



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DE RECUBRIMIENTOS
COMESTIBLES A BASE DE POLISACÁRIDOS
EN ZARZAMORA (*Rubus spp.*)**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

ANDREA GUADALUPE MONJARAS CALDERÓN

ASESOR DE TESIS

Dra. MA. DEL CARMEN CHÁVEZ PARGA

COASESOR DE TESIS:

Dr. MAURO MANUEL MARTÍNEZ PACHECO

MORELIA, MICHOACÁN OCTUBRE DEL 2018.

Resumen

Evaluación de recubrimientos comestibles a base de polisacáridos en zarzamora (*Rubus spp.*)

Palabras Clave: *Botrytis cinérea*, recubrimiento comestible, polisacáridos, zarzamora.

La zarzamora es una frutilla perecedera susceptible a la pérdida de agua y a la degradación por microorganismos, principalmente por el hongo *Botrytis cinerea*, el cual necrosa los tallos, momifica los frutos inmaduros, pudre y descompone los frutos maduros. Los recubrimientos comestibles preservan los frutos al retrasar las pérdidas de peso por deshidratación, de firmeza y pigmentación que causan los microorganismos. Los polisacáridos se usan para elaborar recubrimientos comestibles capaces de formar una matriz protectora transparente y homogénea.

El objetivo de este proyecto fue evaluar recubrimientos comestible a base de polisacáridos vegetales con capacidad antimicrobiana para la zarzamora.

Los recubrimientos se elaboraron a base de polisacáridos y otros componentes vegetales. Éstos se ensayaron *in vitro* con tres microorganismos indicadores: *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. Los recubrimientos efectivos en el ensayo *in vitro*, se evaluaron *in situ*. Las zarzamoras se sometieron a tratamientos a diferentes temperaturas de almacenamiento; los parámetros que se evaluaron fueron índice de severidad de daño y el índice de maduración. Los resultados obtenidos no mostraron efecto significativo sobre la calidad y la conservación de la zarzamora con el recubrimiento a base de polisacáridos y componentes vegetales.

Abstract

Evaluación de recubrimientos comestibles a base de polisacáridos en zarzamora (*Rubus* spp.)

Key words: edible coatings, polysaccharides, blackberry, *Botrytis cinérea*

The blackberry is a perishable berry susceptible to water loss and degradation by microorganisms, mainly by the fungus *Botrytis cinerea*, which necroses the stems, mummifies the immature fruits, rots and decomposes the ripe fruits. Edible coatings preserve the fruits by delaying weight loss due to dehydration, firmness and pigmentation caused by microorganisms. The polysaccharides are used to make edible coatings capable of forming a transparent and homogeneous protective matrix.

The object of this project is to evaluate coatings based on vegetable polysaccharides with antimicrobial capacity for the blackberry.

The coatings were made based on polysaccharides and other plant components. These were tested *in vitro* with three microorganisms as indicators: *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. The effective coatings in the *in vitro* test were evaluated *in situ*. The blackberries were subjected to treatments at different storage temperatures; the parameters evaluated were damage severity index and maturation index. The results obtained showed no significant effect on the quality and conservation of the blackberry with the coating based on polysaccharides and vegetable components.

Dedicatoria

A mi familia:

Nadie dijo que lograr las metas y sueños sea algo sencillo de hacer, a veces no sabemos ni cómo empezar o si estamos seguros de lo que realmente queremos. Pero ustedes siempre me impulsaron a dar los primeros pasos, a seguir un camino. En la medida que transitaba ese sendero todo se fue viendo más claro y fui entendiendo más qué buscaba y qué quería.

Cada caída o falla me enseñaron y aún al sentirme cansada, adolorida, agotada ustedes siempre me alentaron a seguir caminando. Posiblemente seguí tropezando pero cada vez con mayor certeza de lo que buscaba y quería, más consciente de mis logros y sueños, y de lo que podía lograr.

Gracias a su amor y apoyo incondicional me queda la satisfacción de haberlo intentado, de haberlo aprendido y de haberlo logrado.

Agradecimientos

A la Benemérita y Centenaria Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo que abrió la puerta de sus instalaciones y su conocimiento para continuar con mi desarrollo académico.

A la Facultad de Ingeniería Química que fue en sus instalaciones donde inicié esta aventura y comencé mi formación académica convirtiéndose en mi segunda casa. Gracias a los profesores por transmitirme sus conocimientos tecnológicos y científicos, sus enseñanzas y su sabiduría, convirtiéndome en una ingeniera química capaz de impulsar el desarrollo de la industria química con un sentido crítico, ético y creativo.

Al Instituto de Investigaciones Químico Biológicas quien me abrió la puerta de sus instalaciones para llevar a cabo este proyecto.

A la Dra. Ma. del Carmen Chávez Parga y al Dr. Mauro Manuel Martínez Pacheco, quienes me brindaron la confianza para llevar a cabo este proyecto el cual me hizo crecer tanto profesionalmente como personalmente. Gracias por todas sus enseñanzas, por sus consejos, por su apoyo incondicional y por siempre creer en mí.

A mis sinodales por sus valiosas aportaciones en el trabajo, siendo estas de gran ayuda para la perfección del mismo.

A la empresa “Go Verden” quién me brindó la oportunidad de desarrollarme profesionalmente. A mis compañeros de trabajo quienes me brindaron su amistad, su apoyo y su conocimiento.

A mis familiares y amigos, quienes estuvieron siempre a mi lado apoyándome en todo momento, sin importar la situación, gracias por sus consejos, por su amor y cariño, por escucharme, por sus enseñanzas, por su amistad, por siempre creer en mí. Sin ustedes este triunfo no hubiera sido posible, los quiero mucho.

A mis compañeros del Laboratorio de Fisiología celular quienes me brindaron su amistad, apoyo y conocimiento en la realización de este proyecto de investigación, en especial a la M.C Rosa María Espinoza y al M.C. Alberto Flores García quienes me guiaron para llevar a cabo exitosamente este proyecto.

A todos, ¡muchas gracias!.

Contenido

Resumen	i
Abstract.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos	iv
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tablas	ix
Glosario	x
Abreviaturas.....	xiii
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Justificación	1
1.2. Planteamiento del Problema	2
1.3. Hipótesis.....	2
1.4. Objetivo General	2
1.5. Objetivos Particulares	2
Capítulo 2. Marco Teórico	3
2.1. Zarzamora	3
2.1.1. Morfología de la zarzamora.....	4
2.1.2. Cosecha y poscosecha de la zarzamora	5
2.1.3. Clasificación de la calidad de la zarzamora	5
2.1.4. Especificaciones de la zarzamora	6
2.1.5. Beneficios de la zarzamora	6
2.1.6. Importancia de la zarzamora en México.....	7
2.1.7. Enfermedades de la zarzamora	8
2.1.7.1. <i>Botrytis cinerea</i>	8
2.2. Recubrimientos Comestibles.....	9
2.2.1. Tipos de recubrimientos.....	10
2.2.2. Formación de recubrimientos	10
2.3 Sanitizantes	11

2.4 Agitación y mezclado.....	11
2.4.1. Definición	11
2.4.2. Propósitos de la agitación.....	11
2.4.3 Tanques de agitación.....	11
2.4.4. Impulsores.....	12
2.5. Escalamiento	13
2.5.1. Definición de Escalamiento	13
2.5.2. Problemas de escalamiento	14
2.5.3. Importancia del ingeniero químico en el escalamiento	14
2.6 Modelos y prototipos	15
2.7. Principio de semejanza.....	15
2.7.1 Semejanza geométrica	16
2.7.2. Semejanza mecánica	17
2.7.2.1. Semejanza estática	17
2.7.2.2. Semejanza cinemática	17
2.7.2.3. Semejanza dinámica	18
2.7.3. Semejanza térmica	18
2.7.4. Semejanza química.....	19
2.8. Criterios de semejanza	19
2.8.1. Análisis dimensional	19
2.8.1.1 Teorema de Pi (Π) de Buckingham.....	20
2.8.2 Ecuaciones diferenciales.....	20
2.8.2.1. Ecuaciones de Navier-Stokes	21
Capítulo 3. Metodología.....	23
3.1. Elaboración de los recubrimientos comestibles	23
3.2. Determinación de propiedades fisicoquímicas.....	23
3.2.1. Densidad.....	23
3.2.2. Viscosidad.....	24
3.3. Criterios de Semejanza	25
3.3.1. Teorema de Pi (π) de Buckingham	25
3.3.2 Ecuación de Navier-Stokes	26
3.4. Ensayos Microbiológicos	26

3.4.1. Experimentación <i>in vitro</i>	26
3.4.2. Experimentación <i>in situ</i>	28
3.4.2.1. Tratamientos en zarzamora.....	28
3.4.2.2. Defectos presentes en la zarzamora.....	30
3.4.2.3. Color de la zarzamora	32
3.5. Sustentabilidad Económica	32
3.6 Análisis Estadísticos.....	32
Capítulo 4. Resultados y Discusión.....	33
4.1. Propiedades fisicoquímicas	33
4.2. Criterios de semejanza	33
4.2.1. Teorema de Pi (Π) de Buckingham.....	33
4.2.2. Perfil de velocidad	36
4.3. Principio de semejanza.....	40
4.4. Ensayo sanitizante de los recubrimientos	43
4.5 Ensayo <i>in situ</i> de los recubrimientos comestibles	45
4.6 Viabilidad Económica	47
Discusión de resultados.....	48
Capítulo 5. Conclusiones	53
Recomendaciones y Trabajo a Futuro	53
Capítulo 6. Bibliografía	55

Lista de Figuras

Figura	Título	Página
1	Zarzamora (<i>Rubus</i> spp)	3
2	Planta de la zarzamora (<i>Rubus</i> spp)	4
3	Principales estados mexicanos productores de zarzamora 2013-2014	7
4	Fruto infectado de <i>Botrytis cinerea</i>	9
5	Tanque típico de agitación en procesos	12
6	Esquema y medidas de turbina	13
7	Ingeniería química como vínculo en la Industria	14
8	Semejanza geométrica	17
9	Semejanza cinemática	18
10	Picnómetro para líquidos de baja viscosidad	24
11	Viscosímetro de Ostwald	25
12	Color de las etapas de maduración de la zarzamora	32
13	Factores de escala considerados en el proyecto	40
14	Comprobación de las propiedades sanitizantes de las formulaciones a diferente escala	44
15	Frutos representativos de los tratamientos con IS ₅₀ a temperatura ambiente	46
16	Frutos representativos de los tratamientos con IS ₅₀ a 4 °C	47
17	Frutos representativos de los tratamientos con IS ₅₀ a 8 °C	47

Lista de Tablas

Tabla	Título	Página
1	Tratamiento a evaluar in vitro	28
2	Tratamiento a evaluar in situ	29
3	Clasificación de los defectos de la zarzamora	31
4	Propiedad de los recubrimientos a diferentes escalas	33
5	Variables físicas presentes en el problema	33
6	Dimensiones de los tanques utilizados en el proceso	40
7	Aplicación del principio de similitud geométrica	41
8	Aplicación del principio de similitud mecánica	43
9	Comprobación de las propiedades sanitizantes de las diferente escalas a las 24 h de elaboración de los recubrimientos	43
10	Comprobación de las propiedades sanitizantes de las diferente escalas a los 30 d de elaboración de los recubrimientos	44
11	Tiempo en que las zarzamoras alcanzaron el IS 50 %	45
12	Color de las zarzamoras en el tiempo que alcanzaron el IS del 50 % a temperatura ambiente	45
13	Color de las zarzamoras en el tiempo que alcanzaron el IS del 50 % a 4 °C	46
14	Color de las zarzamoras en el tiempo que alcanzaron el IS del 50 % a 8 °C	46
15	Precio de elaboración de los recubrimientos comestibles por litro	48

Glosario

- **Agitación:** Acción de forzar a un fluido, por medios mecánicos, para que adquiriera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente.
- **Análisis microbiológicos:** Inspección de alimentos o sustancias por medio de ensayos que permiten detectar la presencia de patógenos.
- **Aristado:** Órgano vegetal que terminan en punta aguda.
- **Bacteria:** Microorganismo unicelular procarionte que puede provocar enfermedades, fermentaciones o putrefacción en los seres vivos o materias orgánicas.
- ***Botrytis cinerea*:** Hongo necrótrofo, que produce la muerte a su anfitrión para obtener todos los nutrientes que necesita.
- ***Candida albicans*:** Hongo dimórfico, que se desarrolla de forma distinta en función de la temperatura de crecimiento, como levadura y como hongo.
- **Conidias:** Espora asexual inmóvil formada directamente a partir de una hifa.
- **Defecto crítico:** Defecto que afectan la apariencia, calidad e inocuidad del fruto.
- **Defecto de apariencia:** Defecto que muestre daños físicos al fruto perceptibles a simple vista.
- **Defecto de condición:** Defecto que avanza con el tiempo derivado de la condición fisiológica del fruto.
- **Densidad:** Magnitud escalar referida como la cantidad de masa en un determinado volumen a una temperatura dada.
- **Escalamiento:** Procedimiento mediante el cual se desarrollan los criterios y las reglas de asignación numérica que determinan las unidades de medida significativas para llevar un diseño, una operación, o un objeto de un tamaño dado a otro, mayor o menor.
- ***Escherichia coli*:** Bacteria Gram negativa y anaerobia facultativa, se encuentra presente en el intestino humano y de animales de sangre caliente.
- **Esporas:** Cuerpo microscópico unicelular o pluricelular que se forma con fines de dispersión y supervivencia por largo tiempo en condiciones adversas.
- **Filiforme:** Apariencia de hilo.
- **Frutilla:** Frutos que se forman a partir de la unión de numerosos frutos pequeños que, al juntarse, adquieren apariencia de unidad.

- **Gram negativa:** Bacterias que no se tiñen de azul oscuro o de violeta por la tinción de Gram, y lo hacen de un color rosado tenue. Esta característica está íntimamente ligada a la estructura didérmica dada por la envoltura celular, ya que presentan doble membrana celular (externa y citoplasmática).
- **Gram positiva:** Bacterias que se tiñen de azul oscuro o violeta por la tinción de gram. Esta característica química está íntimamente ligada a la estructura de la envoltura celular, por lo que refleja un tipo natural de organización bacteriana.
- **Hifas:** Red de filamentos cilíndricos que conforman la estructura del cuerpo de los hongos multicelulares. Están constituidos por una fila de células alargadas y tubulares.
- **Hongo:** Grupo de organismos eucariotas entre los que se encuentran los mohos, las levaduras y las setas.
- **Micelio:** Aparato vegetativo de los hongos que le sirve para nutrirse y está constituido por hifas.
- **Modelo:** Dispositivo que está concebido para predecir el rendimiento del prototipo.
- **Patógeno:** Agente que puede producir enfermedad o daño a la biología de un huésped, sea animal o vegetal.
- **Polisacáridos:** Biomoléculas que se encuentran conformadas por la unión de monosacáridos, que son los azúcares más simples, más sencillos y que se caracterizan por no hidrolizarse, o sea, no se descomponen en otros compuestos.
- **Prototipo:** Sistema físico a escala completa que será modelado.
- **Recubrimiento comestible:** Matriz transparente continua, comestible y delgada, que se estructura alrededor de un alimento con el fin de preservar su calidad.
- **Sanitizantes:** Sustancias químicas que reducen el número de microorganismos a un nivel seguro, capaces de eliminar el 99.999% de una población bacteriana en 30 s.
- **Semejanza cinemática:** Tiempos proporcionales.
- **Semejanza dinámica:** Fuerzas proporcionales.
- **Semejanza estática:** Deformaciones proporcionales.
- **Semejanza geométrica:** Dimensiones proporcionales.
- **Semejanza química:** Concentraciones proporcionales.

- **Semejanza térmica:** Temperaturas proporcionales.
- ***Staphylococcus aureus*:** Bacteria Gram positiva y anaerobia facultativa en forma de coco.
- **Viscosidad:** Resistencia al desplazamiento producida por el efecto de corte, el cual se genera por la fricción interna de las moléculas de una capa de fluido al deslizarse sobre otra.
- **Zarzamora:** Infrutescencia (frutilla) de receptáculo carnoso, ovado de color púrpura intenso a negro y fragante, de la familia de las rosáceas, género *Rubus spp.*

Abreviaturas

• Cv	Cuenta viable inicial
• d	Día
• Da	Diámetro impulsor
• Dt	Diámetro tanque
• E	Altura del agitador al fondo del tanque
• F	Dimensiones de referencia
• G	Aceleración gravitacional
• h	Hora
• H	Altura del líquido al fondo del tanque
• L	Longitud (unidad fundamental)
• La	Longitud del impulsor
• m	Metro
• M	Masa (unidad fundamental)
• msnm	Metros sobre el nivel del mar
• N	Velocidad del impulsor
• N_{Fr}	Número de Froude
• nm	Nanómetros
• N_p	Número de Potencia
• N_{RE}	Número de Reynolds
• P	Potencia
• R	Radio interno del tanque
• r_i	Radio del agitador
• rpm	Revoluciones por minuto
• S	Células sobrevivientes
• t	Tiempo
• T	Temperatura
• UFC	Unidades formadoras de colonias
• V	Volumen
• W	Altura del impulsor
• W_x	Peso
• X	Número de parámetros en el problema

- μ
- Π
- ρ
- Ω

Viscosidad

Números adimensionales

Densidad

Velocidad angular

Capítulo 1. Introducción

La necesidad de buscar alternativas de conservación de alimentos, surge debido a la demanda por parte del consumidor de productos frescos. Entre estas alternativas destaca el desarrollo y uso de recubrimientos comestibles, los cuales tienen la capacidad de controlar la transferencia de agua y gases, la tasa de crecimiento de microorganismos y conservar las características de los alimentos (Oliveira *et al.*, 2014).

La zarzamora es una frutilla comestible perecedera que, por sus condiciones fisiológicas, resulta susceptible a la pérdida de humedad y al ataque por microorganismos, principalmente el hongo *Botrytis cinerea* que causa pudrición del fruto cuando se encuentra en estado de maduración (Rebollar, 2011).

En el laboratorio de Fisiología Celular del Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo se inventaron recientemente dos formulaciones sanitizantes a base de polisacáridos y extractos vegetales para ser utilizadas como recubrimientos comestibles, nombradas “Formulación 1” y “Formulación 2” (Lanuza, 2016). Éstas demostraron poseer efecto sanitizante *in vitro*; además, en el ensayo *in situ* inhibieron el patógeno *B. cinerea* en la fresa (*Fragaria x ananassa*, Duch cv Cristal) y alargaron su vida de anaquel. Por lo que es de interés escalar el proceso de elaboración de los recubrimientos y ensayarlos de manera *in situ* en la zarzamora (*Rubus* spp.), a fin de que en combinación con la conservación en frío inhiban el crecimiento de *B. cinérea* sobre esta frutilla comestible.

1.1. Justificación

Recubrimientos a base de polisacáridos y componentes vegetales a escala laboratorio (tubo de ensayo), generados previamente, mostraron capacidad antimicrobiana *in vitro* contra el hongo patógeno de frutillas *Botrytis cinerea*. Estas preparaciones antimicrobianas representan la posibilidad de que la vida corta que exhibe la zarzamora después de la cosecha se prolongue. Debido a que la producción de zarzamora genera una importante derrama económica, se estudia el escalamiento del tanque para el proceso de obtención de los recubrimientos, con ensayos antimicrobianos y fisicoquímicos.

1.2. Planteamiento del Problema

El escalamiento del tanque para el proceso de elaboración de los recubrimientos comestibles, desde laboratorio hasta escala industrial, en base a teorema de π de Buckingham, guiados por los ensayos antimicrobianos y fisicoquímicos en la zarzamora: contribuirá al establecimiento de los criterios para la determinación de su viabilidad como un recubrimiento prototipo.

1.3. Hipótesis

Si en el escalamiento del tanque a 1 L para el proceso de elaboración de recubrimientos comestibles por el teorema de Pi es correctamente guiado por las propiedades fisicoquímicas y sanitizantes de los recubrimientos, entonces la zarzamora recubierta permanece inalterable por más tiempo.

1.4. Objetivo General

Escalar el tanque a 1 L para el proceso de elaboración de los recubrimientos a base de polisacáridos y componentes vegetales, de 100 ml a 1,000 ml, sin que se afecte su capacidad antimicrobiana y su aplicación a la zarzamora no modifique su aspecto (color y brillo).

1.5. Objetivos Particulares

- Escalar el tanque a 1 L para el proceso de elaboración de los recubrimientos a base de polisacáridos en un tanque agitado a partir del principio de semejanza.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas, densidad y viscosidad de los recubrimientos.
- Evaluar *in vitro* el efecto antimicrobiano de los recubrimientos comestibles con los microorganismos control.
- Determinar el efecto conservador de los recubrimientos comestibles *in situ*, como recubrimientos a base de polisacáridos y componentes vegetales, aplicados en zarzamora.
- Establecer la viabilidad de los recubrimientos comestibles a partir de un análisis técnico económico.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1. Zarzamora

Las “berries”, también conocidos como frutillas, se definen como los frutos que se forman a partir de la unión de numerosos frutos pequeños que, al juntarse, adquieren apariencia de unidad. Las frutillas se caracterizan por su tamaño pequeño y por sus colores brillantes. Este grupo incluye a las fresas, los arándanos, las zarzamoras y las frambuesas, cada una con sub variedades. La producción de berries o frutos rojos es una de las actividades agrícolas más importantes que hay en México, ya que gracias al alto índice de consumo que han presentado en la última década, se han convertido en uno de los principales productos agroalimentarios de exportación a nivel mundial. México es el quinto productor de berries del mundo (FIRA, 2016), con cerca de 25 mil hectáreas plantadas (SAGARPA, 2017).

La zarzamora (**Figura 1**) se define como la infrutescencia de receptáculo carnoso, ovado de color púrpura intenso a negro y fragante, de la familia de las rosáceas, género *Rubus* spp. La zarzamora, o fruto de las zarzas, está compuesta por drupeolas reunidas alrededor de un eje o receptáculo, las cuales contienen en su interior una semilla. Las zarzas son arbustos espinosos que pertenecen a la familia de las Rosáceas, en la que incluyen más de 2,000 especies de plantas herbáceas, arbustos y árboles (PRY-FF-129-SCFI-2016).



Figura 1. Zarzamora (*Rubus* spp). Tomado de Pérez y Vázquez, 2004.

La zarzamora procede de América, el oeste de Europa y algunas zonas de Asia y el ártico, al principio figuró como una especie invasiva pero al mismo tiempo como una fuente de alimento para diversas especies animales. Después los frutos fueron considerados como recursos alimenticios de temporada y posteriormente fueron usados por sus propiedades medicinales. Hasta finales del siglo XIX, debido a la demanda de este fruto, se empezó a considerar como un cultivo comercial (Rasgado, 2015).

2.1.1. Morfología de la zarzamora

La planta de zarzamora (**Figura 2**) puede alcanzar de 2 m a 3 m de altura, y entre 100 cm y 150 cm de anchura. La raíz de zarzamora es filiforme, extendida, nudosa, superficial y cuenta con tallos subterráneos llamados rizomas. Los tallos emergen concentrados de la base de la planta y son aristados, provistos de agudas espinas; hay variedades con tallos erectos y otras con tallos rastreros. Las hojas son estipuladas y compuestas, teniendo 3 o 5 folíolos. Cada folíolo es elíptico y aserrado en los bordes (Rivas, 2017).



Figura 2. Planta de la zarzamora (*Rubus* spp). Tomada de Rasgado, 2015.

El cáliz es persistente y tiene 5 sépalos. En la corola de cada flor, sobre un receptáculo ensanchado, hay 5 pétalos blancos o rosados que en ocasiones presentan manchas rojizas. Cada flor tiene numerosos estambres y carpelos, los cuales contienen un óvulo fértil que da origen a cada una de las drupas que forman el fruto compuesto clasificado como una polidrupa. Cada uno de estos frutos al principio es duro y verde, gradualmente se vuelven rojos y luego se intensifica su color hasta adquirir una tonalidad púrpura, brillante y uniforme al momento de haber alcanzado su madurez completa (Pérez y Vázquez, 2004).

Existen factores limitantes que influyen principalmente en el crecimiento, rendimiento y calidad de frutos de zarzamora, tales como el clima (luz, temperatura, humedad, etc.), el agua y la nutrición (Sánchez, 2009). Las zaramoras requieren de un clima relativamente fresco y soleado con temperaturas que oscilan entre 16° C y 25° C, y humedad relativa de 80% a 90%. Para su óptimo desarrollo se deben cultivar entre los 1,200 msnm y 2,000 msnm, pero pueden tolerar un amplio intervalo de altitudes. La zarzamora se desarrolla mejor en suelos franco-arcillosos, los cuales le permiten reservar adecuadamente agua; el exceso de agua es evacuado fácilmente, conteniendo materia orgánica, y pH entre 5.2 y 6.7, aunque 5.7 es óptimo (SAGARPA, 2017).

2.1.2. Cosecha y poscosecha de la zarzamora

El índice de cosecha utilizado es el color de la superficie del fruto, éste debe ser morado intenso o negro. Además de la acidez se debe tomar en consideración a los sólidos solubles totales, debido a que en el fruto estos parámetros no varían en poscosecha. Cuando la zarzamora alcanza su madurez adecuada se desprende fácilmente del receptáculo, debe tener color brillante y firmeza consistente. Cabe destacar que la zarzamora es una frutilla perecedera y se caracteriza por una vida corta (2 - 5 días) después de la cosecha, en condiciones óptimas de manejo. Así mismo, las zaramoras son poco sensibles al daño por frío después de la cosecha, por lo que es importante mantenerlas siempre a temperaturas lo más bajas posibles (0° C - 5° C) para evitar pudrición rápida (Yahia, 2016).

2.1.3. Clasificación de la calidad de la zarzamora

La zarzamora se clasifica por su grado de calidad en tres categorías de acuerdo con la norma PRY-FF-129-SCFI-2016:

- **Categoría Extra:** Las zarzamoras deben ser de calidad superior. Su forma, grado de desarrollo y coloración deben ser característicos de la variedad. El fruto debe estar perfectamente sano.
- **Categoría I:** Las zarzamoras deben ser de buena calidad y deben presentar los atributos, característicos de la variedad. Defectos que no afecten al aspecto general del producto, su calidad, estado de conservación y presentación en el envase pueden permitirse.
- **Categoría II:** Esta categoría comprende las zarzamoras que no pueden clasificarse en las categorías anteriores, pero satisfacen los requisitos mínimos especificados.

El producto que no se clasifique de acuerdo con alguno de los grados de calidad enunciados anteriormente, se designa como “No Clasificado”.

2.1.4. Especificaciones de la zarzamora

En todas las categorías indicadas anteriormente la zarzamora debe:

- Estar fresca, sana, entera, bien desarrollada, de consistencia firme y no sobre maduras.
- Presentar forma, sabor, color y olor característicos de la variedad.
- Estar libres de defectos críticos.
- Estar libres de cualquier olor o sabor extraño.

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 lograr la calidad deseada (PRY-FF-129-SCFI-2016).

2.1.5. Beneficios de la zarzamora

La zarzamora exhibe una amplia gama de propiedades nutritivas, entre las que destacan sus importantes contenidos de vitaminas A, C, E y complejo B, así como su importante aporte de minerales como potasio, fósforo, hierro, sodio, magnesio, manganeso, selenio, zinc, cobre, calcio, y compuestos esenciales como lo son el ácido fólico y la niacina (Sánchez, 2009).

Además de lo anterior, la zarzamora exhibe propiedades diuréticas, es buena para mitigar los síntomas de gripe, resfrío, tos y constipación alérgica, contribuye a reducir

inflamaciones internas, fortalece la sangre y fomenta la coagulación, ayuda contra los espasmos y las molestias menstruales, y como una de sus principales virtudes, es un excelente antioxidante (Coronado *et al.*, 2014).

2.1.6. Importancia de la zarzamora en México

México es el quinto productor de berries del mundo, antecedido por China, Estados Unidos, Rusia y Polonia. El mercado de berries en México ha ganado importancia económica en los últimos años, ya que además de generar alrededor de 110,000 empleos, también representa una derrama económica anual de aproximadamente 900 millones de dólares (Cárdenas, 2017).

El valor de las exportaciones de berries de México ha aumentado a una tasa anual promedio de 17% durante el periodo 2008 - 2015, lo que ha provocado que la balanza comercial continúe aumentando su brecha positiva durante los últimos años. En 2015, las exportaciones de berries alcanzaron un valor de 1,501 millones de dólares, mientras que las importaciones fueron por 42 millones de dólares. En el caso de la zarzamora, México genera 30% del volumen de exportación global (FIRA, 2016).

La producción nacional de zarzamora (**Figura 3**) se concentra en Michoacán específicamente en los municipios Los Reyes y Peribán, de los cuales se obtiene el 60 % de la producción estatal. En el 2014, los principales estados del país productores de zarzamora fueron: Michoacán con 93.5 %; Jalisco con 3.0 %; Colima con 0.9 %, Baja California con 0.3 % y Puebla con 0.2 % (FIRA, 2016).

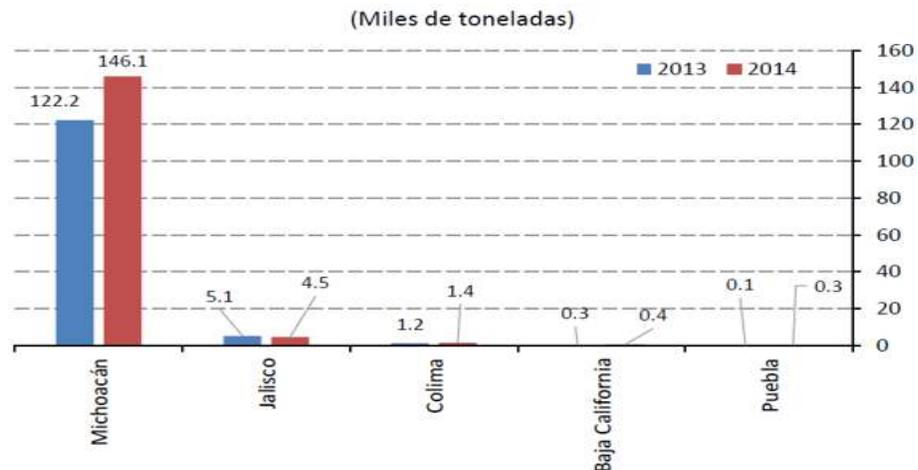


Figura 3. Principales estados mexicanos productores de zarzamora 2013-2014 (FIRA, 2016).

2.1.7. Enfermedades de la zarzamora

Las causas de deterioro de las zarzamoras durante la conservación son la pudrición, especialmente causada por *Botrytis cinerea* y *Rhizopus stolonifer*, daños físicos y mecánicos, aparición de leakers¹, pérdida de agua, y daños causados por concentraciones extremas de gases, bajas concentraciones de oxígeno y muy altas de bióxido de carbono (Yahia, 2016).

La selección de plantas sanas, el uso de variedades resistentes, las podas, la nutrición balanceada, el manejo del riego y el almacenamiento en condiciones óptimas, son prácticas comunes y cotidianas que pueden hacer la diferencia para disminuir los daños y la incidencia de enfermedades (Pérez, 2004).

2.1.7.1. *Botrytis cinerea*

El moho gris en la planta y el fruto es causado por *Botrytis cinerea*, y es considerado como una de las enfermedades con más relevancia en el cultivo de zarzamora; este moho necrosa los tallos, momifica los frutos inmaduros, y pudre los frutos maduros. El patógeno es capaz de infectar los tejidos de la planta a través de las lesiones superficiales durante la cosecha y la manipulación posterior. El moho gris es una de las principales causas de pérdidas poscosecha, y el grado de descomposición se ve afectado por el manejo de la enfermedad antes de la cosecha y por las prácticas poscosecha. El moho gris en poscosecha se minimiza con programas de control que se basan principalmente en aplicaciones de fungicidas en campo (García, 2018).

Las infecciones provienen de esporas producidas en residuos de tallos viejos, hojas caídas y frutos infectados. Las esporas se dispersan por el viento, y la primera inoculación ocurre en los estigmas de las flores abiertas; aquí las conidias germinan y las hifas crecen dentro de los pistilos hasta alcanzar los ovarios. Si las condiciones son propicias, la flor se atizona y muere, también puede permanecer en restos florales hasta que el contenido de azúcar en el fruto aumenta y resuma su crecimiento. El hongo pudre frutos a medida que maduran y a los tallos de la temporada (**Figura 4**). Al final el micelio del hongo se agrega en estructuras compactas y de color negro, llamadas esclerocios. Los principales síntomas son la pudrición gris del fruto, acompañada de ablandamiento y secreción de jugo. Esta

¹ Se conocen como leakers a las moras que comienzan a exudar líquido al exterior. Este problema puede ser debido a descomposiciones fisiológicas.

podrición blanda va acompañada de ligeros cambios de color en los drupelos infectados y terminan por cubrirse con una masa de micelio y conidias de color plomo oscuro (Rebollar, 2011).



Figura 4. Fruto infectado de *Botrytis cinerea*. Tomado de Rebollar, 2011.

2.2. Recubrimientos Comestibles

La calidad de los alimentos se encuentra afectada por factores físicos, químicos, bioquímicos y microbiológicos; el control de dichos factores, en especial el microbiológico, es esencial para la preservación de los alimentos.

La preservación de alimentos puede definirse como el conjunto de tratamientos que prolonga la vida útil de éstos, que mantiene, en el mayor grado posible, sus atributos de calidad, como el color, la textura, el sabor y especialmente el valor nutritivo. Una manera de preservar los alimentos, en especial el de las frutas, es mediante el uso de recubrimientos comestibles (Rodríguez, 2011).

Los recubrimientos comestibles en frutas retrasan la pérdida de peso por deshidratación, ralentizan pérdidas de firmeza y pigmentación, por causa de microorganismos. Asimismo, los recubrimientos promueven la conservación de propiedades mecánicas y características sensoriales, ya que proporcionan una barrera semipermeable a los gases y al vapor de agua. Además, los recubrimientos actúan como portadores de ingredientes funcionales, como agentes antimicrobianos y antioxidantes (Vázquez y Guerrero, 2013).

2.2.1. Tipos de recubrimientos

Los polisacáridos, las proteínas y los lípidos son los tres principales compuestos poliméricos que se usan para producir recubrimientos comestibles (Velázquez y Guerrero, 2014), debido a las siguientes propiedades:

- **Polisacáridos:** son capaces de construir una matriz estructural, formando recubrimientos comestibles transparentes y homogéneos. Sin embargo, ellos están limitados por su solubilidad en agua; de tal manera que para mejorar sus propiedades mecánicas se les adicionan materiales hidrófobos como aceites.
- **Proteínas:** forman recubrimientos que son barreras débiles en relación a los polisacáridos. El vapor de agua por su naturaleza hidrofílica escasamente es retenido por ellas. Sin embargo, son una barrera importante para el oxígeno lo que permite controlar el intercambio de gases entre el fruto y el ambiente.
- **Lípidos:** ofrecen una barrera fuerte a la humedad debido a su naturaleza hidrofóbica, lo que reduce la pérdida de agua en frutas. Asimismo, el brillo de los frutos mejora, se protegen contra la oxidación y el crecimiento microbiano. Sin embargo, su naturaleza no polimérica limita su capacidad para formar recubrimientos cohesivos.

2.2.2. Formación de recubrimientos

La primera etapa en la elaboración de películas comestibles es la correcta disolución de la materia prima en algún disolvente como agua o alcohol. En algunos casos, es necesario calentar o ajustar el pH de la suspensión que contiene el biopolímero, a fin de disolver la macromolécula. La segunda etapa consiste en adicionar una sustancia con propiedades plastificantes. Ésta proporcionará flexibilidad y resistencia a la rotura del recubrimiento. Una vez que los biopolímeros y el plastificante se dispersan, es posible añadir otras sustancias a la disolución formadora de película, como antimicrobianos y antioxidantes, con el fin de asignar alguna propiedad funcional deseada (Vázquez y Guerrero, 2013).

Las propiedades que presenta el recubrimiento comestible dependen del tipo de materiales a utilizar en la formulación de la disolución para elaborar el recubrimiento. Las condiciones de formación del recubrimiento, el tipo de plastificante, la naturaleza del disolvente, la velocidad de evaporación del disolvente y el espesor se tienen que considerar (Velázquez y Guerrero, 2014).

2.3 Sanitizantes

Los sanitizantes son sustancias químicas que reducen el número de microorganismos a nivel inocuo, capaces de eliminar hasta el 99.999 % de una población bacteriana en 30 s. Sin embargo, es importante destacar que éstos no matan virus y hongos (NMX-BB-040-SCFI-1999).

2.4 Agitación y mezclado

El éxito de muchas operaciones industriales depende de la efectiva agitación y mezcla de fluidos.

2.4.1. Definición

La agitación se define como el movimiento inducido de un material en una manera específica, normalmente en un patrón circulatorio dentro de algún tipo de contenedor. Por otra parte, mezcla se define como la distribución aleatoria, de un compuesto o molécula dentro y a través de otra, de dos o más fases inicialmente separadas (Mc Cabe *et al.*, 2007).

2.4.2. Propósitos de la agitación

Los líquidos se agitan con numerosos propósitos, que dependen de los objetivos de la etapa del proceso (McCabe *et al.*, 2007), por ejemplo:

- Suspensión de partículas sólidas.
- Mezclado de líquidos miscibles.
- Dispersión de un gas a través de un líquido en forma de pequeñas burbujas.
- Dispersión de un segundo líquido, inmisible con el primero, para formar una emulsión o suspensión de gotas finas.
- Promoción de la transferencia de calor entre el líquido y un serpentín o encamisado.

2.4.3 Tanques de agitación

Los tanques agitados son recipientes en forma cilíndrica y provista de un eje vertical. Las proporciones del tanque varían dependiendo de la naturaleza del problema de agitación, asimismo, la parte superior del tanque puede ser abierta o cerrada. Un diseño estandarizado de tanques agitados (**Figura 5**), consta de un recipiente con fondo redondeado, un agitador instalado sobre un eje suspendido el cual es

accionado por un motor, y accesorios tales como líneas de entrada y salida, serpentines, encamisado, pozos para equipos de medición de temperatura y deflectores (Mc Cabe *et al.*, 2007).

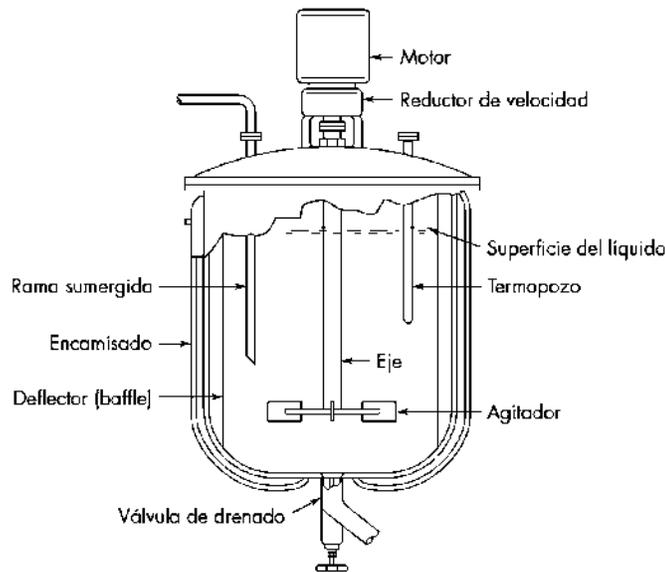


Figura 5. Tanque típico de agitación en procesos (Mc Cabe *et al.*, 2007).

2.4.4. Impulsores

Los agitadores impulsores se dividen en dos clases:

- **Impulsores de flujo axial:** Generan corrientes paralelas al eje del impulsor.
- **Impulsores de flujo radial:** Generan corrientes en dirección radial o tangencial.

Los tres principales tipos de impulsores para líquidos de baja a moderada viscosidad son hélices, turbinas e impulsores de alta eficiencia, mientras que para líquidos muy viscosos son los de hélice y agitadores de anclaje.

La velocidad de circulación del líquido, los patrones de velocidad y el consumo de potencia dependerán del tipo y localización del agitador, las proporciones del tanque y el número de los deflectores, por lo que las proporciones típicas son (Mc Cabe *et al.*, 2007):

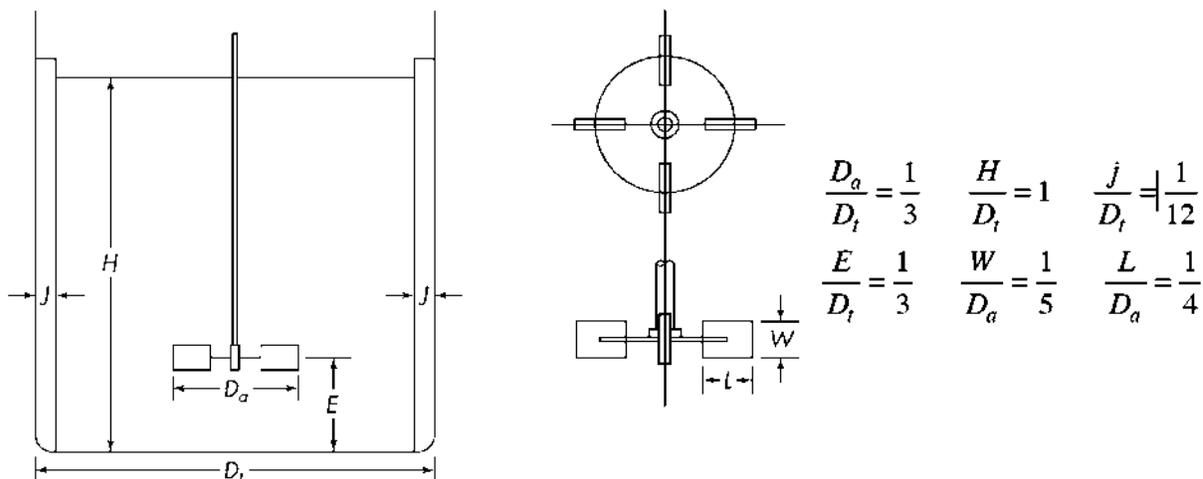


Figura 6. Esquema y medidas de turbina (Mc Cabe et al., 2007).

2.5. Escalamiento

El escalamiento es esencial para toda actividad industrial. No se construye ninguna planta ni se fabrica un producto sin soporte de cálculos, estudios y demostraciones en condiciones que no son las que se practicarán comercialmente; esto con el fin de reducir errores en diseños directos. El escalamiento surge en el siglo XIX a partir de la necesidad de producir sustancias de gran valor comercial con la misma calidad, rendimiento y pureza que la sustancia elaborada en los laboratorios. De esta manera el escalamiento es una herramienta útil en el desarrollo de nuevos procesos o la expansión de los existentes.

2.5.1. Definición de Escalamiento

El proceso de *Investigación y Desarrollo* puede considerarse dividido en cinco etapas, cada una a diferentes niveles o escalas:

- Laboratorio.
- Banco.
- Piloto.
- Semi-industrial.
- Industrial.

El escalamiento se refiere al paso de una escala a otra, durante el proceso de desarrollo de un nuevo producto o tecnología. De esta manera se define al escalamiento como “el procedimiento mediante el cual se logra la exitosa puesta en

marcha, y la operación económica de una unidad a escala comercial, basándose en resultados de investigaciones realizadas a escalas más pequeñas” (Bisio y Kabel, 1985). Se consideran dos formas de escalamiento (González, 2000):

- **Escalamiento ascendente** (scale-up) se conoce al proceso que va desde la escala de laboratorio hasta la escala industrial.
- **Escalamiento descendente** (scale-down) al proceso inverso al ascendente.

2.5.2. Problemas de escalamiento

Cuando un nuevo proceso químico o un cambio en el proceso requieren pasar de una escala a otra, a menudo se encuentran problemas inesperados. Dichos problemas pueden ser de naturaleza física, química o implicar algunos aspectos de ambos. Los problemas que se presentan con mayor frecuencia son:

- A una mayor escala se requieren de equipos costosos y complejos, en comparación de una escala menor.
- El cambio de material en los equipos puede introducir problemas de contaminación.
- El cambio de reactivos de grado analítico por reactivos grado comercial.
- Los parámetros de proceso se ven afectados de manera diferente por el tamaño.

2.5.3. Importancia del ingeniero químico en el escalamiento

El ingeniero químico es el profesional capacitado y habilitado para llevar un nuevo producto o tecnología a la industria mediante el escalamiento; analizando las condiciones de reacción y los factores de influencia para definir los equipos necesarios y proponer el proceso de producción en masa del producto (**Figura 7**).

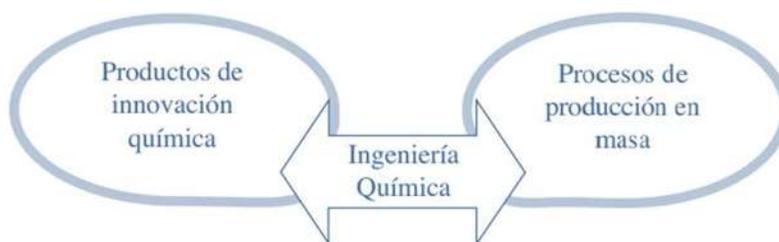


Figura 7. Ingeniería química como vínculo en la Industria (Anaya y Pedroza, 2008).

2.6 Modelos y prototipos

Para cumplir con los objetivos del escalamiento, es necesario aplicar un conjunto de técnicas, metodologías y procedimientos, que permitan transferir a escala industrial los datos obtenidos en los experimentos a escalas menores; por ello que es recomendable el uso de modelos. Un modelo es un dispositivo o medio que está concebido de tal manera que pueda ser usado para predecir el rendimiento del prototipo, asimismo, define al prototipo como el sistema físico a escala completa. El tipo de modelo de escalamiento depende tanto del proceso en cuestión como del comportamiento de las unidades de pequeña y gran escala. Los modelos, de acuerdo con González (2000), pueden ser:

- **Fenomenológico:** Fundamentado en algunos razonamientos teóricos de tipo microscópico. Involucra consideraciones moleculares, por lo que permite hacer predicción en intervalos de operación no estudiados experimentalmente.
- **Empírico:** Desarrollado sin bases teóricas; se postula y se espera solamente que ajuste la interacción entre datos y resultados en el intervalo de experimentación.
- **De Similitud:** Su obtención es a partir de un análisis de similitud con respecto a analogías de tipo físico, térmico, mecánico, geométrico o químico.

2.7. Principio de semejanza

Los datos de laboratorio son empleados en el escalamiento para determinar las dimensiones críticas y los tamaños relativos de los equipos de laboratorio que se utilizarán para el mismo paso del proceso industrial. Para ello, el principio de similitud o semejanza implica mantener valores constantes de los grupos de parámetros adimensionales, los cuales caracterizan los fenómenos de interés desde la escala pequeña hasta el equipo comercial. El principio de similitud establece que la configuración espacial y temporal de un sistema físico está determinada por las relaciones de las magnitudes dentro del propio sistema, y no dependen del tamaño ni de la naturaleza de las unidades en las cuales se miden esas magnitudes. Dichas relaciones de magnitud pueden ser medidas a partir de factores de forma o factores de escala (Bisio y Kabel, 1985).

Las aplicaciones de semejanza de mayor importancia en la ingeniería química según Bisio y Kabel, (1985) son las siguientes:

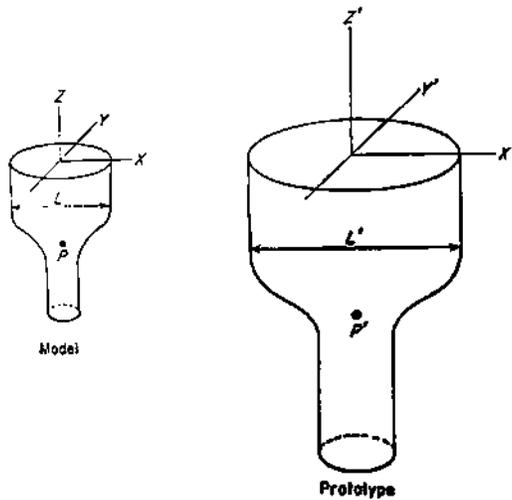
- **Semejanza geométrica** (dimensiones proporcionales).
- **Semejanza mecánica:**
 - *Semejanza estática* (deformaciones proporcionales).
 - *Semejanza cinemática* (tiempos proporcionales).
 - *Semejanza dinámica* (fuerzas proporcionales).
- **Semejanza térmica** (temperaturas proporcionales)-
- **Semejanza química** (concentraciones proporcionales).

Los casos de semejanza anteriormente mencionados contienen factores de distorsión, los cuales impiden que en la realidad se pueda obtener una semejanza ideal. Sin embargo estas desviaciones son despreciables con frecuencia y la aproximación obtenida es válida para efectos prácticos.

2.7.1 Semejanza geométrica

Dos cuerpos son geoméricamente semejantes cuando para cada punto en uno de ellos existe al menos un punto correspondiente en el otro (Jonstone y Thring, 1957). En este tipo de semejanza se hace uso del factor de escala L el cual relaciona las distintas dimensiones lineales de un sistema con las del otro.

El factor de escala L permanece constante cuando existe una relación entre puntos correspondientes (**Figura 8**), es decir cuando un punto del cuerpo A descrito en tres coordenadas x',y',z' y un punto del cuerpo B descrito en tres coordenadas x,y,z cumplen con la ecuación (**2.1**). Se considera que dos cuerpos exhiben semejanza distorsionada cuando las relaciones de escala son constantes, pero en distintas direcciones (**Ec. 2.2**).



$$L = \frac{x'}{x} = \frac{y'}{y} = \frac{z'}{z} \quad (2.1)$$

$$\frac{x'}{x} = X \quad \frac{y'}{y} = Y \quad \frac{z'}{z} = Z \quad (2.2)$$

Figura 8. Semejanza geométrica (Jonstone y Thring, 1957).

2.7.2. Semejanza mecánica

La semejanza mecánica comprende la similitud estática, similitud cinemática y similitud dinámica, las cuales se consideran como una extensión del concepto de similitud geométrica a sistemas estacionarios o en movimiento sujetos a fuerzas (Jonstone y Thring, 1957).

2.7.2.1. Semejanza estática

Los cuerpos geoméricamente similares son estáticamente similares cuando, bajo tensión constante, sus deformaciones relativas son tales que permanecen geoméricamente similares; por lo que las relaciones de los desplazamientos y los esfuerzos en puntos correspondientes serán iguales a la relación de escala lineal (González, 2000).

2.7.2.2. Semejanza cinemática

Los sistemas en movimiento son cinemáticamente semejantes cuando partículas correspondientes trazan trayectorias geoméricamente similares en intervalos de tiempo iguales (**Figura 9**). Para fines de ingeniería es conveniente calcularla en términos de las velocidades de las partículas correspondientes en tiempos correspondientes, puesto que en los fluidos que son cinemáticamente semejantes los patrones de flujo también lo serán, y las variaciones con respecto al tiempo de

transferencia de calor y masa en ambos sistemas se encontrarán en relación lineal (Anaya y Pedraza, 2008).

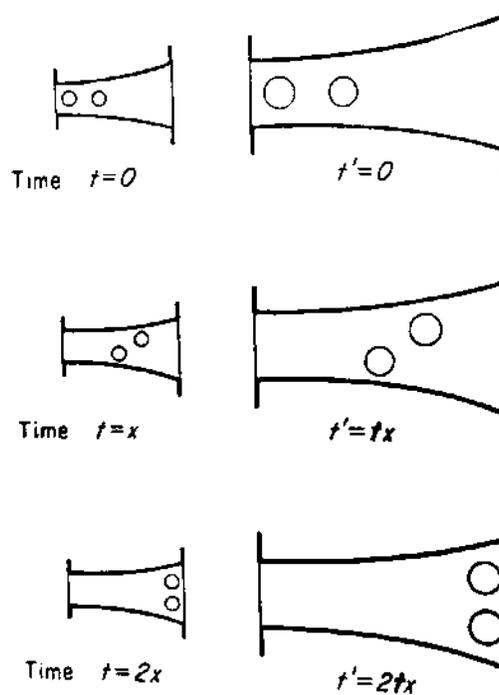


Figura 9. Semejanza cinemática. Tomada de Jonstone y Thring, 1957.

2.7.2.3. Semejanza dinámica

Dos cuerpos son semejantes dinámicamente, cuando las relaciones entre todas las fuerzas correspondientes son iguales. Las fuerzas correspondientes se definen como las fuerzas de una misma clase que actúan sobre partículas correspondientes en tiempos correspondientes (González, 2000).

2.7.3. Semejanza térmica

Esta semejanza involucra aquellos sistemas que presentan flujo de calor, ya sea por convección, por conducción o por radiación. Dichos procesos de transferencia de calor requieren de gradientes de temperatura. Por lo que dos cuerpos son térmicamente semejantes cuando la relación entre la diferencia de temperaturas, en los tiempos correspondientes, entre un par de puntos dados en un sistema y el par de puntos correspondiente en el otro sistema, es constante (Johnstone *et al.*, 1957).

2.7.4. Semejanza química

La semejanza química se relaciona con sistemas en los que se desarrollan reacciones químicas, y en los cuales la composición varía de un punto a otro, o de un instante a otro (en caso de que el proceso sea discontinuo o transitorio). No es necesario que la composición química de ambos sistemas sea la misma. Aunque, debe existir una relación fija entre las concentraciones puntuales de los compuestos que se comparan (Anaya *et al.*, 2008).

2.8. Criterios de semejanza

Las semejanzas química, térmica o mecánica, entre sistemas geoméricamente semejantes, pueden ser especificadas en términos de criterios que son relaciones intrínsecas de mediciones, fuerzas o razones de cambio dentro de cada sistema. Puesto que estos criterios son relaciones de cantidades de igual magnitud, resultan ser adimensionales y existen dos métodos generales de obtenerlos (González, 2000):

- **Análisis dimensional:** Cuando las ecuaciones diferenciales del modelo no se conocen, pero si se tienen identificadas todas las variables que intervienen en el fenómeno.
- **Ecuaciones diferenciales:** Cuando las ecuaciones diferenciales del sistema se conocen, pero no se tienen métodos para integrarlas el criterio se obtiene de forma diferencial.

2.8.1. Análisis dimensional

El análisis dimensional es un método para verificar ecuaciones y planificar experimentos sistemáticos. En la mayoría de los experimentos, para ahorrar tiempo y dinero, las pruebas se realizan en un modelo en lugar de en un prototipo; por lo que a partir del análisis dimensional se obtienen una serie de grupos adimensionales, que permiten utilizar los resultados experimentales obtenidos a condiciones limitadas, a situaciones en que se tengan diferentes dimensiones geométricas, cinemáticas y dinámicas; y muchas veces en casos en que las propiedades del fluido y del flujo son distintas de las que se tuvieron durante los experimentos. Es conveniente considerar que si en un experimento, en un modelo a escala geométrica del prototipo, se pueden obtener las escalas cinemáticas y las escalas dinámicas, los resultados adimensionales que se obtienen para el modelo son también válidos para el prototipo (Çengel y Cimbala, 2006).

De acuerdo con Çengel y Cimbala, (2006) la importancia del análisis dimensional viene dada porque permite:

- Generar parámetros adimensionales que ayuden en el diseño de experimentos tanto físicos como numéricos.
- Obtener leyes de escalamiento de modo que se pueda predecir el desempeño del prototipo a partir de desempeño del modelo.
- Predecir, en ciertos casos, las tendencias en la relación entre parámetros.

2.8.1.1 Teorema de Pi (π) de Buckingham

El teorema π de Buckingham encierra un cambio de perspectiva en la observación de un fenómeno físico, permitiendo su simplificación al reducir el número de variables implicadas en él. Su obtención es por análisis dimensional a un número de grupos sin dimensiones que describen el fenómeno físico de partida con la misma precisión, solo que con menos variables. Es un procedimiento preciso y estricto a la hora de cambiar de perspectiva: cada grupo (π_i) se obtiene a partir del producto de unas variables de referencia elevadas a unos exponentes que lo hagan adimensional (Martínez *et al.*, 2007).

2.8.2 Ecuaciones diferenciales

Las ecuaciones diferenciales son de gran importancia tanto en las matemáticas como en ingeniería, puesto que, leyes físicas que gobiernan un fenómeno se escriben en forma de ecuaciones diferenciales. Por lo que éstas, en sí, constituyen una expresión cuantitativa de dichas leyes.

Como ecuación diferencial (E.D.) se define a una ecuación que relaciona una función (o variable dependiente), su variable o variables (variables independientes), y sus derivadas. Si la ecuación contiene derivadas respecto a una sola variable independiente, entonces se dice que es una ecuación diferencial ordinaria (E.D.O), y si contiene las derivadas parciales respecto a dos o más variables independientes, se llama ecuación diferencial parcial (E.D.P.). Otro tipo de ecuaciones son las ecuaciones diferenciales de retraso (o retardo) que están caracterizadas por la presencia de un desplazamiento en el argumento o variable ($x-x_0$). Pocas ecuaciones diferenciales tienen solución analítica sencilla, la mayor parte de las veces es necesario realizar aproximaciones y estudiar el comportamiento del sistema bajo ciertas condiciones. (Zill y Wright, 2015).

2.8.2.1. Ecuaciones de Navier-Stokes

La teoría matemática de la dinámica de los fluidos comienza en el siglo XVII con el trabajo de Isaac Newton, quien fue el primero en aplicar sus leyes de la mecánica a los movimientos de los flujos. Más tarde Leonhard Euler escribió por primera vez en 1755, las ecuaciones diferenciales que rigen el movimiento de un fluido ideal, es decir, en ausencia de disipación debido a la interacción entre moléculas. Y finalmente C. Navier en 1822 y G. Stokes 1845 introdujeron en el modelo el término de viscosidad y llegaron a las ecuaciones que hoy denominamos “Navier-Stokes”.

Las ecuaciones de Navier-Stokes son un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales, no lineales, que describen el movimiento de un fluido. Dichas ecuaciones se deducen a partir de la aplicación de la segunda ley de Newton, que asocia la aceleración de las partículas con las fuerzas que actúan sobre ellas (las variaciones espaciales de la presión, las fuerzas de rozamiento entre las moléculas, viscosidad, y las posibles fuerzas externas como la gravitatoria) y la ley de conservación de masa. Para llegar a ellas hay dos formas de interpretar el fluido; una es fijar un punto del dominio y medir sus características en ese punto o calcular la variación de sus características a lo largo de la trayectoria de la partícula. Las ecuaciones de Navier-Stokes no son exactas por sí mismas ya que se trata de un modelo de flujo de fluidos que incluye varias aproximaciones inherentes (Çengel *et al.*, 2006).

Capítulo 3. Metodología

3.1. Elaboración de los recubrimientos comestibles

Los recubrimientos se elaboraron a 100 ml en el tanque A y 1,000 ml en el tanque E. El polisacárido se disolvió en agua con agitación constante a 500 rpm. La suspensión se calentó hasta 80 °C en intervalos de 10 °C por 10 min para el tanque A y por 25 min en el tanque E. Esto con el fin de disolver la macromolécula. La suspensión se dejó enfriar a temperatura ambiente, y enseguida se le adicionaron sustancias con propiedades plastificantes y antimicrobianas, bajo agitación constante por 30 min, a fin de obtener propiedades plastificantes y sanitizantes.

3.2. Determinación de propiedades fisicoquímicas

3.2.1. Densidad

El procedimiento que se llevó a cabo para la obtención de la densidad fue el picnómetro (**Figura 10**). El picnómetro se esterilizó y enjuagó con alcohol del 96%; posteriormente se pesó y se llenó con la sustancia de referencia, en este caso con agua tridestilada. El excedente de agua se secó. Tras llenar el picnómetro con la sustancia de referencia, se pesó y se aplicó la siguiente ecuación para conocer el volumen real:

$$V_{real} = \frac{W_H - W_S}{\rho_{ref}} \quad (3.1)$$

Aquí:

V_{real} = Volumen real del picnómetro (cm³).

W_H = Peso del picnómetro con el agua (g).

W_S = Peso seco del picnómetro (g).

ρ_{ref} = Densidad del agua a la temperatura que se está trabajando (g / cm³).

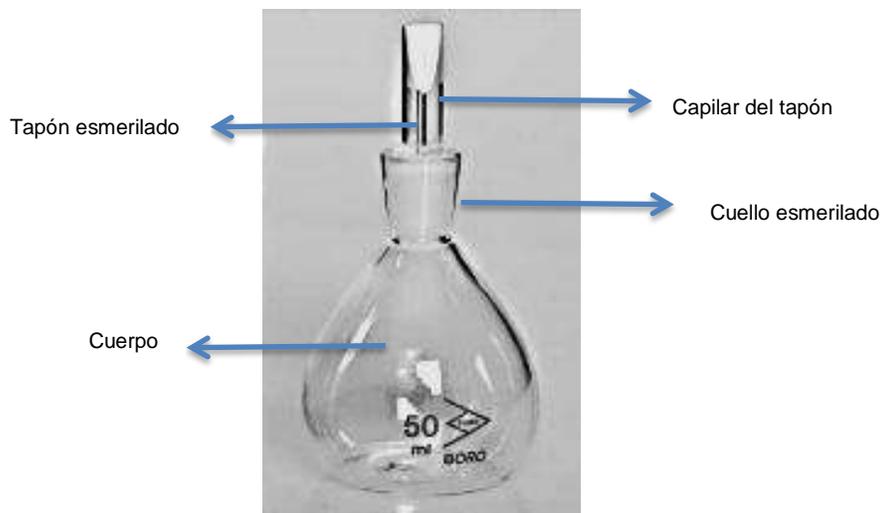


Figura 10. Picnómetro para líquidos de baja viscosidad. Modificado de OIML.

Para conocer la densidad de los recubrimientos se realizó el mismo procedimiento, pero en este caso el picnómetro se llenó con cada formulación. Finalmente se obtuvo la densidad aplicando la ecuación (3.1) con W_H = peso del picnómetro con la formulación (g).

3.2.2. Viscosidad

El procedimiento que se siguió fue utilizar el viscosímetro de Ostwald (**Figura 11**). El viscosímetro se esterilizó y enjuagó con alcohol del 96 %. Éste se colocó en baño maría, a fin de mantener la temperatura constante. El bulbo inferior se llenó con la sustancia de referencia hasta tres cuartas partes de éste, por la parte superior del viscosímetro. Posteriormente, el agua se succionó con una jeringa, por la parte superior del bulbo superior, hasta llegar a la marca 'A'. La jeringa se retiró y se registró el tiempo que tarda el agua en descender desde la marca 'A' hasta la marca 'B'. El procedimiento se hizo por triplicado, para obtener el valor promedio del tiempo (**Ec. 3.2**). Finalmente, el mismo procedimiento se realizó con los recubrimientos comestibles.

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\rho_1 * t_1}{\rho_2 * t_2} \quad (3.2)$$

Aquí:

ρ_1 = Densidad de la formulación (g / cm³).

t_1 = Tiempo promedio de la formulación (s).

μ_1 = Viscosidad de la formulación (g / cm. s).

ρ_2 = Densidad del líquido del agua (g / cm³).

t_2 = Tiempo promedio del agua (s).

μ_2 = Viscosidad del agua (g / cm. s).



Figura 11. Viscosímetro de Ostwald. Modificado de VelaQuin.

3.3. Criterios de Semejanza

3.3.1. Teorema de Pi (π) de Buckingham

El procedimiento para obtener los grupos adimensionales fue el siguiente:

Se elaboró la lista de los parámetros del problema, y se contó el número total de variables X . Posteriormente se hizo la lista con las dimensiones primarias F de cada uno de las X variables, y se determinó el número esperado π de grupos adimensionales (**Ec. 3.3**).

$$\pi = X - F \quad (3.3)$$

Las variables de referencia se seleccionaron de acuerdo a los siguientes criterios:

- Deben ser independientes entre sí.
- Deben contener todas las dimensiones del sistema.

Las ecuaciones dimensionales se establecieron y se obtuvieron los números pi (π) a partir del producto de las variables de referencia con cada variable restante. Finalmente, se verificó que los números π obtenidos fueran adimensionales.

3.3.2 Ecuación de Navier-Stokes

El perfil de velocidad del tanque agitado se obtuvo a partir de la solución de las ecuaciones de continuidad y de Navier-Stokes de la siguiente manera:

El problema y la geometría de éste se definieron, y todas las dimensiones y los parámetros relevantes se identificaron. Posteriormente, se elaboró una lista de todas las suposiciones, aproximaciones, simplificaciones y condiciones de frontera adecuadas, y las ecuaciones diferenciales de movimiento se simplificaron tanto como fue posible. Las ecuaciones se integraron y se obtuvieron constantes de integración. Finalmente, las condiciones de frontera se aplicaron para resolver las constantes de integración y se verificaron los resultados.

3.4. Ensayos Microbiológicos

3.4.1. Experimentación *in vitro*

La técnica que se utilizó en las pruebas “*in vitro*” fue la microdilución en caldo. Dicha técnica se basa en la preparación de una serie de placas con agar, a las cuales se les agrega el agente antimicrobiano a distintas concentraciones; luego, cada una de las placas se inocula con una suspensión estandarizada del microorganismo en estudio. Los cultivos se examinan después de incubarlos por 24 h a $(37 \pm 2)^\circ \text{C}$, y se determina la actividad antimicrobiana del recubrimiento frente al microorganismo ensayado (Malbrán, 2012).

En este caso los microorganismos que se ensayaron corresponden a *Candida albicans* (*C. albicans*), *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) y *Escherichia coli* (*E. coli*):

- ***C. albicans***: Hongo dimórfico, es decir, se desarrolla de forma distinta en función de la temperatura de crecimiento, como levadura, normalmente a 37°C en el huésped, y como hongo de aspecto filamentoso a 25°C en la

naturaleza. Está presente en industrias de alimentos donde el operario manipula productos con gran contenido de humedad (INSHT, 2012).

- **S. aureus:** Bacteria Gram positiva, anaerobia facultativa, en forma de coco. Su presencia en los alimentos procesados o en los equipos donde se procesan, es generalmente un indicador de sanitización inadecuada o manejo inadecuado durante la producción. *S. aureus* produce enterotoxinas termoresistentes que al ingerirse pueden causar intoxicaciones alimentarias (NOM-210-SSA1-2014).
- **E. coli:** Bacteria Gram negativa, anaerobia facultativa, que está presente en el intestino del hombre y animales de sangre caliente (principalmente mamíferos), por lo que su presencia en una muestra de alimento no es deseable, ya que indica la presencia de materia fecal (NOM-210-SSA1-2014).

El procedimiento que se realizó para la experimentación “*in vitro*” fue el siguiente:

La concentración inicial de los microorganismos se obtuvo a través de la densidad óptica de 0.5 en escala de Mc Farland para cada una de las cepas, en el espectrofotómetro a 600 nm. Posteriormente los tratamientos se prepararon para cada cepa en viales Eppendorf de acuerdo a la **Tabla 1**. En cajas Petri con agar Mueller Hinton se colocaron 10 µl de cada tratamiento y se realizó un barrido por toda la caja con una varilla de vidrio. Los cultivos en cajas de Petri se incubaron a 37 °C durante 24 h. Las unidades formadoras de colonias (UFC) se cuantificaron después de las 24 h de incubación. Finalmente se determinó la eficacia de los recubrimientos comestibles a partir del método establecido en la norma NMX-BB-040-SCFI-1999 (Ec. 3.4).

$$\% \text{ de reducción} = 100 - \frac{S * 100}{Cv} \quad (3.4)$$

Aquí:

S = Células sobrevivientes.

Cv = Cuenta viable inicial.

Los recubrimientos se evaluaron de manera *in vitro* a las 24 h de su elaboración. Asimismo se evaluaron durante un mes cada 8 d para comprobar su efectividad a través del tiempo.

Tabla 1. Tratamientos a evaluar *in vitro*.

Tratamiento	Componente	Volumen (μ l)
Control Negativo 1	Caldo Mueller Hinton	80
	Inóculo	20
Control Negativo 2	Caldo Mueller Hinton	80
	Formulación	20
Control Positivo	Caldo Mueller Hinton	60
	Inóculo	20
	Antibiótico ²	20
Tratamiento	Caldo Mueller Hinton	60
	Inóculo	20
	Formulación	20

3.4.2. Experimentación *in situ*

A continuación se describe como se llevó a cabo la experimentación *in situ*.

3.4.2.1. Tratamientos en zarzamora

Las zarzamoras se seleccionaron de acuerdo a los requisitos de calidad mencionados en el proyecto de norma mexicana PROY-NMX-FF-129-SCFI-2017. Los frutos se sometieron a tratamientos preventivos, curativos y de control (**Tabla 2**). Cada tratamiento se realizó por duplicado en cajas de plástico con 9 zarzamoras cada una y se almacenaron a 4 °C, 8 °C y temperatura ambiente.

- **Tratamientos control**

- **Primer tratamiento**

Los frutos seleccionados se colocaron en cajas de plástico y se almacenaron a las temperaturas de 4 °C, 8 °C y temperatura ambiente, respectivamente.

² Los antibióticos que se utilizaron como controles positivos fueron el Fluconazol para *C. albicans* y Cefotaxima para *S. aureus* y *E. coli*.

- **Segundo tratamiento**

Las zarzamoras se asperjaron con agua tridestilada estéril y se dejaron secar. Los frutos se colocaron en las cajas de plástico y se almacenaron a las temperaturas correspondientes.

- **Tercer tratamiento**

Los frutos se rociaron con una suspensión de esporas (1×10^4 esporas/ml) de *B. cinerea*, se dejaron secar y se colocaron en las cajas de plástico. Las cajas se almacenaron de acuerdo a las temperaturas anteriormente mencionadas.

- **Tratamiento preventivo**

Las zarzamoras se asperjaron con los recubrimientos y se dejaron secar por 20 min. Posteriormente las zarzamoras se colocaron en las cajas de plástico y se almacenaron a las temperaturas correspondientes (4 °C, 8 °C y temperatura ambiente).

- **Tratamiento curativo**

Los frutos se rociaron con una suspensión de esporas (1×10^4 esporas/ml) de *B. cinerea* y se dejaron secar. Posteriormente los frutos se asperjaron con los recubrimientos y se dejaron secar. Las zarzamoras se colocaron en cajas de plástico y se almacenaron a las temperaturas de 4 °C, 8 °C y temperatura ambiente, respectivamente.

Tabla 2. Tratamientos a evaluar *in situ*.

Tratamientos	Componentes
Control	Zarzamora
	Zarzamora + Agua
	Zarzamora + Inóculo
Preventivo	Zarzamora + Recubrimiento
Curativo	Zarzamora + Inóculo + Recubrimiento

3.4.2.2. Defectos presentes en la zarzamora

Las zarzamoras presentan los siguientes defectos:

- **Defecto crítico:** Defecto o conjunto de defectos que afectan la apariencia, calidad e inocuidad del fruto, que impide su comercialización.
- **Defecto de condición:** Defecto que avanza con el tiempo derivado de la condición fisiológica del fruto.
- **Defecto de apariencia:** Defecto que muestre daños físicos al fruto perceptibles a simple vista.

Tabla 3. Clasificación de los defectos de la zarzamora. Tomada de (PRY-FF-129-SCFI-2016).

Tipo de defecto	Defecto	Descripción
Crítico	Residuo	Presencia de polvo, tierra, heces, químico, etc.
	Insecto	Presencia de cualquier insecto vivo o muerto dentro de cualquiera de sus etapas evolutivas (huevo, larva, pulpa, adulto, etc.)
	Enfermedades	Presencia de micelio.
	Pudrición	Destrucción de tejidos (hongos/bacterias).
	Materia extraña	Objetos extraños ajenos al cultivo: llaves, clavos, piedras, etc.
Condición	Fruta blanda	Sin resistencia a la presión, pérdida de firmeza.
	Fruta deshidratada	Pérdida de humedad del fruto.
	Escurrimiento de jugo	Rompimiento de la drupa o presencia de jugo en la almohadilla.
	Sobre madurez	Condición del fruto que indica que está completamente desarrollado y presenta además un grado de envejecimiento que ya no permite su comercialización y almacenamiento.
	Desgrane	Desprendimiento de drupelas de la polidrupa.
Apariencia	Daño mecánico	Pérdida de la forma original debido a movimientos, presión o alguna otra acción mecánica.
	Inmadurez	La fruta no presenta las características físicas, químicas y sensoriales apropiadas para ser consumidas.
	Residuo vegetal	Presencia de flores, pétalos, pedicelo, pedúnculo, corola, hojas, espinas, etc.
	Calibre pequeño	Tamaño del fruto inferior al requerido
	Coloración irregular	El color en la polidrupa no es uniforme, algunas drupelas no presentan el tono característico.
	Daños por plagas	Daño causado por alguna plaga, sin presencia de la misma

3.4.2. 3 . Color de la zarzamora

El color (**Figura 12**) puede medirse a través de métodos visuales (colorimetría) o mecánicos (espectrofotometría). Para este ensayo se utilizó un colorímetro (colorímetro modelo TES-35A, Linshang) para determinar el deterioro.



Figura 12. Color de las etapas de maduración de la zarzamora. 0) Fruto color amarillo verdoso con sus drupelas bien formadas. 1) Fruto de color amarillo verdoso con algunas drupelas de color rosado. 2) Se incrementa el área de color rosado. 3) El fruto es de color rojo claro. 4) El color rojo del fruto es más intenso. 5) Fruto de color rojo intenso con algunas drupelas de color morado. 6) La zarzamora es de color morado oscuro. Tomado de NTC 4106.

3.5. Sustentabilidad Económica

El análisis de sustentabilidad económico se llevó a cabo a partir de la investigación de precios de los ingredientes que componen los recubrimientos comestibles a nivel analítico.

3.6 Análisis Estadísticos

Los datos se evaluaron estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) y mediante la prueba Tukey ($p < 0.05$) a través del software estadístico STATISTICA 7.

Capítulo 4. Resultados y Discusión

4.1. Propiedades fisicoquímicas

Los resultados obtenidos de las propiedades fisicoquímicas de los recubrimientos, densidad y viscosidad, se muestran en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Propiedad de los recubrimientos a diferentes escalas.

Propiedades Fisicoquímicas				
Tanque / Formulación	Densidad (g / cm ³)		Viscosidad (1 x 10 ⁻³ g / cm s)	
	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 1	Formulación 2
Tanque A (100 ml)	0.9979 ± 1.9 E-04	0.9973 ± 1.0 E-04	9.68 ± 2.4 E-03	9.85 ± 4.1 E-03
Tanque E (1,000 ml)	0.9973 ± 6.1 E-05	0.9973 ± 3.9 E-04	9.86 ± 2.7 E-03	9.91 ± 2.9 E-03

Los datos son promedio de tres muestras con $n = 3 \pm EE$.

4.2. Criterios de semejanza

4.2.1. Teorema de Pi (π) de Buckingham

Los grupos adimensionales se obtuvieron a partir de la ecuación **3.3**. Las variables a considerar para la solución del problema se muestran en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Variables físicas presentes en el problema.

Variable	Símbolo	Dimensión
Diámetro del impulsor	Da	L
Diámetro del tanque	Dt	L
Altura del impulsor	W	L
Longitud del impulsor	La	L
Densidad del fluido	ρ	ML ⁻³
Viscosidad del fluido	μ	ML ⁻¹ t ⁻¹
Velocidad del impulsor	N	t ⁻¹
Aceleración gravitacional	G	Lt ⁻²
Potencia	P	L ² Mt ⁻³

El análisis se realiza considerando el total de variables que presenta (**Ec. 4.1**), las cuales pueden expresarse en una relación funcional (**Ec. 4.2**). Las dimensiones a considerar son Masa, Longitud y Tiempo (**Ec. 4.3**). así, el planteamiento del problema es:

$$\sum_{i=1}^X = 9 \quad (4.1)$$

$$f(Da, Dt, W, La, N, P, G, \rho, \mu) = 0 \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^D = 3 \quad (4.3)$$

Sustituyendo las ecuaciones (**4.1**) y (**4.2**) en (**3.3**) se obtiene el total de números adimensionales.

$$\pi = 9 - 3 = 6 \quad (3.3)$$

Las variables que se consideraron como núcleo de análisis son ρ , N y Da . El determinante de los exponentes de las dimensiones se realizó para verificar que las variables sean independientes.

$$\begin{array}{c} L \\ M \\ t \end{array} \begin{array}{c|ccc} Da & \rho & N \\ \hline 1 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{array} = -1$$

Los parámetros adimensionales se obtuvieron de la siguiente manera:

$\pi_1: Dt$

$$\begin{array}{c} L \\ M \\ t \end{array} \begin{array}{c|cccc} Da^x & \rho^y & N^z & Dt \\ \hline x & -3y & +0 & +1 & = 0 \\ 0 & +y & +0 & 0 & = 0 \\ 0 & +0 & -z & 0 & = 0 \end{array}$$

$$z = 0$$

$$y = 0$$

$$x = -1$$

$$\pi_1 = \frac{Dt}{Da} = \frac{Da}{Dt} \quad (4.4)$$

$\pi_2: W$

	Da^x	ρ^y	N^z	W	
L	x	-3y	+0	+1	= 0
M	0	+y	+0	0	= 0
t	0	+0	-z	0	= 0

$$z = 0$$

$$y = 0$$

$$x = -1$$

$$\pi_2 = \frac{W}{Da} \quad (4.5)$$

$\pi_3: La$

	Da^x	ρ^y	N^z	La	
L	x	-3y	+0	+1	= 0
M	0	+y	+0	0	= 0
t	0	+0	-z	0	= 0

$$z = 0$$

$$y = 0$$

$$x = -1$$

$$\pi_3 = \frac{La}{Da} \quad (4.6)$$

$\pi_4: \mu$

	Da^x	ρ^y	N^z	μ	
L	x	-3y	+0	-1	= 0
M	0	+y	+0	+1	= 0
t	0	+0	-z	-1	= 0

$$\begin{aligned}z &= -1 \\y &= -1 \\x &= -2\end{aligned}$$

$$\pi_4 = \frac{\mu}{Da^2 \rho N} = \frac{Da^2 \rho N}{\mu} = N_{Re} \quad (4.7)$$

$\pi_5: G$

	Da^x	ρ^y	N^z	G	
L	x	-3y	+0	+1	= 0
M	0	+y	+0	+0	= 0
t	0	+0	-z	-2	= 0

$$\begin{aligned}z &= -2 \\y &= 0 \\x &= -1\end{aligned}$$

$$\pi_5 = \frac{G}{N^2 Da} = \frac{N^2 Da}{G} = N_{Fr} \quad (4.8)$$

$\pi_6: P$

	Da^x	ρ^y	N^z	g	
L	x	-3y	+0	+2	= 0
M	0	+y	+0	+1	= 0
t	0	+0	-z	-3	= 0

$$\begin{aligned}z &= -3 \\y &= -1 \\x &= -5\end{aligned}$$

$$\pi_6 = \frac{P}{Da^5 N^3 \rho} = N_p \quad (4.9)$$

4.2.2. Perfil de velocidad

El perfil de velocidad que rige al problema se obtuvo a través de la ecuación de continuidad y de las ecuaciones de Navier-Stokes en coordenadas cilíndricas de la siguiente manera.

Ecuación de Continuidad

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(ru_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (4.10)$$

Ecuaciones de Navier-Stokes

- Componente (r):

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} - \frac{u_\theta^2}{r} = \\ & -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial r} \right) + g_r + v \frac{\partial^2 u_r}{\partial r^2} + \frac{v}{r} \frac{\partial u_r}{\partial r} - v \left(\frac{u_r}{r^2} \right) + \frac{v}{r^2} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \theta^2} - \frac{2v}{r^2} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + v \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} \end{aligned} \quad (4.11)$$

- Componente (θ):

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u_\theta}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial u_\theta}{\partial z} + \frac{u_r u_\theta}{r} = \\ & -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial \theta} \right) + g_\theta + v \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial r^2} + \frac{v}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial r} - v \left(\frac{u_\theta}{r^2} \right) + \frac{v}{r^2} \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2v}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} + v \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial z^2} \end{aligned} \quad (4.12)$$

- Componente (z):

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} = \\ & -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right) + g_z + v \frac{\partial^2 u_z}{\partial r^2} + \frac{v}{r} \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{v}{r^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \theta^2} + v \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \end{aligned} \quad (4.13)$$

Suposiciones:

- No hay generación de calor.
- Estado Estacionario.
- Fluido Incompresible.
- Propiedades fisicoquímicas constantes.
- No hay velocidad en r y en z .
- Tanque perfectamente simétrico.

Las ecuaciones simplificadas siguientes se obtuvieron a partir de las suposiciones anteriores:

Ecuación de Continuidad

$$\frac{1}{r} \frac{\partial u_{\theta}}{\partial \theta} = 0 \quad (4.14)$$

Esta ecuación indica que la velocidad angular es constante a lo largo del radio del tanque.

Ecuaciones de Navier-Stokes

- Componente (r):

$$\frac{u_{\theta}^2}{r} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial r} \right) \quad (4.15)$$

Esta ecuación indica que los gradientes de presión en dirección radial son originados por la fuerza centrífuga que ejerce el fluido sobre la pared del tanque.

- Componente (θ):

$$0 = v \frac{\partial^2 u_{\theta}}{\partial r^2} + \frac{v}{r} \frac{\partial u_{\theta}}{\partial r} - v \left(\frac{u_{\theta}}{r^2} \right) \quad (4.16)$$

La ecuación anterior para el componente de velocidad u_{θ} es una diferencial exacta y se puede escribir de la siguiente forma:

$$\frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{d(u_{\theta} r)}{dr} \right] = 0 \quad (4.17)$$

- Componente (z):

$$\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right) = g_z \quad (4.18)$$

Esta ecuación muestra que la caída de presión vertical se debe solo a la aceleración gravitacional, la cual actúa sobre la masa del fluido, y es la definición de la presión hidrostática.

Para resolver, se empieza integrando la ecuación (4.17), para obtener (4.22).

$$\int \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{d(u_{\theta} r)}{dr} \right] = 0 \quad (4.19)$$

$$\frac{1}{r} \frac{d(u_{\theta} r)}{dr} = C_1 \quad (4.20)$$

$$\int d(u_{\theta}r) = \int C_1 r dr \quad (4.21)$$

$$u_{\theta} r = \frac{C_1 r^2}{2} + C_2 \quad (4.22)$$

Para determinar las constantes, se usan las siguientes condiciones de frontera, que se aplican a (4.22) para obtener (4.27):

$$r = r_i \quad u_{\theta} = \Omega \quad (4.22a)$$

$$r = R \quad u_{\theta} = 0 \quad (4.22b)$$

Aquí:

- r_i : Radio del agitador
- Ω : Velocidad angular (RPM)
- R : Radio interno del tanque

Aplicando (4.22b):

$$-\frac{C_1 R^2}{2} = C_2 \quad (4.23)$$

Aplicando (4.22a):

$$\Omega r_i = \frac{C_1 r_i^2}{2} + C_2 \quad (4.24)$$

Sustituyendo la ecuación (4.23) en la ecuación (4.24) y despejando C_1 :

$$C_1 = \frac{\Omega r_i}{\left(\frac{r_i^2}{2} - \frac{R^2}{2}\right)} \quad (4.25)$$

Sustituyendo la ecuación (4.25) en la ecuación (4.23) y despejando C_2 :

$$C_2 = \frac{-\Omega r_i}{\left(\frac{r_i^2}{2} - \frac{R^2}{2}\right)} \left(\frac{R^2}{2}\right) \quad (4.26)$$

Finalmente, sustituyendo ambas constantes en (4.22), se obtiene el perfil de velocidad de agitación (Ec. 4.27).

$$u_{\theta} = \frac{\Omega \left(\frac{r_i}{r}\right)}{\left(\frac{r_i^2}{2} - \frac{R^2}{2}\right)} \left(\frac{r^2}{2} - \frac{R^2}{2}\right) \quad (4.27)$$

4.3. Principio de semejanza

El principio de similitud implica mantener constantes los grupos adimensionales que caracterizan los fenómenos de interés, desde la escala más pequeña hasta el equipo comercial. En este caso los factores escala a cumplir se ilustran en la **Figura 13**, y se listan a continuación:

$$\frac{Da}{Dt} = \frac{Da'}{Dt'} = \frac{1}{3} \frac{H}{Dt} = \frac{H'}{Dt'} = 1 \frac{J}{Dt} = \frac{J'}{Dt'} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{E}{Dt} = \frac{E'}{Dt'} = \frac{1}{3} \frac{W}{Da} = \frac{W'}{Da'} = \frac{1}{5} \frac{L}{Dt} = \frac{L'}{Dt'} = \frac{1}{4}$$

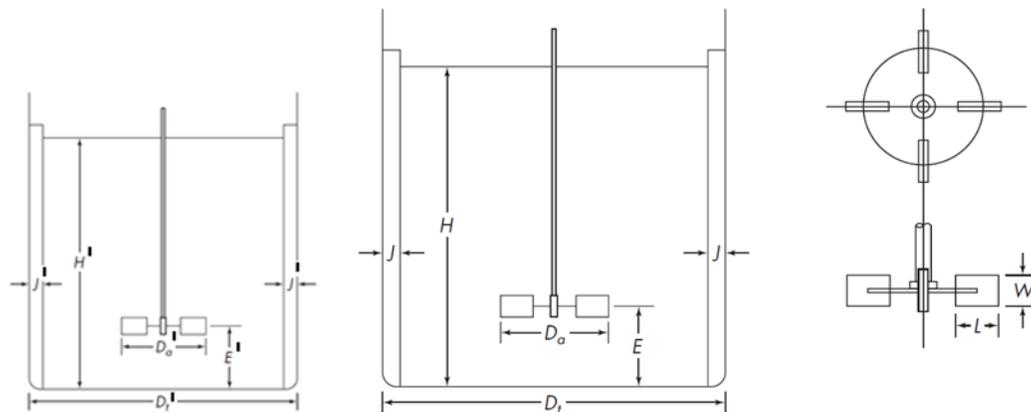


Figura 13. Factores de escala considerados en el proyecto (Mc Cabe *et al.*, 2007).

Tabla 6. Dimensiones de los tanques utilizados en el proceso.

Tanque/ Dimensiones (cm)	Tanque A (100 ml)	Tanque E (1,000 ml)
Dt	6.37	10.44
Da	2.05	3.48
H	2.5	8.05
W	0.58	0.81
E	NA	NA
J	NA	NA
La	NA	NA

Una vez que se determinaron las dimensiones de ambos tanques (**Tabla 6**), se realizó el cálculo de los factores de similitud geométrica (**Tabla 7**).

Tabla 7. Aplicación del principio de similitud geométrica.

Tanque / Factor de Escala	Tanque A (100 ml)	Tanque E (1,000 ml)
Da / Dt	0.3218	0.3333
W / Da	0.2829	0.2327
H / Dt	0.3924	0.7710

Asimismo los números de Reynolds, de Froude y de potencia son factores que permiten comprobar el principio de similitud en el escalamiento del proceso de elaboración de los recubrimientos comestibles, y caracterizarlas como homogéneas. A continuación se presenta el desglose de cálculos:

- **Tanque A**

Datos:

- $\rho = 0.9973 \text{ g / cm}^3$
- $\mu = 9.68 \times 10^{-3} \text{ g / cm.s}$
- $Da = 2.05 \text{ cm}$
- $Dt = 6.37 \text{ cm}$
- $H = 2.5 \text{ cm}$
- $N = 500 \text{ RPM} = 8.333 \text{ s}^{-1}$

Número de Reynolds

Retomando la ecuación 4.7, se obtiene que:

$$N_{ReA} = \frac{Da^2 \rho N}{\mu} = \frac{2.05^2 * 0.9973 * 8.333}{9.68 \times 10^{-3}} = 3,607.942 \text{ Flujo Transitorio}$$

Número de Froude

La siguiente ecuación implica que hay algo de efecto vórtice, que puede existir a bajos números de Reynolds.

Sustituyendo los valores en la ecuación 4.29:

$$nt_T = 16.9 \left(\frac{Dt}{Da}\right)^{1.67} \left(\frac{H}{Dt}\right)^{0.5} = 16.9 \left(\frac{6.37}{2.05}\right)^{1.67} \left(\frac{2.5}{6.37}\right)^{0.5} = 70.318$$

(4.28)

Finalmente se sustituyen los valores en la ecuación **4.28** de manera que:

$$N_{Fr} = nt_T \left(\frac{Da}{Dt}\right)^2 \left(\frac{Dt}{H}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{G}{N^2 Da}\right)^{\frac{1}{6}} = 70.318 \left(\frac{2.05}{6.37}\right)^2 \left(\frac{6.37}{2.5}\right)^{1/2} \left(\frac{981}{8.333^2 * 2.05}\right)^{1/6} = \mathbf{16.036}$$

(4.29)

- **Tanque E**

Datos:

- $\rho = 0.9973 \text{ g / cm}^3$
- $\mu = 9.86 \times 10^{-3} \text{ g / cm.s}$
- $Da = 3.48 \text{ cm}$
- $Dt = 10.44 \text{ cm}$
- $H = 8.05 \text{ cm}$

Debido a que en el tanque no se conoce la velocidad a la que el impulsor (**N**) debe estar, partimos de la relación de que el número de Reynolds en el tanque A es el mismo que en el tanque E ($N_{ReA} = N_{ReE}$), para obtener el resultado de **N** y conocer el valor de los números adimensionales restantes.

Número de Reynolds

Retomando la ecuación **4.7**, se obtiene que:

$$\frac{Da_A^2 \rho N_A}{\mu} = \frac{Da_E^2 \rho N_E}{\mu}$$

$$N_E = \frac{Da_A^2 N_A}{Da_E^2} = \frac{2.05^2 * 8.333}{3.48^2} = \mathbf{2.89 \frac{1}{s} = 173.50 RPM}$$

$$N_{ReE} = \frac{Da_E^2 \rho N_E}{\mu} = \frac{3.48^2 * 0.9973 * 2.89}{9.68 \times 10^{-3}} = \mathbf{3,605.842 \quad Flujo Transitorio}$$

Número de Froude

Retomando la ecuación **4.28** y **4.29** se obtiene:

$$nt_T = 16.9 \left(\frac{10.44}{3.48}\right)^{1.67} \left(\frac{8.05}{10.44}\right)^{0.5} = \mathbf{92.945}$$

$$N_{Fr} = 92.945 \left(\frac{3.48}{10.44} \right)^2 \left(\frac{10.44}{8.05} \right)^{1/2} \left(\frac{981}{2.89^2 * 3.48} \right)^{1/6} = 21.14$$

En la **Tabla 8** se resumen los resultados de similitud mecánica de ambos tanques.

Tabla 8. Resultados de los números adimensionales

Tanque	Tanque A (100 ml)	Tanque E (1,000 ml)
N_{Re}	3,607.99	3,605.84
N_{Fr}	16.03	21.14
N (rpm)	500	173.50

4.4. Ensayo sanitizante de los recubrimientos

Los recubrimientos se evaluaron a las 24 h de su elaboración, para demostrar sus propiedades sanitizantes (**Tabla 9**). Asimismo se evaluaron a los 8 d, 16 d, 24 d y 30 d, para determinar su eficiencia a través del tiempo (**Tabla 10**). Se puede notar que no hay variación sensible en la capacidad sanitizante de los recubrimientos comestibles (**Figura 14**).

Tabla 9. Comprobación de las propiedades sanitizantes de las diferentes escalas a las 24 h de elaboración de los recubrimientos.

Microorganismos	% de Reducción de microorganismos			
	Tanque A (100 ml)		Tanque E (1,000 ml)	
	Formulación			
	1	2	1	2
<i>C. albicans</i>	99.562	99.845	99.781	99.710
<i>S. aureus</i>	99.906	99.985	99.838	99.920
<i>E. coli</i>	99.989	100.000	99.999	100.000

Tabla 10. Comprobación de las propiedades sanitizantes de las diferentes escalas a los 30 d de elaboración de los recubrimientos.

% de Reducción de microorganismos				
Microorganismos	Tanque A (100 ml)		Tanque E (1,000 ml)	
	Formulación			
	1	2	1	2
<i>C. albicans</i>	99.684	99.770	99.628	99.599
<i>S. aureus</i>	99.778	99.964	99.934	99.844
<i>E. coli</i>	99.992	99.984	99.993	99.969

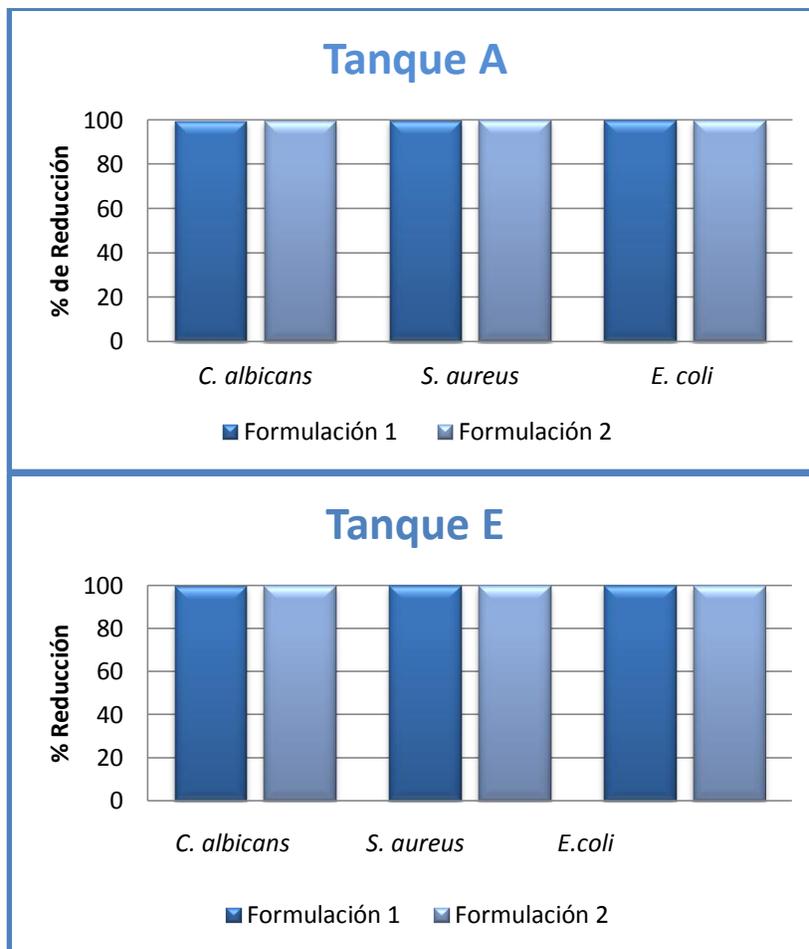


Figura 14. Comprobación de las propiedades sanitizantes de los recubrimientos comestibles a diferentes escalas.

4.5 Ensayo *in situ* de los recubrimientos comestibles

Los resultados de la experimentación *in situ* se reportaron de acuerdo al día en que los frutos alcanzaron un índice de severidad del 50 % (**Tablas 11 - 14; Figuras 15 - 17**).

Tabla 11. Tiempo en que las zarzamoras alcanzaron un índice de severidad (IS) del 50 %.

Tratamiento	Tiempo (días)		
	T _{amb}	8 °C	4 °C
Control	1.30 ± 0.1	4.80 ± 0.0	6.30 ± 0.0
Preventivo 1	1.35 ± 0.5	5.60 ± 0.0	5.60 ± 0.0
Preventivo 2	2.30 ± 0.0	5.20 ± 0.0	6.00 ± 0.0
Curativo 1	1.65 ± 0.5	5.40 ± 0.0	6.50 ± 0.0
Curativo 2	1.80 ± 0.0	4.90 ± 0.0	5.70 ± 0.0

Tiempo (días)	Condición		
	T. amb	8 °C	4 °C
	1.7 ± 0.1 C	5.28 ± 0 B	6.14 ± 0 A

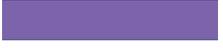
Los datos son el promedio ± EE (n = 9). Tukey ($p < 0.05$).

Tabla 12. Color de las zarzamoras en el tiempo que alcanzaron el IS del 50 % a temperatura ambiente.

Tratamiento	Coordenadas cromáticas			color
	L*	a*	b*	
Control	39.80 ± 0.335	20.21 ± 0.693	-31.56 ± 0.557	
Preventivo 1	39.74 ± 0.489	13.71 ± 0.793	-30.70 ± 0.347	
Preventivo 2	38.49 ± 0.256	11.72 ± 1.610	-30.95 ± 0.292	
Curativo 1	39.87 ± 0.424	14.95 ± 1.028	-30.35 ± 0.323	
Curativo 2	39.05 ± 0.493	15.49 ± 1.830	-31.21 ± 0.272	

Los datos son el promedio ± EE (n = 9). Las pruebas de comparación en medias se realizaron a Tukey ($p < 0.05$).

Tabla 13. Color de las zarzamoras en el tiempo que alcanzaron el IS del 50 % a 4° C.

Tratamiento	Coordenadas cromáticas			color
	L*	a*	b*	
Control	43.63 ± 0.665	18.49 ± 2.985	-31.79 ± 1.041	
Preventivo 1	44.23 ± 1.195	13.50 ± 2.791	-31.27 ± 1.642	
Preventivo 2	46.89 ± 1.600	21.85 ± 2.600	-33.83 ± 1.345	
Curativo 1	45.42 ± 1.187	22.24 ± 2.268	-30.58 ± 0.746	
Curativo 2	45.47 ± 1.392	20.34 ± 2.354	-33.77 ± 0.703	

Los datos son el promedio ± EE (n = 9). Las pruebas de comparación en medias se realizaron a Tukey ($p < 0.05$).

Tabla 14. Color de las zarzamoras en el tiempo que alcanzaron el IS del 50 % a 8° C.

Tratamiento	Coordenadas cromáticas			color
	L*	a*	b*	
Control	48.33 ± 1.865	33.89 ± 7.340	-36.06 ± 2.019	
Preventivo 1	47.48 ± 1.682	22.06 ± 3.523	-33.41 ± 1.208	
Preventivo 2	42.35 ± 0.485	18.71 ± 1.990	-30.64 ± 0.523	
Curativo 1	43.09 ± 0.997	19.19 ± 2.363	-32.20 ± 1.076	
Curativo 2	44.60 ± 0.467	20.22 ± 1.592	-33.23 ± 0.962	

Los datos son el promedio ± EE (n = 9). Las pruebas de comparación en medias se realizaron. Tukey ($p < 0.05$).

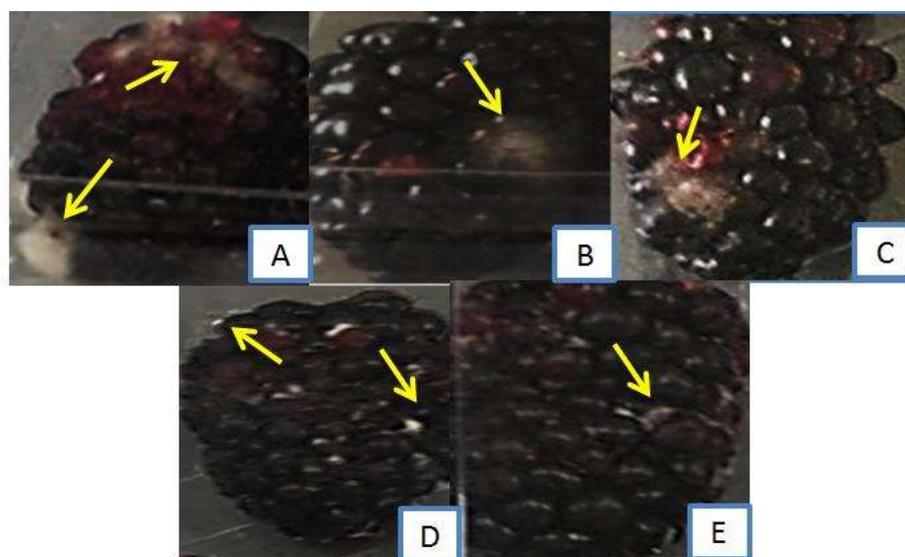


Figura 15. Frutos representativos de los tratamientos con IS del 50 % a temperatura ambiente. A) Control, B) Preventivo 1, C) Preventivo 2, D) Curativo 1 y E) Curativo 2.

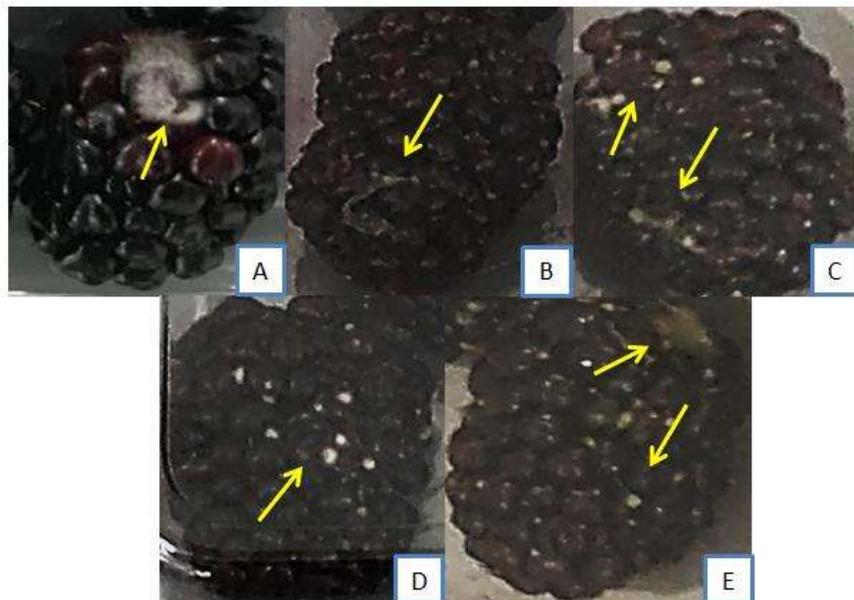


Figura 16. Frutos representativos de los tratamientos con IS del 50 % a 4° C. A) Control, B) Preventivo 1, C) Preventivo 2, D) Curativo 1 y E) Curativo 2.

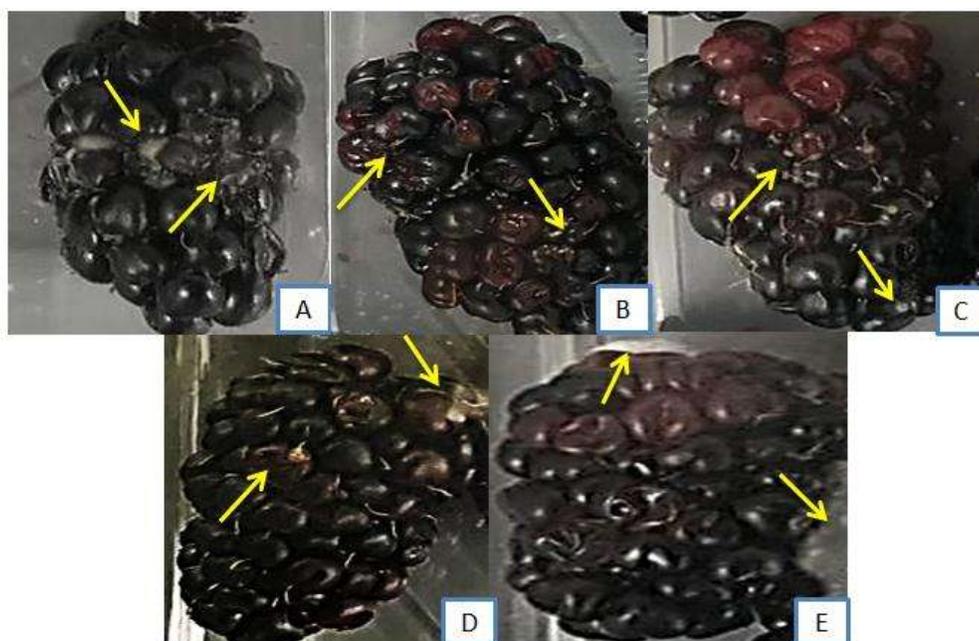


Figura 17. Frutos representativos de los tratamientos con IS del 50 % a 8° C. A) Control, B) Preventivo 1, C) Preventivo 2, D) Curativo 1 y E) Curativo 2.

4.6 Viabilidad Económica

Se hizo un estudio como parte de la viabilidad económica para el precio de la formulación.

Sigma Aldrich es una empresa estadounidense de alta tecnología. Sus productos químicos, bioquímicos y kits se utilizan en investigación científica en áreas como biotecnología y desarrollo farmacéutico, así como componentes clave en la fabricación de productos de alta tecnología. Debido al prestigio de la misma, se cotizaron los precios de los componentes necesarios para elaborar los recubrimientos comestibles (**Tabla 15**).

Tabla 15. Precio de elaboración de los recubrimientos comestibles por litro.

Ingredientes	Formulación 1	Formulación 2
	Precio (USD)	Precio (USD)
Ingrediente 1	0.14	0.071
Ingrediente 2	0.15	0.15
Ingrediente 3	0.85	0.85
Ingrediente 4	0.039	0.039
Ingrediente 5	0.00053	0.00053
Mano de obra	4.7	4.7
Total	5.87 ~ 6.0	5.67 ~ 6.0

Discusión de resultados

La densidad es una propiedad intensiva de la materia, es decir, no depende de la cantidad de sustancia, sin embargo, ésta depende de la temperatura (Perry y Green, 2012). La densidad puede obtenerse de forma indirecta y de forma directa. Para la obtención indirecta de la densidad, por separado se miden la masa y el volumen y posteriormente se calcula la densidad. La masa se mide con una balanza, mientras que el volumen puede medirse determinando la forma del objeto y midiendo las dimensiones apropiadas o mediante el desplazamiento de un líquido tal y como ocurre en el picnómetro. El picnómetro es un instrumento sencillo que se utiliza para determinar con precisión la densidad de líquidos. Su característica principal es la de mantener un volumen fijo al colocar diferentes líquidos en su interior (OIML, 2015).

La viscosidad es la propiedad de los fluidos, definida por el movimiento relativo entre sus porciones adyacentes, de resistir a los cambios de forma. La viscosidad se determina en virtud de un coeficiente obtenido del producto de la fuerza por el tiempo dividido por la unidad de superficie, que disminuye al aumentar la temperatura. El conocimiento y el control de la viscosidad constituyen una de las principales preocupaciones de las industrias, que emplean para ello variados y precisos instrumentos de medida, entre ellos el viscosímetro de Ostwald. El viscosímetro Ostwald basa su funcionamiento en medir el tiempo que un fluido tarda en recorrer la distancia entre las dos marcas de un tubo especialmente diseñado (Perry y Green, 2012).

De acuerdo con los resultados de la densidad y la viscosidad (**Tabla 6**), las propiedades fisicoquímicas de los recubrimientos en los tanques A y E no mostraron diferencias significativas. Por lo que las propiedades fisicoquímicas de los recubrimientos comestibles a diferente escala permanecen constantes.

La propiedad que verifica que dos sistemas iguales en forma, pero diferentes en escala, se comporten de la misma manera, se conoce como similaridad geométrica, cinemática y dinámica, y la clave para asegurarla es la igualdad de valor de ciertos factores adimensionales que sólo dependen de la naturaleza de los dos sistemas. El teorema de Buckingham establece que el número de variables físicas de las que es función el problema se pueden agrupar en un número de grupos adimensionales significativos, a partir de los cuales puede establecerse una ecuación. Estos grupos adimensionales son los grupos π (Martínez *et al.*, 2007). En este caso el Teorema de π de Buckingham proporcionó los parámetros adimensionales de los que depende el tanque agitado:

$$\varphi\left(\frac{Da}{Dt}, \frac{W}{Da}, \frac{La}{Da}, N_{Re}, N_{fr}, N_p\right) = 0$$

Para cumplir con la semejanza geométrica se hizo uso de las reglas heurísticas con las cuales se obtuvieron los parámetros propios del modelo y dieron la pauta para obtener los parámetros del prototipo (McCabe *et al.*, 2007). De acuerdo con la **Tabla 9** se demuestra que se obtiene una similaridad geométrica entre el modelo y el prototipo. En el caso de fluidos la similitud dinámica se da a través de las magnitudes adimensionales conocidas como número de Reynolds y el número de Froude deben

ser las mismas para modelo y prototipo. El número de Reynolds es la relación de las fuerzas inerciales y las fuerzas desarrolladas por la viscosidad de la disolución, por lo que ayuda a determinar si el flujo es turbulento o laminar: $N_{Re} < 1000$ se relaciona con un flujo laminar a viscosidad dominante y constante, mientras que $N_{Re} > 10000$ se relaciona con un flujo turbulento dominado por fuerzas inerciales que generan inestabilidad. Por tanto, la transición entre flujo laminar y flujo turbulento está en el intervalo de valores de N_{Re} 1000 y 10000. El número de Froude expresa la relación entre fuerzas de inercia y aceleración gravitacional. De acuerdo con la **Tabla 10** se observa que la similaridad dinámica se cumple puesto que se conserva un régimen transitorio en ambas escalas de los recubrimientos comestibles y el número de Froude es semejante. Por otra parte la relación $N_{ReA} = N_{ReE}$ se mantuvo constante, lo que permitió obtener la velocidad del impulsor del prototipo y conservar la semejanza dinámica. El principio de similaridad entre el modelo y el prototipo se cumple por lo que es posible experimentar con el modelo para conocer lo que pudiera pasarle realmente al prototipo.

Las pruebas *in vitro* proporcionan información valiosa acerca de la efectividad de un compuesto tomando en cuenta el tipo, género, especie y número inicial de los microorganismos a probar.

Los recubrimientos comestibles se evaluaron de manera *in vitro* a las 24 h de su elaboración así como a los 8 d, 16 d, 24 d y 30 d. De acuerdo con las **Tablas 9, 10, y la Figura 14** se comprueba que tanto la “Formulación 1” como la “Formulación 2”, ambas a diferente escala, mantienen sus propiedades sanitizantes hasta por 30 d, eliminando el 99.99 % de la carga microbiana. Asimismo se muestra que la “Formulación 2” exhibe mayor actividad antimicrobiana en ambas escalas.

La experimentación *in situ* tiene la ventaja de que las condiciones experimentales se asemejan mucho a la realidad y, además, es posible controlar (hasta cierto punto) las variables que afectan al sistema.

Los resultados de la experimentación *in situ* se reportaron de acuerdo al día en que los frutos alcanzaron un índice de severidad del 50%. De acuerdo con la **Tabla 11** se observa que no hubo cambios significativos entre el control y los tratamientos, sin embargo se muestra una diferencia significativa entre las temperaturas. Dicha diferencia demuestra que para mantener la calidad física de la zarzamora durante su

almacenamiento se requieren temperaturas bajas, siendo mejor la de 4° C. Estos resultados son similares a los obtenidos por Oliveira *et al.* (2014). Estos autores informaron que el uso de películas a base de almidón de yuca y granos kéfir, en condiciones de almacenamiento a 8 °C, no fueron efectivos para reducir las pérdidas poscosecha (calidades físicas y físico-químicas).

El índice de cosecha utilizado es el color de la superficie del fruto y éste debe ser cercano al morado intenso o negro. La zarzamora debe tener un color brillante y una firmeza consistente, fruta muy blanda debe eliminarse. Los cambios en el color están relacionados con el grado de maduración o el deterioro del producto.

En las **Tablas 12, 13 y 14** se observan las coordenadas cromáticas de las zarzamoras al día en que éstas obtuvieron un IS del 50%, las cuales nos demuestran que independientemente de los tratamientos el color de las zarzamoras se mantuvo estable. La luminosidad (L^*) fue significativamente mayor en la fruta almacenada a 4° C y 8° C en comparación con las zarzamoras almacenadas a temperatura ambiente, asimismo este parámetro se mantuvo sin cambios en todos los tratamientos.

Los precios se muestran en la **Tabla 15**, los cuales nos indican que por 1,000 ml de cada recubrimiento se requieren de 6 USD a nivel analítico. Éste resulta ser un precio viable tomando en cuenta que las pérdidas poscosecha de las frutas por *Botrytis cinerea* puede ser del 100 %, mismas que generan gran pérdida monetaria.

El precio de la elaboración del recubrimiento comestible por litro se considera como base para un trabajo futuro, el cual se enfocaría en el análisis de mercado para estimar el impacto que tendría el producto en el mercado, a partir del análisis del entorno del proyecto, la demanda, la oferta, la estrategia comercial del producto, así como su precio y sus canales de distribución.

Capítulo 5. Conclusiones

- El principio de semejanza entre el modelo y el prototipo se cumple a partir de los parámetros adimensionales proporcionados por el teorema de π de Buckingham por lo que es posible experimentar con el modelo para conocer lo que pudiera pasarle realmente al prototipo.
- El escalamiento del proceso de elaboración recubrimiento a base de polisacáridos y componentes vegetales de 100 ml a 1,000 ml no alteró su capacidad antimicrobiana.
- La aplicación del recubrimiento comestible en la zarzamora no mostró efecto alguno en su calidad y conservación, por lo tanto no es un recubrimiento efectivo en esta frutilla.

Recomendaciones y Trabajo a Futuro

- Crear un nuevo recubrimiento con sustancias de diferentes principios bioactivos de calidad GRAS.
- Implementar nuevas técnicas de aplicación del recubrimiento.
- Elaborar un análisis de mercado para estimar el impacto que tendría el producto en el mercado, a partir del análisis del entorno del proyecto, la demanda, la oferta, la estrategia comercial del producto, así como su precio y sus canales de distribución.

Capítulo 6. Bibliografía

- Anaya, A., & Pedroza, H. (2008).** Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 23:1, pp. 31-39.
- Bisio, A., & Kabel, R. (1985).** Scaleup of chemical process. Estados Unidos de America: A Wiley – Interscien Publication. pp. 271.
- Cárdenas, J. (2017).** México: productor mundial de zarzamora y principal exportador de fresa. Agronoticias. <https://josecardenas.com/2017/07/mexico-productor-mundial-zarzamora-principal-exportador-fresa/>
- Çengel, Y., & Cimbala, J. (2006).** *Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones*. México, D.F. : Mc Graw-Hill. pp. 1- 56.
- Coronado, M., García M., Santiago V., Córdova A., & Vásquez R (2014).** La zarzamora, un mercado potencial para los productores agropecuarios de la sierra de Sonora. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 34, pp. 784-794.
- FIRA (2016).** Panorama agroalimentario berries
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200633/Panorama_Agroalimentario_Berries_2016.pdf
- García, I. (2018) *Botrytis cinerea*:** un exterminador de cosechas altamente infeccioso - detallado http://www.canna.es/botrytis_cinerea_detallado
- González, R. (2000).** *Principios básicos de escalamiento*. Ciudad de Matanzas, Cuba: Editorial Universitaria, pp. 139.
- Hai, Y., & Sutton, J. (2009).** Morphological development and interactions of *Gliocladium roseum* and *Botrytis cinerea* in raspberry, *Canadian Journal of Plant Pathology*, 19:3, pp. 237 - 246.
- Horvitz, S., Chanaguano, D., & Arozarena, I. (2017).** Andean blackberries (*Rubus glaucus Benth*) quality as affected by maturity and storage conditions. *Scientia Horticulturae*, 226, pp. 293 – 301.
- INSHT (2012).** *Candida albicans*.
<http://www.insht.es/RiesgosBiologicos/Contenidos/Fichas%20de%20agentes%20biologicos/Fichas/Hongos/Candida%20albicans.pdf>
- Jonstone, R., & Thring, M.,(1957) *Pilot plants model and scale-up methods in chemical engineering*.** New York, USA: McGraw-Hill, p. 307.
- Junqueira, M., Alarcón, E., & Niranján, K. (2016).** The efficacy of potassium sorbate-coated packaging to control postharvest gray mold in raspberries, blackberries and blueberries. *Postharvest Biology and Technology*, 211, pp. 205 – 208.

- Lanuza, M. (2017).** Evaluación de formulaciones a base de cítricos aplicadas en fresa para su conservación en anaquel. (Tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico Superior de Uruapan, Uruapan, Michoacán.
- Malbrán, C. (2012).** Método de determinación de sensibilidad antimicrobiana por dilución. MIC testing, 32: 2, p. 48.
- Martínez, A., Pando, V., & del Rió, J. (2007).** Generalizaciones al teorema π de Buckingham con algunas aplicaciones.
<http://www.oasification.com/archivos/Pidebuck.pdf>
- McCabe, W., Smith J., & Harriott P. (2007).** *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. México D.F.: Mc Graw – Hill, 7° Edición, pp. 259 – 307.
- NMX-BB-040-SCFI-1999.** Métodos generales de análisis. Determinación de la actividad antimicrobiana en productos germicidas.
<https://www.yumpu.com/es/document/view/14197834/nmx-bb-040-scfi-1999-metodos-generales-de-analisis>.
- NOM-210-SSAI-2014.** Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5398468&fecha=26/06/201
- NTC 4106 (1997).** Frutas frescas. Mora de castilla. *Norma técnica de Colombia*: ICONTEC, p.13.
- Oliveira, D., Kwiatkowski, A., Lurenzi, C., & Clemente, E. (2014).** Refrigeration and edible coatings in (*Rubus* spp.) conservation. *Journal of Food Science and Technology*, 51:9, pp. 2120 - 2126.
- Oliveira, D., Kwiatkowski, A., Lurenzi, C., & Clemente, E. (2013).** Biodegradable coatings on the postharvest of blackberry stored under refrigeration. *Revista Ciência Agronômica*, 44:2, pp. 302 – 309.
- Onopiuk, A., Póltorak, A., Moczowska, M., Szpicer, A., & Wierzbicka, A. (2017).** The impact of ozone on health-promoting, microbiological, and colour properties of *Rubus idaeus* raspberries, *CyTA - Journal of Food*, 15:4, pp. 563 - 573.
- OIML. (2015).** *Guía OIML G-14: Medición de densidad*. París, Francia,: Edición 2011 (E). pp. 34.
- Pérez, A., García, B., Barbosa, G., & Pimentel, D. (2015).** Effect of starch-beeswax coatings on quality parameters of blackberries (*Rubus* spp). *Journal of Food Science and Technology*, 52:9, pp. 5601 – 5610.
- Pérez, M., & Vázquez, V. (2004).** Zazamora (*Rubus* spp), su cultivo y producción en el trópico mexicano. INIFAP. Folleto técnico, 2. pp. 23.
- Perry, R., & Green D. (2012).** *Manual del ingeniero químico tomo I*. España.: Mc Graw – Hill, 7ª Edición, Datos físicos y químicos pp. 1- 380.

- PROY-NMX-FF-129-SCFI-2016.** Productos alimenticios no industrializados para consumo humano – fruta fresca – zarzamora (*Rubus* spp) – especificaciones y métodos de prueba.
- Rasgado, F. (2015).** El cultivo de la zarzamora.
<https://biologiavegetaluv.wordpress.com/2015/09/17/el-cultivo-de-la-zarzamora/>
- Rebollar, A. (2011).** Manejo del mildiú y el moho gris de la zarzamora en Michoacán. Universidad Autónoma Chapingo, pp. 21 – 34.
- Rivas, G. (2017).** Manejo y producción forzada del cultivo de zarzamora.
<https://www.intagri.com/articulos/frutillas/manejo-y-produccion-forzada-del-cultivo-de-zarzamora>
- Rodríguez, E. (2011).** Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. *Ra Ximhai*, 7, pp. 53 – 170.
- SAGARPA (2017).** Planeación agrícola nacional
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257076/Potencial-Frutas_del_Bosque.pdf
- Sánchez, P. (2009).** Nutrición de zarzamora.
<http://www.giiberries.org/images/Documentos%20interes%20Manual-Nutricion-Zarzamora.pdf>
- Vázquez, M., & Guerrero, J. (2013).** Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7:2, pp. 5 – 14.
- Velázquez, A., & Guerrero, J. (2014).** Algunas investigaciones recientes en recubrimientos comestibles aplicados en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 8:2, pp. 5 – 12.
- Wang, C. (2003).** Maintaining postharvest quality of raspberries with natural volatile compounds. *International Journal of Food Science and Technology*, 38, pp. 869 - 875.
- Yahia, E. (2016).** Manejo y tecnología postcosecha de berries
<https://www.intagri.com/articulos/frutillas/manejo-y-tecnolog%C3%ADa-postcosecha-de-berries>
- Zill, D., & Wright, W, (2015).** *Ecuaciones diferenciales con problemas con valores en la frontera*. México D.F.: CENGAGE Learning, 7ª Ed., pp. 1 – 29.