

Impacto del cultivo de la fresa (*Fragaria × ananassa*) en el sector agroalimentario y su manejo sostenible

Cesar Agustín Ramírez-Díaz¹ **iD**, Nemesio Villa-Ruano^{2*} **iD**

¹Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas, CENAGRO-Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, San Pedro Zacachimalpa, Puebla CP 72960, México.

²CONAHCyT-Centro Universitario de Vinculación y Transferencia de Tecnología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Prolongación de la 24 Sur y Av. San Claudio Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel, CP 72000, Puebla, México.

Email de autor para correspondencia: *nemesio.villa@correo.buap.mx

Recibido: 11 junio 2024. **Aceptado:** 28 octubre 2024

RESUMEN

El cultivo de la fresa (*Fragaria × ananassa*) es de gran importancia debido a su calidad nutrimental, aportes a la salud, impacto económico y en la generación de nuevas estrategias para el mejoramiento de sus rendimientos y características morfo-fisiológicas. Esta revisión bibliográfica tiene el objetivo de recopilar y mostrar el estado del arte actual sobre cultivo de la fresa y su relación con la salud humana, la economía y la sociedad. De igual manera, aborda aspectos relacionados a las plagas que lo afectan, así como alternativas agroecológicas para su conservación. Se aborda la historia y desarrollo del cultivo de la fresa hasta la obtención de nuevas variedades mexicanas. Adicionalmente, se muestran los riesgos sanitarios asociados a la poscosecha y medidas de conservación del fruto. Se proporciona al lector un panorama general sobre las perspectivas de este cultivo.

Palabras clave: Fresa; nutrición; salud; economía; agroecología.

ABSTRACT

Strawberry (*Fragaria × ananassa*) is an important crop due to its nutritional quality, health benefits, economic impact, and strategies to improve yields and morpho-physiologic features. This review aims to show the current state of art about strawberry culture and its relationship with human health, economy, and society. In the same context, it addresses issues related to pests affecting strawberry culture as well as the agroecological alternatives for its conservation. The history and development of

strawberry culture is addressed and the obtainment of new Mexican varieties is discussed. In addition, sanitary risks associated during the postharvest period and fruit conservation measures are pointed out. We provide readers a general overview on the perspectives of the strawberry culture.

Keywords: Strawberry; nutrition; health; economy; agroecology.

INTRODUCCIÓN

La fresa es un cultivo mundialmente conocido por su importancia gastronómica destacando sus características organolépticas, valor nutrimental e impacto económico. México es uno de los principales países productores y exportadores de este fruto a nivel mundial [1]. Por otra parte, la fresa contiene antocianinas que pueden ser identificadas y cuantificadas de manera rutinaria con técnicas analíticas como la cromatografía de líquidos de alta resolución acoplada espectrometría de masas (HPLC-MS). Las antocianinas se caracterizan por ejercer una actividad antioxidante y antiinflamatoria que se asocia a la prevención de distintas patologías [1, 2]. Los receptáculos de fresa poseen un alto contenido de fibra, azúcares con actividad prebiótica, minerales como el Ca, Mg, Cl y vitamina C, por lo que su ingesta se traduce en beneficios adicionales para la salud del consumidor [2, 3, 4]. Para poder explotar el potencial de la fresa, distintas estrategias enfocadas en su producción y en la mejora de contenido nutrimental han sido llevadas a cabo. Dentro de estas se encuentran la optimización de los requerimientos nutrimentales, bioestimulación con algas marinas y el control de plagas mediante el uso de microorganismos antagónicos, así como el control químico

convencional [5, 6, 7]. A pesar del uso frecuente de técnicas nutricionales y de control convencionales, también existen distintas alternativas agroecológicas para la fertilización y control de plagas, las cuales se abordarán en este escrito. De igual forma, se analizarán los registros bibliográficos de las implicaciones sociales, generación de nuevas variedades y el cuidado postcosecha de la fresa.

Se ha propuesto que las plantas silvestres del género *Fragaria* son de origen europeo [8]. Sin embargo, estas han sido domesticadas a través de la selección artificial buscando mejorar sus rendimientos, presentación, características organolépticas, así como su resistencia a distintas condiciones ambientales. *Fragaria* × *ananassa* es la especie de fresa más popular y mayormente comercializada. No obstante, existen otros tipos de fresas silvestres con menor grado de domesticación. El monocultivo de *F. ananassa* fue desarrollado en 1765 por el francés Antoine Nicolas Duchesne, quien tuvo como objetivo obtener fresas con características mejoradas a través de la cruce de *Fragaria virginiana* y *F. chiloensis* [8]. Curiosamente, *F. virginiana* es una variedad adaptada a climas templados y fríos, así como a suelos ricos en nutrientes y es encontrada en la zona norte de América. Por otro lado, *F. chiloensis* se

caracteriza por tener una mejor resistencia a la salinidad y al estrés hídrico ya que proviene de la zona sur del mismo continente, un ambiente completamente distinto. [8]. La historia de la fresa en México se remonta a 1852 en Irapuato, Guanajuato, con el arribo de dos docenas de plantas destinadas a cultivarse en predios privados. Con el paso del tiempo, el cultivo cobró el interés de la población y se extendió por la región, lo que volvió a esta zona un referente y un centro de producción reconocido en el país [9]. Es por esta razón que Irapuato, Guanajuato, se considera como “la capital mundial de las fresas” solamente superada por Zamora, Michoacán, en cuanto a rendimientos en la actualidad.

Aspectos botánicos de la fresa y sus variedades

Las plantas de fresa pertenecen a la familia Rosaceae y al género *Fragaria*, teniendo como mayor exponente comercial a *Fragaria* × *ananassa*. La morfología es muy similar entre especies, siendo plantas perennes, con hojas trifoliales provenientes de primordios foliares y presencia de flores blancas de 5 pétalos. En la corona de la planta pueden emerger estolones (de 8 a 40), que son tallos volubles asociados a la reproducción clonal de la fresa. Es decir, este mecanismo de reproducción permite la proliferación de plantas con la misma información genética de forma muy rápida. Aunque, como es sabido una menor variabilidad genética disminuye la eficacia en el control de plagas y enfermedades

epidémicas. Las raíces son fibrosas y se expanden en un radio no mayor a 30 cm y a una profundidad de 30 a 50 cm. Dado que las flores hermafroditas presentan cáliz y corola, aproximadamente el 30% de la polinización de las estructuras reproductivas es llevado a cabo principalmente por abejas. La parte que se conoce coloquialmente como el “fruto de la fresa” es en realidad un pseudocarpio o receptáculo desarrollado como consecuencia de la fecundación de los óvulos, no es propiamente un ovario maduro [10, 11]. El receptáculo es en realidad la parte más relevante en términos organolépticos y valor comercial. El color de esta estructura puede diferir según la especie, por ejemplo, las variedades silvestres de las especies de *F. chiloensis* pueden tener una coloración rojiza, rosa o incluso blanquecina [12]. El pseudocarpio carnoso es la base para los achenios (frutos verdaderos) que son confundidos como las “semillas” presentes en la superficie [11]. Actualmente existen al menos 27 cultivares de fresa descritas y distribuidas alrededor del mundo, sin contemplar a las variedades silvestres. La planta de fresa tiene gran plasticidad y es capaz de adaptarse en varias regiones geográficas, esto se debe principalmente a su genética, misma que depende principalmente del grado de ploidía. Para el estudio de la diversidad genética de especies de fresa se utilizan métodos moleculares para la determinación de la ploidía. Esta propiedad refleja el número de juegos completos de cromosomas que tiene una especie vegetal y representa una forma de clasificación para la fresa, como se muestra en

la Figura 1. La ploidía en especies de fresa puede ser de 2, 4, 6, 8 y 10 juegos de cromosomas. Como ejemplo, se tiene que *F. ananassa* es octaploide ya que contiene 8 juegos de cromosomas [10]. Las diferencias en la ploidía influyen también en la capacidad de generar híbridos entre especies comerciales domesticadas y especies silvestres [12, 13]. La generación de híbridos busca utilizar características ventajosas como resistencia a enfermedades, salinidad y contenido nutrimental de las especies silvestres e incorporarlas a especies comerciales por medio de cruas [12, 13]. Por otro lado, la diferencia en la ploidía puede provocar problemas en la generación de híbridos, o bien, producir cruas estériles o con características indeseadas [10]. Una estrategia para romper estas barreras de reproducción propone utilizar sistemas de hibridación secuencial. Es decir, el uso de “especies puente” que permitan relacionar especies silvestres y variedades cultivadas comercialmente [13]. Esta técnica representa una alternativa viable para obtener plantas con características deseables sin tener que hacer uso de la edición genética [13].

Otra manera más de clasificar a *F. ananassa* es mediante cultivares. Dicha clasificación se basa en el fotoperiodo de la planta. El fotoperiodo se refiere al lapso (dentro de un marco de 24 horas) en el que el cultivo de fresa recibe luz siendo un factor limitante para la generación de estolones, así como para inducir la antesis [14]. De este modo, *F. ananassa* se agrupa en tres variedades: “día largo”, “día neutro” y “día corto”. Aquellas plantas de día neutro no

dependen necesariamente de un periodo prolongado de luz y son capaces de florecer en un rango de 4 a 29 °C, como por ejemplo las variedades “Albion”, “Monterey” y “San Andreas”. Las plantas de día largo son de menor interés económico ya que requieren de un fotoperiodo mayor a 16 horas de luz. En este grupo destacan las variedades “Everest”, “Flamenco” y “Rodo”. En cuanto al grupo de día corto, las plantas requieren de un fotoperiodo menor a 14 horas como las variedades “Fortuna”, “Rociera” y “Sonata” [11]. Cabe resaltar que las variedades de día neutro no son silvestres, sino que fueron resultado de la Revolución Verde con epicentro en E.E.U.U. Estas variedades insensibles al fotoperiodo permitieron el incremento de la producción, la firmeza y peso del fruto. Pese a ello, se estima que estas variedades tienen un contenido reducido de sólidos totales, acidez y contenido de antocianinas, lo cual, es parte importante del contenido nutrimental característico de este cultivo [15].

Composición nutricional y nutracéutica de la fresa

La fresa contiene más de 90% de agua, así como niveles altos de fibra dietética y minerales [16]. Estudios previos realizados en la variedad Elsanta sugieren que la composición de su fibra está constituida por múltiples tipos de oligosacáridos como xiloglucanos y ramnagalacturonanos [3]. Estos son estudiados por su actividad prebiótica al ser consumidos. Además, la variedad contiene múltiples

Ploidía y origen actual de *Fragaria*

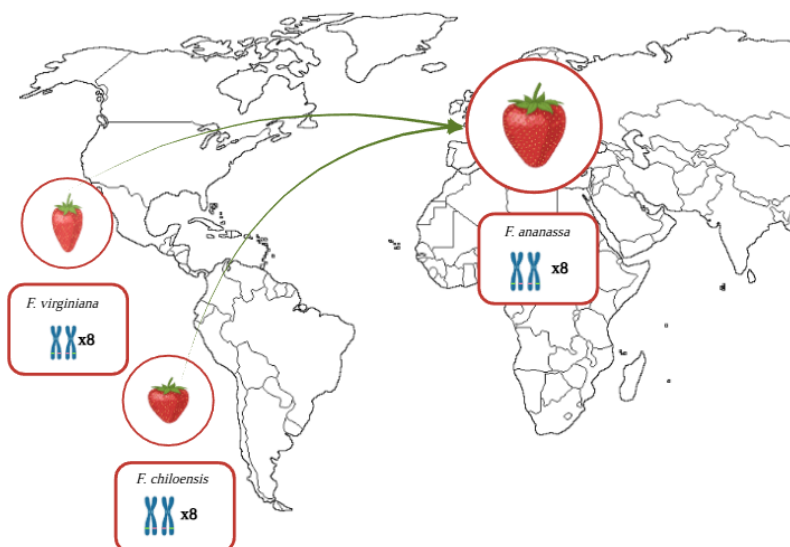


Figura 1. Esquema representativo de las especies silvestres octaploides, *Fragaria virginiana* y *Fragaria chiloensis* originarias de América. Ambas plantas progenitoras fueron llevadas y cultivadas en Francia hace aproximadamente dos siglos, y como resultado de la hibridación se obtuvo *Fragaria* $\times$ *ananassa*, también octaploide. De esta nueva variedad parten la mayoría de los cultivares comerciales en la actualidad, con múltiples diferencias y adaptaciones propias de una selección artificial. Aún es posible encontrar especies silvestres con características nativas, a las que ahora se les considera una fuente de diversidad de genes para el mejoramiento de cultivares domesticados.

monosacáridos, siendo glucosa y xilosa los más abundantes, seguidos de arabinosa, fucosa, fructosa, galactosa y ácido galacturónico [3]. En términos generales, la fresa es medianamente dulce pero contradictoriamente su contenido neto de azúcares reductores (fructosa y glucosa) es considerablemente bajo (5 g /100 g) en comparación con otros frutos de alto índice glicémico como la sandía. En este sentido, los niveles de vitamina C, ácido cítrico y ácido málico en la fresa rondan entre los 60 y los 100 mg/100 g. Sin embargo, la cantidad de ácido ascórbico (vitamina C) puede ser modificada gracias al uso de bioestimulantes basados en algas marinas, como fue demostrado

por el equipo de Kapur *et al.* [5]. En tal estudio, fresas del cultivar Fortuna fueron sujetas a condiciones de producción de cama cubierta y macrotunel con distintos regímenes de riego enriquecidos con algas. Las plantas tratadas con 25 % w/v de extracto de algas marinas aumentó la concentración de ácido ascórbico de 210 a 330 mg/kg en términos de peso fresco. Este mismo estudio arrojó que en condiciones de estrés hídrico, el contenido de los ácidos elágico, sirínico, p-cumárico, sinápico, cafeico y clorogénico, así como el de catequina, cianidina y pelargonidina disminuyó significativamente [5]. Es bien sabido que el contenido de ácido elágico, málico y cítrico,

varía según la madurez de la fruta siendo más abundantes en la etapa verde o inmadura que en la fase madura cuando se torna roja [5]. En el caso del contenido de azúcares y de antocianinas, estos aumentan con la madurez del fruto, como se demostró por técnicas de HPLC con tres cultivares coreanos [17]. Las propiedades nutraceuticas de la fresa están basadas principalmente en su capacidad antioxidante. Esta cualidad está ligada a las antocianinas, taninos, ácidos orgánicos y otros compuestos fenólicos almacenados en el receptáculo [2, 16]. La concentración de estas sustancias depende de la variedad de fresa y de las condiciones en las que crece, de tal modo que su biodisponibilidad puede ser versátil. Un estudio realizado por Nour *et al.* [18], reveló que el contenido de antocianinas en la variedad “Magic” fue ligeramente mayor al contenido de la variedad “Premial” con 23.96 mg CG 100 g⁻¹ y 19.07 mg CG 100 g⁻¹, respectivamente [18]. Por otra parte, en 14 cultivares de fresa no comerciales y otros comerciales como Elsanta

y Korona, se encontró un contenido de antocianinas de 113 a 189 mg 100 g⁻¹, siendo los cultivares no comerciales los que presentaron mayores concentraciones de estos compuestos fenólicos [19]. De manera interesante, fresas cosechadas y comercializadas en Marruecos presentaron un contenido total de flavonoides de 100 mg de equivalentes de quercetina por cada 100 g en términos de peso fresco (mg QE 100 g⁻¹) [2].

Las antocianinas pertenecen al grupo de los flavonoides y son pigmentos responsables de las tonalidades rojas de la fresa, así como también de la coloración morada, azul y roja de una gran variedad de bayas como los arándanos (Figura 2). La concentración de antocianinas en las fresas aumenta conforme el fruto llega a la madurez, siendo las responsables de la tonalidad roja del receptáculo en su estado maduro. La biosíntesis de antocianinas se lleva a cabo por acción enzimática a partir del aminoácido fenilalanina [20].

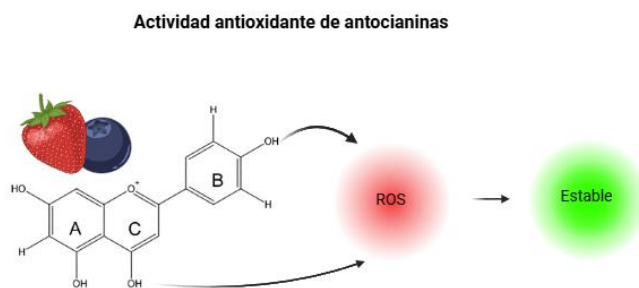


Figura 2. Representación de la pelargonidina, uno de los tres tipos de antocianina más abundantes en la fresa. Las antocianinas pueden actuar como antioxidantes al brindar H⁺ de sus grupos hidroxilo a especies reactivas de oxígeno (ROS por sus siglas en inglés). Al reaccionar, los radicales libres se vuelven estables evitando el daño celular. Recreada con ChemSketch [2].

Se sabe que el consumo de estas sustancias y otros polifenoles es un factor que influye en la prevención y protección contra enfermedades metabólicas como la diabetes mellitus tipo 2 (DM2) y sus comorbilidades [21]. Las antocianinas son potentes antioxidantes que actúan evitando la sobreproducción de radicales libres a través de su estabilización, lo cual reduce el envejecimiento prematuro y la tasa de muerte celular [22]. El simple consumo de alimentos que las contienen conlleva beneficios sustanciales para la salud [23]. Es bien sabido que las actividades antioxidantes y anti-inflamatorias de las antocianinas aminoran la incidencia y gravedad de algunas enfermedades metabólicas, cardiovasculares, neurodegenerativas e incluso el cáncer [4]. Además de estas propiedades, ejercen efectos antiinflamatorios, antihipertensivos y anti-estrogénicos [24]. Estudios muy recientes sostienen que las fracciones de antocianinas pueden reducir la proliferación de células cancerígenas colorrectales, así como disminuir los niveles de glucosa postprandial en ratones diabéticos y normoglicémicos. Adicionalmente, estas sustancias pueden controlar el crecimiento de bacterias patógenas u oportunistas del tracto gastrointestinal como *Helicobacter pylori* [25, 26]. La pelargonidina-3-O-rutinósido, una de las principales antocianinas de la fresa, ha mostrado inhibir a la ornitina descarboxilasa, un enzima sobre-expresada en varios tipos de cáncer. De este modo, se propone que este pigmento natural puede ser utilizado como un nutraceutico para prevenir ciertos tipos de cáncer. El consumo de antocianinas es muy

recomendable en personas con DM2 ya que una cantidad diaria de 320 mg durante 4 semanas es capaz de reducir los niveles de glucosa plasmática y mejorar el perfil lipídico de manera sustancial [27]. Como es sabido, la DM2 es una de las principales enfermedades pandémicas de origen metabólico, misma que podría ser contrarrestada por el consumo de fresa y otros recursos alimentarios ricos en antocianinas bioactivas y bajos en azúcares reductores [28]. Sin embargo, la estructura química de estas moléculas no es estable en medios básicos o neutros [29]. Además, su biodisponibilidad y absorción en el organismo depende de varios factores incluyendo su grado de glicosilación. De este modo, la asociación entre las antocianinas bioactivas y polisacáridos acarreadores como la pectina permite una mejor conservación de su estructura química y, por ende, asegura la ejecución de sus propiedades biológicas [29].

La fresa es rica en taninos, siendo los elagitaninos los compuestos mayoritarios y una fracción química importante que favorece el contenido nutraceutico del receptáculo de fresa. Interesantemente, la acumulación de estas sustancias es mayor en las hojas muy probablemente debido a su papel en la defensa contra la herbívora [30]. Dentro de estas sustancias se encuentran la pedunculagina, estrictinina, davuriicina y casuarictina detectadas por técnicas espectrométricas de última generación como la espectrometría de masas de desorción-ionización láser asistida por matriz (MALDI-MSI) [31]. Cuatro de estos 5 taninos están presentes en los aquenios,

epidermis y médula del receptáculo del cultivar japonés “Tochiotome”. Esta misma técnica ha sido utilizada también para la detección de otros flavonoides en fresa, lo que respalda la utilidad de la técnica para la ubicación espacial de compuestos bioactivos en los tejidos [32].

Prácticas agrícolas y avances tecnológicos en el cultivo de la fresa

El cultivo de la fresa en México y en el mundo se enfrenta a grandes retos que aseguren su sostenibilidad económica, técnica y ambiental, por lo que su análisis resulta de interés. Actualmente, la producción de fresa depende en gran medida de fertilizantes químicos, lo cual, incide significativamente en el deterioro ambiental, incluso bajo condiciones de invernadero [33]. Dentro de las 11 mil hectáreas de fresa cultivadas en el territorio mexicano, en 65 % se emplean protocolos de fitosanidad, como son el monitoreo de temperatura e inocuidad de sustratos, aplicación de tratamientos antifúngicos y técnicas de drenado. Aproximadamente, en 89.78 % de dichas hectáreas se aplica tecnificación para su producción, como el uso de túneles, viveros, sistemas de riego de última generación y nutrición [34, 35, 36]. El régimen nutrimental es un factor muy importante que afecta el desarrollo de la planta y por ende la obtención del producto. En el cultivo de la fresa se ha estimado el uso de al menos 27 regímenes nutrimentales durante tres etapas de su desarrollo bajo condiciones hidropónicas [36]. Los resultados de estos regímenes indicaron

que las mejores concentraciones de nutrientes en cada etapa son 10 meq L⁻¹ de ion nitrato (NO₃⁻) durante el crecimiento vegetativo, 1 meq L⁻¹ de ion de fosfato de dihidrógeno (H₂PO₄⁻) en etapa de reproducción y 7 meq L⁻¹ de ion potasio (K⁺) durante la etapa de fructificación [36]. Esta combinación de concentraciones ayudó a aumentar la producción y el diámetro de los receptáculos en comparación con otros tratamientos experimentales [36]. Para asegurar altos rendimientos, se emplean distintos fertilizantes químicos, sin embargo, una alternativa agroecológica es el uso de abonos orgánicos y bioinoculantes. En México y en el mundo la producción orgánica de alimentos como frutas y hortalizas es una tendencia, es por ello que se exploran nuevas formas de obtener alimentos más saludables sin causar daños persistentes al ambiente [37]. El bocashi, es un ejemplo de abono fermentado y totalmente orgánico que se genera a partir de desechos orgánicos y microorganismos que ayudan a nutrir el suelo [38]. Los microorganismos contenidos en este preparado contribuyen a la fijación de nutrientes a la planta cultivada y promueven el equilibrio de la microbiota del suelo. En suelos peruanos, la aplicación combinada de fertilizantes químicos y bocashi a una concentración de 8 toneladas por hectárea, así como de 1 litro de microorganismos de bocashi, generó un rendimiento de 6942 toneladas de fresa variedad “Selva” por hectárea [38]. En México, el uso de biopreparados es recurrente bajo condiciones de invernadero en combinación con riego por goteo. Para mejorar la calidad y

el rendimiento de cultivar “Fortuna” se ha aplica el biopreparado de lombricomposta, melaza, tierra de diatomeas enriquecido con *Bauberia bassiana*, *Trichoderma harzianum* y enraizantes orgánicos [39]. Sin embargo, no se ha logrado determinar la posible interferencia de estas mezclas sobre todo en la viabilidad de los microorganismos antagonistas que la contienen [39]. El uso de bioestimulantes es una alternativa promisorio en cultivos orgánicos, los cuales favorecen algunos procesos fisiológicos de la planta. En un estudio realizado en Ecuador, se usaron bioestimulantes obtenidos de fuentes naturales, como son el extracto de corteza de arce y agua de arroz, los cuales fueron capaces de inducir la floración en fresas a 4 días tras su aplicación [40]. La mezcla de bioestimulantes y extractos de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) se han explorado también para mejorar la producción orgánica de fresas en el cultivar “Florida” mediante aplicación bisemanal y riego tecnificado por goteo. Si bien, la combinación no tuvo un efecto benéfico en la calidad nutrimental de los frutos, aumentó hasta 23 % el rendimiento de la producción en comparación a grupos de plantas no tratadas [41].

Por otro lado, se han investigado los efectos de la combinación de fertilizantes orgánicos y minerales como el silicio para mejorar la producción o características físicas de las fresas. Un ejemplo es la adición de distintas concentraciones de ácidos húmicos y silicio en la producción del cultivar “Albió” [42]. En cuanto al receptáculo de la fresa, el peso,

tamaño y concentración de fenoles se pueden aumentar al variar la concentración de ácidos húmicos y silicio entre sus nutrientes [42]. A pesar de que el silicio favorece el desarrollo de las plantas en condiciones edafoclimáticas no favorables, se ha registrado que el tratamiento con ácidos orgánicos y silicio no mejora significativamente la producción de fresas [43]. En este sentido, la transición hacia una producción orgánica o verde sostenible representa un reto complejo que debe ser reconocido y fomentado. Los productores de fresa orgánica de California pueden considerarse un caso de éxito, los cuales han logrado vencer los retos inherentes para el establecimiento de una producción sostenible y amigable con el ambiente [44]. Es importante resaltar que el cambio en las estrategias de producción resulta ser un gran obstáculo en las primeras etapas, ya que la inversión en la producción generalmente sobrepasa a las ganancias obtenidas [45]. Es aquí donde la participación de la comunidad, las labores de concientización y los subsidios gubernamentales tienen un impacto especial [44].

La ferti-irrigación semi-hidropónica es frecuente para aumentar los rendimientos del cultivo de fresa. Lo anterior debido a que estas técnicas se pueden utilizar para eficientizar el uso del agua y nutrientes. Sustratos como la fibra de coco, cáscara de arroz o vermiculita son empleados para generar una producción libre de patógenos. Esta última técnica aplicada a una relación 71:29 de $\text{NO}_3^-:\text{NO}_4^-$ fue muy efectiva para la variedad “San Andreas” [46]. La

implementación del sistema hidropónico piramidal para las variedades “Festival” y “San Andreas”, logró una producción de 23.5 kg por m² en la región de Salinas de Hidalgo en el estado de San Luis Potosí. Además, las plantas sujetas a estas condiciones tuvieron un mejor desarrollo de hojas, tamaño de la corona y cantidad de frutos que las de estratos inferiores [47].

Remarcablemente, las variedades “Camino Real”, “Festival”, “San Andreas” y “Albion” que se cultivan mayoritariamente en nuestro país, son producto de la investigación efectuada en universidades de Estados Unidos. Lo anterior genera gastos de importación que afectan la economía del productor local. Dado este hecho, el desarrollo de variedades nacionales tendría un gran impacto tanto en la independencia tecnológica agrícola, como en la generación de plantas de fresa que se adapten mejor al perfil del campo mexicano [48]. En México existen instituciones comprometidas con la obtención de nuevas variedades resistentes a factores bióticos o abióticos. Dentro de estas destacan el Colegio de Postgraduados, el INIFAP, el CINVESTAV-Irapuato y la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. Los esfuerzos de estas instituciones han permitido el lanzamiento y propagación de los cultivares “Jacona”, “Zamorana”, “Nicté” y “Pakal” que ya han sido oficialmente registradas y certificadas por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) [49].

Manejo agroecológico de plagas y enfermedades en el cultivo de fresa

El uso de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades es muy recurrente en el cultivo de la fresa. El empleo de compuestos sintéticos es una estrategia común para reducir la infestación causada por la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*). Dentro de los insecticidas más frecuentemente utilizados se encuentran los carbamatos y ditiocarbamatos. El efecto tóxico de estos compuestos sintéticos en los seres humanos y el medio ambiente, es por demás conocido [7]. La alta exposición a carbamatos puede causar crisis de intoxicación resultando en síndrome colinérgico [50]. Desde hace décadas se sabe que los trabajadores agrícolas presentan mayor riesgo de alteraciones en el funcionamiento de la enzima acetilcolinesterasa, en donde actúan estos pesticidas [51]. En el medio ambiente, los carbamatos reducen las poblaciones de organismos no objetivo, como las mariposas monarca (*Danaus plexippus*), una especie protegida en México. Estos plaguicidas afectan las poblaciones, la diversidad y, por ende, la supervivencia de una gran variedad de especies [52]. Los carbamatos y ditiocarbamatos, pueden afectar a organismos superiores como aves y han sido incluso detectados en las heces del perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*), lo que muestra su fácil incorporación a las cadenas tróficas [53].

El uso de plaguicidas comerciales como la fluensulfona mejoran significativamente los rendimientos de fresa (más de 7500 kg/ha). Sin embargo, su impacto ambiental (especialmente

su afección al microbioma del suelo) y potencial tóxico para los humanos debe ser considerado [54]. Alternativamente, algunos productores de Nicaragua han optado por una producción orgánica y el uso de caldo Bordelés para el control de plagas. También se tiene documentado que el caldo sulfocálcico podría ser útil para reducir la incidencia de enfermedades causadas principalmente por hongos. El caldo Bordelés se prepara a partir de cal viva (CaO) y sulfato de cobre (CuSO₄), mientras que el caldo sulfocálcico se prepara con azufre en polvo (S) y cal viva (CaO). En cuanto al control biológico de plagas y enfermedades de la fresa, los productores han optado por el uso de *Beauveria bassiana* y *Trichoderma harzianum* para control de insectos y hongos del suelo, respectivamente [55]. Estas alternativas son ampliamente utilizadas en invernaderos de fresa en México como preventivos [39].

Curiosamente, el control biológico de insectos también ha sido ampliamente abordado. En este contexto, se tiene conocimiento sobre la existencia de insectos depredadores de fitófagos de la fresa. En Irapuato, Guanajuato, una de las localidades con mayor producción de fresa en el país, se han documentado al menos 22 especies de 5 órdenes de insectos que actúan como depredadores de araña roja (*Tetranychus urticae*) y de otros áfidos. Dentro de los grupos de insectos que se pueden usar como alternativa para el control de plagas se encuentran 8 especies de coleópteros (destacando *Hippodamia convergens* y *Collops vittatus*), 8 especies de hemípteros (destacando *Orius*

insidiosus y *Geocoris thoracicus*) y 3 especies de neurópteros (destacando *Chrysoperla carnea* y *Chrysoperla rufilabris*) [56]. Aunque los agentes biológicos son más lentos y quizá menos eficientes para controlar una plaga o enfermedad en su totalidad, la adopción de estas alternativas representa un gran paso para lograr la conservación de los agroecosistemas al reducir el riesgo de afectaciones al ambiente y la salud pública (Figura 3).

El uso de microorganismos eficientes o benéficos para la fresa representa otra importante alternativa para promover el desarrollo de tallo y raíces de la planta. Dentro de los consorcios microbianos usados como bioinoculantes para este cultivo se encuentran cepas de *Lactobacillus* spp., *Bacillus* spp., además de levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis* y actinomicetos como *Streptomyces albus* y *S. griseus* [57]. Sin embargo, la efectividad de dichos consorcios puede variar dependiendo de la región y la microbiota de cada sitio de cultivo [58]. Como se menciona en los estudios citados, el éxito de los consorcios dependerá de las relaciones ecológicas interespecíficas que entablen con otros organismos, así como de su resistencia a factores abióticos contrastantes. Factores como el clima, la disponibilidad de agua y nutrientes del suelo, temperatura, salinidad, entre otros.

En Italia, *Pseudomonas fluorescens* ha sido exitosamente re-inoculada en la rizosfera nativa de cultivos de fresa para promover el crecimiento vegetal y, al mismo tiempo, para el control de hongos fitopatógenos. Tras 30 días de la inoculación de *P. fluorescens* en fresas del

cultivar “Monterey”, bajo condiciones de microtúnel y fertirrigación, se mejoró sustancialmente la producción de hojas (> 70 %) y flores (50 %). Además, mostró ser un factor de protección contra *Xanthomonas fragariae*, patógeno responsable de la mancha angular de la hoja [59, 60]. El uso de aislados bacterianos como bioestimulantes a base de *Methylobacterium symbioticum* es útil en la fijación del nitrógeno en fresa reduciendo hasta en un 25 % la dosis de nitrógeno sugerido por vía inorgánica [61]. Esta bacteria también ofreció resultados similares con plantas de maíz [61].

El uso de extractos de fruto de chile (*Capsicum annuum*) ha mostrado efectividad contra algunos ácaros (*Tetranychus urticae*) que causan daño mecánico a la fresa. Los extractos

de chile producen una tasa de mortalidad del 54 % en estos ácaros tras cuatro aplicaciones a una concentración de 1.6 % w/v cada 24 horas, siendo mejores que aquellos de cabuya y de aguacate. Se cree que la capsaicina es el agente activo del extracto de chile debido a que es un alcaloide que causa pérdida de las funciones motoras en los insectos impidiendo el consumo de agua y llevando a la muerte [62]. Finalmente, la capacidad natural de las plantas de fresa para resistir el ataque de otros organismos debe ser contemplada. Los cultivares Albión, Portola y Aromas presentan cierto grado de resistencia natural ante la polilla europea del pimiento (*Duponchelia fovealis*) causando cambios en el metabolismo o el ciclo fenológico cuando esta se alimenta de sus hojas [63].

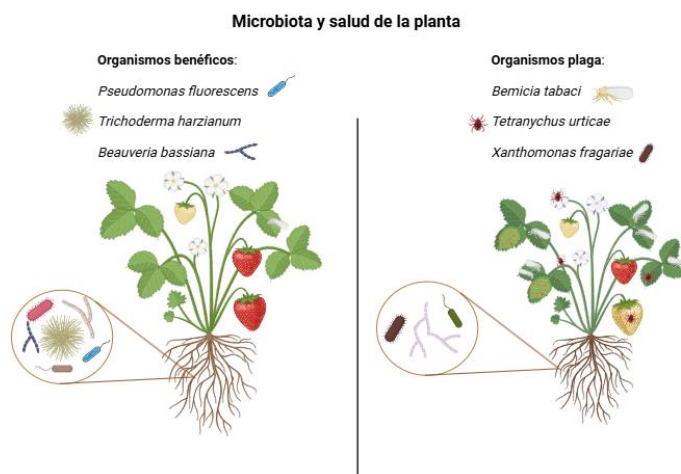


Figura 3. Esquema representativo en donde se muestran algunos posibles microorganismos que establecen relaciones ecológicas con la fresa. El uso de microorganismos bioestimulantes y de biocontrol favorece el crecimiento y salud de la planta, además de protegerla contra posibles plagas. A la izquierda se observa una planta con microorganismos benéficos, lo que se traduce en interacciones positivas para la planta y un mejor estado de salud. A la derecha se observa una planta con presencia de microorganismos patógenos que pueden afectarla, decreciendo su salud y en consecuencia su productividad.

Con la intención de mejorar los rendimientos del receptáculo de fresa, distintas estrategias se han fusionado. La aplicación de bioestimulantes se complementa con el uso de macrotúneles, así como con invernaderos tanto orgánicos como convencionales [64]. A pesar de los resultados prometedores en esta materia, los altos costos de la implementación de tecnologías orgánicas representan un obstáculo por vencer en nuestros días [64]. El uso de alternativas agroecológicas en el cultivo de la fresa es sin duda un área de oportunidad que debe ser atendida desde el ámbito cultural y gubernamental. Por ello, la regulación de los productos con denominación orgánica y los subsidios o programas productivos encaminados a fomentar la transición hacia este tipo de agricultura, deben establecer un círculo virtuoso [35].

Conservación de la fresa durante la postcosecha

La etapa postcosecha es un periodo crítico que asegura la calidad del receptáculo de fresa ya que, durante esta etapa, las propiedades fisicoquímicas cambian como resultado de la actividad metabólica natural. Parte de estos cambios se reflejan en la pérdida de firmeza y la reducción del peso del fruto debido a la actividad de celulasas que degradan a las paredes celulares [20]. Esta es una de las causas que vulneran al fruto y lo vuelven susceptible a la colonización microbiana, específicamente al ataque de hongos oportunistas como *Botrytis cinerea*, el principal agente causal de pudrición

en esta fase. El almacenamiento en frío a una temperatura de 0 a 10 °C es útil para evitar los efectos dañinos provocados por éste y otros hongos [49]. Adicionalmente, la irradiación con rayos X (rango de 0 a 1 kGy) y la aspersión de vapor de agua resultan útiles para disminuir de la carga microbiana presente en la fresa hasta por 9 días [65]. Complementariamente, el uso de atmósferas controladas con O₂ y CO₂ coadyuvan a su conservación al evitar el crecimiento fúngico. Se ha demostrado que el almacenamiento del fruto de fresa a 3 °C y 10 % de CO₂ tiene mejores efectos protectores que a 3 °C y 5 % de CO₂ en un periodo de 3 y 5 días [49]. La fresa tiene cuatro principales destinos siendo el consumo fresco, las fresas congeladas, los productos semiprocados y procesados las posibles opciones de comercialización. Sin embargo, más del 85 % se destina a un consumo en fresco [49]. Con el objetivo de ampliar las alternativas agroecológicas para el control de enfermedades poscosecha en fresa, se han usado suspensiones de *Bacillus velezensis* S26 y sus endosporas como biocontrolador de distintas cepas de *Botrytis cinerea* y *Colletotrichum* spp., dos hongos fitopatógenos altamente agresivos en la postcosecha [6]. Esta bacteria además de carecer de genes de virulencia para humanos y plantas es capaz de inhibir la germinación de las conidias y el micelio de dichos hongos. La suspensión de bacterias y la suspensión de endosporas tuvo una efectividad contra la germinación *in vitro* de *B. cinerea* del 53.7 al 57.7 % y del 64.9 al 77.9 % contra *Colletotrichum* spp. La evaluación *ex-situ* de suspensiones tanto frescas

como almacenadas de *Bacillus* en receptáculos del cultivar “Albion” mostró una inhibición del 23.4 % al 42 % contra *B. cinerea* y del 24 % al 68.3 % contra *Colletotrichum* spp. [6].

Las aguas residuales en el país, con o sin tratamiento previo son, por desgracia, frecuentemente utilizadas para el riego de diversos cultivos [66]. La fresa no es la excepción y su riego con dichas aguas puede aumentar la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFC/g) de bacterias patógenas en la superficie del receptáculo. Por lo anterior, lotes de fresas con alta carga bacteriana pueden aumentar el riesgo de infecciones a los seres humanos si no son adecuadamente desinfectadas. Por ende, la sanidad microbiológica es muy importante en el consumo de fresa cruda ya que es común encontrar lotes contaminados con coliformes y enterobacterias como *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus* spp., *Pseudomonas aeruginosa*, y *Klebsiella variicola* asociadas a infecciones gastrointestinales severas [67, 68]. Algunos patógenos como *Salmonella enterica* serovar Thompson son un factor de riesgo latente en términos sanidad, ya que la bacteria tiene la capacidad para formar biopelículas que se adhieren a la superficie del fruto confiriéndoles mayor resistencia al desinfectado y refrigeración [69]. De este modo, una apropiada sanitización durante la cadena de distribución es vital para asegurar el máximo grado de inocuidad [68].

Existen distintas formas de desinfectar este fruto para su consumo final manteniendo su

calidad nutricional, dentro de éstas se encuentra la desinfección con ozono, el dióxido de cloro y plata coloidal. Además, existen alternativas ecológicas como el uso de desinfectantes a base de extractos de cítricos conteniendo ácido ascórbico y láctico como principios activos. Estos agentes pueden reducir la carga bacteriana de las fresas mejor que otros desinfectantes comerciales con una efectividad del 96.8 %, desafortunadamente, pueden afectar el contenido de antocianinas al generar cambios en el pH [70]. El uso de ácido peracético a una concentración mínima de 40 ppm es altamente eficaz para desinfectar fresas inoculadas con *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* y norovirus. El uso de ácido peracético ha mostrado resultados similares a los obtenidos con hipoclorito de sodio [70]. Aunado a lo anterior, el ácido peracético se degrada con facilidad convirtiéndose en peróxido de hidrógeno y ácido acético, ambos con actividad biocida [71]. No obstante, otro estudio muestra que la mejor concentración de ácido peracético es de 80 ppm para la eliminación de bacterias endófitas equiparándolo con el efecto del cloruro de sodio a 100 ppm. A diferencia de otros ácidos orgánicos, no afecta el contenido de antocianinas de la fresa a concentraciones de 20 y 40 ppm [72, 73]. Otra estrategia de conservación de la fresa incluye el diseño y aplicación de recubrimientos comestibles con actividad antimicrobiana [74]. Estos se encuentran compuestos de una matriz polimérica de hidratos de carbono o proteínas sobre la cual, se solubilizan aceites esenciales

para proteger al fruto contra la degradación causada por una gran variedad de microorganismos [74]. Esta estrategia no parece afectar sustancialmente las propiedades organolépticas de la fresa [74].

Impacto económico y social

México es uno de los principales países exportadores de fresa en el mundo siendo los Estados Unidos de América el principal mercado seguido de Canadá y Japón [1]. La expansión del mercado y el incremento anual en la producción de fresa partiendo de dos décadas atrás, muestran una buena competitividad si son comparados con aquellos de España y Estados Unidos de América [1]. Según datos preliminares del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, en 2020 los rendimientos anuales de fresa mexicana alcanzaron las 547,823 toneladas, siendo Michoacán, Baja California y Guanajuato los principales estados productores [75].

A pesar de esto, los productores del campo mexicano han sido históricamente marginados y han experimentado un deterioro continuo en el contexto social, económico y ambiental. En este sentido, la pobreza y desventajas estructurales limitan las oportunidades de empleo de los campesinos, reduciéndolas a labores temporales. Esto se traduce en una mayor tasa de migración y dependencia de empresas agrícolas transnacionales [76]. Como ejemplo claro se encuentran los productores michoacanos que están expuestos a diferentes problemas sociales y a precariedad laboral

desde hace décadas [77]. La insuficiencia salarial, falta de seguridad social e invisibilidad son sólo algunos de los problemas a los que se enfrentan cotidianamente los trabajadores de la fresa en la región de Purépero [77]. Por lo anterior, es necesario dar la atención necesaria a este problema y formular nuevas estrategias para la mejora continua de las condiciones laborales. Por otro lado, los productores de Zacatecas, San Luis Potosí y Nuevo León se han visto mayormente afectados por la disponibilidad de agua para el cultivo de fresa. Tras este diagnóstico, el Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí brindó capacitación intensa sobre el mantenimiento y producción del cultivo de fresa a productores de los tres estados. La variedad de fresa “Albion” fue empleada en éstos por ser tolerante a la sequía y tener el potencial de generar mayores ganancias económicas en comparación con el maíz. Es importante mencionar que las capacitaciones a través de demostraciones, talleres y asesoramiento han impulsado el cultivo de fresa en regiones semiáridas del país. Técnicas como el acolchado, el fertirriego y el macrotunel han sido vitales para el desarrollo óptimo del cultivo en estas zonas que son en esencia, un reto para cualquier cultivo que demande cantidades moderadas de agua. La implementación del cultivo de fresa en zonas semiáridas del país abre un mercado local constante, además de generar un vínculo entre la academia y el campo. Esto permite hacer un uso más eficiente de los recursos naturales de estas regiones [78]. A pesar de que la producción de fresa no se ve favorecida en todo

el territorio mexicano por la variabilidad de las condiciones geográficas o climáticas, ésta no deja ser atractiva por su plusvalía en el mercado actual. Con el paso del tiempo la tecnología mejora y se crean modelos de producción más eficientes. Los estados de Michoacán, Baja California y Guanajuato lideran la producción nacional y son un ejemplo de evolución continua en cuanto al uso e implementación de técnicas para mejorar la calidad de este alimento [79]. Treinta y cuatro municipios de Michoacán participan activamente en la producción de fresa, mientras 33 y 4 están envueltos en la producción de en Guanajuato y Baja California, respectivamente [80]. Algunos otros estados como Puebla están incursionando gradualmente en el mercado [80]. Es importante mencionar que una vez logrado un fruto de calidad comienza el proceso de comercialización lo cual es un generador de empleos que fortalece la cadena productiva [81].

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El cultivo de la fresa inició en México a mediados del siglo XIX y desde entonces ha evolucionado hasta convertirse en un producto de exportación que genera grandes divisas para nuestro país. La meta básica para el cultivo de la fresa es generar receptáculos sanos, nutritivos, atractivos e inocuos para su posterior comercialización. Al ser un producto de alta demanda, la producción es apoyada por el uso de agroquímicos que deterioran la salud humana y el ambiente. Por lo anterior y

siguiendo las tendencias actuales, se prevé el remplazo gradual de estas sustancias por alternativas orgánicas y pesticidas naturales. El uso de extractos de plantas, bioestimulantes y la implementación del control biológico podrían posicionarse como alternativas amigables con el ambiente, siendo gradualmente aplicables a la producción de fresa a gran escala. Así mismo, la producción orgánica, coadyuvaría en aumentar la plusvalía en el mercado internacional beneficiando a los productores nacionales. Sin duda, la investigación aplicada y programas de financiamiento son claves para lograr este propósito. De la misma manera en que se procura la calidad de la cosecha, se deben vigilar y mejorar las estrategias para la conservación del producto durante la postcosecha, que es un periodo crítico para su comercialización. Durante el almacenamiento y transporte es deseable mantener los estándares de calidad para asegurar una cadena de sanidad adecuada, mientras que los consumidores pueden colaborar a través de la aplicación de protocolos de desinfección sencillos. El cultivo de la fresa en México sigue en desarrollo y en expansión lo cual ofrece grandes áreas de oportunidad, tanto para los estados con mayores niveles de productividad como para las regiones que experimentan las primeras fases de adopción. El cultivo de la fresa debe visualizarse también desde una perspectiva social previendo el bienestar del productor. Este tipo de desarrollo se debe llevar a cabo en conjunto con la sociedad, instituciones académicas y gobierno para impulsar el cultivo fortaleciendo el motor económico. La fresa es

un alimento nacional que forma parte de nuestro plato del bien comer y cuyo consumo acarrea beneficios comprobados debido a su contenido de nutrientes básicos y nutraceuticos. Nuevos cultivares creados en México abren la posibilidad de tener mejores recursos nutrimentales y fomentan nuestra soberanía alimentaria.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores de este trabajo no tiene ningún conflicto de intereses con el contenido del manuscrito.

AGRADECIMIENTOS

Cesar Agustín Ramírez Díaz (CVU 1317013) agradece al CONAHCYT-México por la beca de maestría que apoya su proyecto de investigación y Nemesio Villa Ruano agradece a la misma dependencia a través del programa investigadoras e investigadores por México.

REFERENCIAS

[1]. Ramírez-Padrón LC, Caamal CI, Pat FVG, Martínez LD, Pérez FA. Análisis de los indicadores de competitividad de las exportaciones de fresa mexicana. *Rev Mex De Cienc Agric*. 2020;11(4):815–27. Available from: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2049>

[2]. Sadik H, Ouazzani C, Moustaghfir A, El Ghammarti S, Er-Ramly, Essebbahi I, *et al*. Comparison of the nutritional proprieties of commercial strawberries, red and black

raspberry consumed in Morocco. *Applied Food Research* [internet]. 2023;3(2):100362. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100362>

[3]. Hotchkiss AT, Chau HK, Strahan GD, Nuñez A, Harron A, Simon S, *et al*. Structural characterization of strawberry pomace. *Heliyon* [Internet]. 2024;10(9):e29787. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29787>

[4]. Alam MA, Islam P, Subhan N, Rahman MM, Khan F, Burrows GE, *et al*. Potential health benefits of anthocyanins in oxidative stress related disorders. *Phytoche Rev* [internet] 2021;20(1):705–49. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11101-021-09757-1>

[5]. Kapur B, Karaca C, Sarıdaş MA, Ağçam E, Çeliktöpez E, Kargı SP. Enhancing secondary compounds in strawberry fruit through optimized irrigation and seaweed application. *Sci Hort* [internet]. 2024; 324:112609. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112609>

[6]. Russi A, Granada CE, Schwambach J. Optimization of *Bacillus velezensis* S26 sporulation for enhanced biocontrol of gray mold and anthracnose in postharvest strawberries. *Postharvest Biol Technol* [Internet]. 2024;210:112737. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112737>

[7]. Salazar MJ, Somoza VC, Pérez AB, Velásquez SM, Torres GG, Huerta de la Peña A, *et al*. Uso y manejo de plaguicidas en

diferentes sistemas de producción de fresa en México. *Produc Agro Des Sost* [internet] 2017; 6(1):27-42. Available from:

<https://repositoriounicaes.catolica.edu.sv/jspui/handle/123456789/325>

[8]. Kirschbaum DS. Características botánicas, fisiología y tipos de variedades de fresas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). In: Namesny A, Conesa C, Martín L, y Papasseit P, Eds. Cultivo, poscosecha, procesamiento y comercio de berries. SPE3; 2021;141-154. Available from:

https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/12068/INTA_CRTucum%20an-Santiago_EEAFamailla_Kirschbaum_DS_Fresa_Caracteristicas_botanicas_variedades.pdf?sequence=4

[9]. León LL, Guzmán-Ortíz A, García BA, Chávez MC, *et al.* Considerations for improving competitiveness of the “El Bajío” region in domestic strawberry production. *Rev Mex de Cienc Agric* [internet] 2014;5(4):673-86. Available from:

<https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n4/v5n4a11.pdf>

[10]. Liston A, Cronn R, Ashman TL. *Fragaria*: A genus with deep historical roots and ripe for evolutionary and ecological insights. *Am J Bot* [Internet] 2014;101(10):1686–99.

<https://doi.org/10.3732/ajb.1400140>

[11]. Kirschbaum DS. Manejo, recolección y calidad de la fresa. In: Namesny A, Conesa C, Olmos LM, Papasseit P, Eds. Cultivo,

poscosecha, procesamiento y comercio de berries. SPE3; 2022;141–54. Available from: <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/12069#>

[12]. Letelier L, Gaete-Eastman C, Peñailillo P, Moya-León MA, Herrera R. Southern species from the biodiversity hotspot of central Chile: A source of color, aroma, and metabolites for global agriculture and food industry in a scenario of climate change. *Front Plant Sci* [Internet]. 2020; 11:521318. Available from: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01002>

[13]. Luque AC, Debes MA, Perera MF, Castagnaro AP, Arias ME. Reproductive compatibility studies between wild and cultivated strawberries (*Fragaria* × *ananassa*) to obtain “bridge species” for breeding programmes. *Plant Breed* [Internet]. 2019;138(2):229–38. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/pbr.12681>

[14]. AlMadhagi I. The habit of strawberry flowering is the key for runner propagation, where the photoperiod is the main environmental factor - A review. *Adv Hortic Sci* [Internet]. 2024;37(4):433–49. Available from: <https://doi.org/10.36253/ahsc-14381>

[15]. Feldmann MJ, Pincot DDA, Cole GS, Knapp SJ. Genetic gains underpinning a little-known strawberry Green Revolution. *Nat Commun* [Internet]. 2024;15(1):1–20. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46421-6>

[16]. Giampieri F, Tulipani S, Alvarez-Suarez JM, Quiles JL, Mezzetti B, Battino M. The strawberry: composition, nutritional quality,

and impact on human health. Nutrition [internet] 2012; 28(1):9–19. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.08.009>

[17]. Hwang H, Kim Y-J, Shin Y. Influence of ripening stage and cultivar on physicochemical properties, sugar and organic acid profiles, and antioxidant compositions of strawberries. Food Sci Biotechnol [Internet]. 2019;28(6):1659–67. Available from:

<http://dx.doi.org/10.1007/s10068-019-00610-y>

[18]. Nour V, Trandafir I, Cosmulescu S. Antioxidant compounds, nutritional quality and colour of two strawberry genotypes from *Fragaria* × *ananassa*. Erwerbs-Obstbau [internet] 2017;59(2):123–31. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10341-016-0307-5>

[19]. Dzhanfezova T, Barba-Espín G, Müller R, Joernsgaard B, Hegelund JN, Madsen B, *et al.* Anthocyanin profile, antioxidant activity and total phenolic content of a strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch) genetic resource collection. Food Biosci [Internet]. 2020; 36:100620. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100620>

[20]. Lee C, Lee J, Lee J. Relationship of fruit color and anthocyanin content with related gene expression differ in strawberry cultivars during shelf life. Sci Hortic [Internet]. 2022;301:111109. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111109>

[21]. Castro AM. Polifenoles: compuestos bioactivos con efectos benéficos en la prevención de diabetes tipo 2. REDCieN [internet] 2019;1(3):13-8. Available from:

<https://redcien.com/index.php/redcien/article/view/5>

[22]. Zhao X, Yuan Z. Anthocyanins from Pomegranate (*Punica granatum* L.) and their role in antioxidant capacities *in vitro*. Chem Biodiversity [internet] 2021;18(10):1-21. Available from: <https://doi.org/10.1002/cbdv.202100399>

[23]. Fallah AA, Sarmast E, Jafari T. Effect of dietary anthocyanins on biomarkers of oxidative stress and antioxidative capacity: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. J Funct Foods [internet] 2020;68(1):1-11. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103912>

[24]. Hidalgo M, Martin-Santamaria S, Recio I, Sanchez-Moreno C, De Pascual-Teresa B, Rimbach G, *et al.* Potential anti-inflammatory, anti-adhesive, anti/estrogenic, and angiotensin-converting enzyme inhibitory activities of anthocyanins and their gut metabolites. Genes Nutr [internet] 2012;7(2):295–306. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12263-011-0263-5>

[25]. Pacheco-Hernández Y, Lozoya-Gloria E, Rangel-Galván M, Varela-Caselis L, Villa-Ruano N. Nutraceutical activity of anthocyanins from the edible berries of *Rhamnus pompana*. Chem Biodiversity [internet] 2023; 20(10):e202301034. Available from: <https://doi.org/10.1002/cbdv.202301034>

[26]. Pacheco-Hernández Y, Lopez-Lozoya E, Cruz-Durán R, Villa-Ruano N. Anthocyanins of hierbamora (*Solanum nigrescens*): revealing their nutraceutical potential for controlling

hypertriglyceridemia and *Helicobacter pylori* viability. Chem Biodiversity [internet] 2023;20(12):e202301423. Available from: <https://doi.org/10.1002/cbdv.202301423>

[27]. Nikbakht E, Singh I, Vider J, Williams LT, Vugic L, Gaiz A, *et al.* Potential of anthocyanin as an anti-inflammatory agent: a human clinical trial on type 2 diabetic, diabetic at-risk and healthy adults. Inflamm Res [internet] 2021;70(3):275–84. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00011-021-01438-1>

[28]. Panchal SK, John OD, Mathai ML, Brown L. Anthocyanins in chronic diseases: the Power of purple. Nutrients [internet] 2022;14(10):1–30. Available from: <https://doi.org/10.3390/nu14102161>

[29]. Xing Y, Wang K, Zhang M, Law C-L, Lei H, Wang J, *et al.* Pectin-interactions and the digestive stability of anthocyanins in thermal and non-thermal processed strawberry pulp. Food Chem [Internet]. 2023;424:136456. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136456>

[30]. Karlińska E, Masny A, Cieślak M, Macierzyński J, Pecio Ł, Stochmal A, *et al.* Ellagitannins in roots, leaves, and fruits of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) vary with developmental stage and cultivar. Sci Hortic [Internet]. 2021;275(109665):109665. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109665>

[31]. Enomoto H. Unique distribution of ellagitannins in ripe strawberry fruit revealed

by mass spectrometry imaging. Curr Res Food Sci [Internet]. 2021;4:821–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.crfs.2021.11.006>

[32]. Crecelius AC, Hölscher D, Hoffmann T, Schneider B, Fischer TC, Hanke M-V, *et al.* Spatial and temporal localization of flavonoid metabolites in strawberry fruit (*Fragaria × ananassa*). J Agric Food Chem [Internet]. 2017;65(17):3559–68. Available from: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00584>

[33]. Mousavi M, Taki M, Raeini MG, Soheilifard F. Evaluation of energy consumption and environmental impacts of strawberry production in different greenhouse structures using life cycle assessment (LCA) approach. Energy [Internet]. 2023;280:128087. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2023.128087>

[34]. Lira RO, Ruiz RM. Producción de plantas de fresa con calidad genética, fisiológica y fitosanitaria. INIFAP [internet]. 2023;37:1-36. Available from: <https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/Content/?=14565>

[35]. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Diseñan guía técnica para manejo adecuado de plantas de fresa, que contribuye a aumentar la calidad y producción del fruto [Internet]. gob.mx. 2024 Available from: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/disena-n-guia-tecnica-para-manejo-adecuado-de-plantas-de-fresa-que-contribuye-a-aumentar-la-calidad-y-produccion-del-fruto>

[36]. Mixquititla-Casbis G, Villegas-Torres

OG, Andrade-Rodríguez M, Sotelo-Nava H, Toshirrico Cardoso-Taketa A. Crecimiento, rendimiento y calidad de fresa por efecto del régimen nutrimental. Rev Mex Cienc Agríc [internet] 2020;11(6):1337-48. Available from: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2329>

[37]. Vazquez AB, Hernández OM, Ortiz MI. Agricultura orgánica en México, 2007-2019. Invest Cient. [internet] 2021;15(1):1-9. Available from: <https://revistas.uaz.edu.mx/index.php/investigacioncientifica/article/view/1326>

[38]. Sarmiento SG, Amézquita ÁM, Mena CL. Use of bocashi and effective microorganisms as an ecological alternative in strawberry crops in arid zones. Sci Agrop [internet] 2019;10(1):55–61. Available from: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.06>

[39]. Martínez SV. Sustratos y biopreparados en el rendimiento y calidad de la fresa (*Fragaria* spp) hidropónica bajo condiciones de invernadero [Tesis de licenciatura]. Morelia: Tecnológico Nacional de México; [internet] 2022; 1-75. Available from: <http://51.143.95.221/handle/TecNM/4451>

[40]. Segundo PR. Evaluación de bioestimulantes alternativos para la inducción de floración en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) [Tesis de licenciatura]. Ambato: Universidad Técnica de Ambato; [internet] 2024; 1-45. Available from: <https://repositorio.uta.edu.ec/items/0178ffee-0fd2-48e9-9aba-0ebdd18bcfa1>

[41]. Li J, Brecht JK, Kim J, Bailey LS, Kamat

MN, Basso KB, *et al.* Seaweed extract and microbial biostimulants show synergistic effects on improving organic strawberry production. HortScience [Internet]. 2024;59(8):1114–26. Available from: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI17647-23>

[42]. Pacheco MG. Efecto de ácidos húmicos y silicio en producción de fresa (*Fragaria* spp.) variedad “Albión” en diferentes concentraciones [Tesis de licenciatura]. Saltillo: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. [internet] 2023; 1-43. Available from: <https://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/49126>

[43]. Hernández VR, Juárez MA, Pérez HA, Lozano CJ, Zermeno GA, González FJ. Influence of organic fertilizers and silicon on the physiology, yield, and nutraceutical quality of the strawberry crop. Nova Sci [internet]. 2022;14(28). Available from: <https://novascientia.lasallebajio.edu.mx/ojs/index.php/Nova/article/view/3032>

[44]. Kalaitzoglou K, Joji Muramoto J, Dubois A, Shennan C, Tasin M. Tuning stakeholder expectations in organic strawberry production – A sixteen-year case study of co-development of a strawberry knowledge network in California. Clean Prod [Internet]. 2021;323(129192):129192. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129192>

[45]. Cruz VV, Rodríguez OP, Castellanos GL, Céspedes NE. Validación de una tecnología en producción limpia de fresa a pequeña escala en

la finca Sol Vida del municipio de Pamplona, Norte de Santander [Internet]. Cien y Tec Agro. 2022; 7(1): 3-18. Available from: <https://doi.org/10.24054/cyta.v7i1.2769>

[46]. Lucas De Jesus G, Pauletti V, Cassilha Zawadneak MA, Cuquel FL. Calidad de la fresa afectada por la relación nitrato:amonio en la solución nutritiva. Rev Mex Cienc Agric [2021];12(5):753-63. Available from: <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2764>

[47]. Alvarado-Chávez JA, Gómez-González A, Lara-Herrera A, Díaz-Pérez C, García-Herrera J. Rendimiento y calidad de fruto de fresa cultivada en invernadero en sistema hidropónico piramidal. Rev Mex Cienc Agric [internet] 2020;11(8):1737-48. Availble from: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2460>

[48]. Guerrero RE. Calidad y vida postcosecha del fruto de variedades mexicanas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) [Tesis de maestría] Texcoco: Colegio de Postgraduados; [internet] 2017; 1-86. Available from: <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/3840>

[49]. Franco GI. Evaluación de las atmósferas con alta concentración de CO₂ en la fisiología pudrición fresa [Tesis de doctorado]. Texcoco: Colegio de Postgraduados; [internet] 2017; 1-136. Available from: <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/3067?show=full>

[50]. Mendoza BB. Intoxicación por carbamatos como causa de síndrome colinérgico y diferencias en el tratamiento de la intoxicación por organofosforados. Med Int

Méx. 2023; 39(4): 692-95. Disponibles en: <https://doi.org/10.24245/mim.v39i4.6882>

[51]. Cárdenas O, Silva E, Morales L , Ortiz J. Estudio epidemiológico de exposición a plaguicidas organofosforados y carbamatos en siete departamentos colombianos, 1998-2001. Biomédica [internet]. 2005;25(2):170-180. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84325203>

[52]. Bernal FP. Conservación de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*): Evaluación y análisis de sobrevivencia en cultivos de *Asclepias* sp. en Valle de Bravo [Tesis de licenciatura]. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México; [internet] 2022; 1-53. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.11799/109434>

[53]. Cerna CE, Cano GA, Ochoa FM, Ceballos CG. Detección y cuantificación de plaguicidas en heces de *Cynomys mexicanus* en colonias de dos estados del norte de México. Acta Univ [internet]. 2023;33:1–17. Available from: <https://doi.org/10.15174/au.2023.3865>

[54]. Castellano-Hinojosa A, Noling JW, Bui HX, Desaege JA, Strauss SL. Effect of fumigants and non-fumigants on nematode and weed control, crop yield, and soil microbial diversity and predicted functionality in a strawberry production system. Sci Total Environ [internet]. 2022;852:158285. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158285>

[55]. Benavides GÁ, Cisne CJ, Morán CJ,

Duarte CH. Producción orgánica de fresa (*Fragaria* spp.), Las Sabanas, Madriz, Nicaragua 2022. Guía técnica, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua; 2022. Available from:

<https://repositorio.una.edu.ni/4573/>

[56]. Salas-Araiza MD, Salazar-Solís E, Martínez JO, Guzmán-Mendoza R. Insectos benéficos en el cultivo de fresa en Irapuato, Guanajuato, México. Entomol Mex [internet] 2014;1(1):289–94. Available from: <https://acaentmex.org/entomologia/revista/2014/CB/054.pdf>

[57]. Luna M, Mesa J. Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. Rev Cien Agroec [internet] 2017;4(2):31-40. Available from:

<https://www.semanticscholar.org/paper/Microorganismos-eficientes-y-sus-beneficios-para-Feijoo-Reinaldo/76e09c8d07dfd6a60b844162335ad2ce18f25f02>

[58]. Alvarez M, Tucta F, Quispe E, Meza V. Incidencia de la inoculación de microorganismos benéficos en el cultivo de fresa (*Fragaria* sp.). Sci Agropec [internet] 2018;9(1): 33–42. Available from: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.04>

[59]. Manjunatha N, Kumar S, Rana M, Tomar M, Srinivasan R, Agarrwal R. Root Endophytic Bacterium *Pseudomonas fluorescens* Strain REB-4 from Berseem (*Trifolium alexandrinum* L.) with Plant Growth Promotion and Antifungal Activities. Legume Research

[internet] 2024; 47(2): 225-230. Available from: <https://arccjournals.com/journal/legume-research-an-international-journal/LR-4959>

[60]. Sangiorgio D, Cellini A, Spinelli F, Donati I. Promoting strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) stress resistance, growth, and yield using native bacterial biostimulants. Agronomy [internet]. 2023;13(2):529. Available from: <https://doi.org/10.3390/agronomy13020529>

[61]. Torres VR, Bernabé GJ, Carmona ÁJ, Martínez RJ, Fernández MF. Application and effectiveness of *Methylobacterium symbioticum* as a biological inoculant in maize and strawberry crops. Folia Microbiol [internet]. 2024;69(1):121–31. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s12223-023-01078-4>

[62]. Toapanta IJ. Evaluación de tres extractos vegetales para el control de ácaros (*Tetranychus urticae* Koch) en hojas de fresa (*Fragaria x annassa*) [Tesis de licenciatura]. Ceballos: Universidad Técnica de Ambato; [internet] 2020; 1-56 Available from: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/31949>

[63]. Bischoff AM, Araujo ES, Benatto A, Zimmermann RC, de Oliveira MCH, da Rosa JM, *et al.* Evidence of antibiosis resistance of four strawberry cultivars against *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae). Crop Prot [internet]. 2023;168:106213. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106213>

[64]. Soltaniband V, Brégard A, Gaudreau L, Dorais M. Biostimulants promote plant development, crop productivity, and fruit

quality of protected strawberries. *Agronomy* [internet]. 2022;12(7):1684. Available from: <https://doi.org/10.3390/agronomy12071684>

[65]. Yoon Y-S, Ameer K, Song B-S, Kim J-K, Park H-Y, Lee K-C, *et al.* Effects of X-ray irradiation on the postharvest quality characteristics of ‘Maehyang’ strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Food Chem* [internet]. 2020;325(126817):126817. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126817>

[66]. García-Salazar EM. El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Estud Soc Rev Aliment Contemp Desarro Reg* [internet]. 2019;29(54). Available from: <https://doi.org/10.24836/es.v29i54.741>

[67]. Al-Karablieh N, Al-Shomali I, Al-Elaumi L, Tabieh M, Al-Karablieh E, Al-Jaghbir M, *et al.* The impact of treated wastewater irrigation on strawberry development, fruit quality parameters, and microbial and chemical contaminant transfer: A health risk assessment. *Sci Hort* [Internet]. 2024;329:113014. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113014>

[68]. Ríos VR. Detección de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. en fresa en la región centro norte de México [Tesis de licenciatura]. Saltillo: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; [internet] 2018; 1-74. Available from: <http://www.repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/45453>

[69]. Pérez-Lavalle L, Valero A, Cejudo-Gómez M, Carrasco E. Fate and biofilm formation of *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar Thompson on fresh strawberries stored under refrigeration and room temperatures. *Food Control* [internet]. 2023;153:109906. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109906>

[70]. Salgado-Escobar I, Hernández-Rodríguez G, Suárez-López Y del C, Mancera-Ugarte MJ, Guerra-Ramírez D. Eficacia de métodos de desinfección y los efectos sobre las propiedades nutraceuticas en cilantro y fresa. *Rev Mex Cienc Agric* [internet] 2020;11(2): 327-37. Available from: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.1892>

[71]. Viñas I, Valero A, Gimeno V, López L, Aguiló-Aguayo I, Abadías M, *et al.* Control de patógenos de transmisión alimentaria en fresas congeladas y listas para el consumo. *Bib Hort* [internet] 2020;2020:1–18. Available from: <http://hdl.handle.net/10459.1/68323>

[72]. Nicolau-Lapeña I, Abadías M, Bobo G, Aguiló-Aguayo I, Lafarga T, Viñas I. Strawberry sanitization by peracetic acid washing and its effect on fruit quality. *Food Microbiol* [internet]. 2019;83:159–66. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2019.05.004>

[73]. Ortiz-Solà J, Abadías M, Colás-Medà P, Sánchez G, Bobo G, Viñas I. Evaluation of a sanitizing washing step with different chemical disinfectants for the strawberry processing industry. *Int J Food Microbiol* [internet].

2020;334:108810. Available from:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108810>

[74]. Taban A, Haghighi TM, Mousavi SS, Sadeghi H. Are edible coatings (with or without essential oil/extract) game changers for maintaining the postharvest quality of strawberries? A meta-analysis. *Postharvest Biol Technol* [internet]. 2024;216(113082):113082. Available from:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113082>

[75]. Arroyo CA, Hernández FA. Competitividad de la fresa mexicana en el mercado estadounidense de 1992 a 2017. *Cien Tecnol Agropecuaria* 2020;22(1):e1414. Available from:
https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1414

[76]. Rojas RT. Migración rural jornalera en México: la circularidad de la pobreza. *Iberoforum. Revista de Ciencias Sociales* [internet]. 2017;12(23):1-35. Recuperado de:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=211053027001>

[77]. Aguilar PC, Martínez RC. Precariedad laboral de los jornaleros agrícolas del cultivo de la fresa en el municipio de Purépero, Michoacán. *HorizonTes* [internet]. 2022;2(3):1–19. Available from:
<https://horizontesterritoriales.unach.mx/index.php/Revista/article/view/21>

[78]. Olmos-Oropeza G, Martínez-Montoya JF, Gómez-González A, Ruíz-Vera VM, Palacio-Núñez J, Tarango-Arámbula LA, *et al.* Adopción del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) en el centro norte de México. *Rev Agro-Divul* [internet] 2021;1(1):1-3. Available from: <https://doi.org/10.54767/ad.v1i2.29>

[79]. Torres MR. Análisis espacial de la especialización municipal de la producción de fresa en México, 2003-2020 [Tesis de licenciatura]. Saltillo: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; [internet] 2024; 1-76. Available from:
<https://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/49823>

[80]. Martínez MP, Ruíz TA, Jacobo JC. La fresa (*Fragaria X ananassa*): su valor económico y cultural en México e importancia en la producción de antioxidantes. *Nuevas territorialidades- economía sectorial y reconfiguración territorial*. Isaac JE. 2023; 2: 181-204. Available from:
<http://ru.iiiec.unam.mx/6130/>

[81]. González-Ramírez MG, Santoyo-Cortés VH, Arana-Coronado JJ, Muñoz-Rodríguez M. The insertion of Mexico into the global value chain of berries. *World Dev Perspect* [Internet]. 2020;20(100240):100240. Available from:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wdp.2020.100240>