

Revisión bibliográfica

POTENCIALIDADES DEL QUITOSANO PARA LA FRESA. USOS EN LA MEJORA Y CONSERVACIÓN DE LOS FRUTOS

Review

Potentialities of chitosan for strawberry. Uses in the improvement and conservation of the fruits

Argelys Kessel Domini✉

ABSTRACT. The fruit of the strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) contains an important amount of antioxidants and micronutrients, being a source rich in vitamin C and folic acid. Compared to other fruits also it has a high water content, less low molecular weight carbohydrates and a higher glucose / fructose ratio. The growth, production and quality of the strawberry fruit depends on the different agricultural treatments that are carried out during its development season. At present, efforts are being made worldwide to minimize the amounts of chemical fertilizers and pesticides applied to vegetables and edible plants to reduce the cost of its production and the pollution of the environment, without a reduction on the performance. In this sense, there is necessary to search alternatives to integrated pest management in strawberry crop. One of the strategies which has been the most studied in recent years is the use of chitosan to regulate the phytopathogen populations, increase the fruits yields and to improve the quality and commercial life of the fruit. Among the oligosaccharines, chitosan is the most studied and applied in the field of pre and postharvest agriculture. For these reasons, the aim of this review is to highlight the main results found in different studies where the action of this biostimulant on strawberry cultivation has been tested.

RESUMEN. El fruto de la fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) contiene una cantidad importante de antioxidantes y micronutrientes, siendo una fuente rica en vitamina C y ácido fólico. En comparación con otras frutas posee un alto contenido de agua, menor cantidad de carbohidratos de bajo peso molecular y una mayor relación glucosa/fructosa. El crecimiento, la producción y la calidad de la fruta están en función de los diferentes tratamientos agrícolas que se realicen durante su temporada de desarrollo. Actualmente, a nivel mundial se están realizando esfuerzos para minimizar las cantidades de fertilizantes y plaguicidas químicos que se le aplican a las hortalizas y plantas comestibles con el fin de reducir el costo de producción y la contaminación del medio ambiente, sin que haya una reducción del rendimiento. En este sentido, surge la necesidad de buscar alternativas para el manejo integrado de plagas en el cultivo de la fresa, y una estrategia muy estudiada en los últimos años ha sido el uso de la quitosana con el fin de regular las poblaciones de determinados fitopatógenos, aumentar los rendimientos así como mejorar la calidad y la vida comercial de la fruta. La quitosana es, entre las oligosacarinas, la más estudiada y de mayores aplicaciones en el campo de la agricultura de pre y poscosecha, por lo que el objetivo de ésta revisión está enfocado en resaltar los principales resultados obtenidos en los diferentes estudios donde se ha probado la acción de este bioestimulante en el cultivo de la fresa.

Key words: strawberry, yield, quality

Palabras clave: calidad, fresa, rendimiento

INTRODUCCIÓN

El consumo de alimentos ricos en antioxidantes, micronutrientes y fitoquímicos es una medida preventiva para disminuir el riesgo de enfermedades crónicas causadas por el estrés oxidativo (1).

El fruto de la fresa contiene una cantidad importante de antioxidantes y micronutrientes, siendo una fuente rica en vitamina C y ácido fólico. En comparación con otras frutas como: la piña, el plátano, la manzana, la pera y la uva, posee un alto contenido

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Gaveta postal No.1, San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba. CP 32700

✉ argelys@inca.edu.cu

de agua, menor cantidad de carbohidratos de bajo peso molecular y una mayor relación glucosa/fructosa (2-4).

Sin embargo es un fruto muy percedero debido a la alta velocidad con que transcurren los procesos metabólicos vitales como lo demuestra su alta tasa respiratoria (50 - 100 ml CO₂/Kg h a 20°C). La vida comercial útil para este fruto se establece en 5 - 7 días. Otro aspecto a tener en cuenta relacionado a sus características físicas es que posee una pulpa relativamente blanda, cubierta con una fina y delicada cobertura, muy susceptible a la rotura. Estas características hacen que la fresa se magulle por efecto de presiones de intensidad relativamente baja. Como consecuencia de ello, el fruto presenta una gran facilidad para sufrir lesiones durante la cosecha y posterior manipulación postcosecha. Dichas lesiones se convierten en puntos de ataque preferenciales de diferentes microorganismos patógenos entre los que destaca fundamentalmente el hongo *Botrytis cinerea* (5).

En las sociedades con un elevado nivel económico el principal factor de preferencia del consumidor es la calidad de los productos agroalimentarios. Para la obtención de producciones de calidad se requiere un adecuado crecimiento de la planta y desarrollo del fruto durante el período precosecha (6).

Muchos autores plantean que el crecimiento, la producción y la calidad de la fruta de fresa depende en gran medida del uso de fertilizantes químicos y plaguicidas que se utilicen durante su temporada de desarrollo para obtener altas producciones.

A pesar de esto, en la actualidad, se están realizando esfuerzos para minimizar la aplicación de estos compuestos en las hortalizas y plantas comestibles, con el fin de reducir los costos de producción y la contaminación

del medio ambiente, sin que haya una reducción del rendimiento (7). Simultáneamente la industria alimentaria al tratar de satisfacer las exigencias de los consumidores ha impulsado el desarrollo y diseño de nuevas metodologías que permitan ofrecer alimentos frescos y sanos, en su estado más natural y aumentar la vida de anaquel (8).

Por lo tanto, hay una tendencia al uso de productos orgánicos y estimulantes del crecimiento para mantener la eficiencia en las producciones agrícolas. Muchos agricultores los aplican por aspersión foliar o en el suelo para mejorar el crecimiento, la productividad y la calidad de los frutos producidos. Los resultados de estas últimas dos décadas permiten vislumbrar el desarrollo de una nueva generación de compuestos inocuos o menos agresivos al ambiente y al hombre. Estos basan su utilidad en la manipulación de las respuestas naturales de los vegetales, contra los diferentes estreses y en maximizar las potencialidades intrínsecas de los cultivos para elevar sus rendimientos (7). El cultivo de la fresa posee las más variadas y complejas posibilidades de manejo cultural desde la producción a campo abierto, hasta en condiciones de ambientes controlados (9), de ahí la necesidad del estudio sobre bioestimulantes que mejoren de forma rentable la producción en este cultivo.

La quitosana es, entre las oligosacarinas, la más estudiada y de mayor aplicación en el campo de la agricultura de pre y postcosecha. Posee características esenciales en su actividad biológica que la hacen deseable en este campo: i) benefician el aumento del crecimiento y los rendimientos de muchos cultivos probados y ii) causan la inducción defensiva y de resistencia contra patógenos en plantas aplicadas (10-12). Conjuntamente favorece el

crecimiento de biota benéfica o patógena y a su vez, incrementan la población y la actividad microbiana en el suelo, lo que mejora la disposición de nutrientes y sus propiedades (13). Es reconocido que su actividad biológica está relacionada con las cargas positivas libres, presentes en el grupo amino en condiciones de acidez, que interactúan con cargas contrarias de componentes de la pared celular y las membranas de microorganismos y plantas.

En el cultivo de la fresa, cuando se ha aplicado este compuesto para determinar su efecto sobre la respuesta de la planta, se han logrado muy buenos rendimientos, tamaño y calidad de la fruta. A la vez, muchos autores se han referido a las aspersiones foliares desde la etapa de floración hasta la maduración, como una estrategia fungicida para controlar la pudrición postcosecha. Otros, teniendo en cuenta sus características de biocompatibilidad y sus propiedades antimicrobianas la han empleado como recubrimiento comestible (RC) para mejorar la vida comercial de las frutas. De ahí que el objetivo de este trabajo está enfocado en resaltar los principales resultados obtenidos en los disímiles estudios donde se ha probado la acción de este bioestimulante, con el propósito de recomendarlo como una alternativa favorable para aumentar los rendimientos y calidad de la fruta de fresa.

EFFECTOS DEL QUITOSANO EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA FRESA

Una planta de fresa con calidad debe tener raíces abundantes, coronas múltiples, yemas diferenciadas y alto contenido de carbohidratos para establecerse rápidamente en el terreno de cultivo y con ello obtener una rápida producción y de alto rendimiento. Los factores

genéticos y ambientales como: la disponibilidad de agua, las temperaturas nocturnas y diurnas y la intensidad de la luz del día, influyen en el crecimiento de las plantas y en la productividad y calidad del fruto (14). Se ha comprobado que las altas temperaturas, en condiciones de vivero, afectan la calidad de las plantas hijas y en la producción, el rendimiento y el tamaño del fruto (Tabla).

A su vez, la altitud del terreno de siembra sobre el nivel del mar de la plantación influye en el tamaño y el número de coronas de las plantas, por lo que el establecimiento de viveros de fresa en altas altitudes (por encima de 3 000 m s.n.m.) (Tabla), puede provocar daños a las plantas por las bajas temperaturas que ocurren, en contraste, en bajas altitudes las plantas llegan a presentar menor contenido de almidón, con un bajo rendimiento de producción. Por otro lado, se puede obtener mayor número de coronas en períodos más cortos, en comparación con las plantas producidas en elevaciones altas. Los azúcares solubles desempeñan un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales; cuando sus órganos terminan de desarrollarse, dichos azúcares se almacenan temporalmente como almidón en las raíces y coronas de la fresa como resultado del acortamiento del fotoperiodo y la disminución de la temperatura ambiental.

Este aspecto es muy importante, debido a que el contenido de almidón es necesario para la propagación de la planta, el almacenamiento a largo plazo, el establecimiento de la plantación, la precocidad y el rendimiento de los frutos (14).

Además se plantea que para lograr una aceptable producción de fresa se requiere de grandes cantidades de recursos renovables y no renovables tales como la cobertura del suelo que consiste en cubrir los surcos con algún material plástico que impida que la fruta tenga contacto directo con el suelo, impidiendo así daños patológicos y a su vez evitando el crecimiento de arvenses. De igual forma, necesita de una cantidad considerable de agua para el establecimiento de las plantaciones y depende de aplicaciones frecuentes de fertilizantes, para aumentar su productividad (16).

Uno de los principales retos en el desarrollo del cultivo comercial e incluso en la poscosecha de la fruta, es el manejo de las enfermedades que en su gran mayoría, son de carácter fungoso; seguidas por algunos problemas bacterianos, de nemátodos y ocasionalmente por virus. El manejo de estas patologías está fundamentado en el uso de plaguicidas como: Benomil, Captan, Iprodiona, Azuflor 90wp (17) y otros de síntesis química, los cuales generan alto riesgo para la salud humana y ambiental,

además afectan la inocuidad de la fruta e incrementan los costos de producción, siendo tan crítica la situación en la actualidad, que países desarrollados restringen e incluso anulan la utilización de ciertos agroquímicos (10). En este sentido, surge la necesidad de buscar alternativas para el manejo integrado de plagas con el uso de biofertilizantes o bioestimulantes naturales.

Uno de los compuestos bioactivos que toma mucha relevancia para el control de patógenos en el manejo postcosecha de frutas y hortalizas es la quitina y sus derivados. Muchos autores alegan que la capacidad antifúngica de la quitosana ha sido demostrada en diferentes estudios como por ejemplo Mohamed *et al.*, 2008, que usando tomate como modelo, demostraron que una concentración de 2000 y 4000 mg/L de quitosana inhibe por completo el crecimiento del hongo *Botrytis cinera* (moho gris). A su vez, al 1 % demostró ser efectiva disminuyendo el crecimiento de este mismo hongo y *Rhizopus rot*, en uvas, fresas y moras (Romanazzi, 2010). Asimismo en frutos cítricos cuando se ha empleado la quitosana de bajo peso molecular se vio una reducción significativa de las infecciones causadas por *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum*, *Botrydipodia lecanidion* y *Botrytis cinerea* después de 14 días de almacenamiento a 25 °C (Chien *et al.*, 2007).

Tabla. Condiciones climáticas favorables para el cultivo de la fresa (15)

Altitud	1 300 a 3 000 ms.n.m.
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Ideal: diurna entre 18 y 25 °C y nocturna entre 8 y 13 °C • Menos de 15 °C: maduración lenta, T° alta: coloración precoz • Más de 32°C: abortos florales • 12 °C en el suelo: estimulación de raíces • 0 °C: daños severos a polinización, frutos deformes, necrosamiento de flores • -8 °C: daños muy graves a tejidos • -10 a -12 °C: muerte de la planta
Luminosidad	3 000 horas de sol/año
Humedad relativa	60 a 75 %
Precipitaciones	Mínimas (1 000 a 2 000 mm/año)
Granizo	Daños mecánicos severos, facilita la entrada de patógenos

Bhaskara Reddy *et al.* (2000) trataron fresas con el biopolímero antes de la cosecha y observaron que no hubo daño causado por el mohogris a temperaturas de 3 y 13°C durante el almacenamiento (5). Por lo antes expuesto resulta una de las estrategias más estudiadas en los últimos años con el fin de regular las poblaciones de determinados fitopatógenos, aumentar los rendimientos y mejorar la calidad y la vida comercial de los frutos de fresa.

Todo esto ha traído como consecuencia el creciente interés de muchos investigadores en continuar probando el efecto de la quitosana en el crecimiento y desarrollo de la fresa, así como su comportamiento en diferentes cultivares. En un estudio con la aplicación del bioproducto al 90-95 % (2 - Amino - 2 - desoxi - beta - D - glucosamina) al 1 %, es decir, 10 g de quitosana disuelto en 0,1 de Hidróxido de sodio (NaOH) y completado en un litro de agua destilada con una concentración de 5 g L⁻¹ se observó un aumento en la altura de las plantas tratadas, en el peso fresco y seco, en el número de hojas y coronas y en el área foliar con respecto al testigo. Al mismo tiempo cuando estimaron los parámetros de calidad de fruto apreciaron valores promedio de vitamina C de 43,83 mg/ 100 g, mientras que en los tratamientos testigos de 31,58 mg/100 g y en cuanto al contenido de antocianinas en todas las plantas tratadas con la quitosana se obtuvo un valor promedio de 88,37 mg/ 100 g y en las no tratadas de 80,93 mg/ 100 g, por lo que obtuvieron diferencias significativas (18).

En otro ensayo probaron dos concentraciones 2,5 y 5 g L⁻¹ del producto comercial Chitosan care compuesto por (Nitrógeno 1000 mg L, P₂O₅ 500 mg L, K₂O 500 mg L, Fe 100 mg L, Zn 100 mg L, Cu 50 mg L, Mn 50 mg Ly B 50 mg L) con varias aplicaciones a los 30, 60 y 90 días de trasplantado los estolones y notó un incremento

significativo en el crecimiento vegetativo (longitud de la planta, número de hojas/planta, área foliar, crecimiento radicular, peso fresco y seco así como en los atributos de rendimiento (peso de la fruta, rendimiento temprano y total/planta) con las dos concentraciones empleadas, e indistintamente dichos autores consideraron como el tratamiento más efectivo el de 5 g L⁻¹ (19).

En nuevas investigaciones, teniendo en cuenta que las infecciones por patógenos como *Botrytis cinerea* y *Rhizopus stolonifer* se producen en la etapa de desarrollo del cultivo y sus síntomas se desarrollan generalmente después de la cosecha, se han referido a las aspersiones de la quitosana con una formulación comercial de un grado de desacetilación del 80-90%, una viscosidad de 0,08-0,12 (solución al 1% p/v), el peso molecular del monómero de hidrocloreuro de d - glucosamina de 215,62 g / mol y el peso molecular del monómero de clorhidrato de N-acetil-d-glucosamina es de 257,66 g / mol, desde la etapa de la floración hasta la maduración, como una estrategia fungicida para controlar la pudrición postcosecha (20).

En dicho estudio utilizaron el índice de infección (McKinney, 1923) que incorpora tanto la incidencia como la gravedad de descomposición de la fruta y con las concentraciones de 5 y 10 g L⁻¹ del producto, presenciaron un incremento en los rendimientos de la planta y una reducción significativa de 50 y 49 % en comparación con el control, de la presencia del moho gris y *Rhizopus* en el fruto, así como un decaimiento postcosecha de 36 y 29 % después de los 4 días de vida útil. Además, comprobaron que con 5 g L⁻¹ hubo una menor incidencia de microorganismos y a su vez cuando evaluaron los parámetros de calidad de fruto, en uno de los cultivares, con ambas concentraciones se mantuvo la firmeza y el color

del fruto (20), los cuales son los parámetros fundamentales para la aceptabilidad del consumidor (21,22).

Por lo tanto se puede considerar que los tratamientos desde la precosecha con este bioestimulante, además de favorecer el crecimiento y desarrollo de la planta, podría suplementar el uso de fungicidas convencionales para alargar la vida anaquel de la fresa. Es importante destacar los resultados obtenidos en éstas investigaciones donde han aplicado la quitosana desde la precosecha y han observado que con la menor concentración del biopolímero disminuye la aparición de daños por microorganismos como *Botrytis* en la poscosecha. Sin embargo, en otros ensayos reportados estos daños se reducen a medida que se incrementan las concentraciones (23) y solamente cuando es aplicada después de cosechado los frutos o cuando se mezcla con otros compuestos como: Lecitina de soya, Calcio, ácidos orgánicos y otros (24).

En este sentido se debe tener en cuenta que la quitosana juega un papel fundamental en el metabolismo de las plantas que es la fitoprotección, por lo que al mejorar y mantener la salud se va a ver un efecto positivo en el crecimiento vegetativo y a la vez en el rendimiento de los frutos. Se sugiere que su acción antimicrobiana se debe principalmente, al carácter policatiónico de la molécula cuando se encuentra en soluciones a pH por debajo de 6, ya que los grupos aminos cargados positivamente, pueden interactuar con los fosfolípidos de las membranas celulares de los microorganismos y alterar su permeabilidad. Esto puede provocar desbalances osmóticos que conllevan a desorganizaciones estructurales y finalmente puede culminar con la lisis celular (25,26). En el caso de las oligoquitosanas se ha demostrado la internalización

de estas moléculas en la célula microbiana y se especula su posible interacción con el ADN de la misma (27). La magnitud de las afectaciones encontradas puede variar, fundamentalmente, en dependencia de las propiedades físico - químicas del polímero y las concentraciones que se empleen (10,25).

Recientemente se ha notado un impulso de las evaluaciones de quitosana en condiciones controladas, no controladas y de invernadero e incluso su extensión y evaluación como resultado de decisiones gubernamentales. En la actualidad este polímero es reconocido dentro de los bioplaguicidas como un "derivado de crustáceos activador de la defensa de las plantas" (7).

Esta protección encontrada contra el ataque de patógenos puede deberse a la actividad antimicrobiana que estos polímeros y oligómeros ejercen sobre los microorganismos o puede ser el resultado de la elevación de la resistencia basal de la planta, causada por la activación de resistencia inducida que ejercen estos compuestos en el vegetal. En muchos casos pueden ocurrir simultáneamente ambos efectos (28-30).

EFFECTO DEL QUITOSANO EN LA MEJORA Y CONSERVACIÓN DE FRUTOS DE FRESA. USOS COMO RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES (RC)

Hoy día, la calidad de los productos agroalimentarios se convierte en el principal factor de preferencia del consumidor. Tanto la calidad organoléptica como la nutritiva son reflejo de la composición química del fruto, ya que determina las características sensoriales que evalúa directamente el consumidor con sus sentidos: color, aroma, sabor y textura y el valor nutritivo al proporcionar los nutrientes esenciales para la salud del

mismo, proteínas, carbohidratos, vitaminas, minerales, etc. Para la obtención de frutos de fresa con calidad se requiere un adecuado crecimiento y desarrollo de la planta durante el periodo precosecha. Los diferentes factores que controlan estos complejos procesos determinan la calidad del producto en el momento de la recolección e igualmente su comportamiento y vida comercial útil durante la poscosecha (6).

La fresa, es un fruto no climatérico, muy delicado y tiene una vida útil muy corta. Por sus condiciones fisiológicas resulta muy susceptible a la pérdida de humedad y al ataque por microorganismos, especialmente al hongo *Botrytis cinerea* como se ha mencionado anteriormente, que ocasiona grandes pérdidas durante su transporte y comercialización porque disminuye los atributos de sabor, aroma y textura, afectando su calidad comercial y su atractiva frescura para el consumidor (31).

La conservación en frío es una práctica habitual para prolongar el período de almacenamiento de las frutas (32). En el caso de la fresa, reduce la tasa de respiración y la pérdida de humedad y retarda el crecimiento microbiano, permitiendo extender la vida útil y conservar la calidad de la fruta. En la aplicación de tecnologías de empaque para esta fruta, el uso de atmósferas modificadas combinadas con frío ha contribuido significativamente a su conservación, ya que reduce la respiración debido a la baja presencia de O₂ y el aumento de CO₂ (33).

Por otro lado, en el mercado de grandes superficies se utilizan cajas termoformadas de poliestireno biorientado (BOPs) y bandejas de poliestireno expandido (EPS) recubiertas con vinilpel (película plástica extensible), almacenadas en refrigeración, con resultados prácticos de hasta tres días en condiciones con apariencia aceptable. Como alternativa a

estos métodos de conservación tradicional surge la utilización de recubrimientos comestibles (RC) aplicando bajas temperaturas, como medio que permita reducir la velocidad de deterioro en los atributos de calidad de los frutos durante su almacenamiento (34).

Los recubrimientos comestibles (RC) son definidos como sustancias que se aplican en el exterior de los alimentos de manera que el producto final sea apto para el consumo. Se han utilizado durante siglos en la industria alimentaria, con el objetivo principal de evitar la pérdida de humedad en los alimentos. Estos recubrimientos deben ser legales, seguros para su consumo, aceptables para los consumidores y deben proporcionar un valor agregado al alimento (8). Además, disminuyen los daños mecánicos, físicos y químicos que genera el medio ambiente al producto (35).

A través de los años, el uso de estos RC ha cobrado gran importancia debido al incremento en la demanda de alimentos frescos. Su uso en combinación con otras barreras, métodos de procesamiento, buenas prácticas de higiene y condiciones de almacenamiento adecuadas, puede contribuir a mejorar la calidad e inocuidad en los alimentos frescos, mínimamente procesados y procesados. En la actualidad, los investigadores e industriales se han centrado en probar nuevos componentes para la elaboración de RC aplicados a diversos alimentos y en la incorporación de aditivos que mejoren la calidad de los productos recubiertos.

El propósito de los RC en frutas radica en reducir la pérdida de agua, retardar el envejecimiento, dar brillo y conservar el color, permitiendo así una mejor calidad y precio de estos productos (33,34). Los RC a base de quitosana aplicados son muy efectivos, ya que este polisacárido presenta una alta permeabilidad selectiva frente a los gases y una ligera

resistencia al vapor de agua, tiene un enorme potencial debido a sus propiedades fisicoquímicas, tales como la biodegradabilidad, biocompatibilidad con tejidos humanos, toxicidad nula y especialmente por sus propiedades antibacterianas y antifúngicas (8,36). La aplicación de recubrimientos elaborados con quitosano retrasa el proceso de maduración de ciertas frutas como: la naranja (37), el mango (38), el níspero y la frambruesa por ello el interés de su aplicación en la fresa.

Teniendo en cuenta las ventajas de este polímero en su uso combinado con otros compuestos como RC, lo evaluaron con el aceite de canela (AC) y con diferentes concentraciones (1 y 2 g L⁻¹ de Q + 0,1 g L⁻¹ AC) y lograron prolongar la vida útil de la fresa hasta por 15 días y eliminaron el desarrollo de mesófilos aéreos (39). Dichos autores reportaron que los RC que mostraron una mayor reducción en la población de hongos y levaduras fueron los compuestos por (1 g L⁻¹ de Q + 0,4 g L⁻¹ de almidón (A) + 0,03 g L⁻¹ de AC y 2 g L⁻¹ de Q + 0,1 g L⁻¹ de AC). El menor valor de fenoles totales (140 mg equivalentes de ácido gálico/100 g de peso fresco) lo presentaron las fresas tratadas con (1 g L⁻¹ de Q + 0,1 g L⁻¹ de AC) y se considera que esto probablemente se deba a que fue el tratamiento en el cual se presentó el menor deterioro, y que quizás esté relacionado al efecto del RC de disminuir la actividad de PAL (enzima fenilalanina amonioliasa) y retrasar el proceso de deterioro, así como disminuir la acumulación de dichos compuestos fenólicos debido a la disminución de los procesos metabólicos del fruto que traen consigo la senescencia del mismo. La mayor capacidad antioxidante fue observada en los frutos control y las fresas tratadas con el RC de (1 g L⁻¹ de Q + 0,03 g L⁻¹ de AC), el cual también se relacionó con el mayor contenido de fenoles (39).

Posiblemente la actividad antifúngica se ha atribuido a la activación del mecanismo de

defensa del fruto influenciado por la presencia de la quitosana, mediante la activación de la enzima quitinasa y la síntesis de fitoalexinas y otros compuestos (40). Al mismo tiempo en muchos tratamientos se encontró una alta acumulación de fenoles en fresas tratadas y no tratadas, que pudo ser promovido por la actividad de la PAL, la cual pudo aumentar su actividad al estrés causado por dichos tratamientos, al incrementar el proceso de deterioro, lo que podría haber originado la descomposición de la estructura celular con el fin de la senescencia y el consecuente incremento en el contenido de fenoles (41).

Algunos autores han relacionado la acumulación de compuestos fenólicos con el incremento en la capacidad antioxidante en plantas y frutas (42,43) y vale destacar que la fresa posee una alta capacidad antioxidante y que no está influenciada significativamente por la presencia de aceite de canela o el RC. No obstante, la capacidad antioxidante puede venir de diferentes compuestos fitoquímicos, por ejemplo, se ha reportado una disminución en el contenido de vitamina C y un incremento en el contenido de antocianinas en fresas tratadas con RC de quitosana y proteínas de gluten de trigo con timol, respectivamente (44); siendo los compuestos fenólicos los que proporcionan la mayor capacidad antioxidante. Se plantea que la capacidad antioxidante de un alimento depende de la naturaleza y concentración de la gran variedad de antioxidantes naturales presentes en él.

Otra de las propiedades que hace que la quitosana sea muy utilizada es que forma una película sobre el fruto y como se ha mencionado anteriormente, tiene buena actividad antifúngica contra el moho gris, que es uno de los principales causantes del deterioro

y la decadencia poscosecha en fresas. En un ensayo donde se empleó quitosana (Q) acompañado con aceite de quinoa (CH) y aceite de girasol (SO) durante todos los días del análisis, las fresas recubiertas presentaron una significativa menor cantidad de crecimiento de hongos y levaduras que las fresas sin revestir; siendo esta reducción más evidente en las que se recubrieron solo con quitosana (Q) (45). Además, cuando evaluaron las propiedades fisicoquímicas observaron que el color de las fresas no fue influenciado por los revestimientos, resultado que es muy satisfactorio porque en otros estudios han demostrado que la aplicación de soluciones de formación de película emulsionada en fresas puede causar cambios de color y aumentar la opacidad de los frutos recubiertos (46).

El efecto inferior de la (CH - Q y CH - Q - SO) se debe a la interacción iónica e hidrófoba entre (Q - CH y Q - CH - SO), respectivamente (46), lo que reduce la disponibilidad de los grupos aminos reactivos de la Q a las propiedades antimicrobianas. Otros autores han demostrado resultados similares con el recubrimiento de Q; debido a que potencialmente provoca un daño celular grave en mohos y levaduras mediante la alteración de la síntesis de las enzimas fúngicas, la inducción de cambios morfológicos causando alteraciones estructurales y la desorganización molecular en las células del hongo.

En general, muchas han sido las investigaciones que se han realizado y se continúan desarrollando en la búsqueda de alternativas eficientes, económicas y saludables para mejorar y conservar la vida comercial de la fresa. Del mismo modo se han reportado muchos ensayos en los que se combina la quitosana con varios compuestos como: la vainilla, el ácido acético,

el mucílago de nopal (47) y juntamente se ha intentado con quitosanas provenientes de *Cheraz quadricarinatus* de distinta talla (48) y todos han reportado resultados favorables sobre el efecto del producto como recubrimiento comestible para alargar la vida útil del fruto.

CONCLUSIONES

- ♦ La quitosana resulta un bioestimulante favorable para el crecimiento y desarrollo de la fresa. Los tratamientos desde la precosecha, además de mejorar los rendimientos de la planta pueden suplementar el uso de fungicidas convencionales en el control de la pérdida postcosecha de la fruta.
- ♦ Su uso como recubrimiento comestible en la fresa resulta una alternativa prometedora para mejorar la calidad de los frutos durante su procesamiento y conservación, por ser una tecnología respetuosa con el medio ambiente que responde a la demanda creciente por parte de los consumidores de alimentos naturales, seguros, saludables y obtenidos mediante un procesamiento mínimo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el aprovechamiento de los resultados obtenidos por los diferentes autores citados en esta revisión, como valor documental para los productores de este valioso frutal y a su vez para futuras investigaciones donde se desee probar la acción de este bioestimulante en la mejora y conservación de la fruta de fresa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Kay CD, Holub BJ. The effect of wild blueberry (*Vaccinium angustifolium*) consumption on postprandial serum antioxidant status in human subjects. *British Journal of Nutrition*. 2002;88(04):389-97. doi:10.1079/BJN2002665
2. Olsson ME, Ekvall J, Gustavsson K-E, Nilsson J, Pillai D, Sjöholm I, et al. Antioxidants, Low molecular weight carbohydrates, and total antioxidant capacity in strawberries (*Fragaria × ananassa*): Effects of Cultivar, Ripening, and Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004;52(9):2490-8. doi:10.1021/jf030461e
3. Cao S, Hu Z, Zheng Y, Yang Z, Lu B. Effect of BTH on antioxidant enzymes, radical-scavenging activity and decay in strawberry fruit. *Food Chemistry*. 2011;125(1):145-9. doi:10.1016/j.foodchem.2010.08.051
4. Vinson JA, Bose P, Proch J, Al Kharrat H, Samman N. Cranberries and Cranberry Products: Powerful *in vitro*, *ex vivo*, and *in vivo* Sources of Antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008;56(14):5884-91. doi:10.1021/jf073309b
5. Castañeda-Ramírez JCa, Laurel-Ángeles Va, Espinoza-Zamora Ja, Salcedo-Hernández Rc, López-Ramírez MEa, De la Fuente-Salcido NMb. Efecto del quitosano para el biocontrol de hongos fitopatógenos identificados molecularmente de frutas y hortalizas en guanajuato. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 2016;1(2):207 – 213.
6. Romojaro F, Martínez, M. C, Pretel MT. Factores precosecha determinantes de la calidad y conservación en poscosecha de productos agrarios. Dpto. Tecnología de Alimentos, CEBAS - CSIC. 2007;91-6.
7. Falcón, A. B, Costales, D, González, D., Nápoles, M. C. Nuevos productos naturales para la agricultura: las oligosacarinas. *Cultivos Tropicales*. 2015;36:111-29.
8. Xu S, Chen X, Sun D-W. Preservation of kiwifruit coated with an edible film at ambient temperature. *Journal of Food Engineering*. 2001;50(4):211-6. doi:10.1016/S0260-8774(01)00022-X
9. Cano MA. Estrategias biológicas para el manejo de enfermedades en el cultivo de fresa (*Fragaria* spp.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 2013;7(2):263-76. doi:10.17584/rcch.2013v7i2.2240
10. Mármol Z, Páez G, Rincón M, Araujo K, Aiello C, Chandler C, et al. Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones. *Revista Tecnocientífica URU*. 2011;(1):53-8.
11. Falcón Rodríguez A, Rodríguez AT, Ramírez MA, Rivero D, Martínez B, Cabrera JC, et al. Chitosans as bioactive macromolecules to protect economically relevant crops from their main pathogens. *Biotechnología Aplicada*. 2010;27(4):305-9.
12. El Hadrami A, Adam LR, El Hadrami I, Daayf F. Chitosan in plant protection. *Marine Drugs*. 2010;8(4):968-87. doi:10.3390/md8040968
13. Falcón-Rodríguez AB, Costales D, Cabrera JC, Martínez-Téllez MÁ. Chitosan physico-chemical properties modulate defense responses and resistance in tobacco plants against the oomycete *Phytophthora nicotianae*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2011;100(3):221-8. doi:10.1016/j.pestbp.2011.04.005
14. Rodríguez-Bautista G, Calderón-Zavala G, Jaen-Contreras D, Curiel-Rodríguez A. Capacidad de propagación y calidad de planta de variedades mexicanas y extranjeras de fresa. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 2012;18(1):113-23.
15. Patiño Sierra DI, García Valencia EL, Barrera Abello E. Manual técnico del cultivo de fresa bajo buenas prácticas agrícolas. 2014. 71 p.
16. Pritts M. Growing strawberries, healthy communities, strong economics and clean environments: what is the role of the researcher? *Acta horticulturae*. 2002;567:411-7.

17. Chaves N, Wang A. Combate del moho gris (*Botrytis cinerea*) de la fresa mediante *Gliocladium roseum*. *Agronomía Costarricense*. 2004;28(2).
18. Shams A, Abo - Sedera F, Abo El - Yazied A, El Nagar M, S. EL-Badawy M. Effect of foliar spray with some safety compounds on growth, productivity and quality of some strawberry cultivars. *J. Plant Production, Mansoura Univ*. 2014;5(8):1419-32.
19. El-Miniawy SM, Ragab ME, Youssef SM, Metwally AA. Response of strawberry plants to foliar spraying of chitosan. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 2013;9(6):366-72.
20. Feliziani E, Landi L, Romanazzi G. Preharvest treatments with chitosan and other alternatives to conventional fungicides to control postharvest decay of strawberry. *Carbohydrate Polymers*. 2015;132:111-7. doi:10.1016/j.carbpol.2015.05.078
21. Hernández-Muñoz P, Almenar E, Valle VD, Velez D, Gavara R. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*. 2008;110(2):428-35. doi:10.1016/j.foodchem.2008.02.020
22. Hernanz D, Recamales ÁF, Meléndez-Martínez AJ, González-Miret ML, Heredia FJ. Multivariate Statistical Analysis of the Color-Anthocyanin Relationships in Different Soilless-Grown Strawberry Genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008;56(8):2735-41. doi:10.1021/jf073389j
23. Bhaskara Reddy M., Belkacemi K, Corcuff R, Castaigne F, Arul J. Effect of pre-harvest chitosan sprays on post-harvest infection by *Botrytis cinerea* and quality of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 2000;20(1):39-51. doi:10.1016/S0925-5214(00)00108-3
24. Romanazzi G, Feliziani E, Santini M, Landi L. Effectiveness of postharvest treatment with chitosan and other resistance inducers in the control of storage decay of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*. 2013;75:24-7. doi:10.1016/j.postharvbio.2012.07.007
25. Bautista-Baños S, Hernandez-Lauzardo AN, Velazquez-Del Valle MG, Hernández-López M, Barka EA, Bosquez-Molina E, et al. Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. *Crop Protection*. 2006;25(2):108-18. doi:10.1016/j.cropro.2005.03.010
26. Ghaouth AE. Effect of Chitosan on Cucumber Plants: Suppression of *Pythium aphanidermatum* and Induction of defense reactions. *Phytopathology*. 1994;84(3):313. doi:10.1094/Phyto-84-313
27. Xu J, Zhao X, Wang X, Zhao Z, Du Y. Oligochitosan inhibits *Phytophthora capsici* by penetrating the cell membrane and putative binding to intracellular targets. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2007;88(2):167-75. doi:10.1016/j.pestbp.2006.10.010
28. Badawy MEI, Rabea EI. Biopolymer Chitosan and Its Derivatives as Promising antimicrobial agents against plant pathogens and their applications in crop protection. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*. 2011;19:21-9. doi:10.1155/2011/460381
29. Sharathchandra RG, Raj SN, Shetty NP, Amruthesh KN, Shetty HS. A Chitosan formulation Elexa™ induces downy mildew disease resistance and growth promotion in pearl millet. *Crop Protection*. 2004;23(10):881-8. doi:10.1016/j.cropro.2003.12.008
30. Agostini JP, Bushong PM, Timmer LW. Greenhouse evaluation of products that induce host resistance for control of scab, melanose, and *Alternaria* brown spot of citrus. *Plant disease*. 2003;87(1):69-74. doi:10.1094/PDIS.2003.87.1.69.
31. Copping, L. G. The biopesticide manual: world compendium. British Crop Protection Council. 1998. 333 p.
32. Restrepo, J. I, Aristízabal, T. Conservation of strawberry (*Fragaria x ananassa duch* cv. camarosa) by edible coating application of sabil gel mucilage (*Aloe barbadensis miller*) and *Carnauba* wax. *Vitae*. 2010;17(3):252-63.
33. Zhang H, Wang L, Dong Y, Jiang S, Cao J, Meng R. Postharvest biological control of gray mold decay of strawberry with *Rhodotorula glutinis*. *Biological Control*. 2007;40(2):287-92. doi:10.1016/j.biocontrol.2006.10.008
34. Nielsen T, Leufven A. The effect of modified atmosphere packaging on the quality of Honeoye and Korona strawberries. *Food Chemistry*. 2008;107(3):1053-63. doi:10.1016/j.foodchem.2007.09.025
35. Velázquez-Moreira A, Guerrero J. Algunas investigaciones recientes en recubrimientos comestibles aplicados en alimentos. *Temas Selectos Ing. Alimentos.(México)*. 2014;8(2):5-12.
36. Fernández Valdés D, Bautista Baños S, Fernández Valdés D, Ocampo Ramírez A, García Pereira A, Falcón Rodríguez A. Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2015;24(3):10-5.
37. Contreras-Oliva A, Pérez-Gago MB, Salvador A, Bermejo A, Rojas-Argudo C. Calidad fisicoquímica, sensorial y nutricional de naranjas CV. Valencia recubiertas con quitosano. *Agrociencia*. 2012;46(5):441-53.
38. Gutiérrez C, Díaz-Moreno Consuelo. Efecto de recubrimientos comestibles de quitosano y aceites esenciales en la calidad microbiológica de mango (*Mangifera indica* L.) mínimamente procesado. *Vitae*. 2012;19(1):117-S119.

39. López-Mata MA, Ruiz-Cruz S, Navarro-Preciado C, Ornelas-Paz JDJ, Estrada-Alvarado MI, Gassos-Ortega LE, et al. Efecto de recubrimientos comestible de quitosano en la reducción microbiana y conservación de la calidad de fresas. *BIOtecnica*. 2012;14(1):33. doi:10.18633/bt.v14i1.113
40. Hernández-Lauzardo AN, Bautista-Baños S, Valle MGV, Rodríguez-Ambríz SL, Corona-Rangel ML, Solano-Navarro A. Potencial del Quitosano en el Control de las Enfermedades Postcosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 2005;23(2):198-205.
41. Falguera V, Quintero JP, Jiménez A, Muñoz JA, Ibarz A. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*. 2011;22(6):292-303. doi:10.1016/j.tifs.2011.02.004
42. Aider M. Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: Review. *LWT - Food Science and Technology*. 2010;43(6):837-42. doi:10.1016/j.lwt.2010.01.021
43. Oms-Oliu G, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon. *LWT - Food Science and Technology*. 2008;41(10):1862-70. doi:10.1016/j.lwt.2008.01.007
44. Shiow Y, Wang, Hsin-Shan Lin. Antioxidant Activity in Fruits and Leaves of Blackberry, Raspberry, and Strawberry Varies with Cultivar and Developmental Stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2000;48(2):140-6. doi:10.1021/jf9908345
45. Valenzuela C, Tapia C, López L, Bungler A, Escalona V, Abugoch L. Effect of edible quinoa protein-chitosan based films on refrigerated strawberry (*Fragaria×ananassa*) quality. *Electronic Journal of Biotechnology*. 2015;18(6):406-11. doi:10.1016/j.ejbt.2015.09.001
46. Vargas M, Albors A, Chiralt A, González-Martínez C. Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*. 2006;41(2):164-71. doi:10.1016/j.postharvbio.2006.03.016
47. Yarahmadi M, Safaei Z, Azizi M. Study the effect of chitosan, vanillin, and acetic acid on fungal disease control of *Rhizopus stolonifer* in strawberry fruits in vitro and in vivo. *European Journal of Experimental Biology*. 2014;4(3):219-25.
48. Zamarrón KFR, Cabrera LEP, Carrillo RER. Quitosanos de *Cherax quadricarinatus* utilizados como recubrimientos comestibles sobre frutos de fresas mínimamente procesadas. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 2014;2(1):36-43.

Recibido: 23 de diciembre de 2016

Aceptado: 27 de diciembre de 2017