

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE  
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**ESCALAMIENTO DE UNA FORMULACIÓN SANITIZANTE NATURAL**

**TESIS**

PRESENTA

**ANA KAREN ROMERO PINEDA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

Asesor de Tesis:

**D. C. MA. DEL CARMEN CHÁVEZ PARGA**

CO ASESOR DE TESIS:

**D. C. MAURO MANUEL MARTÍNEZ PACHECO**

MORELIA, MICHOACÁN, JUNIO DEL 2017

# AGRADECIMIENTOS

A mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida. A mi madre que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos. A mi padre por ser el ejemplo para salir adelante.

A mi mamá Luisa, por su apoyo incondicional y sus consejos, para hacer de mí una mejor persona, siempre sentí su mano protectora, su voz de aliento y respaldo. Gracias por enseñarme a ser quien soy hoy y por siempre llevarme en sus oraciones.

A Carlos por estar siempre a mi lado en todo momento y ser mi compañero, por su apoyo absoluto e ilimitado. Muchísimas gracias por tus consejos y paciencia.

A la M. C. Rosa María por compartir sus conocimientos, por su amistad y por el apoyo incondicional que tuvo conmigo para poder alcanzar este triunfo.

Al M. C. Alberto por sus enseñanzas, consejos y por ayudarme siempre que lo necesité, además de haberme brindado su amistad.

A mis compañeros y amigos por compartir conmigo grandes momentos de alegría y tristeza.

A mis compañeros y amigos del laboratorio de Fisiología Celular de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por su amistad, apoyo y por compartir buenos y malos momentos conmigo.

A todos mis maestros por sus conocimientos, consejos, confianza y formación.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo la cual abrió sus puertas del conocimiento para mí, así como las facilidades para concluir exitosamente mis estudios de la Licenciatura en Ingeniería Química, nido de muchos que como yo eligieron esta extraordinaria carrera y que con mucho orgullo, amor, pasión y respeto representaré.

Al profesorado de la Facultad de Ingeniería Química donde recibí mi entrenamiento académico y al del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas en donde llevé a cabo el trabajo de investigación experimental para el planteamiento y defensa de esta tesis.

Al gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

A mis sinodales, gracias por sus consejos, aportaciones y por el tiempo que me han dedicado para leer este trabajo.

A la D. C. Ma. Del Carmen Chávez Parga por darme la oportunidad de desarrollarme en este proyecto de Investigación y por sus valiosas aportaciones.

Al D. C. Mauro Manuel Martínez Pacheco, quiero agradecerle de forma muy especial todo el tiempo dedicado, los importantes aportes y sugerencias que contribuyeron al desarrollo de esta tesis. Su apoyo, no solo intelectual, hizo que el realizar mi tesis haya sido mucho más grato y amable, no solo me ayudó a enriquecerme intelectualmente sino que además me llevo sus grandes cualidades como ser humano.

# CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ABREVIATURAS</b>   | <b>V</b>  |
| <b>I. RESUMEN</b>   | <b>1</b>  |
| <b>Abstract</b>   | <b>3</b>  |
| <b>1.1. Justificación</b>   | <b>4</b>  |
| <b>1.2. Objetivos</b>   | <b>5</b>  |
| 1.2.1. Objetivo general   | 5         |
| 1.2.2. Objetivos específicos  | 5         |
| <b>1.3. Hipótesis</b>   | <b>6</b>  |
| <b>II. MARCO TEÓRICO</b>  | <b>7</b>  |
| <b>2.1. Fresa</b>   | <b>7</b>  |
| 2.1.1. Factores que inciden en la competitividad de la fresa                              | 8         |
| <b>2.2. Limón</b>   | <b>9</b>  |
| <b>2.3. Tratamientos pos cosecha para alimentos</b>                                       | <b>10</b> |
| <b>2.4. Películas Comestibles (PC) y Recubrimientos Comestibles (RC)</b>                  | <b>10</b> |
| 2.4.1. Tipos de RC  | 11        |
| 2.4.2. Propiedades físicas de los RC  | 12        |
| <b>2.5. Escalamiento</b>  | <b>12</b> |
| 2.5.1. Análisis dimensional   | 13        |
| 2.5.2. Principio de similaridad   | 14        |
| <b>III. DESARROLLO DEL TRABAJO</b>  | <b>16</b> |
| <b>3.1. Determinación del pH de las formulaciones</b>                                     | <b>16</b> |
| <b>3.2. Determinación de la densidad de las formulaciones</b>                             | <b>16</b> |
| <b>3.3. Determinación de la viscosidad de las formulaciones (viscosímetro de Ostwald)</b> | <b>17</b> |
| <b>3.4. Material biológico</b>  | <b>18</b> |
| <b>3.5. Método de microdilución en caldo</b>  | <b>19</b> |
| <b>3.6. Evaluación de los RC <i>in situ</i></b>   | <b>19</b> |
| 3.6.1. Tratamientos control   | 19        |
| 3.6.2. Tratamientos preventivos   | 20        |
| 3.6.3. Tratamientos curativos   | 20        |
| <b>3.7. Calidad del fruto</b>   | <b>21</b> |
| 3.7.1. Especificaciones de calidad  | 21        |
| <b>3.8. Análisis estadístico</b>  | <b>23</b> |
| <b>IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>   | <b>24</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4.1. Establecimiento de la formulación <math>\theta</math></b>  | <b>24</b> |
| <b>4.2. Establecimiento de la disolución de almidón</b>  | <b>24</b> |
| <b>4.3. Caracterización de las formulaciones <math>\alpha</math>, <math>\delta</math> y <math>\theta</math></b>  | <b>24</b> |
| 4.3.1. Apariencia física de las formulaciones $\alpha$ , $\delta$ y $\theta$   | 25        |
| 4.3.2. Evaluación microbiológica <i>in vitro</i> de las formulaciones $\alpha$ , $\delta$ y $\theta$   | 25        |
| 4.3.3. Evaluación microbiológica <i>in situ</i> de los recubrimientos comestibles $\alpha$ , $\delta$ y $\theta$   | 26        |
| <b>4.4. Apariencia física de las formulaciones <math>\alpha</math>, <math>\alpha.1</math>, <math>\alpha.1.a</math>, <math>\delta</math>, <math>\delta.1</math> y <math>\delta.1.a</math></b> | <b>26</b> |
| 4.4.1. Características fisicoquímicas de las formulaciones $\alpha$ , $\alpha.1$ , $\alpha.1.a$ , $\delta$ , $\delta.1$ y $\delta.1.a$   | 27        |
| 4.4.2. Evaluación microbiológica <i>in vitro</i> de las formulaciones $\alpha$ , $\alpha.1$ , $\alpha.1.a$ , $\delta$ , $\delta.1$ y $\delta.1.a$  | 27        |
| <b>4.5. Análisis dimensional</b>   | <b>29</b> |
| <b>V. CONCLUSION</b>   | <b>33</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>  | <b>34</b> |

## ABREVIATURAS

|          |  |
|----------|--|
| B        | Diámetro del impulsor                      |
| C        | Altura del impulsor                        |
| °C       | Grados centígrados                         |
| cm       | Centímetro                                 |
| D        | Largo del aspa del impulsor                |
| DMSO     | Dimetil sulfóxido                          |
| EUA      | Estados Unidos de América                  |
| F        | Número total de variables                  |
| G        | Constante gravitacional                    |
| G1       | Frutos sanos y daño menor                  |
| G2       | Frutos con daño mayor, crítico y pudrición |
| g        | Gramos                                     |
| H        | Profundidad del líquido                    |
| h        | Horas                                      |
| J        | Ancho del baffle                           |
| L        | Longitud (unidad fundamental)              |
| m        | Masa inicial                               |
| ml       | Mililitros                                 |
| min      | Minutos                                    |
| M        | Masa (unidad fundamental)                  |
| M1       | Modelo de escala a 100 mililitros          |
| N        | Velocidad del impulsor                     |
| $N_{Fr}$ | Número de Froude                           |
| $N_p$    | Número de potencia                         |
| $N_{Re}$ | Número de Reynolds                         |
| P        | Potencia                                   |
| P1       | Prototipos de escala a 1 000 mililitros    |
| P2       | Prototipo de escala a 10 000 mililitros    |

|               |   |
|---------------|---|
| PC            | Película comestible                         |
| Ph            | Potencial de Hidrógeno                      |
| RC            | Recubrimiento comestible                    |
| s             | Segundos                                    |
| t             | Tiempo                                      |
| T             | Tiempo (unidad fundamental)                 |
| U             | Diámetro del tanque                         |
| UFC           | Unidades formadoras de colonias             |
| V             | Número de dimensiones fundamentales         |
| $\mu$         | Coefficiente de viscosidad                  |
| $\mu\text{l}$ | Microlitros                                 |
| $\pi$         | Designa número de parámetros adimensionales |
| $\rho$        | Densidad                                    |

# I. RESUMEN

Las películas comestibles (PC) y los recubrimientos comestibles (RC) son de gran interés debido a sus ventajas en el uso de envasado de materiales comestibles sobre películas sintéticas, para reducir de la contaminación microbiana y aumentar la vida de anaquel (Bourtoom, 2008). Un RC es una fina capa de material comestible formada como un revestimiento sobre un producto alimenticio, mientras que una PC es una capa delgada preformada, hecha de material comestible, que una vez formada puede colocarse sobre o entre el producto alimenticio (Mchugh, 2000).

Los componentes utilizados para la preparación de las PC y los RC pueden clasificarse en dos categorías: hidrocoloides (tales como proteínas, polisacáridos y alginatos), lípidos (tales como ácidos grasos, acilglicerol y ceras), (Donhowe, 1993).

Diversos compuestos naturales presentes en frutos, especias y plantas medicinales demuestran propiedades antimicrobianas y en particular éstas propiedades son atribuidas a sus aceites esenciales (Deans, 1987). Los aceites esenciales y sus compuestos poseen diversas propiedades antisépticas, bactericidas, astringentes e insecticidas (Fisher Katie, 2008), son inocuos para el medio ambiente, para los consumidores y para el control de enfermedades pos cosecha. Los aceites esenciales tienen una baja solubilidad en agua, aroma intenso, alta volatilidad la necesidad de reducir el uso de químicos sintéticos en la agricultura ha incrementado el interés por la posible aplicación de aceites esenciales para el control de fitopatógenos (Barrera, 2008).

El interés en el uso de los RC en aplicaciones alimentarias y en productos perecederos, está condicionado por la obtención de diversas características como costo, disponibilidad, propiedades ópticas (luminosidad y opacidad), el efecto de barrera contra el flujo de gases ( $O_2$  y  $CO_2$ ), la resistencia estructural al agua y a los microorganismos. Los RC también se pueden emplear para mejorar la apariencia de los alimentos y ofrecen el potencial de prolongar su vida útil.

La inocuidad de los alimentos, la nutrición y la seguridad alimentaria están relacionadas. Los alimentos insalubres generan un círculo vicioso de enfermedad y malnutrición, que afecta especialmente a los lactantes, los niños pequeños, los ancianos y los enfermos (OMS, 2015). Por lo tanto, existe todavía la necesidad de nuevos métodos para reducir o eliminar los patógenos transmitidos por los alimentos.

En este trabajo se modelará un esquema de escalamiento para la producción de una formulación sanitizante natural para su uso en fresa (fruto fresco).

Palabras clave: recubrimiento comestible, película comestible, almidón; fresa; sanitizante.

## Abstract

Edible films (PC) and edible coatings (RC) are of great interest because of their advantages in the use of packaging of edible materials on synthetic films, to reduce microbial contamination and increase shelf life (Bourtoom, 2008). An RC is a thin layer of edible material formed as a coating on a food product, whereas a PC is a preformed thin layer made of edible material which once formed can be placed on or between the food product (Mchugh, 2000).

The components used for the preparation of PC and RC can be classified into two categories: hydrocolloids (such as proteins, polysaccharides and alginates), lipids (such as fatty acids, acylglycerol and waxes), (Donhowe, 1993).

Several natural compounds present in fruits, spices and medicinal plants show antimicrobial properties and in particular these properties are attributed to their essential oils (Deans, 1987). Essential oils and their compounds have different antiseptic, bactericidal, astringent and insecticidal properties (Fisher Katie, 2008), they are harmless for the environment, for the consumers and for the control of post harvest diseases. Essential oils have a low solubility in water, intense aroma, high volatility need to reduce the use of synthetic chemicals in agriculture has increased interest in the possible application of essential oils for the control of phytopathogens (Barrera, 2008).

The interest in the use of CR in food applications and in perishable products is conditioned by obtaining several characteristics such as cost, availability, optical properties (luminosity and opacity), the effect of barrier against the flow of gases ( $O_2$  and  $CO_2$ ), The structural resistance to water and microorganisms. RCs can also be used to improve the appearance of food and offer the potential to extend its life.

Food safety, nutrition and food security are related. Unhealthy foods generate a vicious circle of disease and malnutrition, which particularly affects infants, young children, the elderly and the sick (WHO, 2015). Therefore, there is still a need for new methods to reduce or eliminate foodborne pathogens.

This work will model a scaling scheme for the production of a natural sanitizing formulation for use in strawberry (fresh fruit).

Key words: edible coatings; strawberry; sanitizing; edible films; starch.

## **1.1. Justificación**

La demanda actual de productos orgánicos y la creciente necesidad de combatir los diferentes microorganismos patógenos presentes en los alimentos promueven la búsqueda de alternativas naturales para su uso como sanitizantes.

## **1. 2. Objetivos**

### **1. 2.1. Objetivo general**

Evaluar el principio de similaridad geométrica en la obtención de 10 litros de formulación sanitizante natural.

### **1. 2.2. Objetivos específicos**

- Elaborar una formulación sanitizante natural a base de polisacáridos.
- Obtener parámetros que permitan el establecimiento del principio de similaridad geométrica en la producción de la formulación sanitizante natural.

### **1.3. Hipótesis**

Al escalar una formulación sanitizante natural, ésta conservará sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas.

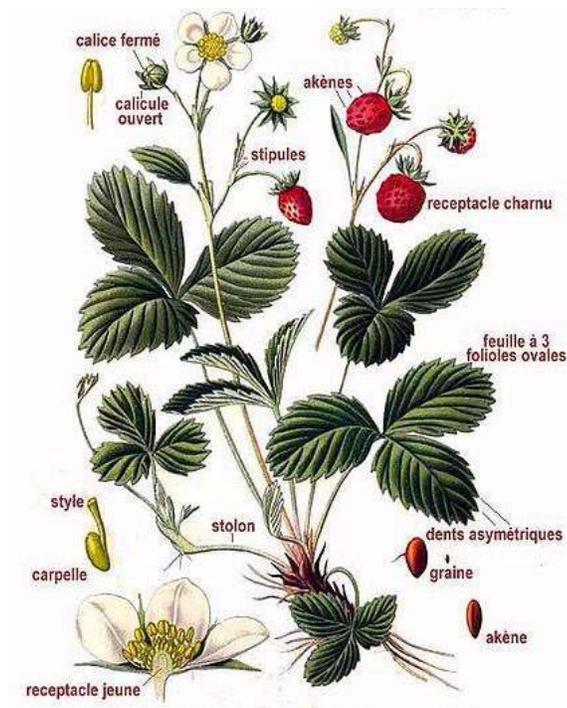
## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Fresa

El cultivo de la fresa en México se inició a mediados del siglo pasado en el estado de Guanajuato. Sin embargo, en 1950 la demanda obtuvo importancia en los Estados Unidos de América (EUA) lo cual originó que el cultivo de esta fruta se extendiera a Michoacán de Ocampo, hasta ser el mayor productor de fresa a nivel nacional (Ávila-Arce & González-Milán, 2012).

Los cinco principales estados productores de fresa en México son Michoacán, Baja California, Guanajuato y estado de México. El estado de Michoacán de Ocampo, México, aporta el 68.7 % de la producción nacional de fresa, con 259 000 toneladas (Sedrua, 2016).

La fresa (*Fragaria x ananassa*), (Ilustración 1) pertenece a la familia de las *Rosaceas* y género *fragaria* (NMX-FF-062-SCFI-2002), esta es una planta herbácea, perenne y de pequeña altura, rastrera, de raíz fasciculada, tallos poco visibles y hojas trifoliadas (CONAFRE, 2011).



**Ilustración 1.** Partes de la planta de fresa (Masclef, 1891)

Las fresas son susceptibles a la pérdida de humedad por su fisiología (USDA, 2004). Son extremadamente sensibles al ataque de plagas y enfermedades microbianas (CMCC, 2003). Especialmente al hongo *Botrytis cinerea* que ocasiona la degradación del fruto que causa grandes pérdidas de biomasa y económicas durante su transporte y comercialización (Ceponis, et al., 1987). Ya que este microorganismo posee la habilidad de crecer a bajas temperaturas empleadas en el almacenamiento del fruto (CMCC, 2003).

Las fresas después de la cosecha se almacenan a bajas temperaturas lo más pronto posible, el fruto sin tratar solo cuenta con una vida útil de dos a tres días. Esto por lo general se logra por medio de aire a 1 °C (CMCC, 2003), se recomienda mantenerlo en condiciones óptimas de almacenamiento (90 a 95 % de humedad relativa, 5 a 10 % de oxígeno, 15 a 20 % de dióxido de carbono y 0 °C) para que el producto tenga una vida útil que oscile entre los siete a diez días (Kader, 2002).

### **2.1. 1. Factores que inciden en la competitividad de la fresa**

La SAGARPA (2017), describe los factores que inciden en la competitividad de la fresa como un producto importante a nivel mundial:

- La introducción de nuevas variedades eficientes y con resistencia a las plagas y enfermedades.
- La introducción de nuevas y mejores tecnologías para su conservación.
- La cercanía con EUA, puesto que es el principal país importador de la fresa que se produce en México.
- La implementación de normas de calidad e inocuidad en las fresas.
- La selección efectiva en la compra del producto primario, en este caso la planta a utilizarse en las superficies a cultivar.
- Por último, pero no menos importante, los flujos de capital que se generaron debido a las expectativas que creó la devaluación de 1994 fueron un factor determinante en el crecimiento de la demanda de la fresa, ya que al ser un producto de exportación se benefició por el intercambio comercial que trajo nuevos capitales que fortalecieron al sector.

## 2.2. Limón

La plantación del limón mexicano se desarrolló durante el siglo XX. En Michoacán se inició y de aquí se exportó limón fresco a EUA y aceite esencial de limón a Nueva York y Paris. Después se extendió a los estados de Colima, que actualmente es el productor más importante en nuestro país, Oaxaca, Guerrero, Jalisco y Nayarit y hoy cubren la mayor parte del territorio nacional (Peters, 2002).

En México se producen dos especies de limas, considerados limones por el ácido de su jugo: El limón mexicano o agrío (*Citrus aurantifolia*) y el limón persa (*Citrus latifolia*) o “limón sin semilla”. En 2013 la producción de limón fue de 2 095 881 toneladas, cifra superior en 40 000 toneladas obtenido en 2012 (SAGARPA, 2014).

El limón mexicano es una importante materia prima para la elaboración de diversos productos como: aceites esenciales, ácido cítrico, aromatizantes, cáscara fresca, jugos, pectinas, pastas, pulpa y otros productos. México es el principal país exportador de aceite esencial de limón mexicano a EUA con 1 078.1 toneladas métricas en 2005 (SAGARPA, 2005).

Los aceites esenciales y sus compuestos poseen diversas propiedades antisépticas, bactericidas, astringentes e insecticidas (Carol, 2008), son inocuos para el medio ambiente, para los consumidores y para el control de enfermedades pos cosecha. Los aceites esenciales tienen baja solubilidad en agua, aroma intenso y volatilidad. La necesidad de reducir el uso de químicos sintéticos en la agricultura incrementa el interés por la posible aplicación de aceites esenciales para el control de fitopatógenos (Barrera, 2008).

### **2.3. Tratamientos pos cosecha para alimentos**

Las fresas son extremadamente sensibles a infestaciones y enfermedades, que además están conformadas por un gran número de microorganismos e insectos, su cuidado y manejo son muy complejos y constituyen un reto (CMCC, 2003).

Las infestaciones suelen ser tratadas y eliminadas durante la pre cosecha, sin embargo, existen enfermedades que son de importancia en la pos cosecha y que no tienen un tratamiento químico (CMCC, 2003).

Los tratamientos pos cosecha se realizan generalmente por medio de la fumigación de los frutos con diversos compuestos químicos entre los cuales destaca el bromuro de metilo debido a su gran efectividad. Por otra parte, existen alternativas no químicas como tratamientos térmicos, disminución de temperatura e irradiación (CMCC, 2003).

Los tratados internacionales, como el “Protocolo de Montreal” (UNEP, 2006) y las tendencias al consumo de productos sin residuos químicos por parte de los consumidores promueven la búsqueda de alternativas de nuevos métodos para reducir o eliminar los patógenos transmitidos por los alimentos, como lo son las películas (PC) y los recubrimientos comestibles (RC), (Quintero, 2010).

### **2.4. Películas Comestibles (PC) y Recubrimientos Comestibles (RC)**

Las PC y RC son de gran interés debido a sus ventajas en el uso de envasado de materiales comestibles sobre películas sintéticas, lo cual contribuye a la reducción de la contaminación ambiental (Bourtoom, 2008). Las PC son capas delgadas preformadas, hechas de material comestible, que una vez formadas pueden colocarse sobre o entre el producto alimenticio, los RC son finas capas de material comestible formados como un revestimiento sobre un producto alimenticio (Mchugh, 2000).

El interés en el uso de los RC en aplicaciones alimentarias y en productos perecederos, está condicionado por diversas características como costo, disponibilidad, propiedades ópticas (luminosidad y opacidad), el efecto de barrera contra el flujo de gases (oxígeno y dióxido de carbono), la resistencia estructural al agua y a los microorganismos (Falguera, 2011).

### 2.4.1. Tipos de RC

Los polisacáridos, las proteínas y los lípidos (

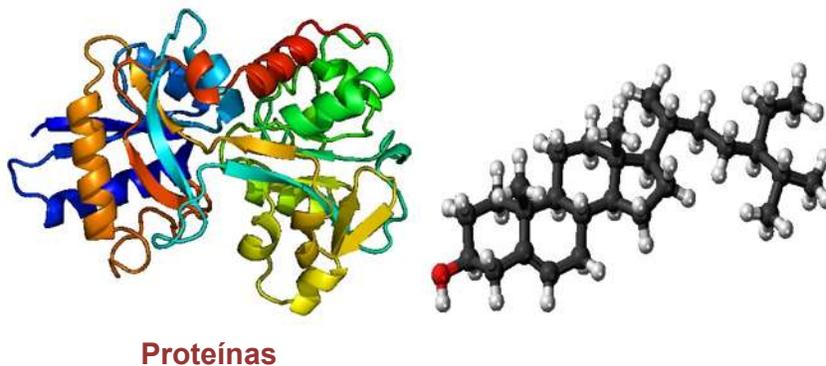
Ilustración 2) son los tres ingredientes principales poliméricos usados para producir RC. Dos o más materiales son mezclados para producir un material compuesto con mejores características físicas (Pascall & Lin, 2013).

Los RC a base de polisacáridos son hidrofílicos y permiten la formación de enlaces de hidrógeno, que se pueden utilizar para la unión con aditivos. Debido a sus propiedades químicas, estos recubrimientos constituyen una barrera muy eficiente contra el oxígeno, pero deficiente contra la humedad.

Los RC a base de lípidos proporcionan una buena barrera contra la humedad debido a su naturaleza hidrofóbica, pero presentan propiedades mecánicas deficientes.

Los RC a base de proteínas son hidrofílicos y tienen una buena resistencia mecánica, por lo que pueden ser utilizados en frutas para reducir las lesiones durante su transporte; sin embargo, proporcionan una pobre barrera contra la humedad.

La fabricación y el uso de recubrimientos de mezclas de materiales ayudan a minimizar las desventajas de los componentes individuales, mientras que hacen sinergia de sus propiedades funcionales y físicas (Pascall & Lin, 2013).



**Ilustración 2.** Principales componentes de los RC

## **2.4.2. Propiedades físicas de los RC**

Los RC añaden un valor agregado a los productos ya que sirven como barreras para gases (oxígeno y dióxido de carbono), inhiben el crecimiento de microorganismos y son portadores de nutrientes. Es por esto que resulta importante el estudio de las propiedades físicas de los RC con el fin de conocer su comportamiento y limitaciones frente a determinadas condiciones de almacenamiento del producto (Cisneros-Zevallos & Krochta, 2003).

Los RC tienen propiedades de barrera que varían con el espesor de los mismos, ya que el espesor determina la distancia que el permeato (vapor de agua y gases) debe recorrer para difundir de un lado a otro del RC (Cisneros-Zevallos & Krochta, 2003).

El espesor de las películas formadas en la superficie de los frutos o recubrimientos, varía con el contenido en sólidos de las formulaciones, la densidad, viscosidad, tensión superficial y velocidad de secado (Cisneros-Zevallos & Krochta, 2003).

Los RC para ejercer una barrera efectiva, deben formar una capa continua en la superficie del fruto penetrando en los poros del mismo. La tensión superficial y la viscosidad de las emulsiones que forman el recubrimiento determinan la capacidad de estos impregnando al fruto en la etapa de aplicación y, por tanto, determinan su capacidad para taponar poros y formar una capa continua en la superficie del fruto (Hagenmaier & Baker, 1993).

La información que se genera en el campo de tecnologías emergentes referentes a RC debe ser aplicada a la industria alimentaria, ya que ésta ha sido condicionada a la escala de laboratorio (Quintero, et al., 2010).

## **2.5. Escalamiento**

El escalamiento es una herramienta vital para la ingeniería química, con ella se pueden reducir errores en diseños directos, debidos a correlaciones inexactas o a la falta de información.

El paso fundamental en el escalamiento consiste en pasar los datos obtenidos en la planta piloto a un modelo que puede ser:

- Fenomenológico: Fundamentado en algunos razonamientos teóricos pero de tipo microscópico. No involucra consideraciones moleculares y permite hacer predicción en intervalos de operación no estudiados experimentalmente.
- Empírico: El cual se postula sin bases teóricas y se espera solamente que ajuste la interacción entre los datos en el intervalo de experimentación.
- De similitud: Obtenido a partir de un análisis de similitud con respecto a analogías físicas de tipo térmico, mecánico, geométrico, químico, etc.

El modelo de escalamiento depende tanto del proceso en cuestión como de la geometría de los equipos involucrados (Anaya-Durand, 2008).

Los bioprocesos se desarrollan e implementan de diferentes maneras, en sus escalas de laboratorio, piloto y manufactura.

Aunque algunos de estos factores físicos pudieran comportarse en forma similar en procesos de producción, es dificultoso conservar su similitud con el cambio de escala, si además se suma la presencia de un proceso biológico.

### **2.5.1. Análisis dimensional**

Buckingham (1957) desarrolló el teorema  $\pi$ , que establece que:

*“Existe un número de parámetros adimensionales independientes ( $\pi$ ) fijo para un problema dado, y es igual a la diferencia entre número total de variables ( $V$ ) menos el número de dimensiones fundamentales ( $F$ )”.*

Es decir:

$$\pi = V - F$$

El teorema  $\pi$  sólo sienta la base teórica para afirmar que la reducción de  $V$  a  $F$  parámetros se puede hacer, pero no indica cómo hacerla, ni cuánto vale  $R$ . El conjunto de variables debe elegirse de manera que sean independientes.

Para reducir un problema dimensional a otro adimensional con menos parámetros, se siguen estos pasos:

1. Contar el número de variables significativas implicadas en el problema.
2. Calcular la expresión dimensional equivalente de cada variable significativa.
3. Determinar el número de grupos adimensionales:

$$\pi = V - F$$

4. Generar los parámetros adimensionales.
5. Comprobar que cada parámetro adimensional obtenido no tiene dimensiones.

### **2.5.2. Principio de similitud**

El principio de similitud se aplica a los sistemas en los cuales se emplean modelos homólogos, es decir aquellos modelos que sólo se diferencian del prototipo en el tamaño o escala. La modelación matemática se aplica tanto a modelos homólogos como a los analógicos, ya sea como método único de escalado en los casos en que existe suficiente información para ello, o en unión con el principio de similitud, en la mayoría de los casos (Johnstone & Thring, 1957).

En el campo de la Ingeniería Química, las aplicaciones prácticas iniciales se dirigieron a la correlación del rendimiento de mezcladores de propelas, paletas y turbinas, semejantes geométricamente y se extendieron posteriormente a otros campos más complejos hasta llegar al desarrollo y aplicación de la similitud química para el escalado de los reactores químicos.

El principio de similitud establece que la configuración espacial y temporal de un sistema físico, se determina por relaciones de magnitud dentro del sistema mismo y no depende del tamaño del sistema ni de las unidades de medida en las cuales se miden esas magnitudes.

Los cuatro tipos de similitud son importantes en las aplicaciones de Ingeniería Química y Bioquímica (Johnstone & Thring, 1957):

- Similaridad geométrica (dimensiones proporcionales).
- Similaridad dinámica (fuerzas proporcionales).
- Similaridad térmica (temperaturas proporcionales).
- Similaridad química (concentraciones proporcionales).

Hay que tener en cuenta que si bien estrictamente hablando, cada una de esas similitudes requiere del cumplimiento de todas las anteriores a ella, es muy difícil lograr eso en la práctica y por ello en muchas ocasiones es necesario aceptar una aproximación(Harriott, et al., 1991).

### **2.6.1. Similaridad geométrica**

La similaridad geométrica se define mejor en términos de correspondencia y por tanto por el factor de escala  $L$ , que relaciona las distintas dimensiones lineales de un sistema con las del otro. Se define entonces que dos cuerpos son geoméricamente semejantes cuando para cada punto en uno de ellos existe al menos un punto correspondiente en el otro.

### **2.6.2. Similaridad dinámica**

Los sistemas en movimiento geoméricamente semejantes son dinámicamente semejantes cuando las relaciones entre todas las fuerzas correspondientes son iguales.

### **2.6.3. Similaridad térmica**

Dos sistemas geoméricamente semejantes son semejantes cuando la relación entre las diferencias de temperatura correspondientes es constante y cuando los sistemas, si están en movimiento, son cinemáticamente semejantes.

### **2.6.4. Similaridad química**

Sistemas semejantes geométrica y térmicamente son semejantes químicamente cuando las diferencias de concentraciones correspondientes mantienen una razón constante entre ellas y cuando dichos sistemas, si están en movimiento, son cinemáticamente semejantes.

### III. DESARROLLO DEL TRABAJO

#### 3.1. Determinación del pH de las formulaciones

El pH de las formulaciones se midió en un potenciómetro (ThermoOrion 420, Waltham, Massachusetts, Estados Unidos. Ilustración 3).



**Ilustración 3.** Potenciómetro

#### 3.2. Determinación de la densidad de las formulaciones

El picnómetro (Ilustración 4) vacío y limpio se pesó y se anotó su masa ( $m_0$ ), se llenó con agua (fluido de referencia), por último se secó por fuera y se procedió a pesarlo y a anotar su masa ( $m_1$ ).

El picnómetro limpio y seco se llenó con las formulaciones, se secó por fuera y se procedió a pesarlo ( $m_2$ ). El procedimiento se siguió de la misma forma para todas las formulaciones.

La densidad se determinó con base en la siguiente ecuación:

$$\rho_1 = \left( \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \right) \rho_w = \frac{m_2 - m_0}{v} \quad (1)$$

donde:

- $\rho_1$  Densidad de la formulación (g/ml)
- $\rho_2$  Densidad del agua a la temperatura del experimento (g/ml)
- $m_0$  Masa del picnómetro vacío (g)
- $m_1$  Masa del picnómetro con agua (g)
- $m_2$  Masa del picnómetro con el líquido a investigar (g)
- $v$  Volumen del picnómetro (ml)



**Ilustración 4.** Picnómetro

### **3.3. Determinación de la viscosidad de las formulaciones (viscosímetro de Ostwald)**

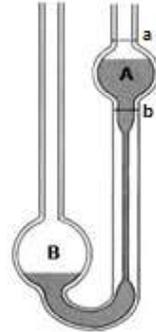
El líquido a investigar se agregó en la ampolla B hasta más de la mitad de la misma (Ilustración 5). El aire de la ampolla A fue insuflado con ayuda de una pipeta de modo que el líquido contenido en la ampolla B supere la muesca “a”. La pipeta se retiró, se dejó fluir el líquido y se puso en marcha el cronómetro en el momento en que la superficie del líquido pasó por la muesca “a” y se detuvo en el momento que el líquido pasó por la muesca “b”.

El coeficiente de viscosidad se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{\rho_1 t_1}{\rho_2 t_2} \quad (2)$$

donde:

- $\mu$  Viscosidad de la formulación (g/cm\*s)
- $\rho_1$  Densidad del agua (g/ml)
- $t_1$  Tiempo en el que el agua fluye por el capilar (s)
- $\rho_2$  Densidad de la formulación (g/ml)
- $t_2$  Tiempo en el que la formulación fluye por el capilar (s)



**Ilustración 5.** Viscosímetro de Ostwald

### 3.4. Material biológico

Las cepas utilizadas se proporcionaron por el Laboratorio de Fisiología Celular del Instituto de Investigaciones Químico–Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Los microorganismos ensayados fueron (Ilustración 6): una bacteria Gram negativa (*Escherichia coli* ATCC 26926), una Gram positiva (*Staphylococcus aureus* ATCC 25923), una levadura (*Candida albicans* ATCC 10321) y un hongo (*Botrytis cinerea* aislado silvestre).



**Ilustración 6.** *E. coli*, *S. aureus* y *C. albicans*

### 3.5. Método de microdilución en caldo

La concentración de 0.5 de MacFarland se obtuvo para la levadura *C. albicans* ATCC 10321 y las bacterias *S. aureus* ATCC 25923 y *E. coli* ATCC 26926. Los tratamientos se prepararon en viales en proporción 60 µL de caldo Mueller Hinton, 20 µL de inóculo y 20 µL del recubrimiento comestible (Cuadro 1), se colocaron 10 µL de cada tratamiento sobre cajas petri con agar Mueller Hinton y se realizó un barrido por la caja con una varilla de vidrio. Las cepas se incubaron por 24 h y se realizó el conteo de unidades formadoras de colonias.

**Cuadro 1.** Tratamientos a evaluar

|   |
|---|
| Caldo Mueller Hinton + Recubrimiento comestible                         |
| Caldo Mueller Hinton + Recubrimiento comestible + Inóculo               |
| Caldo Mueller Hinton + Recubrimiento comestible + Inóculo dilución 1:10 |
| Caldo Mueller Hinton + Cefotaxima / Fluconazol                          |

### 3.6. Evaluación de los RC *in situ*

Las fresas seleccionadas para el experimento cumplieron con los requisitos de calidad de la NMX-FF-062-SCFI-2002. Una muestra representativa de 12 frutos se tomó para pesar y medir su diámetro ecuatorial. Los frutos fueron sometidos a tratamientos control, preventivos y correctivos, cada tratamiento consiste en cajas con seis frutos por caja, almacenados a 4 °C y 8 °C.

#### 3.6.1. Tratamientos control

Los frutos para el primer tratamiento control, se colocaron en cajas de plástico después de su selección y se almacenaron a la temperatura correspondiente, para el segundo tratamiento control, se colocó agua tridestilada estéril en un vaso de precipitados, los frutos se sumergieron en el agua uno por uno, posteriormente se dejaron secar durante 20 min, se colocaron en cajas de plástico y se almacenaron a la temperatura correspondiente. Los frutos para los tratamientos control con inóculo, se sumergieron en suspensiones de esporas de ascomiceto (*B. cinerea* aislado silvestre), se dejaron secar durante 20 min, se colocaron en cajas de plástico y se almacenaron a la temperatura correspondiente (Cuadro 2).

### Cuadro 2. Tratamientos control

|                               |
|-------------------------------|
| Fruto                         |
| Fruto + Agua                  |
| Fruto + Inóculo[ $1 * 10^4$ ] |

### 3.6.2. Tratamientos preventivos

Los frutos se recubrieron con ayuda de un pincel de cerdas suaves, se dejaron secar durante 20 min, se colocaron en cajas de plástico y se almacenaron a la temperatura correspondiente (Cuadro 3).

### Cuadro 3. Tratamientos preventivos

|   |
|---|
| Fruto + Recubrimiento comestible $\alpha$ |
| Fruto + Recubrimiento comestible $\delta$ |

### 3.6.3. Tratamientos curativos

Los frutos se sumergieron uno por uno en suspensiones de esporas de ascomiceto (*B. cinerea* aislado silvestre), se dejaron secar durante 20 min, posteriormente se recubrió cada fruto con ayuda de un pincel de cerdas suaves, se dejaron secar durante 20 min, se colocaron en cajas de plástico y se almacenaron a la temperatura correspondiente (Cuadro 4).

### Cuadro 4. Tratamientos curativos

|  |
|--|
| Fruto + Inóculo [ $1 * 10^4$ ] + Recubrimiento comestible $\alpha$ |
| Fruto + Inóculo [ $1 * 10^4$ ] + Recubrimiento comestible $\delta$ |

### **3.7. Calidad del fruto**

Los frutos se seleccionaron según los lineamientos de la NMX-FF-062-SCFI-2002.

#### **3.7.1. Especificaciones de calidad**

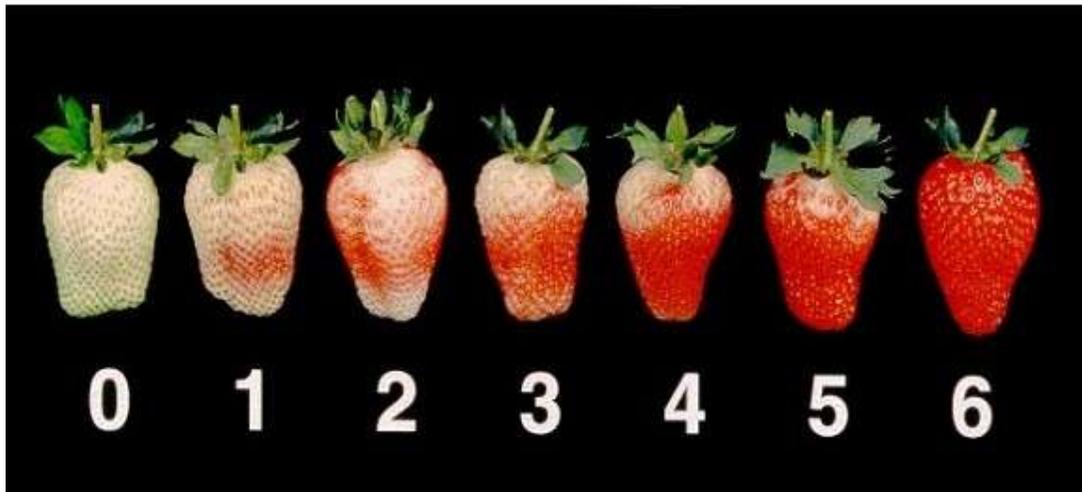
Requerimientos mínimos que el fruto debe cumplir en sus diferentes grados de calidad:

- Estar sanas y de aspecto fresco.
- Estar enteras y bien desarrolladas.
- Al menos con tres cuartas partes de la superficie de color rosa o rojo tenue.
- Estar limpias, exentas de materia extraña visible.
- Ser de forma, sabor y olor característicos de la variedad.
- Tener pedúnculo con una longitud máxima de 1.5 cm antes del envase.
- Estar prácticamente exentas de magulladuras.
- Exentas de daños por sol.
- Exentas de polvo, tierra o materia orgánica.
- Exentas de daños causados por plagas.
- Libres de descomposición, pudrición y moho causado por microorganismos.
- Estar exentas de daños por refrigeración y variaciones en la temperatura.
- Estar exentas de humedad exterior anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica.

Las características de tamaño, forma, sabor, color y firmeza, dependen del grado de madurez que tenga el fruto, por lo que el momento de la cosecha es determinante para alcanzar la calidad deseada (NMX-FF-062-SCFI-2002).

### 3.7.1. 1. Color

El color es un indicador primario de la madurez (Ilustración 7) y es el resultado del tipo y la cantidad de pigmentos presentes en el producto. Los cambios en el color están a menudo relacionados con la “frescura” o el deterioro del producto. El color puede medirse a través de muchos métodos visuales o mecánicos (por ejemplo, colorímetros y espectrofotómetros), (Bradt, 2002).



**Ilustración 7.** Estado de maduración de frutos de fresa

### 3.7.1.2. Clasificación de los daños

Los principales aspectos considerados para determinar la calidad de la fresa son la apariencia, firmeza, sabor, grado de madurez, brillo y ausencia de daños en el fruto (Mitcham, 1996).

La NMX-FF-062-SCFI-2002 establece que daño es cualquier deterioro que afecte el tejido interno o externo de la fresa y los clasifica en:

- **Daño menor:** Es aquél que disminuye la apariencia física del fruto y no afecta en forma considerable el tejido interno (mesocarpio) de la fresa, pero afecta el epicarpio. Puede consistir en rozaduras, raspaduras, quemaduras de sol y otros defectos que sean superficiales y de escasa extensión.
- **Daño mayor:** Es aquél que sin ser crítico, la fresa presenta lesiones en el epicarpio y en el mesocarpio (pulpa). Puede presentarse como evidencia de plagas o enfermedades, heridas cicatrizadas o magulladuras estos defectos disminuyen notoriamente la apariencia del fruto, la calidad de mercado y la calidad de consumo.
- **Daño crítico:** Es aquél que afecta una gran área del mesocarpio (pulpa) de la fresa, ocasionando el rechazo del fruto por el consumidor. Estos defectos consisten en estados avanzados de ataque de plagas o enfermedades, grietas, heridas no cicatrizadas y otros que afectan considerablemente la pulpa del fruto.
- **Pudrición:** Es la destrucción y descomposición de las células y tejidos de la fruta, con producción de olores y sabores extraños ocasionados por la invasión de microorganismos.

### 3.8. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se expresan como la media  $\pm$  error estándar, se compararon las medias por la prueba de Tukey y se hizo un análisis de varianza de una vía con el paquete estadístico Stadística 8.0.

## IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Establecimiento de la formulación $\theta$

Los componentes que se utilizaron para la elaboración de la formulación  $\theta$  se muestran en el Cuadro 5. Primero, se realizó la disolución de almidón (apartado 4.2. Establecimiento de la disolución de almidón), a la disolución de almidón a temperatura ambiente se le agregó el extracto H, al pasar 10 min se agregó el cloruro de benzalconio.

**Cuadro 5.** Establecimiento de la formulación  $\theta$

| Volumen (ml) | Extracto H ( $\mu$ l) | Almidón (g) | Cloruro de Benzalconio ( $\mu$ l) | Agua (ml) |
|--------------|-----------------------|-------------|-----------------------------------|-----------|
| 1 000        | 10 000                | 5           | 5 000                             | 500       |
| 100          | 1 000                 | 0,5         | 500                               | 50        |
| 10           | 100                   | 0,05        | 50                                | 5         |
| 1            | 10                    | 0,005       | 5                                 | 0,5       |

### 4.2. Establecimiento de la disolución de almidón

El almidón se disolvió en agua (1:100) durante 20 min con agitación constante y un intervalo de temperatura de 25 a 30 °C en una parrilla de agitación y calentamiento. Después de los 20 min se le modificó la temperatura a un intervalo de 32 a 80 °C. La disolución de almidón se retiró de la parrilla después de 40 min hasta alcanzar una temperatura en un intervalo de 25 a 30 °C.

### 4.3. Caracterización de las formulaciones $\alpha$ , $\delta$ y $\theta$

La caracterización de las formulaciones se realizó, de manera física, fisicoquímica y biológica.

#### 4.3.1. Apariencia física de las formulaciones $\alpha$ , $\delta$ y $\theta$

La apariencia de las formulaciones  $\alpha$ ,  $\delta$  y  $\theta$  se determinó de manera cualitativa, los resultados se muestran en el Cuadro 6. Las formulaciones  $\alpha$ ,  $\delta$  y  $\theta$  mostraron homogeneidad.

**Cuadro 6.** Apariencia de las formulaciones  $\alpha$ ,  $\delta$  y  $\theta$

| Formulación | Fluidez | Turbidez | Densidad | Homogeneidad |
|-------------|---------|----------|----------|--------------|
| $\alpha$    | ++++    | +        | ++       | +            |
| $\delta$    | ++++    | +        | ++       | +            |
| $\theta$    | ++++    | +        | ++++     | +            |

Nota: + = fluidez, turbidez, homogeneidad y densidad del agua

- = no tiene

Las formulaciones, eran comercialmente atractivos, con buena fluidez, color transparente, poca turbidez y eran heterogéneos.

#### 4.3.2. Evaluación microbiológica *in vitro* de las formulaciones $\alpha$ , $\delta$ y $\theta$

Las formulaciones de 100 ml se evaluaron *in vitro* con las bacterias *S. aureus* ATCC 25923 y *E. coli* ATCC 26926 y la levadura *C. albicans* ATCC 10321, para determinar sus propiedades antimicrobianas.

El ensayo se realizó a los 8 días de la preparación de las formulaciones, el resultado se encuentra en el Cuadro 7, en las cuales se muestran las unidades formadoras de colonias de los tratamientos evaluados.

**Cuadro 7.** Recuento de colonias de *C. albicans*, *S. aureus* y *E. coli*

| Formulación | <i>C. albicans</i> | <i>E. coli</i> | <i>S. aureus</i> | Control sin inóculo |
|-------------|--------------------|----------------|------------------|---------------------|
| Inóculo     | Incontables        | Incontables    | Incontables      | ---                 |
| $\alpha$    | 508                | 0              | 50               | 0                   |
| $\delta$    | 980                | 2              | 60               | 0                   |
| $\theta$    | Incontables        | Incontables    | Incontables      | 0                   |

|                    |      |   |             |  |
|--------------------|------|---|-------------|--|
| <b>Antibiótico</b> | 1920 | 0 | Incontables |  |
|--------------------|------|---|-------------|--|

Las formulaciones  $\alpha$  y  $\delta$  tuvieron un efecto bacteriostático para *S. aureus*, fungistático para *C. albicans* y bactericida para *E. coli*. La formulación  $\theta$  mostró un resultado negativo para los microorganismos ensayados. Por lo tanto la formulación  $\theta$  se descartó para experimentos posteriores.

#### 4.3.3. Evaluación microbiológica *in situ* de los recubrimientos comestibles $\alpha$ , $\delta$ y $\theta$

Las formulaciones, se evaluaron *in situ*, en fresas frescas que cumplieran con los requisitos de calidad de la NMX-FF-062-SCFI-2002. Los frutos se sometieron a tratamientos control, preventivos y curativos, almacenados a 4 °C y 8 °C.

#### 4.4. Apariencia física de las formulaciones $\alpha$ , $\alpha.1$ , $\alpha.1.a$ , $\delta$ , $\delta.1$ y $\delta.1.a$

La apariencia física de las formulaciones  $\alpha$ ,  $\alpha.1$ ,  $\alpha.1.a$ ,  $\delta$ ,  $\delta.1$  y  $\delta.1.a$ , se determinó de manera cualitativa. Los resultados se muestran en el Cuadro 8.

**Cuadro 8.** Apariencia física de las formulaciones  $\alpha$ ,  $\alpha.1$ ,  $\alpha.1.a$ ,  $\delta$ ,  $\delta.1$  y  $\delta.1.a$

| Formulación  | Fluidez | Turbidez | Densidad | Homogeneidad |
|--------------|---------|----------|----------|--------------|
| $\alpha$     | ++++    | +        | ++       | +            |
| $\alpha.1$   | ++      | +++++    | +++++    | +            |
| $\alpha.1.a$ | ++++    | +++      | ++       | -            |
| $\delta$     | ++++    | +        | ++       | +            |
| $\delta.1$   | ++      | +++++    | +++++    | +            |
| $\delta.1.a$ | ++++    | +++      | ++       | -            |

Nota: + = fluidez, turbidez, homogeneidad y densidad del agua  
- = no tiene

Las formulaciones  $\alpha.1$  y  $\delta.1$ , eran muy densas, lo cual impedía determinar la densidad, el coeficiente de viscosidad y el pH. Por ello, sólo se determinó para las formulaciones  $\alpha$ ,  $\alpha.1.a$ ,  $\delta$  y  $\delta.1.a$ .

#### 4.4.1. Características fisicoquímicas de las formulaciones $\alpha$ , $\alpha.1$ , $\alpha.1.a$ , $\delta$ , $\delta.1$ y $\delta.1.a$

Los análisis fisicoquímicos que se muestran en el Cuadro 9, son de las formulaciones  $\alpha$ ,  $\alpha.1.a$ ,  $\delta$  y  $\delta.1.a$ . Las formulaciones muestran propiedades similares a las del agua, lo que podría suponer una mejor absorción por los frutos.

**Cuadro 9.** Características fisicoquímicas de las formulaciones  $\alpha$ ,  $\alpha.1.a$ ,  $\delta$  y  $\delta.1.a$

| Formulación  | Densidad (g/ml)    | Viscosidad (g/cm*s) | pH   |
|--------------|--------------------|---------------------|------|
| $\alpha$     | $0.9557 \pm 1e-03$ | $0.0112 \pm 1e-05$  | 5.98 |
| $\alpha.1.a$ | $0.9571 \pm 1e-04$ | $0.0112 \pm 9e-06$  | 5.97 |
| $\delta$     | $0.9732 \pm 4e-04$ | $0.0123 \pm 8e-05$  | 5.59 |
| $\delta.1.a$ | $0.9793 \pm 2e-04$ | $0.0123 \pm 1e-05$  | 5.52 |

En el Cuadro 9 podemos observar que al escalar la formulación y después diluirla, no se presentan cambios en sus propiedades fisicoquímicas.

#### 4.4.2. Evaluación microbiológica *in vitro* de las formulaciones $\alpha$ , $\alpha.1$ , $\alpha.1.a$ , $\delta$ , $\delta.1$ y $\delta.1.a$

Las formulaciones  $\alpha$ ,  $\alpha.1.a$ ,  $\delta$  y  $\delta.1.a$ , se evaluaron con las bacterias *S. aureus* ATCC 25923 y *E. coli* ATCC 26926 y la levadura *C. albicans* ATCC 10321, para determinar sus propiedades antimicrobianas. El ensayo se realizó a los 8 y 37 días de la preparación de las formulaciones, el resultado se encuentra en los Cuadro 10 y 27, en los cuales se muestran las unidades formadoras de colonias según el tratamiento evaluado. Los antibióticos que se utilizaron para los experimentos fueron: Cefotaxima para *S. aureus* ATCC 25923 y *E. coli* ATCC 26926 y fluconazol para *C. albicans* ATCC10321.

**Cuadro 10.** Recuento de colonias de *C. albicans*, *S. aureus* y *E. coli* a los 8 días de la preparación de las formulaciones

| <b>Formulación</b> | <b><i>C. albicans</i></b> | <b><i>E. coli</i></b> | <b><i>S. aureus</i></b> | <b><i>B. cinerea</i></b> | <b>Control sin inóculo</b> |
|--------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <b>Inóculo</b>     | 880                       | Incontables           | Incontables             | 78                       |                            |
| <b>α</b>           | 400                       | 0                     | 48                      | 0                        | Incontables                |
| <b>α.1.a</b>       | 573                       | 92                    | 56                      | 1                        | Incontables                |
| <b>δ</b>           | 272                       | 0                     | 4                       | 0                        | 880                        |
| <b>δ.1.a</b>       | 214                       | 0                     | 8                       | 0                        | 78                         |
| <b>Antibiótico</b> | 1920                      | 0                     | Incontables             | 13                       |                            |

Las formulaciones α, α.1.a, δ y δ.1.a, mostraron un efecto fungistático a 24 h del experimento para *C. albicans* y bactericida para *E. coli* y *S. aureus*.

**Cuadro 11.** Recuento de colonias de *C. albicans*, *S. aureus* y *E. coli* a los 37 días

| <b>Formulación</b> | <b><i>C. albicans</i></b> | <b><i>E. coli</i></b> | <b><i>S. aureus</i></b> | <b><i>B. cinerea</i></b> | <b>Control sin inóculo</b> |
|--------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <b>Inóculo</b>     | 2368                      | Incontables           | Incontables             |                          |                            |
| <b>α</b>           | 1360                      | 1                     | 1420                    |                          | 0                          |
| <b>α.1.a</b>       | Incontables               | 5                     | Incontables             |                          | 0                          |
| <b>δ</b>           | Incontables               | 0                     | 107                     |                          | 0                          |
| <b>δ.1.a</b>       | Incontables               | 0                     | 241                     |                          | 0                          |
| <b>Antibiótico</b> | Incontables               | 0                     | Incontables             |                          |                            |

Las formulaciones α, α.1.a, δ y δ.1.a, presentaron densidad y viscosidad similares a las del agua, lo cual podría coadyuvar a una buena absorción por el fruto y así prolongar la vida útil del mismo, además de tener efecto fungistático en *C. albicans* y bactericida para *E. coli* y *S. aureus* a los 8 días de la preparación de las formulaciones. En el ensayo de los 37 días las formulaciones presentaron un efecto bactericida en *E. coli*.

Las formulaciones  $\alpha.1$  y  $\delta.1$ , eran muy densos y viscosos lo cual no permite su correcta manipulación y al obtener las formulaciones  $\alpha.1$  y  $\delta.1$ , se observó la precipitación de almidón.

En busca de obtener un producto atractivo visualmente, se optó por disminuir la concentración de almidón y se obtuvieron nuevas formulaciones a las que se les denominó 1, 2, 3 y 4.

#### 4.5. Análisis dimensional

Los pasos siguientes sirven para reducir un problema dimensional a otro adimensional con menos parámetros:

1. Las tres variables significativas en función de las cuales se establecerán los diferentes grupos  $\pi$  son una de longitud (D), una velocidad (N) y una densidad ( $\rho$ )
2. Las variables, dimensiones y grupos adimensionales propias de un proceso de mezclado. Éstas pueden expresarse en una relación funcional tal que:

$$f(D, T, H, B, \rho, \mu, g, N, P) = 0$$

3. Las relaciones se dan en las tres dimensiones fundamentales (M, L y T), por lo tanto:

$$\pi = V - F$$

4. La ecuación se establece en función de  $9 - 3$  grupos adimensionales y cada grupo o término  $\pi$  tendrá  $3 + 1$  variables. La ecuación general es:

$$f'(\pi_1, \pi_1, \pi_1 \dots \pi_6) = 0$$

5. Los parámetros adimensionales se evaluarán de la forma siguiente:

$$\Pi_1 \text{ (para el diámetro del tanque, } U) = D^X N^Y \rho^Z T^{-1}$$

Sustituyendo variables:

$$U = D^X N^Y \rho^Z$$

$$L = (L)^X (T^{-1})^Y (ML^{-3})^Z$$

$$L \quad 1 = X - 3Z$$

$$T \quad 0 = -Y$$

$$M \quad 0 = Z$$

Resolviendo el sistema:

$$\begin{array}{l|ccc|c} L & 1 & 0 & -3 & 1 \\ T & 0 & -1 & 0 & 0 \\ M & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array}$$

$$R_1 = R_1 + 3R_3$$

$$R_2 = (R_2)(-1)$$

$$\begin{array}{l|ccc|c} L & 1 & 0 & 0 & 1 \\ T & 0 & 1 & 0 & 0 \\ M & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array}$$

$$\therefore \pi_1 = \frac{D}{U}$$

$$\Pi_2 \text{ (para el diámetro del aspa del impulsor, } B) = D^X N^Y \rho^Z B^{-1}$$

Sustituyendo variables:

$$B = D^X N^Y \rho^Z$$

$$L = (L)^X (T^{-1})^Y (ML^{-3})^Z$$

$$L \quad 1 = X - 3Z$$

$$T \quad 0 = -Y$$

$$M \quad 0 = Z$$

Resolviendo el sistema:

$$\begin{array}{l|ccc|c} L & 1 & 0 & -3 & 1 \\ T & 0 & -1 & 0 & 0 \\ M & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array}$$

$$R_1 = R_1 + 3R_3$$

$$R_2 = (R_2)(-1)$$

$$\begin{array}{l|ccc|c} L & 1 & 0 & 0 & 1 \\ T & 0 & 1 & 0 & 0 \\ M & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array}$$

$$\therefore \pi_2 = \frac{D}{B}$$

Esta misma metodología se utilizó para obtener los demás parámetros adimensionales. El Cuadro 12 muestra un resumen de los parámetros adimensionales obtenidos. De los parámetros adimensionales se ve que dos flujos serán semejantes si las ecuaciones diferenciales son idénticas para ambos casos.

**Cuadro 12.** Resumen de los parámetros adimensionales

| Parámetro adimensional | Deducción matemática             |
|------------------------|----------------------------------|
| 1                      | $\pi_1 = \frac{D}{U}$            |
| 2                      | $\pi_2 = \frac{D}{B}$            |
| 3                      | $\pi_3 = \frac{D^2 NP}{\mu}$     |
| 4                      | $\pi_4 = \frac{D}{H}$            |
| 5                      | $\pi_5 = \frac{D}{J}$            |
| 6                      | $\pi_6 = \frac{D}{C}$            |
| 7                      | $\pi_7 = \frac{D^5 N^3 \rho}{P}$ |
| 8                      | $\pi_8 = \frac{DN^2}{g}$         |

6. Formar la relación adimensional entre los grupos:

$$f\left(\frac{D}{U}, \frac{D}{B}, \frac{D^2 NP}{\mu}, \frac{D}{H}, \frac{D}{J}, \frac{D}{C}, \frac{D^5 N^3 \rho}{P}, \frac{DN^2}{g}\right) = 0$$

Cualquiera de los términos presentes en el Cuadro 12 puede ser considerado como variable dependiente de la ecuación general, pero como se ha encontrado que el número de potencia  $Np = \frac{P}{D^5 N^3 \rho}$  contiene las características esenciales del flujo se utiliza como la variable dependiente.

## **V. CONCLUSION**

Al escalar de 100 ml a 10 000 ml las formulaciones sanitizantes naturales 1, 2 y 4, conservaron sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas.

# BIBLIOGRAFÍA

Anaya-Durand, A. P.-F. H., 2008. Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina.. *Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina.* , 23(1), pp. 31-39.

Ávila-Arce, A. & González-Milán, D. d. J., 2012. La competitividad de las fresas (fragaria spp.) mexicanas en el mercado nacional, regional y de Estados Unidos.. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 9(1), pp. 17-27.

Barrera, .. N. L. L. G. B. L. J., 2008. Antifungal activity of essential oils and their compounds on the growth of Fusarium sp. isolate from papaya. *Revista Científica UDO Agrícola*, pp. 33-48.

Bourtoom, T., 2008. Edible films and coatings : Characteristics and properties. *International Food Research Journal*.

Bradt, H. B., 2002. *Mejorando la seguridad y calidad de frutas y hortalizas frescas: manual de formación para instructores*. [En línea]

Available at: [http://www.fao.org/ag/agn/cdfruits\\_es/others/docs/maryland\\_manual.pdf](http://www.fao.org/ag/agn/cdfruits_es/others/docs/maryland_manual.pdf)  
[Último acceso: 07 Mayo 2017].

Carol, F. K. y. P., 2008. Potential antimicrobial uses of essential oils in food: is citrus the answer?. *Trends in Food Science & Technology*, p. 156–164.

Ceponis, M. J., Cappellini, R. A. & Lightner, G. W., 1987. Disorders in sweet cherry and strawberry shipments in the New York market, 1972–1984.. *Plant Dis.*, 71(5), pp. 472-475.

Cisneros-Zevallos, L. & Krochta, J. M., 2003. Dependence of coating thickness on viscosity of coating solution applied to fruits and vegetables by dipping method. *J. Food Sci.*, 68(2), pp. 503-510.

CMCC, C., 2003. *A Pest Management Strategic for Strawberry Production in California*. [En línea]

Available at: <http://www.ipmcenters.org/pmsp/pdf/CASTRAWBERRY.PDF>  
[Último acceso: 01 Mayo 2017].

CONAFRE, 2011. *PLAN RECTOR NACIONAL 2012. fresa*. [En línea]

Available at:

[http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/EXP\\_CNSP\\_FRESA/PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR\\_CNSP\\_FRE SA\\_2012.pdf](http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/EXP_CNSP_FRESA/PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR_CNSP_FRE SA_2012.pdf)

[Último acceso: 01 Mayo 2017].

Deans, S. G., 1987. Antibacterial properties of plant essential oils.. *International Journal of Food Microbiology*, pp. 165-180.

- Donhowe, I. G. a. F. O. R., 1993. The effects of plasticizers on crystallinity, permeability, and mechanical properties of methylcellulose films. *Journal of Food Processing and Preservation* , pp. 247-257.
- Falguera, V. Q. J. P. J. A. M. J. A. I. A., 2011. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science and Technology*, 22(6), pp. 292-303.
- Fisher Katie, C. P., 2008. Potential antimicrobial uses of essential oils in food: is citrus the answer?. *Trends in Food Science & Technology*, p. 156–164.
- Hagenmaier, R. & Baker, R., 1993. Reduction in gas exchange of citrus fruit by wax coatings. *J. Agr. Food Chem*, Issue 41, pp. 283-287.
- Harriott, P., McCabe, W. L. & Smith, J. C., 1991. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Séptima edición ed. s.l.:McGraw Hill.
- Johnstone, R. E. & Thring, M. W., 1957. *Pilot plants, models, and scale-up methods in chemical engineering*. 1957 ed. New York: McGraw-Hill.
- Kader, A. A., 2002. Optimal handling conditions for fresh produce. En: UCANR, ed. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 3 ed. California, USA: s.n., pp. 511-518.
- Mascléf, A., 1891. *Atlas des plantes de France*. Paris: s.n.
- McCabe, W. L., C. Smith, J. & Harriott, P., 2007. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Séptima edición ed. s.l.:MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE MEXICO.
- Mchugh, T. H., 2000. Protein-lipid interactions in edible films and coatings. *Nahrung*, pp. 148-151.
- Mitcham, B., 1996. Quality Assurance for Strawberries: A Case Study. *Perishables Handling Newsletter*, Febrero, Volumen 85, pp. 6-9.
- NMX-FF-062-SCFI-2002, 2002. *PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA CONSUMO HUMANO - FRUTA FRESCA - FRESA (Fragaria x ananassa, Dutch) – ESPECIFICACIONES Y MÉTODO DE PRUEBA*, México D. F.: Diario Oficial de la Federación.
- NMX-FF-062-SCFI-2002, 2002. *PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA CONSUMO HUMANO - FRUTA FRESCA - FRESA (Fragaria x ananassa, Dutch) – ESPECIFICACIONES Y MÉTODO DE PRUEBA*. *Diario Oficial de la Federación*, 1 Agosto.
- Oldshue, J., 1983. *Fluid Mixing Technology, Chemical Engineering*. Fluid Mixing Technology, Chemical Engineering: McGraw-Hill.
- OMS, O. M. d. I. S., 2015. *Inocuidad de los alimentos*. [En línea] Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs399/es/>

Pascall, M. & Lin, S.-J., 2013. The application of edible polymeric films and coatings in the food industry.. *Food, Processing and Technology*, 4(2), pp. 1-2.

Peters, E. D., 2002. *Territorio y competitividad de la agroindustria en México: Condiciones y propuestas de política para los clusters del limón mexicano en Colima y la piña en Veracruz*. Primera edición ed. México, D. F.: Plaza y Valdés, S. A. de C. V..

Quintero, C. J. P. P. F. V. y. M. H. A. J., 2010. Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *revista tumbaga*, Issue 5, pp. 93-118.

Quintero, J., Falguera, V. & Muñoz, H. A., 2010. Films and edible coatings: importance, and recent trends in fruit and vegetable value chain. *Revista Tumbaga*, Volumen 5, pp. 93-118.

SAGARPA, 2005. *PLAN RECTOR SISTEMA NACIONAL LIMÓN MEXICANO*. [En línea] Available at: [http://siic.ucol.mx/Archivos\\_prov/prn\\_limon.pdf](http://siic.ucol.mx/Archivos_prov/prn_limon.pdf) [Último acceso: 03 Mayo 2017].

SAGARPA, 2014. *SAGARPA*. [En línea] Available at: <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/jalisco/boletines/2014/marzo/Documents/2014B04002.PDF> [Último acceso: 02 Mayo 2017].

SAGARPA, 2017. *AUMENTAN EXPORTACIONES DE FRESA "HECHO EN MÉXICO" 21.2 POR CIENTO*. [En línea] Available at: [http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC\\_00134\\_14.aspx](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_00134_14.aspx) [Último acceso: 02 Mayo 2017].

Sedrua, 2016. *Secretaría de Desarrollo Rural y Agroalimentario, Gobierno del Estado de Michoacán*. [En línea] Available at: <http://sedrua.michoacan.gob.mx/michoacan-primer-lugar-nacional-en-produccion-de-berries/> [Último acceso: 01 mayo 2017].

Thring, R. E. J. M. W., 1957. En: *Pilot Plants Models and Scale-up Methods in Chemical Engineering*. Nueva York: McGraw-Hill.

UNEP, U. N. E. P., 2006. *Handbook for the Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer*. 7 ed. Kenia: s.n.

USDA, 2004. *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks*. [En línea] Available at:

<https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/oc/np/CommercialStorage/CommercialStorage.pdf>  
f  
[Último acceso: 02 Mayo 2017].