

# Desarrollo tecnológico para asegurar la calidad postcosecha de frutos de chayote para exportación

Cadena-Iñiguez, Jorge<sup>1</sup>; Arévalo-Galarza, Ma. de Lourdes<sup>2</sup>; Romero-Velázquez Siul Denise<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, *Campus* San Luis Potosí, San Iturbide No. 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí C.P. 78600, México.

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo, Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, C.P. 56264, México.

## Definiciones y contexto

La Ley de Ciencia y Tecnología define al Desarrollo Tecnológico, como el uso sistemático del conocimiento y la investigación, dirigidos hacia la producción de materiales, dispositivos, sistemas o métodos, incluyendo el diseño, desarrollo, mejora de prototipos, procesos, productos, servicios o modelos organizativos.

## Contexto del problema

El chayote [*(Sechium edule* (Jacq.) Sw.)], es un producto de exportación, cuyo uso principal es el alimentario; el fruto en madurez hortícola o fisiológicamente maduro es el órgano principal de consumo como verdura. México es el principal productor y exportador mundial, y la comercialización tiene como destinos principales los Estados Unidos de América y Canadá. El chayote se cosecha manualmente y su alta susceptibilidad a la fricción, rodamiento, oxidación y manipulación durante la selección y empaque, reduce la calidad microbiológica del producto, con riesgo de transmisión de enfermedades gastrointestinales. Uno de los problemas que enfrentan las variedades de chayote es el viviparismo (germinación de la semilla) que reduce la vida de anaquel y es castigado en el mercado destino. El fruto presenta alta tasa de transpiración, generando agua condensada en el empaque, que propicia proliferación de enfermedades.

## Soluciones planteadas

Se diseñó un equipo para el tratamiento y empaque de frutos de chayote; consistente en un clasificador, un equipo de limpieza, un equipo para desinfección mediante agua ozonificada, equipos que aplican una capa de cera y equipo de emisión de rayos UV para reducir incidencia de viviparismo y carga microbiológica. El equipo registrado como Modelo de Utilidad (Patente) permite el empaque en un tren de flujo continuo de grandes

**Cómo citar:** Cadena-Iñiguez, J., Arévalo-Galarza, Ma. de L., & Romero-Velázquez, S. D., (2023). Desarrollo tecnológico para asegurar la calidad postcosecha de frutos de chayote para exportación. *Agro-Divulgación*, 3(2). <https://doi.org/10.54767/ad.v3i2.179>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: junio 2023.

*Agro-Divulgación*, 3(2). Marzo-Abril. 2023. pp: 51-62.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



cantidades de fruto sin daño, mantiene la calidad y evita caídas entre rampas, rodamiento, fricción, acelera la selección y empaque por calidades y reduce pérdidas por manejo rudo. Se evaluó la efectividad de la luz ultravioleta (1, 3 y 5  $\text{kJ m}^{-2}$ ) y agua ozonificada en frutos de chayote, registrando reducción del viviparismo por el efecto de la luz UV-C y menor pérdida de peso en frutos irradiados con 1  $\text{kJ m}^{-2}$  comparados con el testigo, si afectar cualidades bioquímicas (sólidos solubles °Brix); dosis mayores a 3  $\text{kJ m}^{-2}$  pueden provocar quemaduras. Frutos lavados con agua ozonificada tuvieron menores pérdidas de peso además de reducir la incidencia de ampolla mostrando calidad superior respecto a frutos testigo.

## **Tecnología y aplicación sistemática**

### **Equipo**

Máquina lineal para el tratamiento de frutos en madurez hortícola de las diferentes variedades de chayote. Consiste en un tren de flujo continuo, utiliza una banda lisa sin rodillos para la transportación de frutos de chayote a través de diferentes módulos, cada uno de los cuáles desempeña una función específica (Figura 1).

Primer módulo. Los frutos son vertidos en la banda lisa sin rodillos, posterior a su recolección en campo. Transporta los frutos de chayote hacia una zona de lavado, que presenta un dispositivo de dispersión de agua ozonificada. Contiene 23 boquillas distribuidos en forma alternada tres hileras de cinco boquillas y dos hileras de cuatro boquillas a través de un tubo de policloruro de vinilo (PVC) de  $\frac{3}{4}$ ". Cuenta con un sistema independiente productor de agua ozonificada en concentración de 2-3 ppm (partes por millón). Se conecta a través de tubos de PVC a la máquina, el agua ozonificada se distribuye a través de las boquillas de lavado, con la finalidad de eliminar basura y microorganismos de la epidermis, tales como hongos y bacterias. El agua es bombeada desde un pequeño recipiente con tres rejillas móviles con malla de luz de 1 a 10 mm para eliminar residuos finos (algas, plásticos, hierbas, hojas, ramas, etc.) que se abastece de la tina colocada en la parte inferior del módulo.

Segundo módulo. Comprende una banda lisa sin rodillos. En la parte superior corre otra banda en donde colocarán los frutos que no reúnen los requisitos de calidad, ésta se conecta a otra banda conectada a 45° con otro módulo paralelo, en donde se seleccionarán los frutos de 2ª y 3ª calidad.

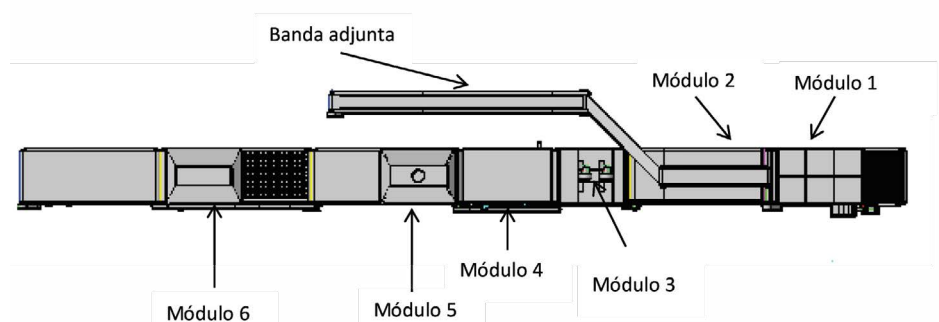
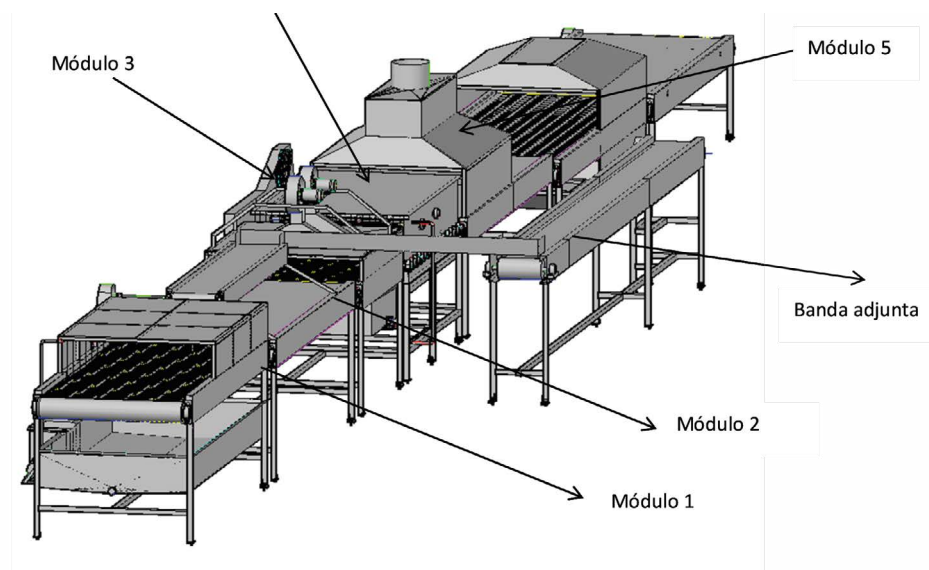
Tercer módulo. El módulo de presecado presenta dos ventiladores de caracol o fuelle colocados y soportados en la parte superior de módulo, éstos arrojan aire a temperatura ambiente a los chayotes que son transportados por la banda lisa sin rodillos, de esta manera se eliminan los remanentes de agua antes de pasar al módulo de encerado. El flujo de aire es emitido por los ventiladores es de aproximadamente  $2 \text{ ms}^{-1}$ .

Cuarto modulo. Los frutos son transportados a este módulo mediante la banda lisa sin rodillos. El módulo presenta cuatro espreas de aplicación de cera que son alimentadas a través de un tubo que está interconectado a un depósito que contiene la emulsión de cera líquida que se envía a través de una bomba integrada en el depósito. La cera para aplicar en frutos de chayote deberá presentar un contenido de sólidos menor al 10%. No se aplica fungicida de origen sintético u otro a la cera. Detrás de las espreas y por encima de la ban-

da se encuentran dos esponjas suaves en forma de rodillos que permiten el terminado de aplicación a la parte de los frutos de chayote que no reciben directamente el recubrimiento. Se observa una banda en “V” que conecta el tercer y quinto módulo, debido a que el cuarto módulo funciona de forma independiente con motor.

Quinto módulo. Los frutos de chayote son llevados a través de la banda a este módulo para secar la emulsión de cera. Consiste en un panel con resistencia eléctrica que hace la función de horno integrado a la cadena para calentar el aire a una temperatura de entre 25 y 30 °C, esta resistencia está soportada por una rejilla, en donde el aire es enviado por el ventilador vertical para acelerar el secado de la cera aplicada. Los frutos de chayote encerado se empaican manualmente en forma individual en envolturas de polietileno transparente, o cerapel (papel encerado) los cuales tienen cinco perforaciones por lado y siguen su paso hacia el último módulo.

Sexto módulo. Consiste en un panel en donde se encuentran colocadas tres lámparas de aplicación UV-C, que están sobre la banda. Dichas lámparas son lámparas germicidas que aplican una dosis de entre 0.5 a 5  $\text{KJm}^2$  (dependiendo de la variedad de chayote) por tiempos no mayores a 2 minutos. La distancia entre las lámparas y el producto debe ser no menor a 60 cm, y dosis mayores a las indicadas pueden provocar senescencia acelerada del producto. El módulo es cerrado con el fin de proteger a los operadores de la incidencia



de rayos UV-C (254 nm). Debajo de dicho panel se encuentra una banda transportadora la cual presenta una pluralidad de huecos de tamaño y forma tal que permite colocar de forma inversa el fruto de chayote empaquetado (exponiendo la parte distal de germinación) sin que éste caiga o se maltrate, y que permita además aplicar una dosis adecuada de radiación en la parte distal del fruto. La banda en “V” presente puntea el quinto modulo y la banda final del empaque.

## Infraestructura

### Material biológico u otros

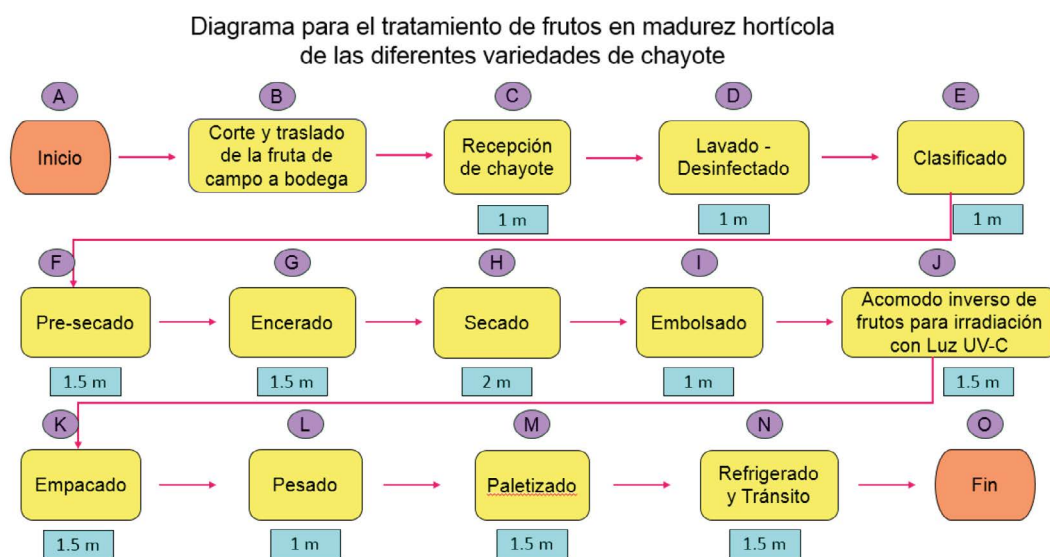
El equipo para pretratamiento y empaque de frutos de chayote está diseñado para el tratamiento de todas las variedades de chayote, por lo que se infiere que se puede utilizar para el total de las variedades de chayote.

### Sumario de técnicas

Diagrama de flujo que describe las fases del proceso tecnológico (Figura 1).

### Descripción de cada fase del diagrama

- A. Inicio. Este apartado indica el inicio del proceso.
- B. Corte y traslado de la fruta de campo a bodega.
- C. Recepción de chayote. Los frutos de chayote proveniente del campo son recibidos y vertidos en la banda lisa sin rodillos, dicha banda transporta los frutos hacia la zona de lavado.
- D. Lavado – Desinfectado. El lavado de los frutos se realiza con agua ozonificada con el objeto de eliminar basura y microorganismos de la epidermis tales como hongos y bacterias.



**Figura 1.** Diagrama de acciones para el tratamiento postcosecha de frutos en madurez hortícola de las diferentes variedades de chayote.

- E. Clasificado. Los frutos son seleccionados de acuerdo a su calidad, en la banda de la parte superior se colocan los frutos de 2<sup>a</sup> y 3<sup>a</sup> calidad.
- F. Presecado. Los frutos de chayote que son transportados por la banda sin rodillos son pasados bajo dos ventiladores de caracol que arrojan aire a temperatura ambiente, de este modo los remanentes de agua son eliminados.
- G. Encerado. Se aplica cera líquida de grado alimentario a los frutos de chayote con el propósito de reemplazar las ceras naturales removidas en el lavado, además de reducir la transpiración y consecuentemente pérdidas de peso, las imperfecciones físicas por manejo son atenuadas y se mantiene o mejora la apariencia.
- H. Secado. Los frutos encerados son secados mediante el uso de aire caliente a una temperatura entre 25 y 30 °C que es enviado por un ventilador vertical.
- I. Embolsado. Los frutos encerados se empacan manualmente en forma individual con envolturas de polietileno transparente o cerapel (papel encerado), los cuales tienen cinco perforaciones por lado.
- J. Acomodado inverso de frutos para irradiación con luz UV-C. Los frutos embolsados son transportados por una banda con huecos que permiten colocar de forma inversa el fruto de chayote, exponiendo la parte distal de germinación. La aplicación de luz UV-C es emitida por tres lámparas a una dosis entre 0.5 a 5 KJ m<sup>-2</sup> por tiempos no mayores a 2 minutos, esta aplicación permite reducir la incidencia de viviparismo y favorece una vida de anaquel más larga.
- K. Empacado. Los frutos de chayote son empacados en cajas de cartón nuevas con la finalidad de protegerlos durante el transporte hasta su destino final. Son empacados de acuerdo con el calibre. Las cajas de cartón son identificadas con los datos de la empresa, el nombre del producto, el país de origen, la categoría y calibre del tipo de chayote.
- L. Pesado. Las cajas en las que son empacados los frutos de chayote se adecuan a tres presentaciones, la primera de 15 lb de peso, la segunda de 30 lb y la tercera de 40 lb.
- M. Paletizado. Las cajas son acomodadas en palletes de acuerdo con el número de cajas y el peso de éstas 7×7 para 40 lb.
- N. Refrigerado y tránsito. Los frutos de chayote son depositados en la caja refrigerada de 48 o 53 pies cúbicos, listas para su transporte hacia el mercado de destino.
- O. Fin. Aquí finaliza el proceso.

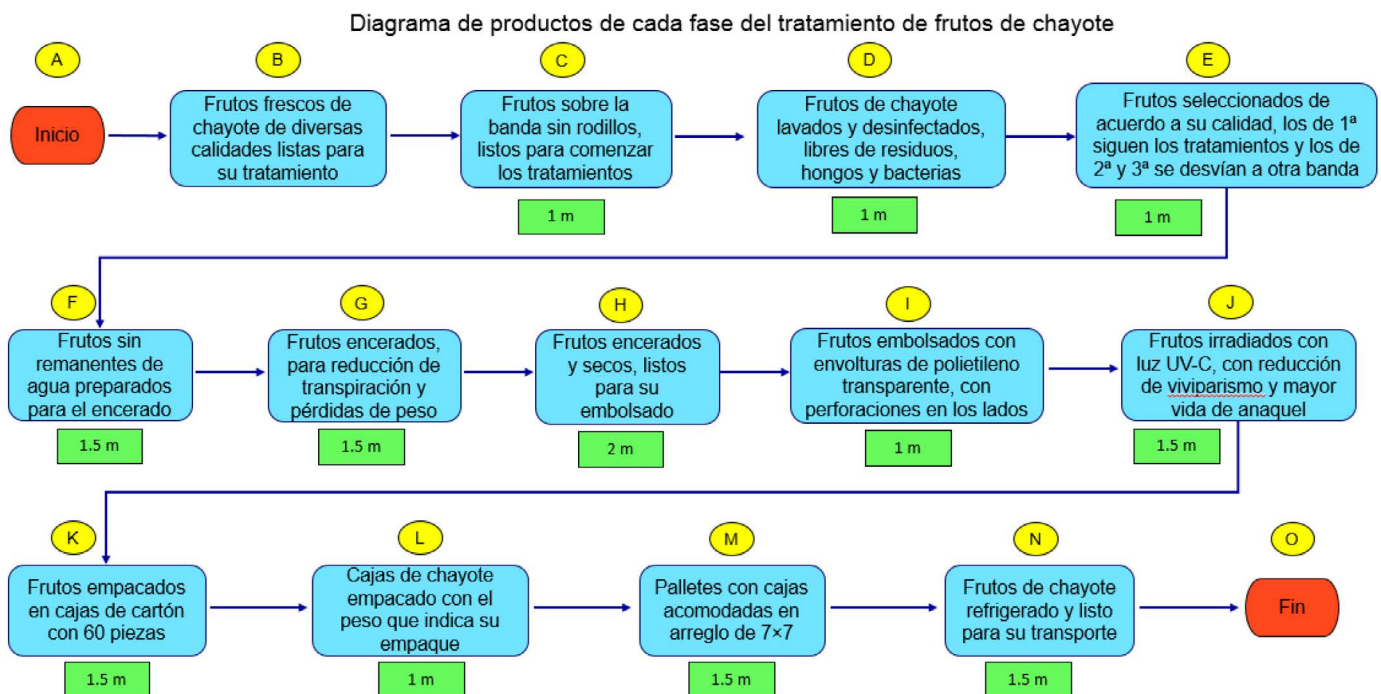
### **Tiempos de cada fase del diagrama**

El tiempo para cada fase del diagrama se determinó a partir de un dato conocido, se sabe que por un día de trabajo (8 h) se empacan aproximadamente 2.5 contenedores de frutos de chayote de primera calidad. Con esta información se determinó el tiempo para completar 1 contenedor y posteriormente se repartió este tiempo de manera equitativa entre las 12 fases de trabajo, quedando 16 min por fase. En seguida, el periodo de 16 minutos se dividió entre las 12 fases, debido a que cada fase trabaja de manera simultánea y no de manera consecutiva. De la misma forma se determinó la cantidad de frutos de chayote trabajado en cada fase del proceso.

**Cuadro 1.** Distribución del tiempo y productos durante el proceso.

| Tiempo                               | Cantidad | Unidad                           |
|--------------------------------------|----------|----------------------------------|
| 8 h                                  | 2695     | cajas                            |
| 8 h                                  | 55       | palletes                         |
| 8 h                                  | 2.5      | contenedores                     |
| 3.2 h ± 20 min                       | 1        | contenedor                       |
| 1 h                                  | 0.31     | contenedores                     |
| 1 h                                  | 337      | cajas                            |
| 1 min                                | 5.6      | cajas                            |
| 192 min                              | 1        | contenedor (12 fases de trabajo) |
| 16 min                               | 1        | fase de trabajo                  |
| 16 min                               | 90       | cajas                            |
| 1.3 min                              | 7.5      | cajas por fase                   |
| 1 min                                | 5.6      | cajas por fase                   |
| <i>60 Frutos de chayote por caja</i> |          |                                  |
| 1.3 min                              | 450      | × 7.5 cajas                      |
| 1 min                                | 337      | frutos                           |

### Productos de cada fase del diagrama

**Figura 2.** Diagrama de productos y tiempo de cada fase en el tratamiento de frutos en madurez hortícola de las diferentes variedades de chayote.



Cuadro 2. Continuación...

| Indicador | Embolsado      | Irradiación con luz UV-C | Empacado       | Pesado         | Paletizado     | Refrigerado y tránsito |
|-----------|----------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------------|
| I         | 337 frutos/min |                          |                |                |                |                        |
|           | 5.6 cajas/min  |                          |                |                |                |                        |
|           | 337 cajas/h    |                          |                |                |                |                        |
|           | 2696 cajas/8 h |                          |                |                |                |                        |
| J         |                | 337 frutos/min           |                |                |                |                        |
|           |                | 5.6 cajas/min            |                |                |                |                        |
|           |                | 337 cajas/h              |                |                |                |                        |
|           |                | 2696 cajas/8 h           |                |                |                |                        |
| K         |                |                          | 337 frutos/min |                |                |                        |
|           |                |                          | 5.6 cajas/min  |                |                |                        |
|           |                |                          | 337 cajas/h    |                |                |                        |
|           |                |                          | 2696 cajas/8 h |                |                |                        |
| L         |                |                          |                | 5.6 cajas/min  |                |                        |
|           |                |                          |                | 337 cajas/h    |                |                        |
|           |                |                          |                | 2696 cajas/8 h |                |                        |
| M         |                |                          |                |                | 5.6 cajas/min  |                        |
|           |                |                          |                |                | 6.9 palletes/h |                        |
|           |                |                          |                |                | 55 palletes/8h |                        |
| N         |                |                          |                |                |                | 6.9 palletes/h         |
|           |                |                          |                |                |                | 55 palletes/8h         |

Los indicadores determinados para cada lapso de trabajo fueron el número de cajas procesadas por minuto, hora, por día de trabajo, palletes y contenedores finalizados en un día de trabajo. De manera simultánea se determinó el número de frutos de chayote necesarios para alimentar los procesos de tratamiento, de acuerdo al ritmo de trabajo.

Sistema de tratamiento de frutos de chayote con tiempo de llenado de un contenedor en 3.2 horas (Cuadro 3 y 4).

Sistema de tratamiento de frutos de chayote con tiempo de llenado de un contenedor en 3.5 horas (Cuadro 5 y 6).

Sistema de tratamiento de frutos de chayote con tiempo de llenado de un contenedor en 2.9 horas (Cuadro 7 y 8).

### Integración de indicadores obtenidos

Se utiliza 1 y 0.5 para referirse a la cantidad de frutos de chayote que reciben los tratamientos, debido a que al inicio del proceso se encuentran juntos los frutos de 1°, 2° y 3° calidad, después del clasificado siguen su destino los frutos de 1° calidad.

**Cuadro 3.** Indicadores de evaluación para llenar un contenedor en 3.2 h.

| Tiempo                               | Cantidad | Descripción                      |
|--------------------------------------|----------|----------------------------------|
| 8 h                                  | 2695     | Cajas                            |
| 8 h                                  | 55       | Palletes                         |
| 8 h                                  | 2.5      | contenedores                     |
| 3.2 h                                | 1        | contenedor                       |
| 1 h                                  | 0.31     | contenedores                     |
| 1 h                                  | 337      | cajas                            |
| 1 min                                | 5.6      | cajas                            |
| 192 min                              | 1        | contenedor (12 fases de trabajo) |
| 16 min                               | 1        | fase de trabajo                  |
| 16 min                               | 90       | cajas                            |
| 1.3 min                              | 7.5      | cajas por fase                   |
| 1 min                                | 5.6      | cajas por fase                   |
| <i>60 Frutos de chayote por caja</i> |          |                                  |
| 1.3 min                              | 450      | Frutos por 7.5 cajas             |
| 1 min                                | 337      | Frutos                           |

**Cuadro 4.** Frutos de chayote necesarios para llenar un contenedor en 3.2 h.

| Reciba de frutos |            |            |              |               |
|------------------|------------|------------|--------------|---------------|
| Calidad          | %          | Frutos/min | Frutos/h     | Frutos/8h     |
| Exportación      | 50         | 337        | 20220        | 161760        |
| 1° exportación   | 25         | 168.5      | 10110        | 80880         |
| 2° y 3°          | 25         | 168.5      | 10110        | 80880         |
|                  | <b>100</b> | <b>674</b> | <b>40440</b> | <b>323520</b> |

**Cuadro 5.** Indicadores de evaluación para llenar un contenedor en 3.5 h.

| Tiempo                               | Cantidad | Descripción                      |
|--------------------------------------|----------|----------------------------------|
| 8 h                                  | 2441     | Cajas                            |
| 8 h                                  | 49.8     | Palletes                         |
| 8 h                                  | 2.3      | contenedores                     |
| 3.5 h                                | 1        | contenedor                       |
| 1 h                                  | 0.28     | contenedores                     |
| 1 h                                  | 305      | Cajas                            |
| 1 min                                | 5.1      | Cajas                            |
| 212 min                              | 1        | contenedor (12 fases de trabajo) |
| 17.7 min                             | 1        | fase de trabajo                  |
| 17.7 min                             | 90       | cajas                            |
| 1.5 min                              | 7.5      | cajas por fase                   |
| 1 min                                | 5.1      | cajas por fase                   |
| <i>60 Frutos de chayote por caja</i> |          |                                  |
| 1.5 min                              | 450      | Frutos por 7.5 cajas             |
| 1 min                                | 305      | Frutos por fase                  |

**Cuadro 6.** Frutos de chayote necesarios para llenar un contenedor en 3.5 h

| Reciba de frutos |            |            |              |               |
|------------------|------------|------------|--------------|---------------|
| Calidad          | %          | Frutos/min | Frutos/h     | Frutos/8h     |
| Exportación      | 50         | 305        | 18300        | 146400        |
| 1° exportación   | 25         | 152.5      | 9150         | 73200         |
| 2° y 3°          | 25         | 152.5      | 9150         | 73200         |
|                  | <b>100</b> | <b>610</b> | <b>36600</b> | <b>292800</b> |

**Cuadro 7.** Indicadores de evaluación para llenar un contenedor en 2.9 h.

| Tiempo                               | Cantidad |                                  |
|--------------------------------------|----------|----------------------------------|
| 8 h                                  | 3008     | Cajas                            |
| 8 h                                  | 61.4     | Palletes                         |
| 8 h                                  | 2.8      | contenedores                     |
| 2.9 h                                | 1        | contenedor                       |
| 1 h                                  | 0.35     | contenedores                     |
| 1 h                                  | 376.0    | Cajas                            |
| 1 min                                | 6.3      | Cajas                            |
| 172 min                              | 1        | contenedor (12 fases de trabajo) |
| 14.3 min                             | 1        | fase de trabajo                  |
| 14.3 min                             | 90       | cajas                            |
| 1.2 min                              | 7.5      | cajas por fase                   |
| 1 min                                | 6.3      | cajas por fase                   |
| <i>60 Frutos de chayote por caja</i> |          |                                  |
| 1.2 min                              | 450      | Frutos por 7.5 cajas             |
| 1 min                                | 376      | Frutos por fase                  |

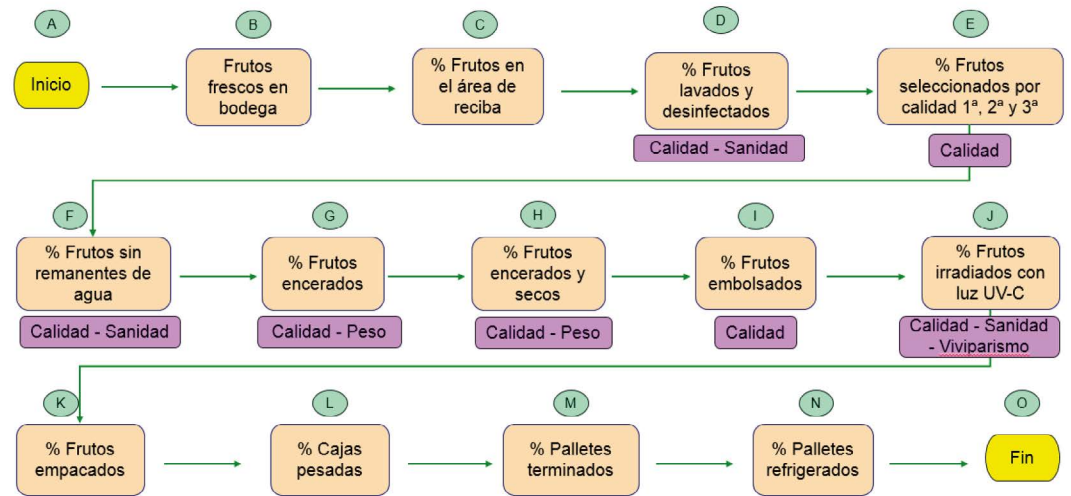
**Cuadro 8.** Frutos de chayote necesarios para llenar un contenedor en 2.9 h.

| Reciba de frutos |            |            |              |               |
|------------------|------------|------------|--------------|---------------|
| Calidad          | %          | Frutos/min | Frutos/h     | Frutos/8h     |
| Exportación      | 50         | 376        | 22560        | 180480        |
| 1° exportación   | 25         | 188        | 11280        | 90240         |
| 2° y 3°          | 25         | 188        | 11280        | 90240         |
|                  | <b>100</b> | <b>752</b> | <b>45120</b> | <b>360960</b> |

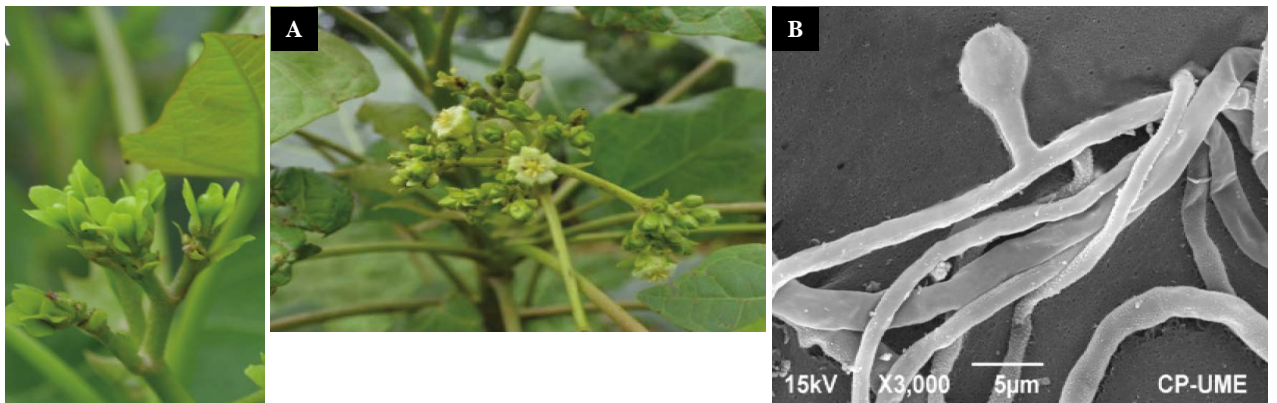
**Cuadro 9.** Indicadores de calidad de los frutos de chayote.

| Variable    | Ozono | Secado | Clasificado | Encerado | Embolsado | Luz UV-C |
|-------------|-------|--------|-------------|----------|-----------|----------|
| Calidad     | 1     | 1      | 0.5% 1°     | 0.5      | 0.5       | 0.5      |
|             |       |        | 0.25% 2°    |          |           |          |
|             |       |        | 0.25% 3°    |          |           |          |
| Sanidad     | 1     |        |             |          |           | 0.5      |
| Viviparismo |       |        |             |          |           | 0.5      |
| Peso        |       | 1      |             | 0.5      |           |          |

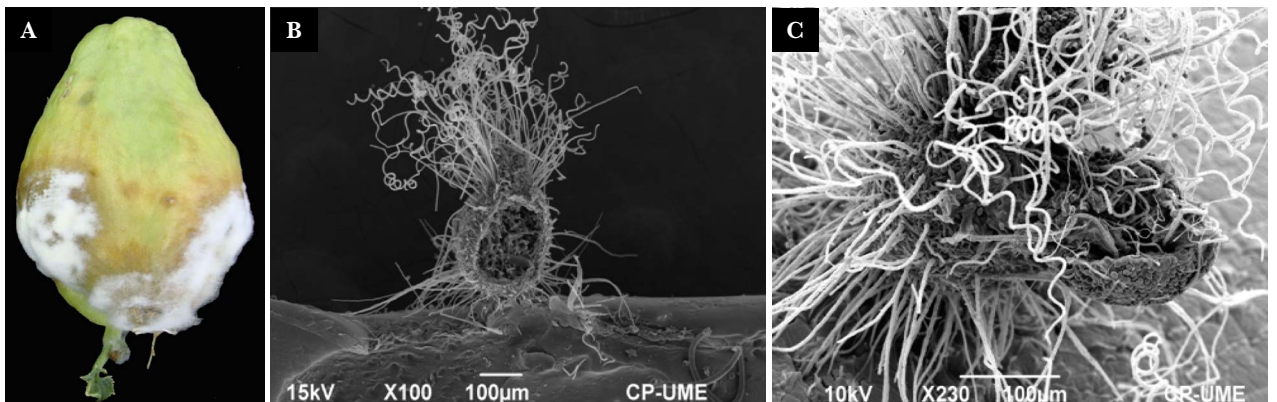
### Diagrama de resultados derivado de los indicadores



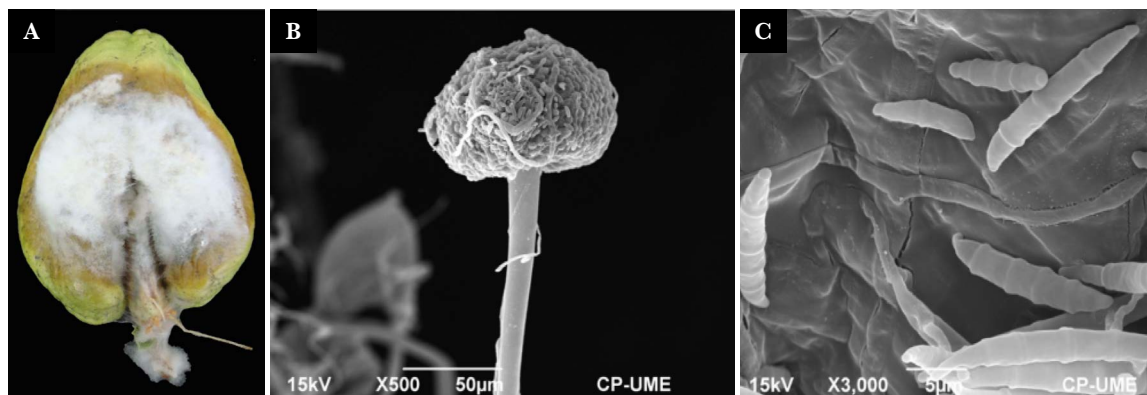
**Figura 3.** Diagrama de resultados derivado de los indicadores.



**Figura 4.** A: síntomas causados en frutos de chayote por *Fusarium oxysporum*. B: Micrografía de microscopio electrónico de barrido a 2200X de macroconidios. C: Micrografía de una clamidospora de *F. oxysporum* a 3000X.



**Figura 5.** A: Síntomas causados en frutos de chayote por *Fusarium solani*. B-C: Micrografías de microscopio electrónico de barrido a 500X y 3000X de un conidióforo de *F. solani*.



**Figura 6.** A: Síntomas causados en frutos de chayote por *Chaetomium globosum*. B-C: Micrografías de microscopio electrónico de barrido a 1000X y ascomas del mismo (230X).



**Figura 7.** Frutos sanos de chayote con calidad exportación.



**Figura 8.** Modelo de Utilidad registrado ante el INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL: Patente Otorgada: 8 abril 2015.