

## **SIMULACIÓN EN SOFTWARE ARENA PARA MEJORAR EL PROCESO DE EMPAQUE DE MANGO**

Daniel Benito Román Ocampo  
Jesus Daniel Rojas Cid  
Waldemar Pérez Bailón  
Pedro Castillo Cedillo  
G. Valencia Gutiérrez

### **RESUMEN**

México dentro de su territorio cuenta con una gran variedad del fruto denominado “mango”, clasificándolo así a nivel mundial como el cuarto país productor, enfrentándose a la problemática de que aun siendo uno de los principales productores, no cuenta con la tecnología de punta, tampoco utilizan métodos de análisis de procesos adecuados, como una formas de optimizar los procesos, rezagándolo por tanto a la pobre competitividad con el mercado exterior. Se presenta el análisis del proceso de una empacadora de mango bajo diferentes escenarios, esto con la finalidad de contar con diferentes alternativas para la selección de fruta de calidad y así poder realizar su exportación.

**PALABRAS CLAVE:** Simulación, empacadora, calidad, mejora continua.

### **INTRODUCCIÓN.**

La mayoría de las empacadoras de la región de la costa michoacana no están preparadas para realizar de manera periódica la exportación de producto en grandes cantidades, primero porque no cuentan con la tecnología de punta, tampoco cuentan con métodos adecuados para optimizar sus procesos.

La falta de tecnología desarrollada en México y los altos costos que se tienen por la adquisición de sistemas clasificadores de mango ha provocado que muchas de las empacadoras del país no puedan exportar mango a otros países, ya que no cuentan con

los recursos económicos necesarios para adquirir este tipo de sistemas, tampoco, se utilizan métodos de análisis de procesos adecuados, para que éstos puedan ser optimizados.

México es considerando el cuarto productor de mango en el mundo aun así no cuenta con equipos de vanguardia debido a los altos costos que estos generan presentando una gran inversión de recursos para una empacadora.

En la actualidad son 68 empacadoras mexicanas que se encuentran exportando el mango a otros países, entre los principales están Estados Unidos, Canadá y Japón (TPM, 2015). Por ello, es necesario proponer solución al problema de exportación de mango de calidad, que aunque, las empacadoras se encuentren exportando fruto de mango, el mercado sigue expidiéndose, logrando con esto que los sistemas y equipos de categorización y empaque con los que actualmente cuentan para realizar su clasificación ya no sean capaces de realizar un gran número de operaciones y por tanto, catalogándolos como equipos obsoletos.

Actualmente EMEX A.C es el organismo al cual deben de estar inscritas las empacadoras del país para poder exportar sus productos (EMPR, 2015). Por lo que actualmente tiene registradas solo 68 empacadoras, que cuentan sistemas clasificadores provenientes de otros lugares a costos relativamente altos.

México además de contar con 68 empacadoras exportadoras de mango también cuenta con empacadoras que destinan su producto al mercado nacional, las cuales no cuentan con los recursos necesarios para adquisición de sistemas clasificadores y sistemas capaces de acelerar sus procesos con eficiencia, ya que su proceso es manual todavía, lo cual lleva a mucha más pérdida de tiempo además que les imposibilita a competir a nivel nacional e internacional con otras empacadoras.

Es una tarea ineludible reducir el tiempo que tiene que esperar el mango en ser clasificado para continuar con distintos procesos a los que son sometidos y así poder

cumplir con los estándares establecidos por organismos encargados de su regulación como lo es USAD (Departamento de Agricultura de Estados Unidos). El cual interviene en los procesos por los cuales son sometidos los mangos antes de ser exportados a otros lugares.

## **ANTECEDENTES.**

Tradicionalmente la selección de mango de exportación, se ha hecho en forma manual o semi-automatizada, utilizando seleccionadoras mecánicas principalmente y en algunas ocasiones seleccionadoras electrónicas (ROJAS, 2012).

La columna de calibre (tabla 1) indica un parámetro que determina el número de mangos que pueden ser empacados en una misma caja, por ejemplo el calibre 8 indica que se pueden empacar 8 mangos en la misma caja, calibre 12 indica que se pueden empacar 12 mangos en la misma caja; así a menor calibre, el mango es de mayor peso. Lo anterior fue determinado por la Norma Mexicana de Calidad Para el Mango Fresco (BAEZ, 1995) que fue desarrollada en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. De igual manera la columna de peso en gramos esta ya determinada por la Norma Mexicana de Calidad Para el Mango Fresco.

<b>Calibre</b>	<b>Peso</b>
20	210-240
18	241-270
16	271-300
14	301-350
12	351-420
10	421-480
9	481-535
8	536-610
7	611-700

Tabla 1. Relación Calibre Peso

Michoacán es también líder en exportaciones de mango a nivel nacional, con casi 70 mil toneladas, enviadas a países como Estados Unidos de Norteamérica, con el 70 por ciento; Canadá, 12 por ciento, el resto se envía a Europa, Asia y otros destinos, debido a su gran calidad.

Michoacán es el cuarto mejor productor de mango de México, sólo por debajo de Guerrero, Nayarit y Chiapas, con una superficie plantada de 20 mil 450 hectáreas, de las cuales 18 mil 600 están en producción. De estas, se obtuvo en 2013 una producción de 135 mil toneladas de mango, de las que se exportaron casi 70 mil toneladas, lo que significa que el 52 por ciento del fruto, se va a los mercados internacionales.

Variedad	Sup. Sembr. (Miles ha)	Sup. Cosech. (Miles ha)	Volumen Producción (Miles ton)		Valor producción (Millones \$)		Precio Medio Rural (\$)	Rendimiento (Ton/Ha)
Ataulfo	42.5	40.2	371.9	19.5%	1,185.7	25.6%	3,187.9	9.3
Manila	39.4	37.5	387.4	23.6%	1,019.3	25.7%	2,631.4	10.3
Haden	25.0	22.6	184.4	13.5%	568.8	14.3%	3,085.4	8.2
Tommy atkins	21.9	18.9	164.4	12.8%	396.7	10.4%	2,413.4	8.7
Kent	18.0	15.1	115.9	9.0%	303.0	8.2%	2,613.8	7.7
Criollos	12.6	12.3	115.1	8.0%	214.7	6.1%	1,865.2	9.4
Keitt	8.4	8.2	42.6	3.8%	88.9	2.6%	2,088.9	5.2
Maniilla	4.9	4.5	30.5	2.1%	46.6	1.4%	1,525.7	6.8
Oro	4.3	4.3	49.1	3.1%	44.2	1.2%	900.0	11.5
Paraíso (petacón)	1.4	1.4	6.8	0.2%	23.7	0.2%	3,482.8	4.9
Obo	0.9	0.9	3.9	0.3%	5.3	0.1%	1,347.7	4.4
Sin clasificar	4.8	4.3	37.3	4.2%	95.0	4.2%	2,544.8	8.7
<b>Mango total</b>	<b>183.9</b>	<b>170.0</b>	<b>1,509.3</b>	<b>100.0%</b>	<b>3,991.8</b>	<b>100.0%</b>	<b>2,644.9</b>	<b>8.9</b>

Tabla 2. Variedad producida en México (Fuente: SIAP-SAGARPA 2009).

Michoacán tiene aproximadamente 3 mil 200 hectáreas certificadas para exportación en (GLOBALGAP) Good Agriculture Practices, que es la norma de certificación voluntaria para el sector de producción primaria más reconocida a nivel global, con esta norma no se tiene restricción para enviar el producto a Japón, Canadá, Estados Unidos y Europa. El mercado mayor para Michoacán es Estados Unidos de Norte América, con el 70 por ciento; Canadá, 12 por ciento, y el resto se envía a Europa, Asia y otros destinos.

En Michoacán se produce principalmente 4 variedades de mango; el Haden, al inicio de la temporada, luego el Tommy Atkins, casi a la par con el Ataulfo, y a la salida de la temporada la variedad Kent, esta es ultima es tardía, pero es la más solicitada, ya que se exporta el 90 por ciento al mercado de Japón, obteniendo muy buenos precios. Es un hecho que el estado de Michoacán no es primer lugar en valor de producción de mango, sí es el primer lugar nacional en cuanto a exportación de este fruto.

En el mismo sentido, cabe resaltar que el 90 por ciento del mango que produce nuestro estado (Michoacán) tiene calidad de exportación, ya que cuenta con las mejor características a nivel nacional, debido a las condiciones agroclimáticas que se tienen en la Tierra Caliente alta y baja de la entidad.

El Sistema Producto Mango con sede en Múgica, Michoacán, cuenta con 4 mil 500 productores afiliados, de los cuales el 90 por ciento son ejidatarios. Los municipios con producción son Gabriel Zamora, Parácuaro, Apatzingán, Buenavista, Tepalcatepec, La Huacana, Huetamo, Nueva Italia, Nuevo Urecho, Aquila, Coahuayana y Lázaro Cárdenas.

Según la EMEX A.C. en el país hay afiliadas aproximadamente 56 empacadoras de mango, y solo en el estado de Michoacán se cuenta con 13 empacadoras establecidas (EMPR, 2014), sin embargo existen tres veces más empacadoras en el estado que no están afiliadas a esta asociación, y deben de contar con un seleccionador automático de pesos o tamaños según su norma de calidad.

## **NECESIDAD DE MEJORAR UN PRODUCTO O PROCESO (JUSTIFICACIÓN)**

La Calidad es la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permite apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su misma especie (VELAZCO, 2005). En la Actualidad, la calidad, es una forma de gestión que introduce el término de mejora continua o calidad total (fig. 3).

Unos de los pioneros en introducir el concepto de mejora en los proceso fue Joseph Juran (1904-2008), su aporte se puede describir con su diagrama denominado trilogía de Juran (fig.2).



Figura 1. Diagrama de la Trilogía de la calidad (Joseph Juran)

La mejora de la calidad, es un objetivo que todas las empresas tratan de lograr. Esta mejora de la calidad se puede dar en diferentes sentidos:

Desarrollando nuevos productos para sustituir modelos antiguos.

Adoptando una nueva tecnología.

Revisando los procesos para reducir los índices de error.

Por lo anterior se menciona que la mejora de la calidad se efectúa en dos campos: mejorando las características del producto y eliminando las deficiencias.

Para que los costes sean competitivos, las empresas tienen que reducir continuamente el nivel de deficiencias del producto y del proceso.

La mejora de la calidad no es gratis, cada plan que se inicia para mejorar un producto o proceso requiere una inversión en dos formas:

Un diagnóstico para descubrir las causas de la mala calidad.

Una pócima para eliminar las causas.

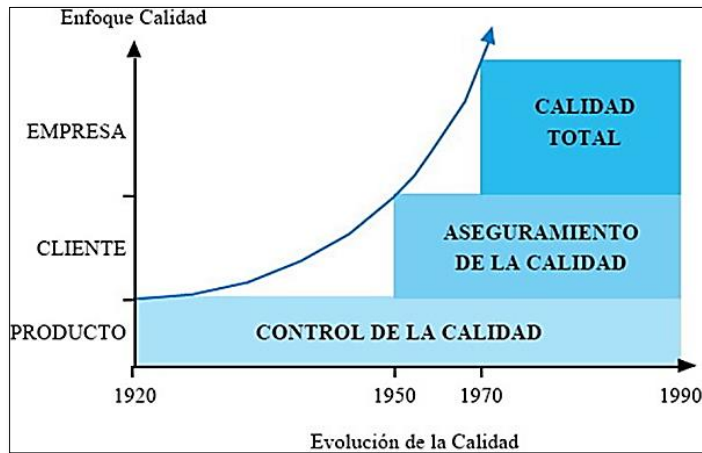


Figura 2. Gráfico sobre la evolución de la calidad

El mango (*Mangifera indica*) es un fruto succulento, carnoso de forma oval, de 5 a 15 cm de longitud y color verdoso, amarillento o rojizo de sabor dulce; encierra un hueso grande aplanado, rodeado de una cubierta leñosa (fig. 1).



Figura 3. Pesando un mango de 516 gramos (Fuente: ROJAS 2012).

Las preferencias del consumidor de mango son principalmente: los sabores preferidos por los consumidores, la textura del mango, aroma, etc. son un elemento clave para el

futuro de la comercialización del mango. Una investigación realizada por el Profesor Adel Kader (ADEL, 2008) de la Universidad de California en Davis señala que existen pocos estudios que rastreen las opiniones de los consumidores referente al mango. Se necesita más información antes de instrumentar lineamientos adicionales para la comercialización.

CLASES POR TAMAÑO EN GRAMOS	PESO DE CADA FRUTA
A	200-350 gr.
B	351-550 gr.
C	551-800 gr.

Tabla 3.- Clasificación del mango según su peso

La madurez de un mango en la cosecha es el factor más importante que determina el sabor de la fruta cuando los consumidores lo llevan a casa. Las normas actuales de USDA revelan que un mango se considera “maduro” cuando exhibe suficiente desarrollo como para madurar correctamente después del manejo en la cosecha y postcosecha, sin embargo, esta descripción ambigua deja mucho campo para la interpretación. Lamentablemente, el 25% del mango que entra a Estados Unidos en la actualidad llega en estado inmaduro, dice Kader. En la actualidad, las normas Europeas e Internacionales definen criterios de calidad más específicos para el mango que las normas de clasificación de Estados Unidos.

VARIEDAD	CARACTERISTICAS DE COLOR-MADUREZ
Tommy Atkins	Amarillo y naranja, con visos rojos que pueden cubrir toda la fruta
Haden	Amarillo, con visos rojos
Kent	Verde y amarillo, con visos de rojo oscuro
Keitt	Verde con visos amarillos
Irwin	Rojo
Van Dyke	Amarillo, con visos rojos

Tabla 4.- Nivel de maduración del mango comercial



Las normas de Estados Unidos para el mango deben actualizarse para incluir algunos índices de madurez objetivos, incluyendo comentarios acerca del cambio en la forma de la fruta (desarrollo de hombros anchos), el cambio del color de la piel en algunas variedades, el cambio del color en la pulpa, y mediciones mínimas de contenido de sólidos solubles y/o contenido de sólidos totales. La actualización de las normas ayudaría a asegurar que el mango cuenta con una calidad más consistente a nivel menudeo.

## **PROCESO DE UNA EMPACADORA DE MANGO**

La labor de la planta empacadora varía de acuerdo al manejo, tecnología y el destino de la fruta. Si está destinada para Estados Unidos hay una restricción para las frutas que son atacadas por las moscas del género *Anastrepha*, razón por la cual a la fruta se le deberá dar un tratamiento térmico especial con el que se garantizara la inexistencia de esta plaga.

En la figura 4 se presenta el diagrama de flujo del mango para ser exportado a Estados Unidos.

### Recepción de la fruta

La fruta procede de diferentes huertas que en algunos casos son huertas certificadas por organismos internacionales, la fruta que llega es recibida en cajas cosecheras, las cuales deben ser tratadas con mucho cuidado para evitar que pueda sufrir daño alguno y por ende sean rechazadas. No es recomendable dejar por mucho tiempo la fruta en la planta empacadora antes de procesarla, porque esto puede causar su deterioro y su posterior rechazo.

Se acepta la fruta previa evaluación y aprobación del Departamento de control de Calidad. El promedio de cajas por camión es de 600 cajas, conteniendo cada una 20 kilos de mango fresco.

### Lavado de la fruta

Para el lavado de la fruta se utiliza una solución de agua con cloro a un nivel de 15 ppm (43 ml de solución de hipoclorito de sodio al 3.5% -cloro líquido comercial por cada 100 litros de agua), esto con el fin de reducir la carga microbiana, y de eliminar cualquier suciedad o mancha de látex, además de actuar como agente desinfectante es decir contrarrestar impurezas y suciedades del fruto. Se debe tener en cuenta que esta solución deberá permanecer limpia pues, las partículas de materia orgánica desactivan la solución. Después del lavado con agua con cloro se procede a lavar con agua potable para eliminar cualquier residuo de cloro en el producto.

### Calibrado y pesado

El pesado de la fruta es un control, con el cual se determinara el volumen que maneja la planta empacadora, o en el caso de que reciba fruta de varios proveedores sirve para determinar el volumen de cada uno de ellos. La selección y calibración de la fruta es de suma importancia pues en ella radica el éxito para cumplir con los estándares y características internacionales para exportación y rechazar alguna fruta que no cumpla estos parámetros; los parámetros a tomar en cuenta para una óptima selección son: fruta sana, ausencia de ataques de insectos, ausencia de golpes, roces o manchas, estado de madurez fisiológica, tamaños, color y textura uniformes y característicos del fruto.

### Tratamiento con agua caliente

Una vez separados los mangos por tamaños y calibres, la fruta es sometida al Tratamiento Hidrotérmico, se calienta en agua a 115°F por 75 minutos (calibres pequeños 12, 14,16) y 90 minutos para los grandes (8, 9,10). El propósito de esta fase es controlar térmicamente la antracnosis, que es la enfermedad más común del mango durante el

manejo postcosecha. La fruta que se exportará a países que no exigen tratamiento pasa directamente de la seleccionadora a la línea de empaque.

#### Tratamiento con cera funguicida

En esta fase se realiza por aspersion con una cera funguicida (Tiabendazol, Tecto o Mertec) con el fin de tener un control químico de todos los patógenos presentes en el exterior y periferia de la fruta. La acción de esta solución funguicida dura desde el periodo de almacenamiento hasta su consumo.

#### Empaque

El mango para que sea apreciado cuando llegue al consumidor final deberá presentar un buen aspecto, excelente sabor, alta calidad y la caja (empaque) deberá ayudar a mantenerlos. Es por esto que el empaque debe proteger y transportar, por lo que tiene tanta importancia como la misma fruta. Algunas de las diferentes condiciones adversas que debe soportar un empaque son: deterioro, daños mecánicos (golpes), variación de temperatura, variación de humedad, olores, insectos, plagas, roedores, entre otros.

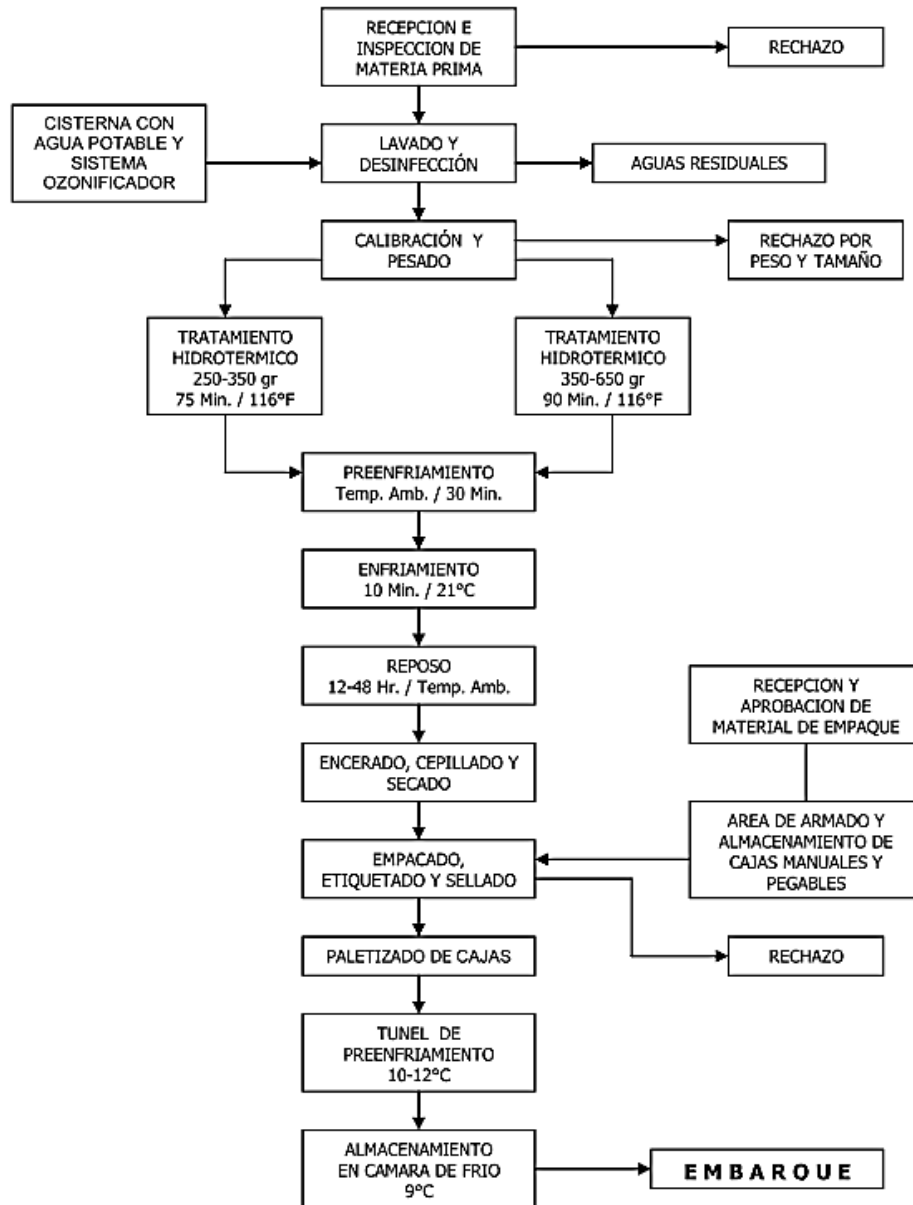


Figura 4.- Flujograma del proceso de una planta empacadora de mango

## METODOLOGIA.

El proceso de toma de decisiones en una planta empacadora de mango es de vital importancia, para esto, es importante realizar un análisis previo de las variables ambientales, en lo relacionado con la producción y procesamiento del mango, es

importante tener información tal como: número de huertos que suministrarán el producto, características e historial del huerto, variables macroeconómicas sobre comercialización del producto, etc. Esto permitirá conocer de manera particular el número de personas que integrarán el proceso de calidad del mango.

El presente trabajo propone dos escenarios ejemplares para el proceso de una empacadora basado en un software de simulación (Arena), para establecer los parámetros óptimos sobre el número de personas que deberán intervenir en dicha empacadora (fig. 5, 6). Es importante recalcar que una de las principales preocupaciones de una empacadora es empacar mangos de calidad, para lo cual, generalmente, el proceso de selección se realiza de manera natural por los trabajadores.

## RESULTADOS.

En el primer escenario se presenta el proceso de selección de mango mediante un conjunto de 10 personas, este proceso permite retener hasta un 20% del mango defectuoso.

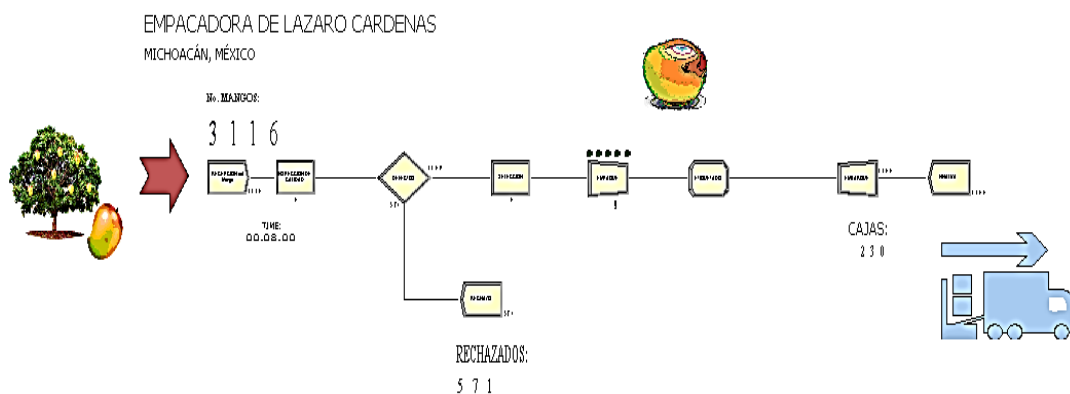


Figura 5.- Modelo 1 para una empacadora de mango

MANGOS	Rechazados	CAJAS	Tiempo
3116	571	230	8 min.

Tabla 5.- Tabla de resultados para el primer escenario

El segundo escenario presenta dos procesos de selección y rectificación del mango, el primero permite discriminar hasta el 20% de mango defectuoso, el segundo proceso de selección permite desechar hasta el 10%, y se considera principalmente aquel producto que no reúne los requisitos de calidad basado en el tamaño.

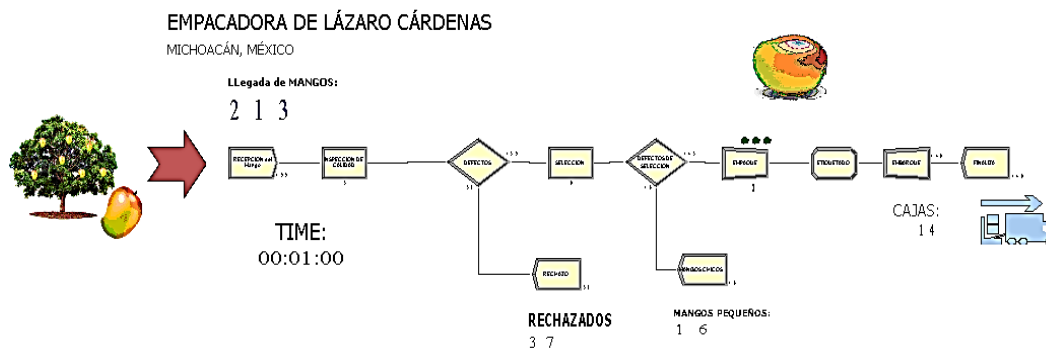


Figura 6.- Modelo 2 para una empacadora de mango

MANGOS	Rechazados	CAJAS	Tiempo
213	37 + 16 = 53	14	1 min.

Tabla 6.- Tabla de resultados para el segundo escenario

Con el segundo escenario se puede constatar que si se aplican más filtros de selección podemos obtener un mejor mango de calidad y disminuir la cantidad de mango defectuoso. Esto tiene el inconveniente de que si queremos más filtros de selección, requeriremos más trabajadores que lo realicen, y que por tanto se requiere más inversión para dicho proceso, una de las ventajas de crear un modelo simulado es que permite probar con diferentes escenarios para obtener los parámetros más adecuados a los requerimientos de los clientes.

## **CONCLUSIONES.**

Después del análisis de los diferentes escenarios desarrollados con la simulación se puede concluir lo siguiente:

La utilización de la herramienta de simulación permite analizar variables de sistemas complejos, que permitan el soporte de la toma de decisiones. Permitiendo analizar diferentes escenarios para poder realizar una mejor toma de decisión, para contribuir en proceso de mejora. Para el proceso de una empacadora de mango es importante obtener producto de buena calidad para poder comercializarlo dentro y fuera del país. La tarea de seleccionar el mango sin defectos, es una tarea muy importante.

Algunos de los defectos de calidad de la fruta se arrastran desde el proceso de cosecha en los huertos. Esto involucra un análisis más amplio sobre calidad del producto. Esto tiene que ver con la tarea que los cortadores de mango realizan, ya que son estos, que al cortar el fruto le producen golpes que repercuten en la mala calidad del fruto. Se podría proponer que no solo sean varones los cortadores, sino que sean mujeres para poder analizar el efecto de dicho experimento.

## **RECONOCIMIENTO.**

Queremos agradecer de manera sincera a las personas que participaron en esto proyecto, a todas las empacadoras que nos proporcionaron información, y huerteros del municipio, muchas gracias.

## **REFERENCIAS.**

- BAEZ, 1995      Baez Reginaldo. "Norma Mexicana de calidad para el mango fresco".  
*Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A-C*, Guadalajara  
Jalisco, México, 1995.
- EMPR, 2015      "Empacadoras de mango de exportación A.C. Directorio de socios"  
<http://www.mangoemex.com>, Julio, 2015.
- TPM, 2015      "Top production mangoes". <http://goo.gl/TD3ZRu>, Julio, 2015.
- VELAZCO,  
2005              Velasco, J. "Gestión de la calidad: Mejora continua y sistemas  
de gestión", Pirámide, Madrid.
- ADEL, 2008      Adel A. Kader, "Mango precortado como producto de valor  
agregado", Consultor Manejo Post Cosecha de Frutas, Kader  
Consulting Service (2008).
- ROJAS, 2012      Rojas, D. "Software de tratamiento digital de imágenes para la  
selección de mango de exportación". (Tesis), I.T. de Toluca,  
2012.