamérica S.A.

ANEXOS

ANEXO A: TIEMPOS DE PROCESO

	Tiempo	Hora Inicio	Hora fin	Sacos	Numero de operarios
Descargue	1	07:10 a.m.	07:25 a.m.	121	10
	2	07:32 a.m.	07:49 a.m.	347	10
	3	08:00 a.m.	08:08 a.m.	184	10
	4	08:31 a.m.	08:46 a.m.	347	11
	5	11:58 a.m.	12:18 a.m.	312	9
	6	04:51 p.m.	05:02 p.m.	135	8
	7	09:24 a.m.	09:35 a.m.	87	3
	8	10:04 a.m.	10:28 a.m.	149	3
	9	02:07 p.m.	02:17 p.m.	134	5
	10	03:29 p.m.	03:49 p.m.	140	3
	11	04:57 p.m.	05:17 p.m.	300	6
Empaque	1	08:55 a.m.	10:50 a.m.	160	4
	2	11:00 a.m.	11:50 a.m.	120	8
	3	07:10 a.m.	09:45 a.m.	114	5
	4	10:00 a.m.	11:05 a.m.	161	5
	5	11:15 a.m.	11:45 a.m.	44	5
	6	01:10 p.m.	01:25 p.m.	54	11
	7	01:30 p.m.	02:00 p.m.	100	8
	8	02:15 p.m.	03:00 p.m.	100	5
	9	07:23 a.m.	08:00 a.m.	125	6
	10	09:50 a.m.	11:15 a.m.	300	8
Trilla	1	8:00 a.m.	12:00 p.m.	280	-
	2	1:00 p.m.	5:00 p.m.	316	-
	3	9:00 a.m.	11:25 a.m.	168	-
	4	12:00 p.m.	3:00 p.m.	282	-
	5	7:35 a.m.	12:10 p.m.	326	-
	6	01:00 p.m.	06:00 p.m.	294	-
	7	08:00 a.m.	01:00 p.m.	428	-
	8	07:30 a.m.	10:30 a.m.	192	-
	9	09:45 a.m.	02:20 p.m.	264	-
	10	02:30 p.m.	06:00 p.m.	266	-
Cargue	1	01:00 p.m.	01:30 p.m.	275	11
	2	02:00 p.m.	02:30 p.m.	275	11
	3	05:50 p.m.	06:20 p.m.	275	8
	4	01:30 p.m.	02:00 p.m.	125	8
	5	03:30 p.m.	03:55 p.m.	275	8
	6	04:15 p.m.	04:50 p.m.	400	10
	7	05:25 p.m.	06:05 p.m.	275	10
	8	10:30 a.m.	12:00 p.m.	300	9
	9	01:30 p.m.	03:10 p.m.	300	9
	10	04:35 p.m.	05:00 p.m.	275	9

Sacos por minuto				
Tiempo/Operación	Descargue	Trilla	Empaque	Cargue
1	0,806	1,167	0,348	0,833
2	2,041	1,317	0,3	0,833
3	2,3	1,159	0,147	1,146
4	2,103	1,567	0,495	0,521
5	1,733	1,185	0,293	1,375
6	1,535	0,980	0,327	1,143
7	2,636	1,427	0,417	0,688
8	2,069	1,067	0,444	0,37
9	2,68	0,960	0,563	0,333
10	2,333	1,267	0,441	1,222
11	2,5			

ANEXO B: ARTÍCULO PUBLICABLE

PROPUESTA DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA EL PROCESO DE TRILLA EN EL SECTOR CAFETERO: CASO ESPECÍFICO RACAFÉ S.A MEDELLÍN

Sergio Andrés López Trujillo
Universidad Pontificia Bolivariana
Colombia
Sergiololo17@hotmail.com

Javier Darío Fernández Ledesma
Universidad Pontificia Bolivariana
Colombia
Javier.fernandez@upb.edu.co

RESUMEN

Este artículo presenta el modelo de simulación del proceso de producción de café excelso en la empresa Racafé Medellín. Este producto es de vital importancia para la compañía al ser el que tiene mayor presencia en el mercado al exportarse a diferentes países. Se presentan inicialmente conceptos claves para el desarrollo del modelo, seguido de los antecedentes investigativos en el área de la simulación además del contexto del sector cafetero. Posteriormente se analiza la problemática de la empresa que sirve como base para determinar las bases del modelo. Una vez conceptualizado el modelo, se procede a la recolección de datos, que son analizados estadísticamente para realizar el desarrollo del modelo en el software Promodel. A través de los resultados obtenidos se plantean dos escenarios buscando dar recomendaciones a la empresa en cuanto a la eficiencia en la planeación de la producción con base al recurso humano; esto la hará tomar mejores decisiones y ser más competitiva en un entorno cada vez más difícil para este sector.

Palabras clave: Café excelso, Simulación, modelo, eficiencia, competitiva.

ABSTRACT

This article presents the simulation model of the production process of exalted coffee in company Racafé Medellín. This product is vital for the company to be the one with greater market presence when exported to different countries. Key to the development of the model, followed by the research background in the area of simulation of context plus the coffee sector concepts initially present. Then the problems of the company that serves as the basis for determining the basis of the model is analyzed. Once conceptualized the model, we proceed to data collection, which are statistically analyzed for model development in Promodel software. Through the results of two scenarios arise seeking to give recommendations to the company in terms of efficiency in production planning based human resource; This will make better decisions and become more competitive in an increasingly difficult environment for this sector.

Keywords: Exalted coffee, simulation, model, efficiency, competitive.

INTRODUCCIÓN

El sector cafetero en Colombia ha sido de gran importancia para el desarrollo económico y social del país. Sin embargo la producción y el rendimiento nacional han ido disminuyendo en los últimos años, lo cual se refleja en una

caída en las exportaciones de café de 13,9 millones de sacos en 1.990 a 7,2 millones en 2.012. Por otra parte el consumo mundial entre el año 2.000 y 2.012 creció un 24%, lo cual no ha sido aprovechado por Colombia ya que el mercado internacional es cada vez más competitivo: han entrado a competir nuevos países como Perú y Etiopía mientras que

otros como Brasil, han aumentado enormemente su participación mundial; Colombia por su parte, entre 2.000 y 2.012 pasó de representar el 9,21% al 5,55% de la producción mundial de café (Departamento Nacional de Planeación, 2013).

Además de esto la gran volatilidad que ha tenido el precio del café en los últimos años, sumado a efectos del cambio climático y a los programas de renovación de cafetales han causado crisis en empresas colombianas que ya no cuentan con la misma rentabilidad que en años anteriores.

Racafé S.A es una empresa colombiana dedicada a la producción y comercialización de café en el mercado nacional y extranjero. Para que la compañía sea competitiva en este mercado debe cumplir con estándares de calidad internacionales, obligándola a ser muy exigente en sus parámetros de productividad y eficiencia. Sin embargo en la sede de Medellín no se tiene un conocimiento claro de la capacidad actual de la planta presentando dificultades para realizar una correcta planeación de la producción; esto conduce a que se especule en la contratación de personal para atender los picos operativos, lo cual genera sobrecostos por exceso de recursos o problemas para cumplir con la demanda en el tiempo pactado, afectando la calidad del servicio y la imagen de la empresa.

Debido a esto se evidencia la necesidad de construir un modelo que permita a la empresa diagnosticar el estado actual de sus procesos, tiempos de operación y rendimiento de sus recursos, que logre identificar situaciones problemáticas. Este modelo servirá como soporte en la toma de decisiones en lo concerniente a la administración óptima de sus recursos y en la planeación de la capacidad de producción con base en la demanda que se presente.

Con esto se espera que Racafé logre una disminución en tiempos y costos que aumenten su productividad, logrando tener altos niveles de eficiencia y eficacia con sus objetivos de negocio y permitiéndole a la compañía estar mejorando en un entorno cada vez más exigente y competitivo, en donde la optimización de los procesos son claves si desea mantenerse en el mercado.

1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN

Acerca de la simulación

La disciplina de la simulación como técnica numérica apareció durante la segunda guerra mundial cuando Von Neumann y Ulam aplicaron los métodos de Montecarlo a problemas de difusión de neutrones en el desarrollo de la

bomba atómica (Ríos et al, 2009). Esta disciplina ha ido evolucionando con el tiempo y por medio del avance de los medios digitales en los últimos años está ganando importancia y está siendo utilizada para la modelización y simulación a problemas complejos de diversas disciplinas.

Según Martin Shubick en 1960, la simulación de un sistema u organismo es la operación de un modelo o simulador que es la representación del sistema u organismo. Este modelo puede tener relación con manipulaciones que serían imposibles de realizar en un sistema real, demasiado costosas o imprácticas. La operación del modelo puede estudiarse y de ese estudio pueden analizarse las propiedades relacionadas con el comportamiento del sistema o subsistema real (Ríos et al, 2009).

La simulación es una técnica experimental para resolver problemas, esto se hace generalmente a través de un computador (Calderón, 1983). Este estudio dependerá de la naturaleza del sistema. Entre algunas de las ventajas que tiene la simulación para tomarse como herramienta para solucionar problemas están:

-La simulación hace posible estudiar y experimentar con las interacciones complejas que se dan en un sistema.

-Se pueden estudiar ciertos cambios informativos, de organización o ambientales en la operación de un sistema y observar los efectos de estas alteraciones en el comportamiento del sistema.

-La observación detallada del sistema que se está simulando conduce a un mejor entendimiento del mismo y proporciona sugerencias para mejorarlo.

-La simulación permite estudiar los sistemas dinámicos, ya sea en tiempo real, comprimido o expandido.

La simulación ha tenido un alto impacto en procesos industriales buscando la optimización de estos. Se ha evidenciado a través de la generación de múltiples modelos la importancia de manejar eficientemente la relación entre personal, productos y procesos teniendo en cuenta un óptimo manejo de los recursos y un despliegue estratégico que haga que en una empresa todos apunten hacia los mismos objetivos; esta es la base para ser más productivos y competitivos (Fernandez, 2010).

Promodel

Para realizar la simulación se eligió el Promodel, un software que permite simular diferentes modelos de diferentes campos de la industria y procesos productivos. Es

un programa que permite simular prácticamente cualquier sistema y crear modelos de forma flexible.

Al contar con el modelo el programa permite simular diversos escenarios y encontrar los valores óptimos de los parámetros más importantes del modelo, buscando generar, entre otras cosas, impactos como reducir costos, ser más eficientes en los procesos y hacer al sistema lo más productivo posible a través de la integración de un módulo de optimización (ProModel Corporation).

Acerca del sector cafetero

Colombia es uno de los principales productores de café a nivel mundial siendo el tercer país que más lo produce. Este producto es uno de los más exportados e incluso es uno de los principales símbolos con que se relaciona al país en todo el mundo. El sector cafetero al ser uno de los más grandes en Colombia, ha ayudado a financiar el desarrollo de la infraestructura en muchas regiones e incluso a potenciar otras industrias y proyectos (Banco Mundial, 2002).

Sin embargo en los últimos años la participación del sector cafetero ha venido disminuyendo tanto en el sector rural como en la economía en general del país: en cuanto a la participación en el sector agropecuario pasó de ser el 23,32% en 1990 al 8,18% en 2011; en cuanto al peso sobre el PIB nacional pasó del 2,33% en 1990 al 0,52% en 2011. A su vez la participación del café en el valor de las exportaciones nacionales en 2011 fue del 5% (Departamento Nacional de Planeación, 2013).

A su vez el país ha venido experimentando un decrecimiento continuo en la producción de café. Esta caída incidió en las exportaciones, pasando de 13,9 millones de sacos en 1990 a 7,9 millones en 2012, presentando un decrecimiento del 48%. Mientras esto pasaba en la economía nacional, las exportaciones mundiales de café crecieron a una tasa anual del 1,4% pasando de 79 millones de sacos a 104 millones.

Colombia ha perdido competitividad en el mercado internacional por varios motivos como lo son: la alta volatilidad del precio nacional e internacional del café en los últimos años, la revaluación del peso, altos impactos del cambio climático, el alza en los precios de los fertilizantes y el programa de renovación de cultivos, el cual busca mejorar el rendimiento del café haciéndolo más resistente a enfermedades del café como la roya. Sin embargo en el proceso de renovación miles de hectáreas quedaron

parcialmente siendo improductivas (Departamento Nacional de Planeación, 2013).

Es por esto que el presidente de la federación hace énfasis en una mejora en la eficiencia en el nuevo entorno mundial, en donde afirma que los cafeteros del país deben apuntar hacia la “capacidad regional para gestionar y mantener la productividad, la competitividad y reducir los costos”, coordinando eficientemente la cadena productiva y aumentando la capacidad de negociación. Agrega que el Ministerio de Agricultura se encuentra actualmente realizando un análisis de los costos más representativos, entre ellos el de los fertilizantes que tanto han impactado (Precios del café podrían seguir altos todo el 2014, 2014).

2. CASO DE APLICACIÓN

Planteamiento del problema

En la empresa Racafé Medellín se presentan problemas a la hora de planear la producción con base a la demanda ya que no se tiene conocimiento de la capacidad actual de la planta y se especula en la contratación de personal conforme la demanda vaya cambiando.

Actualmente la empresa no cuenta con capital disponible para realizar inversiones en maquinaria, lo cual ha llevado a los directivos a pensar en una optimización de sus procesos con base a una eficiente contratación de personal, en donde no se presenten excesos que lleven a incrementar los costos y también teniendo en cuenta los tiempos de entrega pactados con los clientes, para así trabajar lo más eficientemente posible mientras se sigue posicionando a la empresa con base a su calidad y cumplimiento.

De esta forma a la hora de analizar el proceso de trilla, se pretende realizar un estudio de métodos y tiempos que permita llevar a cabo la ejecución de un modelo de simulación aplicable a Racafé Medellín. Este modelo estará basado en la totalidad del proceso de producción de café excelso pero se centrará principalmente en los subprocesos donde intervienen operarios, que es lo que en definitiva se desea optimizar con la ejecución de este trabajo. Además cabe anotar que los volúmenes de producción cambian mucho a lo largo del año; nuestro modelo estará basado en la temporada de cosecha que es la que mayor volumen de producción demanda y donde la empresa tiene mayores inconvenientes a la hora de efectuar la planeación.

Metodología

Para realizar el modelo que de solución a la problemática mencionada se siguió la siguiente metodología:

1. Realizar visitas a la empresa para conocer el proceso productivo utilizado en la empresa Racafé. A partir de esto se definen las variables que influyen en el proceso de trilla y sus relaciones lógicas.

2. Recolectar los tiempos y demás datos necesarios para la construcción del modelo de simulación a través de toma directa en la empresa. Así mismo una vez tomados, estos se deben analizar estadísticamente para la construcción del modelo.

3. Construir el modelo de simulación con la herramienta Promodel.

4. Ejecutar el modelo y realizar los ajustes necesarios, posteriormente analizar los resultados obtenidos y plantear escenarios para hacer comparaciones.

5. Entregar un documento técnico con los resultados del proceso simulado y las recomendaciones o sugerencias para su optimización.

Conceptualización del modelo de simulación

De acuerdo a las necesidades de la empresa, el proceso a optimizar es el de trilla del producto café excelso ya que es el más complejo y el que mayores ingresos le genera a Racafé. Como se mencionó al documentar el proceso la materia prima que entra es café pergamino y la salida después del proceso de trilla es café excelso, el cual es empacado en bultos para su distribución a los diferentes clientes, por esto son las dos entidades que se tendrán en cuenta en el modelo al ser las que pasan a través de las locaciones.

Como el principal objetivo del modelo es obtener una mayor claridad a la hora de contratar personal y planear su producción de acuerdo a la demanda, las locaciones a tener en cuenta son aquellas en donde intervienen operarios, mientras que el proceso de trilla, donde intervienen numerosas máquinas, será tomado como un solo tiempo debido a que trabaja en forma continua y con base al presupuesto de la empresa, no hay capital disponible para invertir en maquinaria ni realizar ajustes. Debido a esto, la empresa desea contar con un alto grado de conocimiento del rendimiento del recurso humano dentro del proceso de trilla para optimizarlo. Además se debe tener en cuenta que después del descargue, los sacos tardan un tiempo en entrar al proceso de producción ya que se arma una fila para pasar por las rejillas. Las locaciones del modelo son:

- Zona de descargue
- Fila

- Trilla
- Bodega
- Zona de cargue

Los supuestos del modelo son:

1. Una hora real de trabajo corresponde a 60 minutos reales de trabajo.

2. Los operarios no tienen una única función definida, estos comienzan su jornada en el proceso de descargue y también son los mismos encargados de empacar y cargar.

3. El número de trabajadores permanece constante.

4. Las locaciones de descargue, empaque y cargue tienen capacidad infinita ya que se desarrollan en espacios de área muy grande donde es muy difícil que se llenen con lo que se produce. Lo que limita a estos procesos es el número de operarios.

5. La jornada laboral consta de 10 horas al día, con un solo turno.

6. Se realizan 10 réplicas.

7. El modelo se representa una semana de trabajo, por lo que termine una vez pasan 70 horas de trabajo.

3. RESULTADOS DEL MODELO

Una vez tomados y analizados los datos, se procede a crear el modelo de simulación en el software Promodel, en donde en primer lugar se creó un modelo con 25 operarios, un número utilizado constantemente con la empresa. En este caso los resultados obtenidos fueron:

Al obtener los resultados de las locaciones encontramos que en una semana entran aproximadamente 12.750 sacos de café pergamino de 70 Kg, lo que da un equivalente de alrededor de 892 toneladas.

Se observa que las locaciones en las que los operarios participan (descargue, empaque y cargue) son las que más tiempo demoran a las entidades, siendo el proceso de cargue el que más tiempo gasta con 224 minutos, seguido del empaque con 129 minutos y del cargue con 109 minutos. Esto se explica ya que a pesar de que son operaciones de corta duración, se tiene una gran cantidad de sacos lo que hace que tengan tiempos de espera mientras los operarios van realizando sus labores y aumentan el tiempo de los sacos en cada locación. En la fila y en la trilla, donde no hay operarios los tiempos promedio de cada entidad son mucho

más cortos. Esto también se corrobora analizando los datos arrojados en donde el número de sacos es mayor en las operaciones de los trabajadores.

Por otra parte se observa que la locación que llega a un mayor número de entidades en un momento determinado es la zona de descargue; esto se debe a que los camiones con café pergamino llegan muy seguido y en el momento en que arriban los operarios pueden estar apenas entrando a la operación de empaque para después cargar los camiones, lo que hace que se puedan llegar a acumular muchos sacos.

Por otra parte se obtuvo que ninguna locación llega a estar llena ni no disponible en ningún momento de la semana; esto se da ya que la planta cuenta con espacios en su planta muy amplios que permiten agrupar sin problema grandes cantidades de sacos como por ejemplo en el descargue, empaque o cargue, en donde la capacidad está determinada por el número de operarios que puedan manipularlas a la vez y por esto se supusieron infinitas. Esto hace también que todas las entradas de café pergamino entren al proceso de producción.

Se obtuvo que la locación fila es la que menos se utiliza al permanecer vacía un 86% del tiempo ya que tiene un tiempo de espera muy corto para cada entidad y no está limitado por el número de operarios. A esta locación le sigue la trilla mientras que las locaciones de descargue, empaque y cargue tienen unos porcentajes muy altos de ocupación parcial, que indica que al menos cuentan con un saco procesándose en ellas; el empaque lidera con un 99,3% seguido del cargue con un 98,14 % y del descargue con un 96,36%.

Posteriormente se analiza el comportamiento durante las 70 horas de los recursos:

En primer lugar se obtuvo que cada operario tarda en promedio 1,75 minutos durante cada operación que realiza mientras que tarda en promedio 9 segundos en cada desplazamiento que hace. Además de esto no tiene porcentaje de tiempo de esperas en sus desplazamientos. Cabe anotar que la toma de tiempos se efectuó por varias horas en condiciones normales, en donde los operarios iban al baño, comían o tomaban algo o descansaban durante instantes. Por esto el ritmo normal de diez horas de trabajo al día contempla todas estas variables.

Como principal dato tenemos que los clientes trabajan un 100% del tiempo y no presentan tiempo ocioso, mostrando una alta eficiencia. Dada la gran cantidad de café que entra son ellos los responsables de que la empresa produzca más o menos café excelso. Como se observó en las locaciones,

los procesos en los que intervienen los operarios son los que más tiempo demandan en el proceso. Sin embargo la empresa debe contar con los operarios suficientes acorde a su demanda, ya que de nada servirá producir más si no lo requiere.

Para terminar, Promodel nos arroja los resultados de las entidades. Según los resultados de la simulación se observa que la planta de producción con 25 operarios produce en una semana 10.276,1 sacos de café. Esto equivale a 1.468 sacos al día. Por otra parte se encuentra que el mayor tiempo de cada saco en el sistema es el de espera, siendo 229,88 minutos en promedio. Posteriormente le sigue el tiempo en movimiento que corresponde en promedio a 122,95 minutos y el tiempo promedio en el que cada saco estuvo bloqueado para llegar a su locación de destino y por último encontramos que el tiempo de operación por saco es de 9,52 minutos.

Dado todo lo anterior se encuentra que el número de operarios en la planta Racafé Medellín es el encargado de modificar los tiempos de operación y de producción de café excelso, en donde se debe buscar encontrar el número adecuado según la demanda, el tiempo de respuesta y teniendo un porcentaje de utilización preferiblemente mayor al 95%.

Buscando conocer el impacto que tiene algún cambio en el recurso humano dentro del proceso de producción y su capacidad se plantearon dos escenarios variando el número de operarios que se presentan a continuación.

Escenario 1: Resultado modificando el número de operarios a 20

En este primer escenario se buscó analizar el impacto en la capacidad de producción y en el sistema, de contar con cinco operarios menos. La simulación fue realizada con el mismo número de réplicas y de horas.

Al entrar 12.750 sacos, solo llegan al cargue en una semana 7.759, mostrando que es muy grande la cantidad de entradas al sistema para su capacidad. Por otra parte el tiempo promedio de un saco en las locaciones de fila y trilla continuó igual que si se trabajara con 25 operarios; el cambio se produjo en las locaciones donde intervienen los operarios, donde en la zona de descargue se pasó de 224 a 700 minutos, más del triple del tiempo. Las locaciones de empaque y cargue por su parte pasaron de 129 y 108 minutos con 25 operarios, a demorarse 386 y 303 minutos respectivamente, casi triplicando el tiempo anterior.

Por otra parte la locación descargue es la que más problemas presenta ya que con llegadas cada 50 minutos y los tiempos de operación, llegó a acumular hasta 4.568 sacos en un momento determinado, lo cual ocuparía gran cantidad de espacio y generaría un cuello de botella para el proceso.

En cuanto a los resultados de los recursos se observa que los operarios como es de esperar, siguen teniendo los mismos tiempos promedio por operación o traslado y que tienen un porcentaje de utilización del 100%. Dada la gran cantidad de café pergamino que va entrando estos deben trabajar al máximo sin tiempo ocioso y aún así es insuficiente para atender todo el proceso creando cuellos de botella en todas las operaciones donde intervienen.

Al variar el número de operarios de 25 a 20, las salidas de café excelso pasaron de 10.276 a 7.500 sacos, una disminución en la producción del 37%. La producción diaria con 20 operarios es de aproximadamente 1.071 sacos. El tiempo en que los sacos están bloqueados o en espera fueron los mayores, seguidos de los tiempos de transporte y por último el de operación. En total el tiempo promedio de un saco en el sistema pasó de ser 439,6 a 983,8 minutos, siendo este más del doble.

Con veinte operarios y las entradas registradas en tiempo de cosecha la capacidad presenta serias dificultades al llevar sus recursos al máximo y no dar abasto con la gran cantidad de sacos. Sin embargo si se tiene una demanda menor de café se puede establecer con el proveedor aumentar el tiempo entre llegadas y de esta forma optimizar los recursos y producir solo lo necesario.

Escenario 2: Resultado modificando el número de operarios a 30

En el segundo escenario se buscó analizar el impacto en la capacidad de producción y en el sistema, de contar con cinco operarios más. La simulación fue realizada con el mismo número de réplicas y de horas.

En comparación con el modelo inicial de 25 operarios se observa que todas las entradas logran llegar al proceso de cargue, además hay una gran disminución en el tiempo promedio por saco en cada locación: con 25 operarios en la zona de descargue tardaban 224 minutos mientras que con 30 operarios tardan solo 11,7 minutos en promedio, siendo casi veinte veces menos de lo que demoraba. Los tiempos de empaque y cargue estaban en promedio por saco en 342 y 276 minutos respectivamente; estos pasaron a ser de tan solo 84 minutos en el empaque y 112 minutos en el cargue.

Las locación que llega a tener un mayor número de sacos en un determinado momento es la zona de cargue, a diferencia del escenario anterior donde era la zona de descargue, lo que muestra que con los recursos actuales no se presentarían problemas para atender las llegadas de café pergamino.

Analizando el comportamiento de los recursos se observa que ahora los operarios han bajado el tiempo de operación de 1,75 a 1,72 minutos mientras que el tiempo que demoran en promedio en traslados pasó de 0,15 a 0,9 minutos. Además su porcentaje de utilización pasó del 100% al 90,82% en promedio por operario, presentándose un tiempo ocioso del 9,18% en su jornada laboral de 10 horas, que equivaldría a 55 minutos.

Con 30 operarios se tiene capacidad para atender todas las llegadas y se llegan a producir semanalmente 12.500 sacos de café excelso, mientras que con 25 se producen 10.276. Con esta tasa se producirían en promedio al día 1.785 sacos equivalentes a casi 125 toneladas de café.

Por otra parte el tiempo total en el sistema por saco es de 79,63 minutos, a diferencia del modelo inicial con 20 operarios donde este tiempo era de 439,65 minutos. No hay bloqueo de los sacos al pasar por los procesos y el tiempo que más demora a los sacos continua siendo el de espera, aunque disminuye de 229,88 a solo 53,21 minutos.

De esta forma con 30 operarios se tiene capacidad para atender la totalidad de las llegadas y se alcanza la tasa de producción más alta posible con esa frecuencia entre llegadas. Por otra parte no es rentable tener tantos operarios ya que hay un 9,18% de tiempo ocioso por cada uno de ellos, que equivale a pagar casi 30 horas en vano al día, lo cual incrementa los costos y hace que a pesar de que se trabaje más rápido no se logre tanta rentabilidad.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del modelo de simulación para el proceso de trilla de café excelso se encontró que para la planeación de la producción el recurso del personal es vital para conocer la capacidad que se puede alcanzar en un momento determinado. Como se pudo observar en los diferentes escenarios (variando el número de operarios de 25 a 20 y a 30), los procesos de descargue, empaque y cargue ocupan la mayor cantidad de tiempo dentro del proceso; en estos los operarios son los que determinan su duración ya que según

su cantidad, estas actividades varían su tiempo de operación.

Por esto a la hora de buscar optimizar todo el proceso de trilla se debe contar con el número exacto de trabajadores que garanticen el cumplimiento de una orden de producción en un tiempo establecido por el cliente y que puedan contar con un porcentaje de utilización mayor al 95% para así evitar tiempos ociosos que incrementen los costos.

Al comparar los diferentes escenarios del modelo se observó que con cambios en los operarios de 25 a 20 o a 30, el sistema sufría grandes cambios. En primer lugar solo con 30 operarios se logra transformar la totalidad de entradas que se tienen en café excelso. Por otra parte el tiempo total en el sistema de un saco de 70 Kilogramos tiene duraciones de 79, 439 o 983 minutos si hay 30, 25 o 20 operarios respectivamente, lo que representa una alta variabilidad en el proceso variando este recurso.

De esta forma es claro que la empresa no puede seguir especulando a la hora de contratar personal ya que esto le puede traer consecuencias como generar altos costos por recursos ociosos o por tener que pagar horas extras, no cumplir con las órdenes de los clientes perjudicando la imagen y seriedad de la empresa o comprar más materia prima de la requerida en un momento determinando ocupando gran cantidad de espacio en la empresa en inventarios y pudiendo afectar la liquidez innecesariamente.

Estas diferencias en el número de operarios muestran que además de afectar considerablemente los tiempos de cada operación, la capacidad de producción varía notablemente, llegando a 12.500 sacos por semana con 30 operarios, 10.276 sacos con 25 y 7.500 sacos con 20. Esto además teniendo en cuenta que con 30 operarios se llega a producir un tiempo ocioso en los operarios del 9% a diferencia de los otros casos donde los recursos pasan la totalidad del tiempo ocupados, lo que indica que con menos operarios se podría haber logrado la misma tasa de producción.

Como se mencionó anteriormente, el tiempo entre las llegadas de café pergamino varía según la temporada del año y la cantidad específica de café demandada por el mercado. A partir de la orden de producción la empresa debe comenzar a planear su producción teniendo en cuenta el tiempo entre llegadas y cantidad de café requerido, el tiempo de respuesta que requiere el cliente y el número de operarios necesarios para cumplir a tiempo, logrando la máxima eficiencia posible en el uso de los recursos.

Con la explicación de este modelo de simulación al jefe de producción de la empresa Racafé Medellín se busca que este pueda adaptarlo a cada orden de producción de un cliente, buscando obtener la cantidad necesaria de materia prima en el momento necesario y contando con el número de operarios que puedan hacer que la empresa cumplan con su responsabilidad frente a este, teniendo en cuenta que estos tengan un porcentaje de utilización de más del 95%. Con esto la empresa disminuirá los costos de producción y mejorar sus tiempos de respuesta.

Al validar el modelo con el teorema central del límite se calcularon los intervalos de confianza del sistema real y del sistema simulado, observando que el modelo representaba adecuadamente la realidad. Las diferentes herramientas que ofrece la ingeniería industrial para la optimización de procesos son cada vez más importantes a la hora de intervenir empresas como en el caso de Racafé Medellín, que cada día cuentan con más competencia y que deben lograr llevar su productividad y eficiencia al máximo si desean subsistir y aumentar su presencia en el mercado.

REFERENCIAS

- Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). *Dinámica de Sistemas*. Madrid: Alianza Editorial.
- Arnold, M., & Osorio, F. (1998). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 2-12.
- Ayala, C., & Rhenals, J. (2012). *Propuesta de un modelo de simulación para la gestión de la productividad en industrias del sector metalmeccánico de Medellín caso específico: Termofijo S.A.* Medellín.
- Banco Mundial. (2002). *Estudio del Sector Cafetero en Colombia*. Washington.
- Bermón, L. (2010). *Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado el 15 de Mayo de 2014, de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4060010/lecciones/Capitulo1/modelo.htm>
- Calderón, B. (1983). En B. Calderón, *Introducción a la Simulación* (págs. 25-30). Medellín: Editorial asociación de ingenieros industriales, Universidad de Antioquia.
- Canavos, G. (1988). *Probabilidad y Estadística, Aplicaciones y Métodos*. Mexico D.F: McGraw Hill, Interamericana de Mexico S.A.

- Castillo, M. P., Lain, S., & Gandini, M. A. (2012). Simulación de la ruta de transporte y dispersión de emisiones gaseosas provenientes del basurero de Navarro, Cali (Colombia). *Ingeniería y Universidad* .
- Chou, Y.-L. (1977). *Análisis Estadístico*. México,D.F: Nueva Editorial Interamericana S.A.
- Cultura E Medellín*. (2013). Obtenido de <http://www.culturaemedellin.gov.co/sites/CulturaE/CulturaE/Paginas/Cedezo.aspx>
- Departamento Nacional de Planeación. (2013). *Documento Conpes 3763*. Bogotá D.C.
- Depool, R., & Monasterio, D. (2013). *Probabilidad y Estadística. Aplicaciones a la Ingeniería*. Barquisimeto: Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre.
- Devore, J. (2005). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias, sexta edición*. México D.F.: International Thomson Editores.
- Dibujos*. (15 de Diciembre de 2010). Recuperado el 5 de Junio de 2014, de <http://galeria.dibujos.net/vehiculos/camiones/camion-3-pintado-por-nahuel-7926460.html>
- Federacion Nacional de Cafeteros. (2013). *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia*. Recuperado el Abril de 2014, de http://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/quienes_somos/
- Fernandez, J. (2010). *Modelo de productividad y competitividad caso específico: Termofijo S.A*. Medellín.
- Fernández, V. (2008). CLUSTERS y desarrollo regional en América Latina. En V. fernandez. Buenos Aires, Argentina: Editorial Miño y Dávila.
- Gómez, R., & Correa, A. (2011). Mejoramiento de la recepción en una empresa de colchones . *Revista Lasallista de Investigación* .
- Grialdo, A., & Marín, D. (2005). La Investigación y Desarrollo en el Sector Floricultor: Modelamiento y Análisis. *II Congreso colombiano de dinámica de sistemas*. Santa Marta.
- Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2003). *Análisis y diseño de experimentos*. México D.F.: McGraw-Hill /Interamericana Editores S.A.
- Hernandez, M. (4 de Octubre de 2008). *Optimización y Estadística*. Obtenido de <http://optyestadistica.wordpress.com/2008/10/04/valores-outliers/>
- Jacobsen, C., & Bronsen, R. (1987). Defining Sociological concepts as variables for system dynamics modeling. *System Dynamics Review, Vol.3* , 1-7.
- Johansen B, O. (2004). Introducción a la Teoría General de Sistemas. En O. Johansen B, *Introducción a la Teoría General de Sistemas* (págs. 53-81). Editorial Limusa.
- Kanawaty, G. (1996). *Introducción al estudio del trabajo, cuarta edición*. Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo.
- Keating, M. (1998). *The new regionalism in Western Europe: Territorial Restructuring and Political Change*. UK: Cheltenham:Edward Elgar.
- Martínez, C. (2005). *Estadística y Muestreo, Décimo Segunda Edición*. Bogotá D.C.: Ecoe Ediciones.
- Medellín Ciudad Clúster*. (2013). Recuperado el 12 de Marzo de 2013, de <http://www.medellincidadcluster.com/>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2006). *Competitividad: Concepto y Determinantes*. República de Uruguay.
- Monsalve, A., & Ortiz, D. (2011). *Propuesta de un modelo de simulación para un proceso de poscosecha: caso específico inversiones coquette*. Medellín.
- Morales, A. (2012). *Estadística y Probabilidades*. Chile: Universidad Catolica de la Santisima Concepción.
- Muñoz, H., & Jimenez, J. (2004). *Diseño de un modelo de simulación para optimizar los procesos en una lavandería industrial como parte de la industria de la confección*.
- O'Connor, J., & McDermott, L. (1998). *Introducción al Pensamiento Sistémico*. España: Ediciones Urano S.A.
- Ortiz, F., Nuño, P., Torres, R., & Báez, O. (2008). COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE COSTOS ESTANDAR Y LA TEORIA DE RESTRICCIONES PARA EL CONTROL DEL FLUJO DE MATERIALES

MEDIANTE UN MODELO DE SIMULACIÓN. *Revista de la Ingeniería Industrial* .

Pixabay. (2014). Recuperado el 5 de Junio de 2014, de <http://pixabay.com/es/cami%C3%B3n-transporte-del-motor-24362/>

Portus, L. (1988). *Curso Práctico de Estadística*. Bogotá: McGraw-Hill.

Precios del café podrían seguir altos todo el 2014. (25 de Febrero de 2014). *Portafolio* .

ProModel Corporation. (s.f.). Recuperado el 13 de Agosto de 2013, de <http://www.promodel.com.mx/promodel.php>

Rincón, L. (2007). *Curso elemental de Probabilidad y Estadística*. México D.F.: Facultad de Ciencias UNAM.

Ríos et al, D. (2009). En D. Ríos, S. Ríos, J. Martín, & A. Jiménez, *Simulación: Métodos y Aplicaciones* (Segunda edición ed., págs. 96-104). México: Editorial Alfaomega Grupo Editor.

Rodríguez, L. (2007). *Probabilidad y Estadística básica para ingenieros*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Sander, B. (1990). *Educación, Administración y Calidad de Vida: Caminos Alternativos del Consenso y del Conflicto*. Buenos Aires: Ediciones Santillana.

Scott, A., & Storper, M. (2003). *Regions and the World Economy: The Coming Shape of Global Production, Competition and Political Order* . Oxford University Press.

Shannon, R. (1988). *Simulación de sistemas: diseño, desarrollo e implantación*. Mexico : Ed.Trillas.

Tacchini, J., & Tacchini, F. (2012). Producción de cerezo en Mendoza: viabilidad técnico-económica, basada en un modelo de simulación.

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias .

Tec-quest. (s.f.). Recuperado el 13 de Agosto de 2013, de <http://www.tec-quest.com/statgraphics.htm>

Walpole, R. (1999). *Probabilidad y Estadística Para Ingenieros, Sexta Edición*. México D.F: Prentice Hall Hispanoamérica S.A.

