



CONTINUACIÓN DE PROYECTO

TÍTULO:

EFFECTIVIDAD DEL TRATAMIENTO POSTCOSECHA DE QUITOSANO Y OCTANOATO DE SODIO EN EL CONTROL DE LA PUDRICIÓN DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.)

Responsable técnico:

Dr. Pedro Damián Loeza Lara

Línea de investigación:

Producción sustentable de alimentos

Colaboradores:

- 1.- Dr. Sigifredo López Díaz (CIIDIR-IPN-MICH)
- 2.- Santiago García Cabezas (Matrícula: 130030, Genómica Alimentaria)

I. Introducción

México es uno de los principales países productores de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.), ya que ocupa el tercer lugar a nivel mundial con una producción estimada de 338,764 ton producidas durante el 2016, en donde destaca el estado de Michoacán como la principal entidad productora y exportadora con un porcentaje del volumen total nacional que alcanza el 76.8 %, lo que equivale a 260,306 ton producidas (SIAP-SAGARPA, 2016).

La elevada producción del fruto de fresa se debe a que éste provee notables beneficios a la salud debido a que contiene compuestos altamente nutritivos que incluyen minerales (manganeso, magnesio, cobre, hierro y fósforo), vitaminas (A, E, K y C, entre otras), fibra dietética y un amplio rango de compuestos fenólicos (flavonoides, ácidos fenólicos, lignanos y taninos), que poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, antihipertensivas y anticancerígenas (Giampieri et al., 2015; Forbes-Hernández et al., 2017). Lo anterior le ha permitido ser un alimento popular incluido en bebidas diversas como el yogurt, además de mermeladas, gelatinas, alimentos funcionales y suplementos dietéticos, entre otros (Giampieri et al., 2015).

Sin embargo, el fruto de fresa es un alimento altamente perecedero, particularmente durante su transporte y almacenamiento en postcosecha, ya que es susceptible de sufrir deshidratación, daño mecánico, pudrición, o infección por microorganismos patógenos, especialmente hongos. El moho gris y la pudrición blanda son las principales causas de pudrición en postcosecha del fruto de fresa, las cuales son ocasionadas por los hongos *Botrytis cinerea* (Pers.) y *Rhizopus stolonifer* (Ehreb.), respectivamente (Velázquez-del Valle et al., 2008; Romanazzi et al., 2013).

La infección de los frutos comienza desde la etapa de floración en el campo, en donde los hongos permanecen latentes hasta la maduración del fruto, tiempo en el cual los microorganismos cambian de saprófitos a patógenos (Velázquez-del Valle et al., 2008; Romanazzi et al., 2013). Asimismo, ambos hongos se encuentran entre las especies fúngicas aisladas con mayor frecuencia a partir de frutos cosechados en el Valle de Zamora, principal zona productora del estado de Michoacán, de acuerdo a lo reportado por Fraire et al. (2003).

El tratamiento con fungicidas químicos sintéticos (por ejemplo Trioxil® para controlar a *B. cinerea* y Dicloran® para el control de *R. stolonifer*), es el principal método de control en pre-cosecha de este tipo de fitopatógenos; no obstante, el uso de estos compuestos, además de incrementar los costos de producción, pueden ocasionar problemas de salud pública y la selección de aislados resistentes al ingrediente activo (Velázquez del Valle et al., 2008; Weber, 2011). Asimismo, y debido al interés que han mostrado los consumidores, quienes exigen alimentos libres de plaguicidas químicos en los alimentos, es necesario realizar la búsqueda de nuevas alternativas para el control de este tipo de patógenos (Darolt et al., 2016).

El quitosano (poli β -[1-4]-*N*-acetil-D-glucosamina) es un biopolímero catiónico reconocido como seguro (GRAS, Generally Recognized as Safe, por sus siglas en inglés), ya que es biodegradable, no tóxico, compatible con el ambiente y posee actividad antimicrobiana, entre ésta la antifúngica (Mahae et al., 2011). Este polisacárido es producido por la desacetilación química de la quitina (2-acetamido-2-deoxi- β -D-glucosa), cuya fuente principal se encuentra en el exoesqueleto de crustáceos, insectos y hongos (López-Mata et al., 2013; Sun et al., 2014). Sin embargo, para incrementar la eficacia del quitosano contra microorganismos patógenos, se pueden incorporar, dentro de su biopelícula, diversas moléculas antimicrobianas como los ácidos grasos, lo que podría expandir su posible aplicación en la conservación de alimentos en postcosecha (Sun et al., 2014).

Los ácidos grasos son ácidos orgánicos caracterizados por la presencia del grupo carboxilo (COOH^-) en un extremo y el grupo metilo (CH_3^-) en el otro. Son ubicuos en la naturaleza, ya que pertenecen a una clase de moléculas fisiológicamente importantes involucradas en el almacenamiento de energía, estructura de la membrana y en varias vías de señalización (Pohl et al., 2011). Estas moléculas varían en longitud y nivel de saturación, existiendo ácidos grasos con cadenas hidrocarbonadas de 4 hasta 28 carbonos, las cuales pueden ser saturadas o insaturadas (Sylvain et al., 2009). Además de realizar funciones estructurales en las células y de participar en mecanismos de control de enfermedades, entre otras funciones básicas, los ácidos grasos poseen actividad antifúngica sobre diversos hongos fitopatógenos, son biodegradables y utilizados como

aditivos alimentarios (Liu et al., 2008), tal es el caso del octanoato de sodio, una sal de ácido graso con actividad antifúngica (Era et al., 2015).

En un trabajo previo realizado con las moléculas descritas con anterioridad se encontraron los siguientes resultados:

- a) Tanto los compuestos (quitosano, octanoato de sodio) utilizados solos o en compósito inhibieron significativamente el crecimiento micelial de los hongos fitopatógenos *B. cinerea* y *R. stolonifer*.
- b) De la misma manera, en los bioensayos *in vivo*, los compuestos redujeron de manera significativa la infección por *B. cinerea* en frutos de fresa en poscosecha.
- c) Otras investigaciones que se han realizado en nuestro grupo de trabajo muestran la reducción significativa de la infección de la fresa en poscosecha por otros hongos como *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. acutatum*, *Fusarium oxysporum* y *Phytophthora* sp., luego de la adición de quitosano.

Juntos, estos resultados muestran la necesidad de escalar el experimento y evaluar la capacidad del quitosano y del octanoato de sodio en un experimento de mayor envergadura, es decir, un experimento en el que se utilicen de 500 a 600 fresas por tratamiento, lo cual finalmente podría dar la pauta para conocer la eficiencia de los compuestos a nivel comercial y podría arrojar datos esenciales para comenzar a realizar estudios de factibilidad económica del uso de estos compuestos por parte de los productores y empresas exportadoras de la frutilla.

II. Antecedentes

Importancia de la fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) en México y Michoacán

La fresa, *Fragaria x ananassa* Duch., es un fruto producido por una planta herbácea perteneciente a la familia de las Rosáceas, el cual ocupa un lugar importante entre las frutillas producidas en todo el mundo, ya que posee una forma y sabor únicos (Sharma et al., 2009). Este fruto es rico en nutrientes tales como vitamina C, aminoácidos, azúcares, ácidos orgánicos y antocianinas, que son compuestos bioactivos responsables de la pigmentación del fruto y que se caracterizan por su actividad antioxidante, lo cual queda de manifiesto en su efecto anticancerígeno y acción preventiva contra enfermedades cardiovasculares (Han et al., 2004; He y Giusti, 2010).

Gracias a ello y a una amplia variedad de usos, la fresa se ha convertido en un alimento extensamente consumido que representa un pilar en la cultura culinaria, tanto a nivel nacional como internacional. Lo anterior se refleja en las altas tasas de consumo que el fruto ha experimentado en las dos últimas décadas, así como en su ascendente producción, la cual se estimó por arriba de las 5 millones de ton durante el 2013, destacando países como China, Estados Unidos de Norteamérica, México, España, Korea del Sur, Japón, Polonia, Turquía y Rusia, como los principales productores (FAOSTAT, 2015).

Como puede observarse, México ocupa un lugar importante entre los principales países productores de fresa, destacando Baja California y Michoacán como los estados que alcanzan el mayor porcentaje de producción del fruto en el país (91 %). Asimismo, estados como Guanajuato, Zacatecas, Chihuahua y Puebla, contribuyen con la producción nacional restante. De los dos primeros, resalta Michoacán con un 43 % de la producción, incluyendo al Valle de Zamora como la región productora de fresa más significativa del estado, con una producción aproximada de 291,200 ton anuales (SPF-SAGARPA, 2014).

Descomposición y deterioro de la fresa por hongos patógenos

Sin embargo, a pesar de las características que han posicionado a la fresa como uno de los alimentos más aceptados entre la población mundial, ésta posee la desventaja de ser

uno de los productos más altamente perecederos del sector hortofrutícola, principalmente durante su almacenamiento en postcosecha, ya que es susceptible a deshidratación, daño mecánico, pudriciones y otros desórdenes fisiológicos. Lo anterior se debe en gran medida a la carencia de una barrera exterior que limite la pérdida de humedad, efecto que se incrementa con la tasa respiratoria y la naturaleza no climatérica del fruto, lo que conlleva a una insuficiente protección contra daño mecánico, lo que a su vez lo hace más susceptible al ataque de microorganismos (Romanazzi et al., 2013).

Diversos estudios estiman que los hongos son los responsables de alrededor del 80 % de las pérdidas totales en el sector agroalimentario, de las cuales, entre el 28 y el 41 % corresponden a pérdidas en postcosecha (Fraire et al., 2003; Donmez et al., 2011). Los hongos pueden crecer en tejidos de plantas vivas o muertas y pueden sobrevivir en etapa de latencia bajo condiciones ambientales desfavorables. Cuando el ambiente es favorable, éstos pueden penetrar los tejidos vegetales y crecer en la superficie o en el interior. Las esporas, que son estructuras de diseminación y reproducción, son dispersadas por el viento y el agua hacia las plantas y frutos. Los daños iniciales en estos últimos por infección de hongos son pérdida de agua, ablandamiento, pudrición, cambio de coloración, crecimiento de micelio sobre la superficie y formación de esporas (Lopes et al., 2014). Entre los hongos más importantes que afectan la calidad de la fresa en postcosecha a nivel mundial destacan *Botrytis cinerea* (Pers.) y *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.), agentes causales del moho gris y la pudrición blanda, respectivamente (Romanazzi et al., 2013). Asimismo, ambos hongos se encuentran entre las especies fúngicas aisladas con mayor frecuencia a partir de frutos cosechados en el Valle de Zamora, de acuerdo a Fraire et al. (2003).

Alternativas al uso de plaguicidas sintéticos: quitosano y octanoato de sodio

La manera tradicional de controlar a los hongos patógenos ha sido mediante el uso de fungicidas químicos sintéticos; sin embargo, se sabe que éstos ocasionan problemas de salud en humanos y animales, así como contaminación de los ecosistemas. Estos reportes muestran que la mejor manera de reducir paulatinamente la contaminación del ambiente por plaguicidas sintéticos, y con ello los daños que éstos ocasionan, es que sólo se utilicen aquellos con menor impacto ambiental, y que se incremente la

investigación sobre el uso de métodos de control de patógenos más amigables; por ejemplo, el quitosano y los ácidos grasos (Ahmed e Ikram, 2015; Era et al., 2015).

El quitosano está formado por cadenas lineales de unidades de glucosamina [β -(1-4)-D-glucosamina] y en menor medida de N-acetil D-glucosamina [β -(1-4)-N-acetil-D-glucosamina], cuya estructura es parecida a la de la celulosa, lo que le permite compartir algunas propiedades químicas con esta última, como una estructura rígida y la falta de ramificaciones. No obstante, existen diferencias importantes entre las dos moléculas que determinan sus funciones. Para el caso del quitosano, destaca la abundancia de grupos funcionales reactivos como el hidroxilo y el amino, así como su capacidad de formar puentes de hidrógeno intra e intermoleculares, lo que le proporciona la habilidad de formar agregados cristalinos prácticamente insolubles en agua, pero solubles en soluciones ácidas (Zhang et al., 2011); así como una buena estabilidad térmica, ya que se descompone a 170 °C y se degrada antes de fundirse (Sugimoto, 1999).

Asimismo, el quitosano es considerado un polication (posee una alta densidad de cargas positivas: una carga positiva por cada residuo de glucosamina), ya que los grupos amino reactivos presentes en la estructura de la molécula pueden ser protonados por algunos ácidos, cargándose positivamente. Dicha capacidad permite explicar algunas de las propiedades biológicas del quitosano; por ejemplo, su habilidad para unirse a moléculas con carga negativa como lípidos, fosfolípidos, proteínas y colorantes, así como su efecto antimicrobiano contra hongos y bacterias (Gram positivas y Gram negativas), y su capacidad adsorbente y floculante, entre otras (Crini, 2005; Zhang et al., 2011).

Los ácidos grasos son moléculas ubicuas en la naturaleza, ya que juegan un papel importante en diversos procesos celulares. Asimismo, los ácidos grasos presentes en la grasa animal, en el aceite de las plantas y en otras fuentes representan una parte substancial en la nutrición humana (Liu et al., 2008). Estas moléculas varían en longitud y nivel de saturación, ya que pueden presentar cadenas de 4 hasta 28 carbonos, las cuales pueden ser saturadas e insaturadas. Las primeras son cadenas fuertes que están formadas por carbonos con enlaces simples, mientras que las segundas contienen uno o dos enlaces dobles (C=C), lo que produce una curvatura en la cadena carbonada (Era et al., 2015).

Las propiedades antimicrobianas de diversos ácidos grasos, incluido el octanoato de sodio, están bien documentadas. Por ejemplo, el ácido láurico y el ácido miristoleico, los cuales son ácidos grasos saturados, tienen fuerte actividad sobre bacterias orales como *Porphyromonas gingivalis*, *Selenomonas artemidis* y *Streptococcus sobrinus* (Shapiro, 1996). Por su parte, algunos ácidos grasos insaturados han mostrado tener actividad antibacteriana sobre *Helicobacter pylori* y *Staphylococcus aureus* (Khulusi et al., 1995; Zheng et al., 2005). Asimismo, diversos reportes indican que algunos ácidos grasos muestran efecto inhibitorio sobre la germinación de esporas de hongos fitopatógenos como *Alternaria solani*, *Colletotrichum lagenarium* y *Fusarium oxysporum* (Liu et al., 2008).

III. Justificación

México se encuentra entre los principales países productores de fresa, debido a que este fruto es ampliamente aceptado por los consumidores, ya que provee de notables beneficios a la salud por los minerales, vitaminas, fibra y compuestos fenólicos que posee, lo que le permite ser un alimento popular incluido en numerosas recetas culinarias. Sin embargo, la fresa es un fruto perecedero susceptible de sufrir daño mecánico, deshidratación y pudrición en postcosecha, esto último debido principalmente a factores bióticos como hongos. En nuestro país, las pérdidas de fresa en postcosecha debidas al ataque de hongos oscilan entre 10 y 100 %, por lo que frecuentemente se recurre al uso de fungicidas químicos sintéticos en precosecha para el control de los hongos. No obstante, está documentado que dichos plaguicidas representan un riesgo para el ecosistema y para la salud de los agricultores y consumidores, por lo que es necesario realizar la investigación de nuevas moléculas antifúngicas, que sean amigables. El quitosano y el octanoato de sodio son moléculas orgánicas que, además de ser inocuas para el ser humano y ser biodegradables, tienen actividad antifúngica, por lo que podrían ser utilizadas en postcosecha para proteger a frutos de fresa y alargar su vida de anaquel. Todo lo anterior demuestra la importancia de la presente propuesta, ya que es necesario escalar el experimento y evaluar la capacidad del quitosano y los ácidos grasos en una investigación de mayor envergadura incrementando el número de unidades experimentales. Lo anterior podría dar la pauta para conocer la eficiencia de los compuestos a nivel comercial y podría arrojar datos esenciales para comenzar a realizar estudios de factibilidad económica del uso de estos compuestos por parte de los productores y empresas exportadoras de la frutilla. Asimismo, podrían diseñarse cubiertas bioactivas para alargar la vida de anaquel del fruto.

IV. Hipótesis

El quitosano y el octanoato de sodio controlan la pudrición de frutos de fresa (*F. x ananassa*) en postcosecha.

V. Objetivos

5.1 Objetivo general

Valorar la efectividad del quitosano y del octanoato de sodio en el control de la pudrición de frutos de fresa (*F. x ananassa*) en postcosecha.

5.2 Objetivos específicos

- Determinar la actividad protectora *in vivo* del quitosano y del octanoato de sodio en el control de la pudrición de frutos de fresa (*F. x ananassa*) en postcosecha.

VI. Materiales y métodos

6.1 Obtención de frutos de fresa y hongos fitopatógenos

Para cumplir con el objetivo específico se utilizarán frutos de fresa variedad Camino Real, los cuales serán proporcionados por el productor Miguel Ángel Méndez Machuca de la Saucedá, municipio de Zamora, Michoacán. Para la selección de los frutos se tomará en cuenta la uniformidad en el tamaño, ausencia de daño físico e infección por hongos, así como el nivel de maduración (> del 75 % de la superficie del fruto deberá ser roja) (Hernández-Muñoz et al., 2008).

6.2 Preparación de quitosano, octanoato de sodio y compósito

El quitosano grado comercial se obtendrá de FutureFoods, México (≥ 90 % de desacetilación). Se preparará una solución de 5 L a una concentración de 20 mg/mL, para lo cual 100 g de quitosano serán disueltos en 2,500 mL de agua destilada y 50 mL de ácido acético (J.T. Baker, México), los cuales se mantendrán en agitación constante por 12 h. Posteriormente, el pH de la solución se ajustará a 5.6 con NaOH 1 N (J.T. Baker, México). Luego, se adicionará agua destilada hasta alcanzar un volumen total de 5 L y se procederá a esterilizar la solución a 120 °C, 20 psi, por 15 min (Bautista-Baños et al., 2003; Liu et al., 2007).

El octanoato de sodio se obtendrá a partir de Sigma-Aldrich, México y la molécula se disolverá en agua destilada estéril. Se preparará una solución stock de 5 L a una concentración de 3 mM, la cual se utilizará en los bioensayos correspondientes (Liu et al., 2008). El compósito quitosano/ácido graso se preparará de la siguiente manera: una vez preparadas ambas soluciones, la concentración correspondiente de octanoato de sodio será disuelta en la solución de quitosano a temperatura ambiente (25 ± 2 °C), hasta preparar un volumen de 5 L. Dicho compósito se agitará vigorosamente por 5 min y se utilizará en los ensayos antifúngicos correspondientes.

6.3 Bioensayos *in vivo*: ensayos de control de la pudrición de frutos de fresa en postcosecha

Se valorará la efectividad del quitosano, ácido graso y el compósito sobre el control de la pudrición de frutos de fresa. Para realizar lo anterior, los frutos se sumergirán durante 1 min en un volumen de 5 L de las soluciones respectivas. Después de la aplicación de los tratamientos, las frutas se secarán al aire libre durante 1 h, y luego se colocarán individualmente en pequeñas cajas de plástico cubiertas, las cuales se almacenarán durante 7 días a 0 ± 1 °C, 95-98 HR, y después se expondrán durante 3 días de vida útil a 24 ± 2 °C, 95-98 HR. Las fresas sumergidas en agua y ácido acético al 1% pH 5.6 se usarán como control negativo y como control absoluto se utilizarán fresas sin ningún tratamiento. Se utilizarán 20 réplicas de 30 fresas para cada uno de los tratamientos. Las infecciones por hongos que posteriormente se desarrollen resultarán del inóculo natural y se verificará el crecimiento del hongo en medio PDA (Modificado de Romanazzi et al., 2013). Se obtendrá la severidad de la enfermedad de acuerdo a la escala de Romanazzi et al. (2013), la cual tiene seis niveles: 0) fruto sano; 1) 1-20 % de la superficie del fruto infectada; 2) 21-40 % de la superficie del fruto infectada; 3) 41-60 % de la superficie del fruto infectada; 4) 61-80 % de la superficie del fruto infectada; 5) más del 80 % de la superficie del fruto infectada, la cual muestra crecimiento de micelio.

6.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Los tratamientos serán aplicados bajo un diseño experimental completamente al azar. Los datos de severidad de la enfermedad serán transformados con la función $\sqrt{x + 0.5}$ (Salgado-Garciglia *et al.*, 2008). Los resultados se analizarán mediante un análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$) y se realizará una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el programa estadístico SPSS-IBM Statistics versión 22.

VII. Referencias

Ahmed, S. e Ikram, S. 2015. Chitosan and its derivatives: a review in recent innovations. *Int. J. Pharm. Sci. Res.* 6: 14-30.

Bautista-Baños, S., Hernández-López, M., Bosquez-Molina, E., Wilson, C.L. 2003. Effects of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporioides*, anthracnose levels and quality of papaya fruit. *Crop Prot.* 22: 1087-1092.

Crini, G. 2005. Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment. *Prog. Polym. Sci.* 30: 38-70.

Darolt, F.C., Neto, A.C.R., Di Piero, R.M. 2016. Effects of the protective, curative, and eradicated applications of chitosan against *Penicillium expansum* in apples. *Braz. J. Microbiol.* 47: 1014-1019.

Donmez, M.F., Esitken, A., Yildiz, H., Ercisli, S. 2011. Biocontrol of *Botrytis cinerea* on strawberry fruit by plant growth promoting bacteria. *J. Anim. Plant Sci.* 21: 758-763.

Era, M., Sakai, S., Tanaka, A., Kawahara, T., Kanyama, T., Morita, H. 2015. Antifungal activity of fatty acid salts against *Penicillium pinophilum*. *Japan Journal of Food Engineering.* 16: 99-108.

FAOSTAT, 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible de: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E> (consultado 21/01/2016).

Forbes-Hernández, T.Y., Gasparrini, M., Afrin, S., Cianciosi, D., González-Paramás, A.M., Santos-Buelga, C., Mezzetti, B., Quiles, J.L., Battino, M., Giampieri, F., Bompadre, S. 2017. Strawberry (cv. Romina) methanolic extract and anthocyanin-enriched fraction improve lipid profile and antioxidant status in HepG2 cells. *Int. J. Mol. Sci.* 18: 1-17.

Fraire, L., Yáñez, M., Nieto, D., Vázquez, G. 2003. Hongos patógenos en frutos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en postcosecha. *Rev. Mex. Fitopatol.* 21: 285-291.

Giampieri, F., Forbes-Hernández, T.Y., Gasparrini, M., Alvarez-Suarez, J.M., Afrin, S., Bompadre, S., Quiles, J.L., Mezzetti, B., Battino, M. 2015. Strawberry as a health promoter: an evidence based Review. *Food Funct.* 6: 1386-1398.

Han, C., Zhao, Y., Leonard, S.W. Traber, M.G. 2004. Edible coatings to improve storability and enhance nutritional values of fresh and frozen strawberries (*Fragaria x ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). *Post. Biol. Technol.* 33: 67-78.

He, J. y Giusti, M. 2010. Anthocyanins: Natural colorants with health-promoting properties. *Ann. Rev. Food Sci. Technol.* 1: 163-187.

Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Velez, D., Gavara, R. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chem.* 110: 428-435.

Khulusi, S., Ahmed, H.A., Patel, P., Mendall, M.A., Northfield, T.C. 1995. The effects of unsaturated fatty acids on *Helicobacter pylori in vitro*. *J. Med. Microbiol.* 42: 276-282.

Liu, J., Tiang, s., Meng, X., Xu, Y. 2007. Effects of chitosan on control of postharvest diseases and physiological responses of tomato fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 44: 300-306.

Liu, S., Weibin, R., Jing, L., Hua, X., Jingan, W., Yubao, G., Jingguo, W. 2008. Biological control of phytopathogenic fungi by fatty acids. *Mycopathol.* 166: 93-102.

Lopes, U.P., Zambolim, L., Pinho, D.B., Barros, A.V., Costa, H., Pereira, O.L. 2014. Postharvest rot and mummification of strawberry fruits caused by *Neofusicoccum parvum* and *N. kwambonambiense* in Brazil. *Trop. Plant Pathol.* 39: 178-183.

López-Mata, M.A., Ruiz-Cruz, S., Silva-Beltrán, N.P., Ornelas-Paz, J.J., Zamudio-Flores, P.B., Burruel-Ibarra, S.E. 2013. Physicochemical, antimicrobial and antioxidant properties of chitosan films incorporated with carvacrol. *Molecules.* 18: 13735-13753.

Mahae, N., Chalal, C., Muhamud, P. 2011. Antioxidant and antimicrobial properties of chitosan-sugar complex. *Int. Food Res. J.* 18: 1543-1551.

Muñoz, Z., Moret, A., Garcés, S. 2009. Assessment of chitosan for inhibition of *Colletotrichum* sp. on tomatoes and grapes. *Crop Prot.* 28: 36-40.

Pohl, C.H., Kock, L.F.J., Thibane, V.S. 2011. Antifungal free fatty acids: a review. In: *Science against microbial pathogens: Communicating current research and technology advances.* Méndez V.A., editor. p. 61-71.

Romanazzi, G., Feliziani, E., Satini, M., Landi, L. 2013. Effectiveness of postharvest treatment with chitosan and others resistance inducers in the control of storage decay of strawberry. *Post. Biol. Technol.* 75: 24-27.

Salgado-Garciglia, R., Molina-Torres, J., López-Meza, J.E., Loeza-Lara, P.D. 2008. Effect of crude extract and bioactive compounds of *Heliopsis longipes* on anthracnose incidence, mycorrhization, and nodulation of bean. *Agrociencia.* 42: 679-688.

Shapiro, S. 1996. The inhibitory action of fatty acids on oral bacteria. *Oral Microbiol. Immunol.* 5: 350-355.

Sharma, S., Joshi, V.K., Abrol, G. 2009. An overview on strawberry [*Fragaria x ananassa* (Weston) Duchesne ex Rozier] wine production technology, composition, maturation and quality evaluation. *Nat. Prod. Rad.* 8: 356-365.

SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación), 2016. Disponible de: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do (consultado 31/01/2018).

SPF-SAGARPA (2014). Sistema Producto Fresa-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Disponible de: <http://conafresa.com.mx/archivos/Seccion2/PLANANUALFORTALECIMIENTOFresa2014.pdf> (consultado 21/01/2018).

Sugimoto, K. 1999. Preparation and characterization of chitin and chitosan derivates. *Carbohydr. Polym.* 36: 49-59.

Sun, X., Wang, Z., Kadouh, H., Zhou, K. 2014. The antimicrobial, mechanical, physical and structural properties of chitosan-gallic acid films. *LWT- Food Sci. Technol.* 57: 83-89.

Sylvain, L.S., Lucia, V.M., Elisabetta, G. 2009. Effect of α -linolenic, capric and lauric acid on the fatty acid biosynthesis in *Staphylococcus aureus*. *Int. J. Food Microbiol.* 129: 288-294.

Velázquez-del Valle, M.G., Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A.N., Guerra-Sánchez, M.G., Amora-Lazcano, E. 2008. Estrategias de control de *Rhizopus stolonifer*

Ehrenb. (Ex Fr.) Lind, agente causal de pudriciones postcosecha en productos agrícolas. Rev. Mex. Fitopatol. 26: 49-55.

Weber, R.W.S. 2011. Resistance of *Botrytis cinerea* to multiple fungicides in northern German small-fruit production. Plant Dis. 95: 1263-1269.

Zhang, H., Li, R., Liu, W. 2011. Effects of chitin and its derivative chitosan on postharvest decay of fruits: A review. Int. J. Mol. Sci. 12: 917-934.

Zheng, C.J., Yoo, J.S., Lee, T.G., Cho, H.Y., Kim, Y.H., Kim, W.G. 2005. Fatty acid synthesis is a target for antibacterial activity of unsaturated fatty acids. FEBS Lett. 579: 5157-5162.

VIII. Calendario de trabajo

Actividad/mes	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Bioensayos de control de la pudrición de frutos de fresa en poscosecha	x	x	x	
Análisis de la información	x	x	x	
Informe final				x

IX. Planeación de gastos

Descripción de la actividad a realizar	Gasto corriente	Monto propuesto	Justificación	Nombre y posición del participante	Fecha de inicio de la acción	Duración
Bioensayos de control de la pudrición de frutos de fresa en poscosecha	Medios de cultivo	\$3,000	Se requiere de medio nutritivo (PDA) para observar si crecen hongos en las fresas podridas	Sigifredo López Díaz, Santiago García Cabezas y Pedro Damián Loeza Lara	02-09-2019	12 semanas
	Cajas Petri	\$4,750	Se requieren cajas Petri de plástico para realizar la siembra de los hongos			
	Agua destilada	\$1,000	Se requiere para la preparación de medios y la preparación de los tratamientos			

	Cajas de plástico para almacenamiento de fresas	\$1,000	Se requieren para incubar los frutos de fresa			
	*Quitosano grado comercial	\$15,000	*Se requieren para controlar la pudrición de los frutos de fresa en postcosecha			
	*Octanoato de sodio 100 g	\$1,875				
	Combustible	\$2,700	Se requiere para ir a la Saucedá, municipio de Zamora a comprar fresa orgánica var. Camino Real			
	Cartuchos para impresora	\$2,300	Se necesita para la impresión de los resultados y los informes			
	Nanopartículas de plata	\$5,000	Se necesita para hacer ensayos de protección de los frutos de fresa			
		\$5,000	Se necesita para analizar la			

	Kit para PCR Tiempo Real		expresión de genes y aspectos enzimáticos			
	Catalase from bovine liver	\$700				
	Peroxidase from horseradish	\$1,200				
	Pirogallol	\$650				
	Protein molecular size marker (C1992- 1VL SIGMA)	\$3,700				
	Nisina grado alimenticio	\$4,125				
Becas de alumno tesista	Beca	\$8,000	Se requiere para apoyar al estudiante en sus gastos	Santiago García Cabezas	02-09-2018	4 meses
		Total: \$60,000				

X. Propuesta de evaluación de resultados

La propuesta que nosotros hacemos al Consejo Académico es que se entregue el reporte final que marca la convocatoria y que los resultados obtenidos sean presentados en un foro interno. Dicha presentación podría ser oral o bien en formato de cartel como se realiza en cualquier congreso nacional o internacional.

XI. Propuesta de indicadores de impacto social

El impacto social de la presente propuesta es a largo plazo y, en caso de obtener resultados positivos en la experimentación, éste podría verse reflejado en el desarrollo de una tecnología que beneficie tanto a los productores que exportan frutillas como a las empresas exportadoras de dichos alimentos. El posible desarrollo tecnológico consistiría en la utilización del o los compuestos, a manera de cubierta comestible, en la conservación de la fresa para exportación, la cual, al ser recubierta y mantenida a cierta temperatura, tendría una mejor calidad microbiológica, puesto que se eliminarían los microorganismos contaminantes, además de que se podrían abaratar los costos en la refrigeración que se usa comúnmente en los vehículos de transporte.