

Un modelo de simulación del proceso de producción de la Línea DTC-2000 de Alimentos Pepsico

A simulation model of Alimentos Pepsico's Línea DTC-2000 production process

Pernía, Yuliana¹; Ramírez, Vicente^{1,2*} y Márquez, Renny¹

¹Escuela de Ingeniería de Sistemas (EISULA); ²Centro de Simulación y Modelos (CESIMO)

Facultad de Ingeniería, ULA

Mérida 5101, Venezuela

*vicente@ula.ve

Resumen

Este trabajo presenta un modelo de simulación del proceso de producción de la línea DTC-2000 (Doritos Mega Queso) de la Empresa Alimentos Pepsico S.A., utilizando la metodología de Dinámica de Sistemas. Los valores de los parámetros tales como compra del maíz y las variables de estado del maíz (limpio, cocinándose, cocido y en reposo y en tortilla con condimento), además, el inventario del producto y su demanda, fueron estimados a través de entrevistas al personal técnico especializado y de la documentación disponible en la empresa. La validación del modelo se hizo con la ayuda de los expertos en este proceso de producción. Se evaluaron algunos escenarios, tales como aumento y disminución de la demanda del producto, observándose en las variables de estado comportamientos similares a aquellos esperados en el sistema real, igualmente se modificó la estructura añadiendo la producción de otro producto. Los resultados indican que la empresa puede explorar la posibilidad de aumentar su capacidad de tortillado, con el fin de mejorar su rendimiento.

Palabras clave: Modelado, simulación, proceso de producción, dinámica de sistemas, producción de alimentos.

Abstract

This paper presents a simulation model of the production process of DTC-2000 (Mega Cheese Doritos) of Alimentos Pepsico Company, using the System Dynamics methodology. The values of parameters such as amount purchased of maize and maize state variables (clean, cooking, cooked and rested and in tortilla with condiments) also the product inventory and demand, were estimated through interviews with technical experts and studying documentation provided by the company. Model validation was accomplished by means of experts on the subject. Various scenarios were evaluated, such as increase and decrease in product demand. The state variables exhibited similar behavior to those in the real system, as well as some changes in the production structure adding another sub-product. The results point out that the company might explore the possibility of increasing its capacity for production of tortillas, in order to improve their profits.

Key words: Modeling, simulation, production process, system dynamics, food production.

1 Introducción

En el estudio de la mayoría de las empresas es delicado experimentar en el sistema real porque puede implicar costos elevados y consecuencias perjudiciales, por ende, es útil realizar un modelo de simulación con la finalidad de conocer el comportamiento de los procesos reales con más facilidad y deducir propiedades difíciles de observar en la realidad bajo diferentes escenarios. La empresa en estudio, Alimentos Pepsico S.A., ubicada en la Grita Edo. Táchira,

cuenta con un conjunto de procesos destinados a la producción de alimentos que son complejos, lo que genera problemas de planificación y producción.

En Alimentos Pepsico, como en cualquier otra empresa de alimentos, es delicado experimentar directamente en planta, razón por la cual se propuso elaborar un modelo de simulación (Zeigler, 1984), basado en Dinámica de Sistemas (Forrester, 1961; Ford, 1999; Sterman, 2000), que

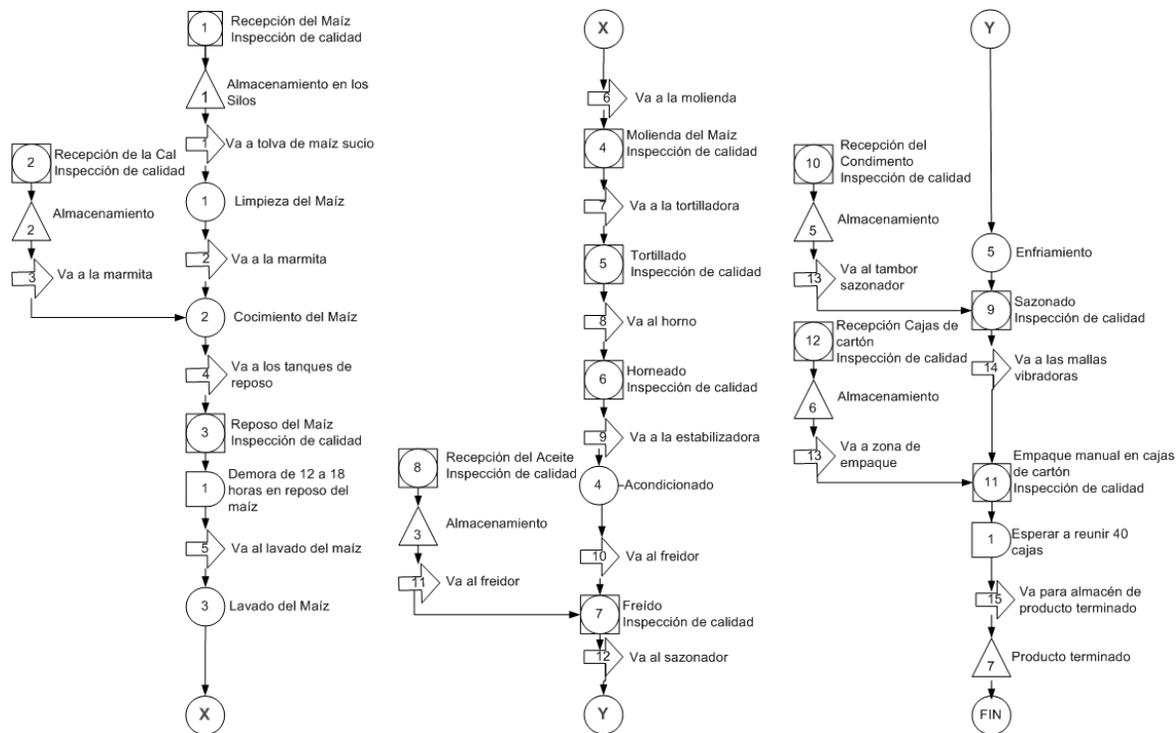


Fig. 1. Diagrama del proceso de producción de la Línea DTC-2000

permitiese conocer el proceso de producción (Márquez y Ramírez, 2009; Parra, Pérez y Torres, 2006) de la Línea DTC-2000 de Alimentos Pepsico.

La metodología que se utilizó fue la propuesta por Forrester (1961) y Sterman (2000) para la construcción de modelos de simulación usando Dinámica de Sistemas, que tiene como objetivo básico comprender las causas estructurales que definen el comportamiento de un sistema. Esto implica aumentar el conocimiento sobre el rol de cada elemento del sistema, y ver cómo diferentes acciones, efectuadas sobre sus partes, acentúan o atenúan las tendencias de comportamiento implícitas en el sistema (Drew, 1995; García, 2003).

En la próxima sección se hace una descripción esquemática del proceso de producción de la Línea DTC-2000 de Alimentos Pepsico, o del sistema real como se le conoce a esta primera fase de la metodología de Dinámica de Sistemas (Drew, 1995; García, 2003; Sterman, 2000). A partir de dicha descripción, en la sección 3, se construye el modelo de simulación, utilizando el programa de simulación Vensim (Ventana Systems Simulation), el cual sirve para conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de Dinámica de Sistemas (Vensim, 2010). Igualmente se hace referencia a la estimación de los parámetros necesarios para dicho modelo. En la sección 4 se discuten los resultados de la simulación base. En la sección 5 se presentan los resultados de la validación del modelo, para luego, en la sección 6, dar paso a la discusión de algunos escenarios probados a partir del modelo obtenido. Por último, se

presentan algunas notas finales en la sección 7.

2 Línea DTC-2000 de Alimentos Pepsico: descripción del sistema real

En lo que sigue se presenta una descripción de la Línea DTC-2000 de Alimentos Pepsico (llamada también línea de Doritos), basada en entrevistas a los trabajadores, observaciones directas y la documentación existente de Alimentos Pepsico [véase (Pepsico, 2009)].

El proceso de producción de la Línea DTC-2000 se caracteriza por:

- Procesar dos productos:
- Doritos Nacho Atrevido (DNA), en dos presentaciones: Pequeño (42 gr) y mediano (150 gr).
- Doritos Mega Queso (DMQ), en cuatro presentaciones: Pequeño (45 gr), mediano (125 gr), grande (200 gr) y mega pack (350 gr).
- Trabajar las 24 horas en tres turnos, de 7am a 3pm, de 3pm a 11pm y de 11pm a 7am, con cuatro grupos de trabajo rotativos A, B, C, D.
- Tener 23 personas trabajando por turno.
- Detener una vez cada quince días las máquinas para la limpieza de todos los equipos por un período de ocho horas, lo que equivale a un turno.

La Fig. 1 muestra el proceso de producción de la Línea DTC-20001, que se explica a continuación (Pernía, 2010):

¹ Los diagramas en este documento están realizados según Bacca (2005).

Recepción y almacenamiento del maíz: A la planta La Grita llega una gandola con aproximadamente 30 toneladas de maíz cada tres días según planificación del departamento de materia prima.

Una vez que la materia prima ingresa es sometida a control de calidad. Si cumple con los parámetros preestablecidos se procede a descargar el embarque. Esta descarga se hace con una carretilla desde el camión hasta los silos con un tiempo de duración de 8 horas continuas.

Se cuenta con dos silos para almacenar maíz, el silo 1 tiene una capacidad de 51880 Kg y el silo 2 tiene una capacidad de 51337 Kg.

Limpieza del maíz: Consiste en eliminar partículas pequeñas y grandes, asegurando el uso de maíz con el tamaño requerido y sin impurezas. El proceso tiene una duración de una hora por cada 1000 Kg de maíz. Hay dos tolvas para maíz limpio, una con capacidad de 3500 Kg y la otra con capacidad de 8000 Kg, y la tolva para maíz sucio tiene una capacidad de 11000 Kg.

Al realizar el proceso de limpieza, 1 Kg de maíz sucio pierde el 1% de su peso para convertirse en maíz limpio.

Cocimiento y reposo del maíz: Consiste en aflojar y remover las cascarillas de maíz, incrementar el contenido de humedad de los granos para alcanzar un nivel adecuado de gelatinización² en el almidón y ocasionar cambios químicos en el maíz, con el fin de obtener una masa de buena calidad a partir de maíz crudo.

Para el proceso de cocimiento se cuenta con dos marmitas³, las cuales deben ponerse en funcionamiento en conjunto para realizar el proceso. Con su máxima capacidad, cada marmita alcanza 850 Kg de maíz para un total de 1700 Kg y para el proceso de reposo se cuenta con diez tanques de reposo, cada uno con una capacidad de 1700 Kg.

El proceso de cocimiento del maíz consiste en agregar a cada marmita 290 galones de agua, 850 Kg de maíz y 8.5 Kg de cal, luego empieza el proceso de elevación de cada marmita, que consiste en suministrarle vapor para aumentar la temperatura y así cocinar el maíz por seis minutos. Después se le agrega 290 galones de agua para empezar el proceso de enfriamiento y por último, se traslada el maíz de las marmitas al tanque de reposo disponible. El tiempo de cocimiento es de 1.2 horas para los 1700 Kg de maíz. El tiempo de reposo del maíz es de 12 a 18 horas por cada tanque. Luego de estos procesos, 1 Kg de maíz limpio aumenta un 10.73% de su peso.

Lavado del maíz: Consiste en aflojar y retirar la cascarilla, retirar los granos de maíz rotos, eliminar el exceso de cal e impurezas del maíz y acondicionar la temperatura del agua para asegurar la temperatura correcta de la masa. Se lavan 1700 Kg de maíz aproximadamente en 2 horas y media.

Al realizar el proceso de lavado, 1 Kg de maíz pierde el 10.67% de su peso.

Molienda del maíz: El maíz lavado es molido entre dos piedras en el molino y convertido en "masa", una pasta de maíz suave y manejable. En el molino se agrega agua y una vitamina para alcanzar el contenido correcto de humedad para el tortillado. El molino debe producir suficiente masa para mantener la correcta producción de hojuelas en la tortilladora.

La capacidad de la línea de producción está limitada por la capacidad de procesamiento de la molienda, que varía de acuerdo con su velocidad como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Capacidad de la molienda

Velocidad de la molienda	1	2	3	4	5	6	7
Capacidad de la molienda (Kg/h)	489.9	558.5	627.1	685.9	744.7	803.5	862.3

Tortillado: La masa (maíz molido) es convertida en una lámina delgada y cortada en hojuelas con la forma (triángulo, círculo, rectángulo, etc.) de un producto particular. La cantidad de maíz en el producto (grosor de la hojuela terminada) es determinada por la separación entre los rodillos laminadores y el contenido de humedad de la masa.

Horneado: Se hornean ambas caras de la hojuela. El tiempo de residencia de las hojuelas en el horno es de 17 seg.

Acondicionado: Se regula la temperatura de las hojuelas y se estabilizan los niveles de humedad interior y de la superficie antes de que las hojuelas entren al freidor. El acondicionamiento es necesario para un desarrollo correcto de burbujas. El tiempo de residencia es de 2 min.

Freído: Las hojuelas horneadas son freídas en aceite vegetal a una temperatura determinada (180 +/- 2°C) y durante un tiempo de residencia de 60 seg, necesario para lograr el contenido correcto de humedad y aceite en la base frita. La formación de burbujas que empezó en el horno se completa en el freidor. La capacidad del freidor es de 2000 lb, es decir, 907.2 Kg y el contenido o absorción de aceite en la Base Chip⁴ es de 23.5%.

Enfriamiento: Se regulariza la temperatura de la base frita para asegurar una correcta adherencia del condimento.

Sazonado: Consiste en aplicar una capa uniforme y consistente de sal o aceite y condimento a las hojuelas, cada una de las cuales debe contener una distribución uniforme sobre su superficie y contenido correcto por peso. Las hojuelas que vienen del freidor se trasladan por una banda hacia el tambor sazonador, que tiene un diámetro de 48 pulg para una capacidad de 1600 lb/h a 2200 lb/h. La absorción de condimento de las hojuelas es del 10.5%.

² Es un cambio físico en el almidón que cambia la fuerza y la crocancia de la hojuela frita.

³ Olla enchaquetada con tapa que se calienta con vapor por dentro, que posee un agitador removible.

⁴ Producto sin condimento.

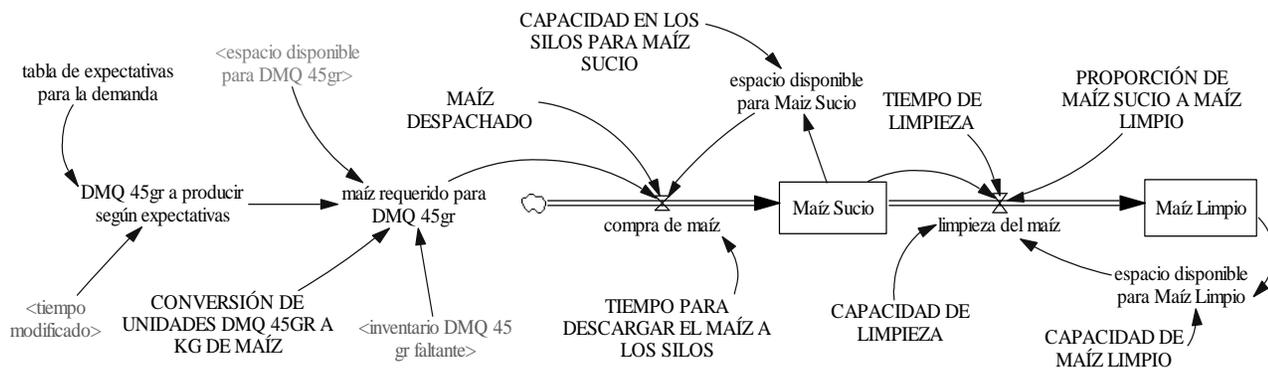


Fig. 2. Estructura para la compra del maíz

Empaque: Después de que la tortilla es sazonada se traslada al área de empaque por medio de una banda jirafa⁵ que tarda aproximadamente 15 seg y las tortillas llegan a las mallas vibradoras⁶ que dispensan a cada una de las máquinas de empaque. Por último, el producto final se empaqueta con una determinada película⁷.

Comercialización: Los embaladores de la empresa almacenan el producto en cajas. Cuando cada caja se encuentra lista se coloca en una paleta, en la cual deben ir 40 cajas, para luego ser transportada al almacén de la empresa, que tiene una capacidad de 1980 paletas, aproximadamente 5 millones de unidades.

Después de almacenar el producto correctamente, el Departamento de Logística se encarga de registrar las ventas mediante un sistema que indica la cantidad de producto que se encuentra almacenado en inventario y la cantidad de producto que necesita cada uno de los centros de distribución. Según este mismo sistema se rige la planificación de la empresa.

3 Modelo de simulación

El modelo de simulación del proceso de producción de la Línea DTC-2000 de Alimentos Pepsico fue realizado a partir del modelado de cada uno de los procesos que intervienen en la línea de tortilla, teniendo en cuenta sus principales componentes, con base en la descripción del sistema real, sin tener en cuenta los aspectos económicos y el personal que labora en la Línea DTC-2000.

El modelado del proceso de producción se simplifica tomando en cuenta sólo DMQ 45gr porque es el producto más importante que elabora la Línea DTC-2000. Las otras presentaciones de DMQ y el producto DNA no se tomaron en cuenta pues su producción no es regular.

En el modelo no se consideró el cambio de turno de la empresa, el cual puede influir en algunas variables del mis-

mo. Se supuso que la descarga del maíz a los silos es un proceso continuo de 8 horas.

Los tiempos involucrados en el proceso de producción se miden en horas. Esto implicó una transformación de los datos cuando fue necesario, porque la empresa maneja datos diarios de la compra del maíz, del maíz que se encuentra almacenado en los silos, de la producción, de las unidades de DMQ que se encuentran almacenadas y de las ventas.

3.1 Estructura del modelo

El modelo de simulación de la Línea DTC-2000 de Alimentos Pepsico describe las etapas fundamentales del proceso de producción, que va desde la compra del maíz hasta la venta de DMQ 45gr. El horizonte de tiempo del modelo es de 50 horas. En lo que sigue se muestra cada una de las partes que componen el modelo, así como también una explicación de las variables que lo conforman.

3.1.1 Compra y limpieza del maíz

La Fig. 2 muestra la estructura del modelo para la compra del maíz, cuya finalidad es calcular la cantidad de maíz que se debe comprar para satisfacer las necesidades de producción de DMQ 45gr. En el modelo sólo se está considerando el maíz como materia prima.

La tasa compra de maíz (Kg/h) se calcula a partir del mínimo entre maíz requerido para DMQ 45gr (Kg) y el espacio disponible para Maíz Sucio (Kg), además del MAÍZ DESPACHADO (Kg) y el TIEMPO PARA DESCARGAR EL MAÍZ A LOS SILOS (h), de acuerdo a lo especificado en la Ec. (1).

TIEMPO PARA DESCARGAR EL MAÍZ A LOS SILOS (h), de acuerdo a lo especificado en la Ec. (1).

$$\text{compra de maíz} = IF (\text{MIN}(\text{maíz requerido para DMQ 45gr}, \text{espacio disponible para Maíz Sucio}) \geq \text{MAÍZ DESPACHADO} / \text{TIEMPO PARA DESCARGAR EL MAÍZ A LOS SILOS}) \text{ THEN } (\text{MAÍZ DESPACHADO} / \text{TIEMPO PARA DESCARGAR EL MAÍZ A LOS SILOS}) \text{ ELSE } (0) \quad (1)$$

Con esta ecuación se calcula la cantidad de maíz a comprar, que da como resultado MAÍZ DESPACHADO o 0

⁵ Banda que transporta el producto hacia los vibradores que tiene la forma de cuello de jirafa.

⁶ Bandas que vibran para trasladar el producto, de tal forma de no partir la hojuela. Tiene forma de U.

⁷ Material que se utiliza para empacar.

Kg.

El MAÍZ DESPACHADO representa la cantidad de maíz que se compra cada vez que se necesita, es decir, se compra una cantidad fija cuando el maíz requerido para

DMQ 45gr y el espacio disponible para Maíz Sucio lo permita.

La variable maíz requerido para DMQ 45gr representa

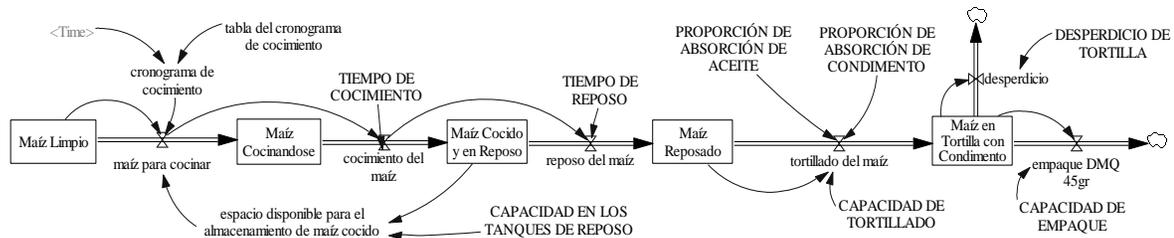


Fig. 3. Estructura para la transformación de maíz limpio en DMQ 45gr

la cantidad de maíz necesario para satisfacer las expectativas de venta y el inventario mínimo deseado para el DMQ 45gr, sujeta a las restricciones de espacio físico para almacenar las unidades de DMQ 45gr.

El espacio disponible para Maíz Sucio representa la cantidad máxima de maíz que puede ingresar al acumulador de Maíz Sucio (Kg) de acuerdo con sus restricciones de capacidad. Está definido por la Ec. (2).

$$\text{espacio disponible para Maíz Sucio} = \text{MAX}(\text{CAPACIDAD DE MAÍZ SUCIO} - \text{Maíz Sucio}, 0) \quad (2)$$

El TIEMPO PARA DESCARGAR EL MAÍZ A LOS SILOS es el tiempo que tarda el proceso en descargar el MAÍZ DESPACHADO a los silos de maíz sucio.

El nivel8 Maíz Sucio representa la cantidad de maíz en existencia en un momento dado. Es calculado a partir de la Ec. (3). Su valor inicial es MAÍZ SUCIO INICIAL (Kg).

$$\text{Maíz Sucio} = \text{INTEG}(\text{compra de maíz} - \text{limpieza del maíz}, \text{MAÍZ SUCIO INICIAL}) \quad (3)$$

La limpieza del maíz (Kg/h) es una tasa que transforma el Maíz Sucio en Maíz Limpio (Kg) y representa el proceso de limpieza. Indica la cantidad de Maíz Sucio que se va a limpiar en un determinado tiempo. Depende del Maíz Sucio, PROPORCIÓN DE MAÍZ SUCIO A MAÍZ LIMPIO (sin dimensión), TIEMPO DE LIMPIEZA (h), el espacio disponible para Maíz Limpio (Kg) y CAPACIDAD DE LIMPIEZA (Kg/h). Es calculada a partir de la Ec. (4).

$$\text{limpieza del maíz} = \text{MIN}(\text{MIN}(\text{Maíz Sucio} \times \text{PROPORCIÓN DE MAÍZ SUCIO A MAÍZ LIMPIO} / \text{TIEMPO DE LIMPIEZA}, \text{espacio disponible para Maíz Limpio} \times \text{PROPORCIÓN DE MAÍZ SUCIO A MAÍZ LIMPIO} / \text{TIEMPO DE LIMPIEZA}), \text{CAPACIDAD DE LIMPIEZA} \times \text{PROPORCIÓN DE MAÍZ SUCIO A MAÍZ LIMPIO}) \quad (4)$$

Es decir, se tomará en cuenta la cantidad de maíz sucio que se tiene, si hay espacio disponible para almacenar el maíz limpio y la cantidad máxima que pueda transformarse de Maíz Sucio a Maíz Limpio

3.1.2 Transformación de maíz limpio a DMQ 45gr

La Fig. 3 muestra la estructura que corresponde a la transformación de maíz limpio en DMQ 45gr.

El nivel *Maíz Limpio* representa la cantidad de maíz limpio que se tiene almacenado en un instante determinado. Se calcula a partir de la Ec. (5). Su valor inicial es *MAÍZ LIMPIO INICIAL*.

$$\text{Maíz Limpio} = \text{INTEG}(\text{limpieza del maíz} - \text{maíz para cocinar}, \text{MAÍZ LIMPIO INICIAL}) \quad (5)$$

El *maíz para cocinar* (Kg/h) es la tasa que transforma el *Maíz Limpio* en *Maíz Cocinándose* (Kg). Se calcula a partir de la Ec. (6). Representa la cantidad de maíz que ingresa cada *TIEMPO DE COCIMIENTO* (h) a *Maíz Cocinándose*.

$$\text{maíz para cocinar} = \text{cronograma de cocimiento} \times \text{IF}(\text{Maíz Limpio} > 1700 : \text{AND: espacio disponible para el almacenamiento de maíz cocido} > 1700) \text{ THEN } (1700) \text{ ELSE } (0) \quad (6)$$

Se utilizó la variable tipo tabla (tipo lookup del Vensim) con el nombre tabla de cronograma de cocimiento (sin dimensión), que permite representar la forma en que se cocina el maíz en cronograma de cocimiento (Kg/h). Retorna ceros y unos, por lo tanto se multiplica por la cantidad de 1700 Kg como se explica en la sección (2.4), pero se debe verificar si se tiene la cantidad de maíz necesario en Maíz Limpio y si hay espacio suficiente para almacenarlo en Maíz Cocido y en Reposo (Kg).

El espacio disponible para el almacenamiento de maíz cocido (Kg) representa la cantidad máxima de maíz cocido que puede ingresar en Maíz Reposado (Kg), de acuerdo con sus restricciones de capacidad. Se calcula con la Ec. (7).

⁸ Un nivel se escribe en Vensim en forma de ecuación con la palabra INTEG. En las ecuaciones se agregan algunas palabras reservadas del Vensim para indicar funciones tales como el MAX (máximo), MOD (módulo), etc.

espacio disponible para el almacenamiento de maíz cocido = $\text{MAX}(\text{CAPACIDAD EN LOS TANQUES DE REPOSO} - \text{Maíz Cocido y en Reposo}, 0)$ (7)

El TIEMPO DE COCIMIENTO es la duración del proceso de cocimiento.

El nivel Maíz Cocinándose representa la cantidad de maíz que aún no ha cumplido el TIEMPO DE COCIMIENTO para terminar el proceso de cocimiento. Se calcula a partir de la Ec. (8). Su valor inicial es 0 Kg.

$$\text{Maíz Cocinándose} = \text{INTEG}(\text{maíz para cocinar} - \text{cocimiento del maíz}, 0) \quad (8)$$

El cocimiento del maíz (Kg/h), tasa que transforma el Maíz Cocinándose en Maíz Cocido y en Reposo (Kg), representa la cantidad de maíz que se está cocinando y se calcula mediante la Ec. (9).

$$\text{cocimiento del maíz} = \text{DELAY FIXED}(\text{maíz para cocinar}, \text{TIEMPO DE COCIMIENTO}, \text{maíz para cocinar}) \quad (9)$$

La función DELAY FIXED, demora fija, es usada para representar el hecho de que cuando el maíz para cocinar ingresa a Maíz Cocinándose, permanece allí durante el TIEMPO DE COCIMIENTO.

El nivel Maíz Cocido y en Reposo representa la cantidad de maíz cocido que se encuentra en reposo en un momento determinado. Se calcula a partir de la Ec. (10). Su valor inicial es 0 Kg.

$$\text{Maíz Cocido y en Reposo} = \text{INTEG}(\text{cocimiento del maíz} - \text{reposo del maíz}, 0) \quad (10)$$

El reposo del maíz (Kg/h) es la tasa que transforma el Maíz Cocido y en Reposo en Maíz Reposado (Kg). Representa la cantidad de maíz que está en reposo y se calcula mediante la Ec. (11).

$$\text{reposo del maíz} = \text{DELAY FIXED}(\text{cocimiento del maíz}, \text{TIEMPO DE REPOSO}, \text{cocimiento del maíz}) \quad (11)$$

La función DELAY FIXED es usada para representar la permanencia del maíz en Maíz Cocido y en Reposo durante el TIEMPO DE REPOSO (h).

El TIEMPO DE REPOSO es la duración del proceso de reposo. Para el modelo se utilizó el mínimo tiempo que puede estar en reposo el maíz.

El nivel Maíz Reposado representa la cantidad de maíz reposado que se encuentra almacenado en un instante determinado. Se calcula a partir de la Ec. (12). Su valor inicial es 0 Kg.

$$\text{Maíz Reposado} = \text{INTEG}(\text{reposo del maíz} - \text{tortillado del maíz}, 0) \quad (12)$$

El tortillado del maíz (Kg/h) es una tasa que transforma Maíz Reposado en Maíz en Tortilla con Condimento

(Kg). Esta variable agrupa los procesos de lavado, tortillado, horneado, freído y condimentado. Se calcula mediante la Ec. (13). Depende del Maíz Reposado, CAPACIDAD DE TORTILLADO (Kg/h), PROPORCIÓN DE ABSORCIÓN DE ACEITE (sin dimensión) y PROPORCIÓN DE ABSORCIÓN DE CONDIMENTO (sin dimensión)

$$\text{tortillado del maíz} = \text{IF}(\text{Maíz Reposado} > \text{CAPACIDAD DE TORTILLADO}) \text{ THEN } (\text{CAPACIDAD DE TORTILLADO} \times \text{PROPORCIÓN DE ABSORCIÓN DE ACEITE} \times \text{PROPORCIÓN DE ABSORCIÓN DE CONDIMENTO}) \text{ ELSE } (\text{Maíz Reposado}) \quad (13)$$

Se transformará a Maíz en Tortilla con Condimento, la cantidad máxima que permite la CAPACIDAD DE TORTILLADO, de lo contrario, si la cantidad que se tiene en Maíz Reposado es menor que la CAPACIDAD DE TORTILLADO, se transformaría la cantidad de Maíz Reposado que se tenga almacenado.

El nivel Maíz en Tortilla con Condimento representa la cantidad de tortilla con condimento que se encuentra almacenada en un instante determinado. Se calcula a partir de la Ec. (14). Su valor inicial es 0 Kg.

$$\text{Maíz en Tortilla con Condimento} = \text{INTEG}(\text{tortillado del maíz} - \text{empaque DMQ 45gr} - \text{desperdicio}, 0) \quad (14)$$

El empaque DMQ 45gr es una tasa que corresponde a la cantidad de maíz en tortilla con condimento que es empacada en la presentación de DMQ 45gr según la CAPACIDAD DE EMPAQUE (Kg/h). Es calculada a partir de la Ec. (15).

$$\text{Empaque DMQ 45gr} = \text{IF}(\text{Maíz en Tortilla con Condimento} \geq \text{CAPACIDAD DE EMPAQUE}) \text{ THEN } (\text{CAPACIDAD DE EMPAQUE}) \text{ ELSE } (\text{Maíz en Tortilla con Condimento}) \quad (15)$$

El desperdicio (Kg/h) es una tasa que corresponde a la cantidad de maíz en tortilla con condimento que se convierte en desperdicio. Se calcula a partir de la Ec. (16).

$$\text{desperdicio} = \text{IF}(\text{Maíz en Tortilla con Condimento} > \text{DESPERDICIO DE TORTILLA}) \text{ THEN } (\text{DESPERDICIO DE TORTILLA}) \text{ ELSE } (0) \quad (16)$$

3.1.3 Comercialización

La Fig. 4 muestra la estructura del modelo para la comercialización del DMQ 45gr.

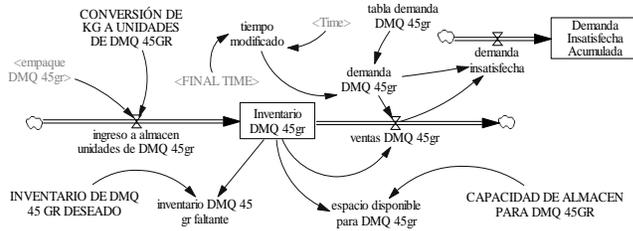


Fig. 4. Estructura para la comercialización de DMQ 45gr

El ingreso a almacen unidades de DMQ 45gr (unidades/h) realiza la conversión Kg a unidades de DMQ 45gr. Se calcula a partir de la Ec. (17).

$$\text{ingreso a almacen unidades de DMQ 45gr} = \text{empaque DMQ 45gr} \times \text{CONVERSIÓN DE KG UNIDADES DE 45GR} \quad (17)$$

El nivel Inventario DMQ 45gr (unidades) representa la cantidad de unidades de DMQ 45gr que se encuentra almacenada en un determinado instante de tiempo, finalizando así el proceso de producción. Se calcula a partir de la Ec. (18). Su valor inicial es 0 unidades.

$$\text{Inventario DMQ 45gr} = \text{INTEG}(\text{ingreso a almacén unidades de DMQ 45gr} - \text{ventas de DMQ 45gr}) \quad (18)$$

Las ventas DMQ 45gr (unidades/h) es una tasa que representa la salida del sistema de las unidades de DMQ 45gr, tomando en cuenta que haya unidades de DMQ 45gr en inventario para satisfacer la demanda de DMQ 45gr (unidades/h), de lo contrario la salida será las unidades que se encuentran almacenadas en Inventario de DMQ 45gr. Se calcula a partir de la Ec. (19).

$$\text{ventas DMQ 45gr} = \text{IF}(\text{inventario DMQ 45gr} \geq \text{demanda DMQ 45gr}) \text{ THEN}(\text{demanda DMQ 45gr}) \text{ ELSE}(\text{inventario DMQ 45gr}) \quad (19)$$

La demanda DMQ 45gr (unidades) se calcula utilizando la Ec. (20). La tabla demanda DMQ 45gr (sin dimensión) es una función (tipo lookup del Vensim) de la variable independiente tiempo modificado, que permite representar la demanda de DMQ 45gr.

$$\text{demanda DMQ 45gr} = \text{tabla demanda DMQ 45gr}(\text{tiempo modificado}) \quad (20)$$

El tiempo modificado (h) representa el tiempo en el cual se evalúa la tabla demanda DMQ 45gr para generar la demanda estimada. Se calcula utilizando la Ec. (21), en donde el Time (h) corresponde a cada instante de la simulación y el FINAL TIME (h) corresponde al tiempo final de la simulación.

$$\text{tiempo modificado} = \text{MOD}(\text{Time}, \text{FINAL TIME}) \quad (21)$$

La tasa demanda insatisfecha (unidades/h) representa la cantidad de DMQ 45gr que ha sido demandada por hora en la empresa pero que no se ha vendido debido a la escasez de los productos. Es calculada mediante la Ec. (22)

$$\text{demanda insatisfecha} = \text{demanda DMQ 45gr} - \text{ventas DMQ 45gr} \quad (22)$$

La Demanda Insatisfecha Acumulada (unidades) representa la demanda insatisfecha durante el tiempo de corrida de la simulación, tal como se muestra en la Ec. (23).

$$\text{Demanda Insatisfecha Acumulada} = \text{INTEG}(\text{demanda insatisfecha}, 0) \quad (23)$$

El inventario DMQ 45gr faltante (unidades) representa la cantidad de unidades de DMQ 45gr necesarias para satisfacer el valor promedio deseado por la empresa Alimentos Pepsico S.A. Es calculado mediante la Ec. (24).

$$\text{inventario DMQ 45gr faltante} = \text{MAX}(\text{INVENTARIO DE DMQ 45GR DESEADO} - \text{Inventario DMQ 45gr}, 0) \quad (24)$$

El espacio disponible para DMQ 45gr (unidades) representa la cantidad máxima de unidades de DMQ 45gr que pueden ingresar al Inventario DMQ 45gr, de acuerdo con sus restricciones de capacidad. Se calcula a partir de la Ec. (25).

$$\text{espacio disponible para DMQ 45gr} = \text{MAX}(\text{CAPACIDAD DE ALMACEN PARA DMQ 45GR} - \text{Inventario DMQ 45gr}, 0) \quad (25)$$

La variable DMQ 45gr a producir según expectativas (Kg/h) se calcula en forma similar a la demanda, utilizando la Ec. (26). La tabla de expectativas de demanda (sin dimensión) es una función (tipo lookup del Vensim) que permite representar las expectativas de demanda de DMQ 45gr durante un período determinado.

$$\text{DMQ 45gr a producir según expectativas} = \text{tabla de expectativas para la demanda}(\text{tiempo modificado}) \quad (26)$$

Con los resultados de Ec. (24), Ec. (25) y Ec. (26) se calcula el maíz requerido para DMQ 45gr, teniendo como meta satisfacer la demanda pronosticada y el INVENTARIO DE DMQ 45GR DESEADO (unidades), sujeta a las restricciones de capacidad de Inventario DMQ 45g. La Ec. (27) refleja esta estructura.

$$\text{maíz requerido para DMQ 45gr} = \text{MIN}(\text{DMQ 45gr a producir según expectativas} + \text{Inventario DMQ 45gr faltante} \times \text{CONVERSION DE UNIDADES DMQ 45GR A KG DE MAÍZ}, \text{espacio disponible para DMQ 45gr} \times \text{CONVERSION DE UNIDADES DMQ 45GR A KG DE MAÍZ}) \quad (27)$$

3.2 Estimación de parámetros

La Tabla 2 muestra los parámetros del modelo con sus valores y unidades. Los valores de las constantes desde MAÍZ DESPACHADO hasta INVENTARIO DE DMQ 45GR DESEADO fueron obtenidos a partir de las entrevistas con el personal de la Empresa Alimentos Pepsico.

Los valores de las constantes desde PROPORCIÓN DE MAÍZ SUCIO A MAÍZ LIMPIO hasta CAPACIDAD DE TORTILLADO son calculados por la empresa y se encuentran tabulados en su documentación. El valor para la constante CAPACIDAD DE EMPAQUE se calcula mediante la Ec. (28).

$$CAPACIDAD\ DE\ EMPAQUE = \sum_{j=1, N} (Cuellos_j \times Unidades_j \times Tiempo) \quad (28)$$

Donde N es la cantidad de máquinas de empaque, Cuellos_j es la cantidad de cuellos que tiene en funcionamiento la máquina j, Unidades_j es la cantidad de unidades que procesa cada cuello de la máquina j por minuto y Tiempo transforma unidades de tiempo de min a h y su valor es de 60 min/h.

Tabla 2. Parámetros del modelo

Variable	Valor	Unidades
MAÍZ DESPACHADO	30000	Kg
TIEMPO PARA DESCARGAR EL MAÍZ A LOS SILOS	8	h
CAPACIDAD EN LOS SILOS PARA MAÍZ SUCIO	100000	Kg
TIEMPO DE LIMPIEZA	1	h
CAPACIDAD DE LIMPIEZA	1000	Kg/h
CAPACIDAD DE MAÍZ LIMPIO	11500	Kg
CAPACIDAD DE ALMACEN PARA DMQ 45GR	1600000	unidades
TIEMPO DE COCIMIENTO	1.2	h
CAPACIDAD EN LOS TANQUES DE REPOSO	17000	Kg
INVENTARIO DE DMQ 45GR DESEADO	500000	unidades
PROPORCIÓN DE MAÍZ SUCIO A MAÍZ LIMPIO	0.99	sin dimensión
TIEMPO DE REPOSO	12	h
PROPORCIÓN DE ABSORCIÓN DE ACEITE	0.24	sin dimensión
PROPORCIÓN DE ABSORCIÓN DE CONDIMENTO	0.106	sin dimensión
CAPACIDAD DE TORTILLADO	627.18	Kg/h
CAPACIDAD DE EMPAQUE	1269	Kg/h
DESPERDICIO DE TORTILLA	48	Kg/h

El resultado de este cálculo es una capacidad de empaque máxima de 28200 unidades/h ó 1269 Kg/h.

El DESPERDICIO DE TORTILLA se estima con los valores almacenados por la empresa para un período de 50 horas y se calcula mediante la Ec. (29).

$$D = \sum_{j=1, 50} (D_j) \quad (29)$$

Donde D_j es desperdicio de tortilla en la hora j. El resultado de este cálculo es un desperdicio promedio de 48 Kg/h.

4 Simulación base

La unidad de tiempo utilizada en el modelo es la hora. La corrida base se realizó para un período de 50 horas. El PASO DE TIEMPO para la simulación es de 0.0625 (ó 225 seg). El método de integración utilizado es el de Runge-Kutta. En el modelo se considera que el proceso comienza desde cero.

4.1 Maíz Sucio

La Fig. 5 muestra la cantidad de maíz sucio que se encuentra en los silos tanto para los datos reales como para la simulación base. Los datos reales (línea continua) reflejan que la cantidad de maíz sucio en los silos varía desde 80166 Kg a las 50 horas hasta 93669 Kg a las 12 horas, con un promedio de 88450 Kg, mientras que según los resultados generados por el modelo (línea discontinua) el maíz sucio varía desde 84264 Kg a las 50 horas hasta 96283 Kg a las 3 horas, con un promedio de 94376 Kg.

Al comparar el promedio de los datos reales y el de la simulación, se puede señalar que el valor promedio obtenido con el modelo es un 6.6% más alto que el de los datos reales.

4.2 Inventario DMQ 45gr

La Fig. 6 muestra los datos reales (línea continua) de la cantidad de unidades de DMQ 45gr que se encuentran en el inventario. Se observa que la cantidad de unidades de DMQ 45gr varía desde 125160 unidades a las 16 horas hasta 475000 unidades a las 50 horas, con un promedio de 326780 unidades.

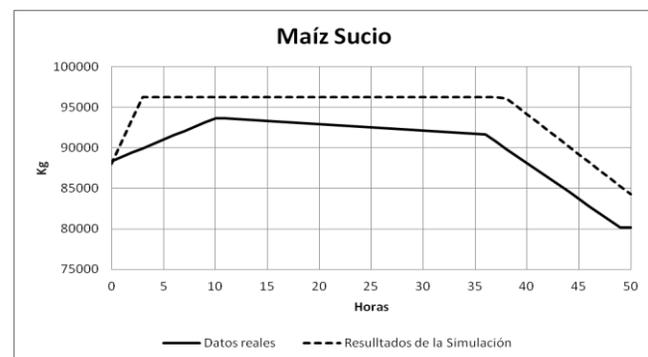


Fig. 5. Maíz Sucio: Datos reales vs. Simulación base

También se observa la dinámica del nivel Inventario DMQ 45gr, según los resultados generados por la simulación base (línea discontinua), que varía desde 245906 unidades a las 15 horas hasta 481987 unidades a las 50 horas, con un promedio de 350090 unidades.

Comparando los datos reales con los resultados el modelo, se puede señalar que el valor promedio del modelo es un 7% más alto que el promedio de los datos reales.

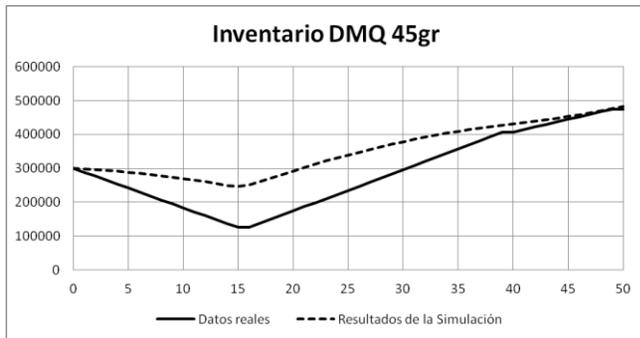


Fig. 6. Inventario DMQ 45gr. Datos reales vs. Simulación base

5 Validación y verificación del modelo

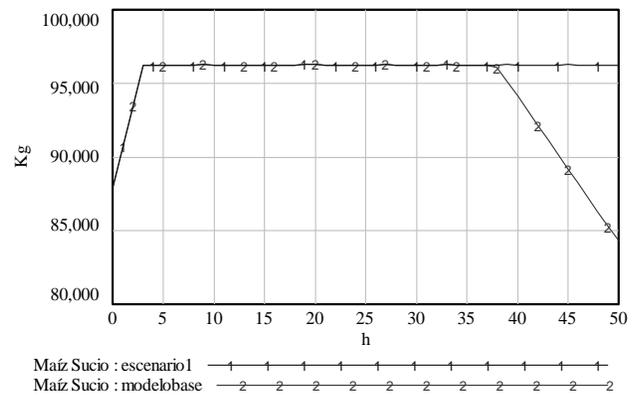
Hay varias pruebas que permiten validar y verificar un modelo de Dinámica de Sistemas contribuyendo a su mejoramiento, entre las que se destacan (Sterman, 2000):

- Pruebas de adecuación de límites: permiten verificar que los límites del modelo sean apropiados para el propósito definido. La aplicación de la prueba corrobora, que en el horizonte de tiempo de la simulación, las variaciones en las constantes son pocas.
- Pruebas de estructura del modelo: el modelo toma en cuenta suficientes características que posee el sistema real relevantes para su propósito.
- Condiciones extremas: prueba la robustez del modelo bajo condiciones extremas asegurando que el modelo se comporta de una manera realista. Por inspección de las ecuaciones y por la simulación, se observó que el modelo es capaz de reflejar un comportamiento correcto a partir de las condiciones extremas que le pudieran ser impuestas.
- Análisis de sensibilidad: tiene como objetivo evaluar si los resultados del modelo cambian en forma significativa cuando los valores de los parámetros varían dentro de su rango de incertidumbre. Los resultados muestran que el modelo es sensible a las variaciones en la CAPACIDAD DE LIMPIEZA, en el TIEMPO DE REPOSO, en la CAPACIDAD DE TORTILLADO, en la CAPACIDAD DE EMPAQUE y en la tabla demanda DMQ 45gr.

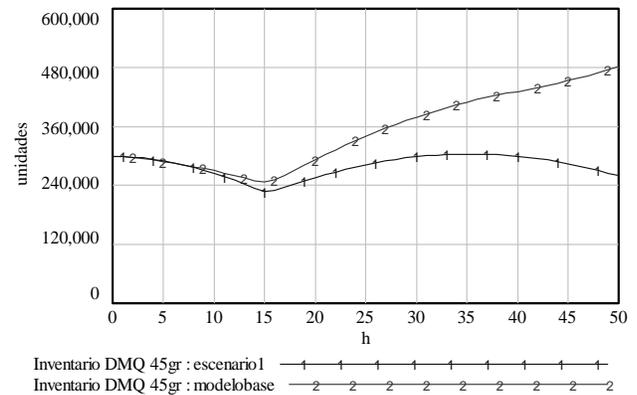
6 Escenarios

- Escenario 1: ¿Qué pasaría si la demanda aumenta linealmente hasta 30000 unidades?

La Fig. 7 permite comparar la simulación base con el resultado del escenario 1 cuando la demanda aumenta linealmente, sin modificar el valor de las otras variables.



(a) Maíz Sucio



(b) Inventario DMQ 45gr

Fig. 7. Resultados de la corrida base y del escenario 1

La Fig. 7(a) muestra que bajo este escenario el nivel Maíz Sucio tiende a mantenerse constante alrededor de 96250 Kg a partir de las 3 horas. De la misma forma, la Fig. 7(b) muestra que el nivel Inventario DMQ 45gr presenta el mismo comportamiento que la simulación base en las primeras 15 horas, luego como la demanda está creciendo linealmente, disminuye la acumulación de las unidades de DMQ 45gr en el nivel, comparado con la simulación base, hasta llegar el mismo a 174047 unidades.

- Escenario 2: ¿Qué pasaría si la demanda disminuye linealmente desde 15000 unidades hasta anularse?

La Fig. 8 permite comparar la simulación base con el resultado del escenario 2 cuando la demanda disminuye linealmente, sin modificar el valor de las otras variables.

Bajo este escenario el nivel Maíz Sucio tiende a mantenerse constante alrededor de 96250 Kg a partir de las 3 horas y empieza a disminuir el nivel alrededor de las 43 horas, llegando a una cantidad de 88889 Kg de maíz. En este

escenario, la demanda es muy alta en las primeras horas y por lo tanto, se necesita comprar el maíz suficiente para cumplir con los requerimientos de inventario, y en las últimas horas la demanda alcanza valores muy bajos, por ende, la compra del maíz es nula. La Fig. 8 muestra que el nivel Inventario DMQ 45gr tiene una disminución de la cantidad de unidades de DMQ 45gr en las primeras 15 horas, para después presentar un crecimiento paulatino del nivel llegando hasta 548815 unidades.

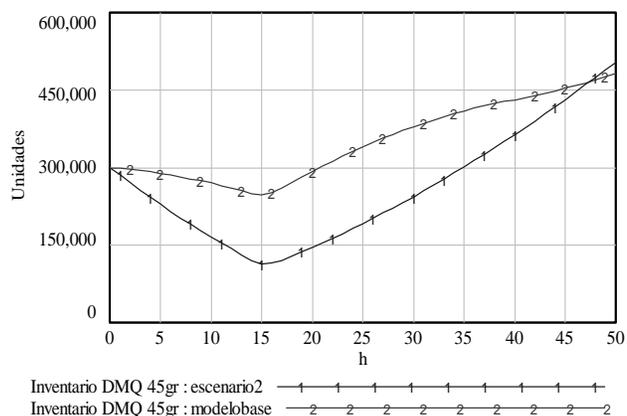


Fig. 8. Inventario DMQ 45gr de la corrida base y del escenario 2

• Escenario 3: ¿Qué pasaría si se produjera De Todito mix?

En el modelo real existe una compuerta que dispensa Maíz en Tortilla con Condimento cuando se produce De Todito mix, lo que significa que la cuarta parte del producto se traslada para la línea que empaqueta De Todito mix.

Para el estudio de este escenario se agregó un flujo al nivel Maíz en Tortilla con Condimento, con las condiciones antes mencionadas, con el fin de dispensar el mismo a la línea que se encarga de empaquetar De Todito mix.

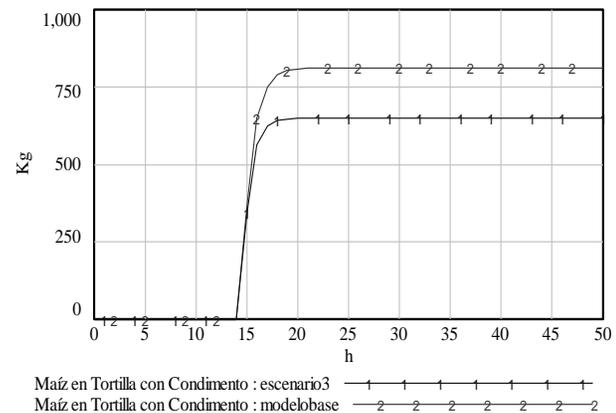
La Fig. 9 permite comparar la simulación base con el resultado del escenario 3 cuando se está produciendo De Todito mix.

Con este escenario, el nivel Maíz Sucio tiende a mantenerse constante alrededor de 96250 Kg a partir de las 3 horas. De la misma forma, la Fig. 9(a) muestra que el nivel Maíz en Tortilla con Condimento tiene un promedio de 451.66 Kg, lo que representa una disminución del 19.5% con respecto al caso base; y la Fig. 9(b) muestra que el nivel Inventario DMQ 45gr tiene un promedio de 308789 unidades, lo que representa una disminución del 11.80% con respecto al caso base.

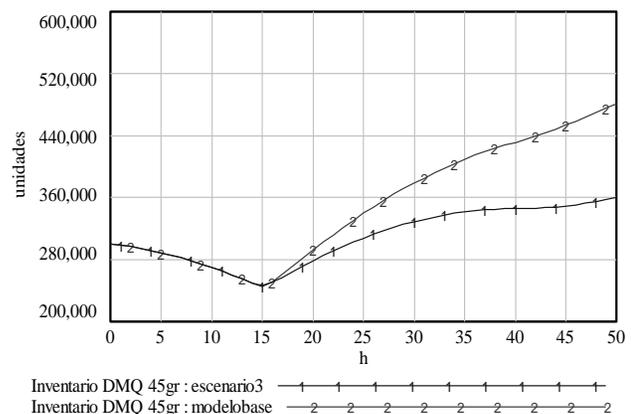
7 Notas finales

El resultado de este trabajo es un modelo de simulación del proceso de producción de la Línea DTC-2000 de la empresa Alimentos Pepsico S.A., utilizando la metodología de Dinámica de Sistemas y el programa de simulación Vensim. El modelo de simulación fue realizado a partir del modelado de cada uno de los procesos que intervienen en la

línea tortilla, teniendo en cuenta sus principales componentes y con base en la descripción del sistema real.



(a) Maíz en Tortilla con Condimento



(b) Inventario DMQ 45gr

Fig. 9. Resultados de la corrida base y del escenario 3

Los resultados obtenidos con el modelo muestran tendencias similares a las observadas en el sistema real. La comparación se realizó con los niveles de Maíz Sucio e Inventario DMQ 45gr que son los niveles del inicio y final del modelo, respectivamente.

La estimación de los parámetros del modelo se realizó mediante entrevistas con el personal, la documentación existente, la política de la empresa o calculados con los datos disponibles.

El análisis de sensibilidad mostró que las variables de mayor influencia en la Línea DTC-2000 de Alimentos Pepsico son el tiempo de reposo, la capacidad de tortillado y la capacidad de empaque, así como también la capacidad de limpieza y la demanda de las unidades de DMQ 45gr.

Cuando la demanda de las unidades de DMQ 45gr aumenta progresivamente, empieza a disminuir el nivel de Inventario DMQ 45gr y el nivel de Maíz Sucio se mantiene constante en 96250 Kg a partir de las 3 horas. Cuando la demanda DMQ 45gr disminuye progresivamente, la compra

de maíz al principio es alta y luego comienza a disminuir y el nivel de Inventario DMQ 45gr disminuye al comienzo pero luego presenta un crecimiento paulatino, como se observó en el estudio de los escenarios 1 y 2, respectivamente.

Cuando se elabora De todito mix, existe una disminución en el Inventario DMQ 45gr, como era de esperarse, el cual se estudió en el escenario 3. Tomando esto en cuenta, la empresa puede explorar la posibilidad de aumentar el valor de la capacidad de tortillado, con el fin de mejorar su desempeño.

Referencias

Bacca G, 2005, Formulación y Evaluación de Proyectos Informáticos, México.
Drew D, 1995, Dinámica de Sistemas Aplicada, Isdefe, Madrid.
Ford A 1999, Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics Models of Environmental Systems. Island Press.
Forrester J, 1961, Industrial Dynamics. Productivity Press.
García, J, 2003, Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas, España.

Márquez R y Ramírez V, 2009, Un modelo de simulación de la producción de quesos madurados, Revista Agroalimentaria, Vol. 15, No. 28, pp. 107-122.

Parra C, Pérez J y Torres D, 2006, Modelación y simulación computacional de un proceso productivo de una pequeña empresa usando dinámica de sistemas, Revista de la División de Ingeniería de la Universidad del Norte, No. 20, pp. 151-171.

Pepsico A, 2009, Basamentos teóricos en documentos digitales, Alimentos Pepsico, La Grita, Venezuela.

Pernía Y, 2010, Un modelo de simulación del proceso de producción de la empresa Alimentos Pepsico S.A., Línea DTC-2000, Proyecto de Grado, Escuela de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería, ULA.

Sterman, J, 2000, Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World, McGraw-Hill, USA.

Vensim, PLE (personal learning edition), Ventana Systems Inc, 1996. Se encuentra en <http://www.vensim.com>. Fecha de consulta: 02 de febrero de 2010.

Zeigler Kri B, 1984, Theory of Modeling and Simulation. Krieger Publishing Co, Melbourne FL, EEUU.

Recibido: 12 de abril de 2011

Revisado: 10 de julio de 2011

