




Saltillo, Coahuila a 22 de Agosto de 2018

Coordinación de Posgrado
Presente

Por este conducto nos permitimos informar a esta coordinación que, el documento de Caso de Estudio preparado por **CÉSAR BERNARDO MUÑOZ AMAYA** titulado **Búsqueda de nuevos bioestimulantes para el desarrollo de plantas: Ácido elálgico** el cual fue presentado el día 10 de agosto de 2018, ha sido modificado de acuerdo a las observaciones, comentarios y sugerencias, realizadas por el Comité Evaluador asignado. Por tal motivo, avalamos que el documento adjunto corresponde a la versión final del documento de tesis.

Atentamente,

SINODALES




Dr. Marco Antonio Castillo Campohermoso
Presidente



Dra. Ana Margarita Rodríguez Hernández
Secretario

Vo. Bo. del Asesor



Dra. Lluvia de Abril Alexandra Soriano Melgar

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**BÚSQUEDA DE NUEVOS BIOESTIMULANTES PARA
EL DESARROLLO DE PLANTAS: ÁCIDO ELÁGICO.**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL DIPLOMA DE:

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA**

PRESENTA:

CÉSAR BERNARDO MUÑIZ AMAYA.

SALTILLO, COAHUILA DE ZARAGOZA.

Agosto, 2018.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**BÚSQUEDA DE NUEVOS BIOESTIMULANTES PARA
EL DESARROLLO DE PLANTAS: ÁCIDO ELÁGICO.**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL DIPLOMA DE:

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA**

PRESENTA:

CÉSAR BERNARDO MUÑIZ AMAYA.

ASESORA:

DRA. LLUVIA DE ABRIL ALEXANDRA SORIANO MELGAR.

SALTILLO, COAHUILA DE ZARAGOZA.

Agosto, 2018.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**BÚSQUEDA DE NUEVOS BIOESTIMULANTES PARA
EL DESARROLLO DE PLANTAS: ÁCIDO ELÁGICO.**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL DIPLOMA DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

CÉSAR BERNARDO MUÑIZ AMAYA

EVALUADORES:

DRA. ANA MARGARITA RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ.

DR. MARCO ANTONIO CASTILLO CAMPOHERMOSO.

SALTILLO, COAHUILA DE ZARAGOZA.

Agosto, 2018.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de los estudios de Especialidad en Química Aplicada con opción en Agroplasticultura.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), por abrirme las puertas.

A mi asesora la Dra. Lluvia de Abril Alexandra Soriano Melgar por su gran apoyo y paciencia.

A mis sinodales, la Dra. Ana Margarita Rodríguez Hernández y el Dr. Marco Antonio Castillo Campohermoso por sus consejos y observaciones que permitieron mejorar mi documento.

DEDICATORIA

A Dios.

Por darme a mi familia que fue apoyo, darme la fuerza y la perseverancia para seguir mi camino.

A mis padres Cesar y Nohemí.

Por darme todo el cariño y el ánimo para ser de mí una persona de bien.

A mi hermana Denisse Michelle Muñiz Amaya.

Por siempre saber cómo hacerme reír y darme ánimo.

A Sandy Gabriela García Torres.

Por siempre estar conmigo y formar parte de mi vida.

RESUMEN

El uso indiscriminado de pesticidas, fungicidas y demás productos agroquímicos, adicionado al uso extensivo de monocultivos, ha puesto a la agricultura como una de las principales acciones que afectan el medioambiente. Como alternativa a estos componentes, durante los últimos años se han investigado el uso de bioestimulantes en cultivos para mejorar, no solo el rendimiento de éstos, sino también dar una mejor defensa ante factores bióticos y abióticos; especialmente ante el estrés oxidativo. La alternativa de los bioestimulantes ha tenido un gran impacto en el mundo actual, ya que un solo bioestimulante puede tener varias ventajas y beneficios, así mismo, es más amigable con el ambiente; ya que por lo general son productos cuyo origen es materia orgánica o están ligados a fitorreguladores y enzimas que las mismas plantas producen.

Por otro lado, el ácido elágico ya ha sido investigado por su gran capacidad antioxidante y por sus diversos grupos OH. Es un compuesto que las plantas producen y es muy importante en el contenido nutracéutico de las frutas. Sin embargo, este compuesto aún tiene potencial de uso, ya que puede ser un subproducto de desecho, obtenido a partir de la cáscara de frutas, como la granada. Es por ello que, en este caso de estudio indagaremos en sus posibles efectos y beneficios al ser aplicado de forma exógena en las plantas.

La información recopilada, en donde el ácido elágico puede tener una acción en las plantas de forma similar a otros compuestos como el ácido ascórbico o los jasmonatos, indican que una posible respuesta de las plantas sería incrementando su biomasa, rendimiento y su mecanismo de respuesta; ya que el ácido elágico podría ser un buen bioestimulante, *elicitor* y antioxidante.

ABSTRACT

The indiscriminate use of pesticides, fungicides and other agrochemical products, added to the extensive use of monocultures, has made agriculture one of the main actions affecting the environment. As an alternative to these components, during the last few years, the use of biostimulants in crops has been investigated to improve not only their yield, but also to provide a better defense against biotic and abiotic factors, especially against oxidative stress. The alternative to biostimulants has had a great impact in today's world, since a single biostimulant can have several advantages and benefits, as well as being more environmentally friendly, since they are usually products whose origin is organic matter or are linked to phytohormones and enzymes that the plants themselves produce.

On the other hand, ellagic acid has already been investigated for its high antioxidant capacity and for its various OH groups. It is a compound that plants produce and is very important in the nutraceutical content of fruits. However, this compound still has potential for use, as it can be a waste by-product, obtained from fruit peel, such as pomegranate. That is why, in this case study, we will investigate its possible effects and benefits when applied exogenously to plants.

The information gathered, where ellagic acid can have an action in plants similar to other compounds such as ascorbic acid or jasmonates, indicates that a possible response of plants would be to increase their biomass, yield and response mechanism, since ellagic acid could be a good biostimulant, elicitor and antioxidant.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
ABREVIATURAS	v
I. INTRODUCCIÓN	6
II. REVISIÓN DE LITERATURA	8
II.1. Agricultura	8
II.1.1. Tipos de Agricultura.....	10
II.2. Agricultura en México	11
II.2.1. Principales Productos Hortofrutícolas	12
II.2.2. Producción a Nivel Internacional	12
II.2.3. Producción Nacional	13
II.3. Principales Problemas en la Agricultura	14
II.4. Tratamientos Aplicados en Precosecha.....	15
II.4.1. Fertilizantes y Biofertilizantes.....	15
II.4.2. Fitorreguladores.....	16
II.4.3. Bioestimulantes	16
II.4.3.1. Bacterias Promotoras de Crecimiento	17
II.4.3.2. Hongos Benéficos	17
II.4.3.3. Aminoácidos (Compuestos de Nitrógeno).....	17
II.4.3.4. Extractos de Algas	18
II.4.3.5. Ácidos Fúlvicos y Húmicos.....	18
II.4.3.6. Oligosacarinas.....	18
II.4.3.7. Polisacáridos (Quitosano).....	19
III. ESTADO DEL ARTE DEL USO DE BIOESTIMULANTES EN LA AGRICULTURA.....	20
III.1. Bioestimulantes en el Desarrollo Vegetal.....	20
III.1.1. Antioxidantes y Compuestos Fenólicos	20
III.1.1.1. Fitoalexinas	21

III.1.1.2. Ácido Salicílico	21
III.1.1.3. Floroglucinol y Eckol.....	22
IV. HIPÓTESIS	24
V. OBJETIVOS	25
V.1. Objetivo General	25
V.2. Objetivos Específicos.....	25
VI. JUSTIFICACIÓN.....	26
VII. ÁREAS DE OPORTUNIDAD	27
VII.1. Acciones o Señales que Puede Generar el Ácido Elágico en las Plantas.....	27
VII.1.1. Efecto Antioxidante.....	27
VII.1.2. Efecto como Fitorregulador o Estimulante (<i>Elicitor</i>).....	29
VII.2. Otros Mecanismos de Acción del Ácido Elágico.....	32
VII.2.1. Efecto Sobre el Mecanismo de Respuesta/Defensa de la Planta	32
VII.3. Posibles Resultados de la Aplicación del Ácido Elágico	35
VIII. CONCLUSIONES.....	37
IX. REFERENCIAS	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Región de la antigua Mesopotamia donde comenzó el cultivo de cereales	9
Figura 2. Mecanismo de acción de las fitoalexinas	21
Figura 3. Estructura química del ácido salicílico.	22
Figura 4. Estructura química de los compuestos a) floroglucinol y b) Eckol. Imágenes obtenidas de Benson y Bremner (2004).....	23
Figura 5. Estructura del ácido elágico. Imagen obtenida de Williams <i>et al.</i> , (2014).	27
Figura 6. Diagrama del mecanismo de acción antioxidante de los grupos hidroxilos del ácido elágico atrayendo especies reactivas de oxígeno (ERO).....	28
Figura 7. Mecanismo de acción del ácido ascórbico frente al DPPH demostrando su capacidad de antioxidante (Villanueva <i>et al.</i> , 2010)	29
Figura 8. Posible ruta de acción de las auxinas para expresar genes de crecimiento. Imagen modificada de Taiz y Zieger (1998)	31
Figura 9. Mecanismo de acción propuesto para el efecto del ácido elágico aplicado de forma exógena.....	32
Figura 10. Mecanismo de acción de defensa del jasmonato.....	34
Figura 11. Posible mecanismo de respuesta/defensa del ácido elágico	35
Figura 12. Mecanismo de acción propuesto para el efecto del ácido elágico aplicado de forma exógena.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bioestimulantes de origen fenólico y su efecto en las plantas.	23
--	----

ABREVIATURAS

ADN	Acido desoxirribonucleico.
AIB	Ácido indol-3-butirico.
BAP	Bencilaminopurina.
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidracilo.
ERO	Especie reactiva de oxígeno.
FAO	Food and Agriculture Organization (por sus siglas en inglés). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
GA ₃	Giberelinas.
PAL	Fenilalanina amonioliasa.
PGPR	Plant growth promoting rhizobacteria bacterias (por sus siglas en inglés). Bacterias promotoras del crecimiento.
RSA	Resistencia sistemática adquirida.
SA	Ácido salicílico.
SaMe	Metil jasmonato.
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

I. INTRODUCCIÓN

Tal como mencionan Altieri y Nicholls (2012), la revolución verde falló al no proveer de alimentos suficientes para la población, aún pese a la gran cantidad de agroquímicos utilizados; esto trajo consigo el agotamiento de suelos sin que hubiera un aumento significativo en la producción de alimentos. Conforme al incremento en la población, la demanda de alimentos crece de la misma forma. Así, para el año 2050 se espera que existan cerca de 9 mil millones de personas, lo que duplicará la necesidad de alimentos (FAO, 2015). Por tanto, serán requeridas tecnologías sostenibles que permitan producir los alimentos necesarios para las demandas existentes. Dentro de los tratamientos a nivel precosecha empleados actualmente para incrementar la producción de alimentos de origen vegetal se encuentran la aplicación de herbicidas, fertilizantes y/o biofertilizantes, acolchados plásticos e invernaderos, reguladores de crecimiento (ácido giberélico) y bioestimulantes (Ruiz-García y Gómez-Plaza, 2013; Bhattacharjee y Dey, 2014; Bakshi *et al.*, 2015; Feliziani *et al.*, 2015; Goffnett *et al.*, 2016).

Según Saborio (2002) se define a un bioestimulante como “sustancias que, a pesar de no ser un nutrimento, un pesticida o un regulador de crecimiento, al ser aplicadas en cantidades pequeñas generan un impacto positivo en la germinación, el desarrollo, el crecimiento vegetativo, la floración, el cuajado y/o el desarrollo de los frutos”. Sin embargo, el mismo autor refiere que esa definición es bastante ambigua, por lo que en realidad un bioestimulante contempla diferentes compuestos de origen animal y/o vegetal, solas o en combinaciones que ejercen una respuesta o acción por parte de la planta a la que se le es aplicada (Saborio, 2002). Dentro de los bioestimulantes que se aplican durante el desarrollo de las plantas y que ejercen efecto en los productos poscosecha podemos mencionar al quitosano (polisacárido) y las oligosacarinas, el ácido araquidónico, el metil jasmonato (SaMe) y el ácido salicílico (SA) (Meng *et al.*, 2008; Deng *et al.*, 2015; Martínez-Esplá *et al.*, 2017; Moreno-Escamilla *et al.*, 2017; Viacava *et al.*, 2018). Éste último es un compuesto de tipo fenólico.

Existe una gran cantidad de referencias que relacionan al contenido de compuestos fenólicos con la resistencia de las plantas a distintos tipos de estrés, tanto bióticos (hongos, bacterias y virus) como abióticos (frío, radiación UV, heridas, estrés osmótico, fungicidas, metales pesados, antibióticos, etileno, entre otros) (Maestro-Durán *et al.*, 1993). El ácido elágico

es un compuesto fenólico (polifenol) perteneciente a la familia de los elagitaninos (taninos), el cual tiende a formar complejos con proteínas, alcaloides y polisacáridos; lo que le confiere propiedades antimicrobianas, antioxidantes, anticancerígenas, protectoras y regeneradoras de células animales, etc. (Dhingra y Jangra, 2014; Galano *et al.*, 2014; Martillanes *et al.*, 2017). Lo que ha hecho que sea empleado en diversos productos farmacéuticos, tales como: tratamientos para daños celulares y tratamientos de belleza (Ahmed *et al.*, 2016). Aún se desconoce el papel que desempeña el ácido elágico dentro del metabolismo vegetal, sin embargo, se cree que es sólo un biocida que impide el desarrollo de microorganismos, encontrándose principalmente en frutos y cáscara de granada (Ascacio-Valdés *et al.*, 2013). Es por ello que, este trabajo contempla investigar los posibles efectos de la aplicación exógena del ácido elágico durante el desarrollo del cultivo y la respuesta e incremento del rendimiento de la planta.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

II.1. Agricultura

La agricultura se define como el conjunto de actividades humanas, dentro de las cuales se puede mencionar: la trata de suelos, los tratamientos de cultivos, siembras, etc.; con el fin de cumplir con las necesidades alimenticias de una población o nación (Domingo, 2009). Por lo que la historia de las ciudades está estrechamente relacionada con el desarrollo de la agricultura, siendo las primeras ciudades construidas cerca de ríos y lagos, lo que propicio la recolección de frutas y semillas. La República Árabe de Egipto (Egipto), la República Popular China (China), los Estados Unidos Mexicanos (México) y la antigua región de Mesopotamia (actualmente Irak) son solo unos ejemplos del gran crecimiento económico y cultural, gracias al desarrollo de la domesticación y producción de alimentos, así como, su comercialización (Robledo-Arratia, 2015).

Evidencias recientes sitúan al sudeste asiático como la primera región donde se empezó a cultivar cereales, principalmente resaltando las áreas de Irak, Irán, República de Turquía (Turquía), República Árabe Siria (Siria), República Libanesa (Líbano) y República de Chipre (Chipre) (Figura 1). Siendo de donde más conocimientos se han adquirido de acuerdo a las lluvias, cultivos, arado y comercio. Gran cantidad de pruebas bioarqueológicas han demostrado que en las montañas Zargos en Irán son el origen y distribución de los principales cultivos, siendo estas las especies silvestres de cultivos como el trigo, la cebada, las lentejas y los chicharos (Robledo-Arratia, 2015).



Figura 1. Región de la antigua Mesopotamia donde comenzó el cultivo de cereales.

Al comienzo de la edad media surgen nuevas tecnologías que apoyaron al trabajo campesino como la rotación trienal. A pesar de estas novedades y mejoras, la agricultura era deficiente debido a su gran dependencia de las condiciones climáticas. Aun así, la agricultura en la edad media fue muy importante y fue la base principal de la economía junto con la ganadería (Domingo, 2009). Al inicio del siglo XX, la agricultura pasó por un proceso de industrialización y mecanización. Debido al aumento de la población, se necesitaban nuevas herramientas para aumentar la producción alimentaria; con esta gran revolución se adoptó el uso de híbridos que mejoraron notablemente el rendimiento. Así como, la implementación de agroquímicos (ya sea pesticidas o fertilizantes) y el desarrollo en conjunto de diferentes ciencias (biología, genética y su relación con la biotecnología); lo cual dio paso al uso de los transgénicos (Acevedo *et al.*, 1999).

El mejoramiento genético ha estado presente en la agricultura desde su nacimiento con la mezcla de cultivos y la generación de híbridos, pero no fue hasta el siglo XX cuando alcanzó gran reconocimiento y se empezó a investigar a fondo. Científicos norteamericanos demostraron de forma sencilla las ventajas del cruce de especies en el maíz y fundaron la primera empresa de semillas de híbridos de este cultivo. En un inicio la producción de maíz híbrido era costosa, pero de sencilla práctica, ya que solo era necesario cortar la flor masculina para que la planta

fuera fertilizada por polen de otras plantas. Posteriormente, los costos de producción de semilla híbrida disminuyeron por la implementación de la esterilización masculina que ahorra la mano de obra para cortar la flor masculina, así como, el alto rendimiento documentado de los híbridos (García-Olmedo, 1998).

Por otra parte, el uso de diferentes áreas de la ciencia, como la biotecnología (la cual incluye áreas, tales como: bioquímica, genética y biología molecular), ha dado paso a poder alterar y modificar el ADN de manera más directa; lo cual ha traído grandes mejoras y rendimientos a los distintos cultivos (García-Olmedo, 1998).

- Resistencia a herbicidas como el glifosato en tomate (Fillati *et al.*, 1987) y en soya (García-Olmedo, 1998).
- Resistencia a plagas y enfermedades utilizando genes relacionados con las proteínas de capsides virales principalmente en ciruela (da Camara-Machado *et al.*, 1995) y genes codificantes de proteínas insecticidas obtenidas de bacterias aplicadas en tabaco (García-Olmedo, 1998).
- Mejores propiedades tecnológicas gracias a genes inhibidores de etileno (Hamilton *et al.*, 1990).
- Resistencia al estrés abiótico gracias a genes relacionados al manitol (Karakas *et al.*, 1997), fructanos (Pilon-Smits *et al.*, 1995), etc.

Es por todo lo anterior que, a lo largo de la historia, se han manejado diferentes formas de llevar a cabo la agricultura.

II.1.1. Tipos de Agricultura

La agricultura puede clasificarse de acuerdo a diferentes factores, por ejemplo:

-Según su dependencia al agua:

- Agricultura de temporal: es producida sin un aporte de agua dado por el agricultor, abasteciéndose sólo de la lluvia o depósitos subterráneos.

- Agricultura de regadío: es producida teniendo el aporte de agua dado por el agricultor de manera natural por medio de causas o lluvia o de manera artificial por medio de bombeo de depósitos de agua (Domingo, 2009).

-Según su magnitud de producción y comercialización:

- Agricultura de subsistencia: es la producción mínima del agricultor para satisfacer las necesidades básicas del mismo y su familia, sin apenas excedentes para comercializar, cuenta con un nivel tecnológico bajo.
- Agricultura industrial: se producen grandes cantidades con excedentes para su uso comercial, con nivel tecnológico alto (Domingo, 2009).

-Según se pretenda obtener un alto rendimiento:

- Agricultura intensiva: alta producción en poco espacio, desgaste del suelo y sus recursos minerales.
- Agricultura extensiva: depende de espacios más grandes y, por lo tanto, existe un desgaste menor sobre el suelo, aunque la producción es menor en comparación con la intensiva (Domingo, 2009).

-Según el método y objetivos:

- Agricultura tradicional: utiliza los sistemas típicos culturales o heredados de una comunidad.
- Agricultura convencional o moderna: enfocada principalmente en la producción intensiva en poco espacio y con un gran desgaste del suelo, relacionada con la agricultura intensiva.
- Agroecología: son un cumulo de sistemas que cuidan las características ecológicas y geológicas del lugar, respeta los tiempos de estación y la fertilidad del suelo (Domingo, 2009).

II.2. Agricultura en México

En el caso particular de nuestro país, según SAGARPA (2017), México ocupa la posición decimosegunda en producción de alimentos a nivel mundial y el tercer lugar a nivel

Latinoamérica. Mostrando un gran avance en el sector agrícola gracias a la ayuda mutua del sector primario y el gobierno federal, ya que existen alrededor de 25 millones de personas que viven en el sector rural, de las cuales, 7 millones se dedican al sector primario. En México, se tiene un total de 24.6 millones de hectáreas de uso agrícola para el desarrollo de los principales productos hortofrutícolas (SAGARPA, 2017).

II.2.1. Principales Productos Hortofrutícolas

La producción hortofrutícola en México está a nivel competitivo internacional. Durante el 2013, del total de hectáreas utilizadas para la producción hortícola en el país, el 67% fue para cereales, el 3% para hortalizas, el 6% para cultivos frutales, el 4% para leguminosas, el 10% para forrajes y el 10% para industriales (Cruz-Delgado, 2013). El total de superficie agrícola en México llegó a 24.6 millones de hectáreas, de las cuales, las frutas y hortalizas ocuparon un 9% de superficie, pero casi un 35% del valor de producción total (Cruz-Delgado, 2013). La diversidad de los cultivos se ha incrementado a lo largo de los años, partiendo de 36 cultivos hortícolas y 52 frutales en el año 1980, a 56 y 64 cultivos hortícolas y frutales respectivamente en el año 2009 (Cruz-Delgado, 2013). En 2013, los dos cultivos hortofrutícolas que destacaron por su producción fueron: el aguacate y el tomate. En tercer lugar, se encontró la naranja, la cual ocupó un 24.3% de superficie total y tuvo una producción de 4.2 millones de toneladas en 340 mil hectáreas (Cruz-Delgado, 2013). Otros cultivos de alto número de superficie sembrada fueron: el jitomate con 27.8%, el chile verde con 24.4%, el tomate verde con 18.5%, la calabacita con 9.8% y el pepino con 6.1% (Cruz-Delgado, 2013).

II.2.2. Producción a Nivel Internacional

México cuenta con 12 tratados de libre comercio con 46 países, pero Estados Unidos de América (EUA) sigue siendo nuestro principal socio comercial con un 75.2% de comercio exterior agroalimentario mexicano (SAGARPA 2016). En 2015, nuestras exportaciones crecieron un 7.1% en contraste con la importación que disminuyó un 9.7% del mismo año; poniendo la balanza comercial agroalimentaria con EUA en 3,506 millones de dólares. A pesar de esto, México ha buscado abrir nuevos mercados en el resto del mundo; la alianza del Pacífico

(AP) es una iniciativa que cuenta con la integración de Chile, Argentina, Colombia, México y Perú creada el 28 de abril del 2011. Además, el 01 de mayo del 2016 entró en vigor el protocolo adicional al acuerdo marco de la Alianza del Pacífico; con este acuerdo, más del 92% del comercio nacional quedó libre de aranceles (SAGARPA 2016).

Entre el 15 y 17 de mayo del 2016, se realizó una misión de comercio de recursos agropecuarios mexicanos a la Península Arábiga encabezado por el C. Secretario de SAGARPA, se visitaron Arabia Saudita, Emiratos Árabes, Kuwait y Qatar, países que poseen un gran poder adquisitivo. Así mismo, en junio del 2016 se realizó el primer envío de *berries*. En julio, el primer envío de garbanzo. Además, México posee negociaciones paralelas con Canadá, EUA y la Unión Europea; todo lo previamente dicho está afectando positivamente al comercio extranjero en México (SAGARPA 2016).

Según el atlas agroalimentario de SAGARPA (2017), el jitomate tiene un crecimiento nacional de 8.1%; de lo cual el 99.7% del volumen exportado es para EUA. Otra de las principales hortalizas en México y en el mundo es el chile verde, que tiene un crecimiento nacional del 17.9% (SAGARPA, 2017). Por su parte, el cultivo de calabacita incrementó enormemente la superficie de siembra, logrando posicionar a México en séptimo lugar en producción. De éste último, se exporta el 75.5%, del cual, el 95.1% del volumen exportado tiene como destino final a EUA (SAGARPA, 2017). El pepino tuvo un crecimiento de superficie del 5.2% a nivel internacional. México ocupa el noveno puesto en producción según el ranking mundial además es una hortaliza muy importante en la exportación, ya que estas cifras alcanzan cerca del 81% de toda la producción cuyo principal destino es EUA (SAGARPA, 2017).

II.2.3. Producción Nacional

Durante la primera parte del año 2016, el PIB aumentó un 3.1% en todas las actividades primarias y el 2.6% de crecimiento en toda la economía. Si lo dividimos en sectores, el sector agrícola ha crecido un 4%, la explotación y cría de animales un 2.1% y la pesca, caza y captura un 9.8%. De todo el aumento en las actividades primarias, la agricultura participa en un 62.2% del crecimiento según el cuarto informe de labores de la SAGARPA (SAGARPA 2016). En cuanto a producción agrícola, en el 2015 aumentó un 4.7% en 32 estados en comparación con

el año 2012, gracias al aumento de las cosechas de frutales con un 14.4%, agroindustriales 7.9%, hortalizas 11.6% y granos con un 2.3% (SAGARPA 2016). Por cultivo, vale la pena mencionar, el crecimiento en cultivos de arroz palay 32%, trigo 13.3%, maíz 11.9%, esparrago 66.1%, brócoli 34.1%, lechuga 30.3%, cebolla 21%, manzana 100% y caña de azúcar 11.3% (SAGARPA 2016).

Para el año 2016, la producción agrícola aumentó un 3% en comparación del año anterior. En ornamentales, la producción de crisantemo, gladiola y rosas creció un 14.5%. Todos los grupos crecieron a inicios del 2016, menos las leguminosas, la cual disminuyó un 5.5% debido a la disminución de superficie cultivada por una reconversión de cultivos (SAGARPA 2016). En el año 2016, se obtuvieron 1.5 millones de toneladas de granos, principalmente maíz grano y trigo. Del bloque de agroindustriales se obtuvieron 738 mil toneladas extra, casi un 1.3%, gracias a una buena producción de caña de azúcar 1.6%, y una zafra de 57.6 millones de toneladas (SAGARPA 2016). El crecimiento de forrajeros fue de 700 mil toneladas donde podemos destacar a la alfalfa con 323 mil toneladas, un 2.3% más. En frutales, se cosecharon 657 mil toneladas con mayor producción en naranja con 230 mil toneladas, plátano con 77 mil toneladas, papaya con 66 mil toneladas, seguidos por aguacate, mango y limón con 60, 58 y 52 mil toneladas, respectivamente. En hortalizas, se cosecharon 269 mil toneladas adicionales, donde sobresale el jitomate con un 2.1%, el chile verde con 2.3% y el nopal con 2.7% (SAGARPA 2016).

Sin embargo, pese a la gran obtención de productos hortofrutícolas a nivel Nacional e Internacional, al incremento en la superficie de siembra, al incremento en el rendimiento de los cultivos, al crecimiento económico y productivo de diferentes países, la agricultura aún cuenta con diversos problemas los cuales se deben de tomar en cuenta para el continuo incremento de este sector.

II.3. Principales Problemas en la Agricultura

En un principio, los sistemas agrícolas dependían de los recursos internos, la reutilización de materia orgánica, las lluvias y el control biológico. Los rendimientos agrícolas eran pocos, pero estables, con una rotación de cultivos más amplia. La incorporación se lograba

gracias a la rotación de cultivos con legumbres, se cortaba los ciclos de plagas y enfermedades, la relación agricultura y ecología era fuerte, y los problemas ambientales y ecológicos eran rara vez vistos (Altieri, 1995).

Muchos de los problemas actuales son debido al uso excesivo de monocultivos, así como, de productos químicos; tanto fertilizantes como pesticidas. Éstos últimos han perjudicado enormemente al medio ambiente con problemas, tales como: erosiones, pérdida de fertilidad en suelos, salinización y alcalización. A estos problemas se agregan otros más de carácter biológico como el surgimiento de superplagas por los pesticidas, la pérdida de variación genética, así como, la pérdida de las especies silvestres, pérdida de enemigos naturales y destrucción de mecanismos de control naturales (Altieri, 2009). Cultivos como el tomate o la papa son principalmente susceptibles a plagas de 2 a 4 semanas antes de la maduración del fruto (Dodd, 2015). Por lo que, para tratar de evitar estos problemas, cada vez se enfocan más los esfuerzos a tratar de combatirlos y, sobre todo, a la prevención con anticipación mediante diferentes tratamientos desde el inicio de la planeación del cultivo o a nivel precosecha.

II.4. Tratamientos Aplicados en Precosecha

Los tratamientos precosecha, son todas aquellas acciones, ya sea física o química, para proteger o mejorar los frutos antes de la cosecha. A grandes rasgos se pueden mencionar: la aplicación de fertilizantes y biofertilizantes, fitoreguladores, bioestimulantes, entre otros.

II.4.1. Fertilizantes y Biofertilizantes

En general, los cultivos obtienen sus nutrientes por medio del suelo y el aire, pero la gran demanda de alimentos ha provocado que se aumente el crecimiento y la producción de éstos, por lo que los fertilizantes han ayudado a dar una mejor nutrición, así como, administrar un nutriente que puede no estar presente en el suelo (Fao y Ifa, 2002). Por ejemplo, el calcio ha tenido resultados muy positivos en tratamiento pre- y poscosecha, logrando retrasar la maduración y mejorando la calidad en frutos como la fresa (Asrey *et al.*, 2004). Se realizaron estudios en la variedad de fresa 'Chandler' dándole tratamiento de calcio, boro y una mezcla de ambos administrados de manera foliar antes de la cosecha. El estudio demostró que la aplicación

de ambos elementos ayuda a la disminución de trastornos y enfermedades como el moho gris y mejora su calidad comercial (Singh *et al.*, 2007).

Los fertilizantes sintéticos tienen la desventaja de tener poca eficiencia (<50%) y de generar una gran contaminación del agua por medio de compuestos como los nitratos (NO₃). Para contrarrestar estos problemas, se implementó el uso de biofertilizantes con microorganismos que sustituyan parcial o completamente los fertilizantes sintéticos. Los biofertilizantes y su respuesta, dependen de diversos factores, tales como: la especie de planta, los factores climáticos y los microorganismos en el suelo (Bojórquez *et al.*, 2010).

Los microorganismos utilizados en los biofertilizantes se pueden catalogar de 2 maneras:

- 1) el primer grupo son microorganismos capaces de sintetizar sustancias químicas beneficiosas para la planta y que promueven su crecimiento como, por ejemplo: los fijadores de nitrógeno:
- 2) el segundo grupo son microorganismos que ayudan en la defensa y prevención de organismos patógenos. Aunque puede haber microorganismos que se encuentren en ambos grupos (Lucy *et al.*, 2004).

II.4.2. Fitorreguladores

Los fitorreguladores son compuestos hormonales que actúan sobre los genes de las plantas que aumentan o disminuyen factores de crecimiento y desarrollo. Dentro de los fitorreguladores más conocidos están: las auxinas, las giberelinas, las citoquininas, el etileno, el ácido abscísico y, más recientemente, los brasinoesteroides y las poliaminas (Silva Garza, 2001). Existe también un grupo de fitorreguladores no hormonales: el cloromequat y el daminozide (Silva-Garza, 2001). Dentro de las aplicaciones de los fitorreguladores, se ha reportado su uso para mejorar el tiempo de latencia en semillas de palma roja, siendo la palma roja una palmera con gran importancia en la creación de biocombustibles, pero con un gran tiempo de latencia en semillas; lo que dificulta su uso. Otros ejemplos son el ácido giberélico (giberelinas, GAs), el ácido indol-3-butírico (AIB) y la bencilaminopurina (BAP), mostrando buenos efectos en la germinación de la palma, en especial el ácido giberélico, que demostró un porcentaje de germinación de casi el 41% (Oliveira, 2013).

II.4.3. Bioestimulantes

El bioestimulante se define como toda sustancia que tiene un efecto benéfico en la planta, tales como: mejorar la nutrición y eficiencia, acelerar crecimiento, y brindar protección contra factores bióticos y abióticos (du Jardin, 2015). Dentro de este grupo, podemos mencionar a las bacterias promotoras del crecimiento (PGPR, por sus siglas en inglés), los hongos benéficos, los aminoácidos, los extractos de algas, los ácidos húmicos, las oligosacarinas, los antioxidantes, los compuestos fenólicos, entre otros.

II.4.3.1. Bacterias Promotoras de Crecimiento

Las bacterias promotoras de crecimiento son un grupo catalogado de bacterias con efectos positivos en el crecimiento y productividad en las plantas. Éstas se pueden catalogar en 2 grupos (De-Bashan *et al.*, 2007).

- Bacterias promotoras de crecimiento en la planta, donde las bacterias suprimen el efecto de otros microorganismos por medio de distintos mecanismos, desde alterar el metabolismo de los microorganismos o el metabolismo de la planta misma.
- Bacterias promotoras de crecimiento de control biológico, que aumentan el crecimiento de la planta delimitando los fitopatógenos.

II.4.3.2. Hongos Benéficos

Los hongos han tenido una relación compleja con las plantas desde tiempos inmemorables; desde una simbiosis con beneficios mutuos hasta la parasitosis de hongos patógenos para ellas (Behie y Bidochka, 2014). Los hongos micorrízicos son un grupo heterogéneo de hongos que interactúan con la planta en la rizósfera, sus efectos benéficos van desde una mejor asimilación de nutrientes, mejor balance hídrico y protección con estrés abiótico (Bonfante y Genre, 2010; Behie y Bidochka, 2014).

II.4.3.3. Aminoácidos (Compuestos de Nitrógeno)

Los aminoácidos y péptidos se obtienen de reacciones químicas, principalmente reacciones enzimáticas e hidrólisis de proteínas, los cuales se ha demostrado que son benéficos en el crecimiento de la planta (Calvo *et al.*, 2014). Algunos efectos vistos en las plantas, con la

administración de compuestos nitrogenados son: una mejor captura y asimilación de nitrógeno por enzimas involucradas en la asimilación de nitrógeno, diafonía del metabolismo carbono-nitrógeno por medio de reguladores del ciclo TCA (ciclo del ácido tricarbóxico), actividades hormonales por medio de proteínas y compuestos hidrolizados (Colla *et al.*, 2014).

II.4.3.4. Extractos de Algas

El uso de algas como fertilizante en los cultivos se ha aplicado desde la antigüedad, pero solo recientemente se han analizado sus efectos como bioestimulantes y fertilizantes, lo que ha llevado a la industria a comercializar sus compuestos purificados, tales como: polisacarinas laminares, alginatos y carragenanos. Junto a éstos, también constituyen macro- y micronutrientes, esteroides, compuestos de nitrógeno y hormonas que ayudan al crecimiento de la planta (Khan *et al.*, 2009).

II.4.3.5. Ácidos Fúlvicos y Húmicos

Los ácidos fúlvicos y/o húmicos son componentes naturales de la materia orgánica del suelo, ya sea animal, vegetal o microorgánica. Estos componentes presentan complejas relaciones con asociación y disociación con coloides supramoleculares que refleja en la relación de la planta con su raíz y la liberación de protones y exudados. Las sustancias húmicas y los complejos del suelo, resultan en la relación de materia orgánica, microorganismos y raíz de la planta. Aunque inconsistentes, las aplicaciones de ácidos húmicos han mostrado efectos beneficiosos en las plantas (Rose *et al.*, 2014).

II.4.3.6. Oligosacarinas

Las oligosacarinas son partes complejas de carbohidratos ligados a la pared celular, no sólo de plantas, sino también de ciertas bacterias y hongos, las cuales poseen un efecto defensivo en la planta contra patógenos. La cascada de señales y los mecanismos de acción de las oligosacarinas provocan una respuesta genética que promueve la síntesis de efectores moleculares relacionados a la protección de la planta (Enríquez-Guevara, 2010). Estos compuestos se sintetizan por medio de hidrólisis en la pared celular y se sospecha que están relacionadas a varios procesos del crecimiento en la planta, ya que son reconocidas por

diferentes receptores que promueven distintas vías metabólicas e incrementan la resistencia sistemática adquirida; aunque la planta no posea genes derivados de resistencia a ese patógeno (Silipo *et al.*, 2010). Las principales oligosacarinas empleadas en la agricultura son las derivadas de quitosano o de pectina, las cuales no se deben confundir con los polisacáridos.

II.4.3.7. Polisacáridos (Quitosano)

El quitosano es un biopolímero desacetilado de la quitina, utilizado usualmente en la rama cosmética, alimenticia, medicina y últimamente agrícola. El efecto fisiológico del quitosano es su capacidad como compuesto policatiónico de unirse a compuestos celulares como el ADN, así como, compuestos de la membrana y pared celular. Además, son capaces de unirse a receptores específicos responsables de la activación de la defensa en las plantas (Hadwiger, 2013).

III. ESTADO DEL ARTE DEL USO DE BIOESTIMULANTES EN LA AGRICULTURA

III.1. Bioestimulantes en el Desarrollo Vegetal

Los bioestimulantes tienen como objetivo mejorar la nutrición, la resistencia al estrés biótico y abiótico, así como, la mejora de calidad del fruto sin importar el aporte nutricional (du Jardin, 2015). Dentro de estos se catalogan muchísimos compuestos como los antes mencionados. Sin embargo, la búsqueda de compuestos más amigables con el medio ambiente y cada vez más sostenibles, nos hacen poner atención en los compuestos antioxidantes, principalmente de origen fenólico, los cuales pueden emplearse en las plantas sin generar residuos dañinos al ambiente.

III.1.1. Antioxidantes y Compuestos Fenólicos

Los antioxidantes se definen como toda molécula que ayuda a evitar o detener la oxidación de otras moléculas por medio de reacciones hacia las especies reactivas de oxígeno (ERO) (Martínez-Flórez *et al.*, 2002). Dentro de los antioxidantes, se tienen una amplia gama de compuestos, de los cuales podemos mencionar a los fenólicos o polifenoles, que componen un gran número de sustancias químicas que varían en estructura, reacción biológica, propiedades físicas y químicas (Avella *et al.*, 2008).

Los polifenoles se caracterizan en su estructura por tener uno o más anillos aromáticos junto con uno o más grupos hidroxilos (OH), ideales para su actividad antioxidante (Avella *et al.*, 2008). Además, son ligeramente solubles en agua y mucho más ácidos que los alcoholes, lo que les confiere solubilidad en ácido acuoso diluido y, a su vez, permite su separación de otros componentes mediante una extracción bastante sencilla (Silva-Vargas, 2000). Dentro de los compuestos fenólicos podemos destacar a las fitoalexinas, ácido salicílico, floroglucinol y eckol, los cuales han demostrado tener efectos sobre el crecimiento, desarrollo y mecanismos de defensa de las plantas.

III.1.1.1. Fitoalexinas

Las fitoalexinas (protectoras de plantas) son metabolitos secundarios de origen principalmente fenólico (Olivoto *et al.*, 2017). Algunas fitoalexinas conocidas, según la especie vegetal de la que se obtienen son: pisatina, faseolina, maackianina, wyerona, capsidiol, rishitina, lubimina, fituberina, gossipol, pinosilvina, seselina, cumestrol, faseol, afromosina, daidzeína, gliceolina, sojalol, cumestrol, por mencionar algunas (Maestro-Durán *et al.*, 1993). Sin embargo, las más conocidas actualmente son las pertenecientes a los grupos de cumarinas, ligninas, flavonoides (antocianinas, flavonas, flavonoles y isoflavonas), ácidos fenólicos (ácido salicílico), taninos y alcaloides (Olivoto *et al.*, 2017). Éstos compuestos confieren resistencia a las plantas debido a que son compuestos tóxicos de bajo peso molecular, que no se encuentran en los tejidos sanos. Así, éstos se forman cuando la célula o tejido vegetal responde a un ataque por patógeno, generando astringencia (unión con proteínas y mucopolisacáridos) que impide el crecimiento del patógeno y genera sabor desagradable para el depredador (Maestro-Durán *et al.*, 1993; Figura 2).

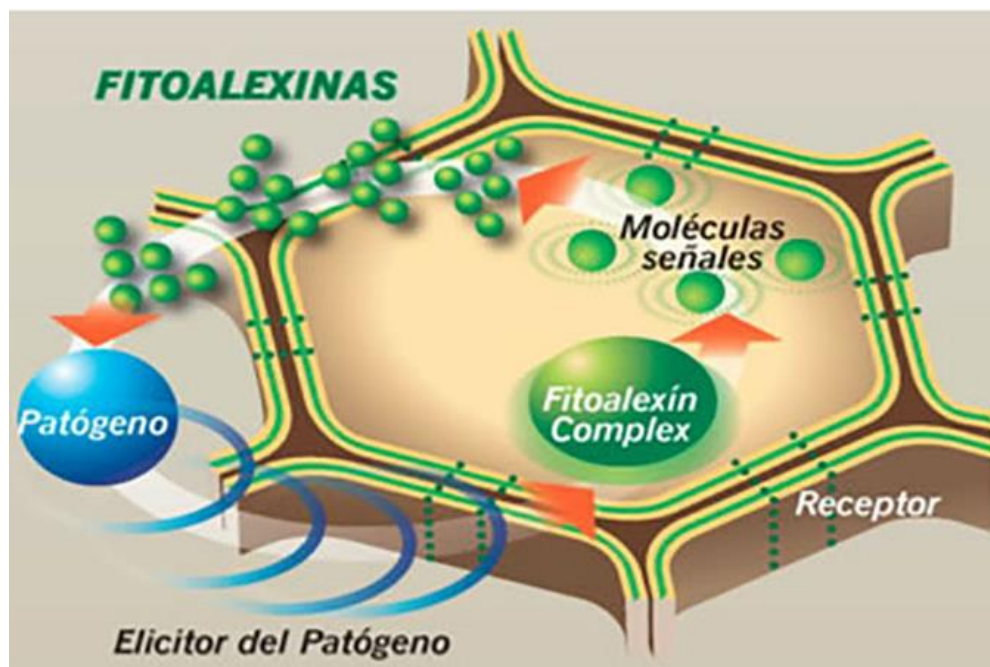


Figura 2. Mecanismo de acción de las fitoalexinas. Imagen obtenida de <http://agricultores.com/las-fitoalexinas-el-mecanismo-de-defensa-natural-de-las-plantas/>

III.1.1.2. Ácido Salicílico

El ácido salicílico (SA, Figura 3) es un compuesto fenólico aplicado en tratamientos precosecha de forma asperjada y en concentraciones de 0.5 a 2.0 mM, el cual ha demostrado un incremento en la calidad visual de los frutos y en el contenido de compuestos nutraceuticos después de su cosecha (Giménez *et al.*, 2015). Por su parte, el salicilato de metilo (SaMe) es un volátil derivado del ácido salicílico que aplicado en precosecha incrementa el contenido antioxidante (enzimático y no enzimático) en cereza y ciruela, disminuyendo la senescencia de los frutos en su vida poscosecha (Giménez *et al.*, 2015; Valverde *et al.*, 2015). Además, ha demostrado una disminución en el daño por frío en frutos de granada (Sayyari *et al.*, 2017).

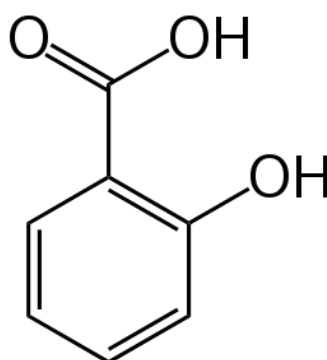


Figura 3. Estructura química del ácido salicílico.

III.1.1.3. Floroglucinol y Eckol.

Tanto el floroglucinol y el eckol (Figura 4), son dos bioestimulantes naturales aislados de la especie de alga parda *Ecklonia máxima*, los cuales han demostrado efectos positivos en plántula de maíz, mejorando su crecimiento en brotes y raíces, así como, una actividad en la α -amilasa en la raíz. Ambos compuestos, tanto el eckol como el floroglucinol, han mostrado efectos parecidos a las auxinas en plántula de frijol mungo y maíz (Rengasamy *et al.*, 2015). También, se ha demostrado que el floroglucinol mejora el crecimiento de los brotes axilares, así como, mejora la supervivencia de los meristemos en cultivos *in vitro* (Benson y Bremner 2004).

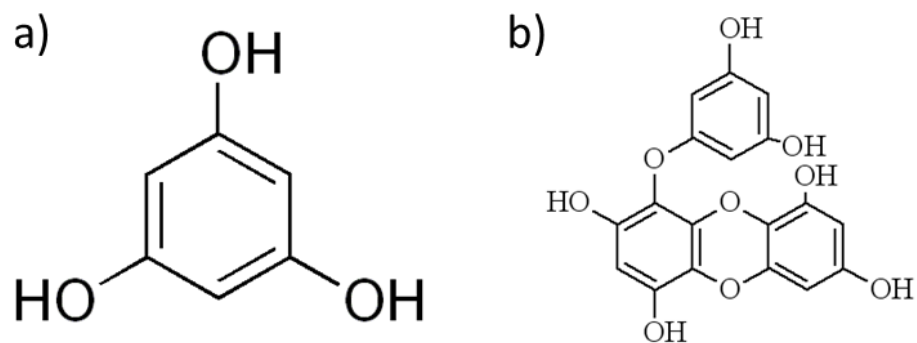


Figura 4. Estructura química de los compuestos a) floroglucinol y b) *Eckol*. Imágenes obtenidas de Benson y Bremner (2004).

A manera de resumen se pueden observar los diferentes estimulantes de origen fenólico y sus acciones en la siguiente tabla (Tabla 1):

Tabla 1. Bioestimulantes de origen fenólico y su efecto en las plantas.

Bioestimulante	Acción	Referencia
Fitoalexinas	Resistencia.	Olivoto <i>et al.</i> , 2017.
Ácido Salicílico	Antioxidante.	Sayyari <i>et al.</i> , 2017.
Floroglucinol y Eckol	Mejora el crecimiento y desarrollo.	Benson y Bremner, 2004.

IV. HIPÓTESIS

Mediante este caso de estudio se analizará si el ácido elágico representa una alternativa como bioestimulante y/o *elicitor* aplicado durante el desarrollo de plantas de interés económico, debido a que se aportará información sobre los posibles efectos y beneficios que éste podría generar basado en la literatura. Por lo que, partiremos de la hipótesis de que el ácido elágico presentará efectos positivos en el desarrollo y el crecimiento de las plantas al ser aplicadas de forma exógena (por aspersion vía foliar), ya que presentará actividad biológica como estimulante.

V. OBJETIVOS

V.1. Objetivo General

Evaluar mediante un caso de estudio si el ácido elágico aplicado de manera exógena durante el desarrollo de las plantas, genera un efecto estimulante y/o *elicitador* sobre el desarrollo de los cultivos, a fin de incrementar la productividad del campo nacional.

V.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar mediante los antecedentes en la literatura los posibles resultados y efectos de la aplicación de tratamientos precosecha basados en ácido elágico exógeno.
- b) Establecer los beneficios y las respuestas del ácido elágico sobre el desarrollo y el crecimiento de las plantas.
- c) Identificar las posibles rutas o mecanismos que puede generar la aplicación exógena del ácido elágico que permitan incrementar el rendimiento de productos hortofrutícolas y aumentar su resistencia a plagas.

VI. JUSTIFICACIÓN

El uso de bioestimulantes de origen natural ha incrementado durante los últimos años. Así, cada vez más empresas buscan nuevos compuestos que permitan un mayor rendimiento y producción de alimentos de origen vegetal, y más aún si tienen el “*plus*” de incrementar el contenido nutracéutico de esos productos poscosecha. A nivel regional, podemos nombrar empresas como Arysta y BioCampo, mientras que a nivel internacional existen empresas como Acadian Plant Health, Agrinos, Cytozyme, Valagro, Agricen, DeltAg, Bayer, Biostat, Biolchim, Humic, Asfertglobal, Agrauxina, Arkop, por mencionar algunas. Por lo que, se tiene potencial en el campo del uso de ácido elágico como bioestimulante y/o *elicitor*, ya que no existen reportes sobre esto. Por tanto, se puede generar información científica relevante y de alto impacto del efecto que tiene el ácido elágico en el crecimiento de plantas durante el desarrollo de cultivos económicamente importantes.

VII. ÁREAS DE OPORTUNIDAD

VII.1. Acciones o Señales que Puede Generar el Ácido Elágico en las Plantas

VII.1.1. Efecto Antioxidante

El ácido elágico (Figura 5) es un antioxidante natural cuya estructura química compone cuatro grupos hidroxilo y dos grupos lactona. Al tener más de dos grupos hidroxilo, se le cataloga como polifenol. Además, gracias a sus grupos fenoles presenta capacidad antioxidante (Williams *et al.*, 2014), lo que le brinda propiedades estructurales al ácido elágico, ideales para contrarrestar el estrés oxidativo en las células.

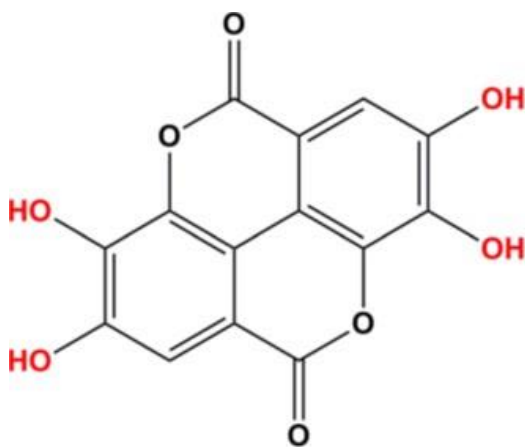


Figura 5. Estructura del ácido elágico. Imagen obtenida de Williams *et al.*, (2014).

El estrés oxidativo es una condición de una célula o un grupo de células con niveles de oxígeno más altos de lo normal que altera el funcionamiento de las células y está relacionado a problemas metabólicos (Pisoschi y Pop, 2015). Se ha determinado que el mecanismo que usa el ácido elágico para evitar el estrés oxidativo en células animales, es mediante la activación de enzimas específicas y el suprimir genes relacionados con la inflamación y cambios bioquímicos de las células (Zeb, 2018; Figura 6). Sin embargo, el ácido elágico también puede ser un fuerte antioxidante para las células vegetales.

Las células poseen mecanismos para protegerse de los ERO y así evitar el estrés oxidativo, dichos mecanismos son muy coordinados y poseen una alta selectividad. Pueden dividirse en sistema antioxidante enzimático y sistema antioxidante no enzimáticos. El sistema

antioxidante enzimático está integrado por tres enzimas que trabajan juntas desactivando ERO, que son superóxido dismutasa, catalasa y peroxidasas. El sistema antioxidante no enzimático se compone de sustancias de bajo peso molecular que en presencia de compuestos oxidables se oxidan antes que ellos inhibiendo, retrasando o previniendo su oxidación. Dentro de las sustancias de este mecanismo podemos nombrar al ácido ascórbico, α -tocoferol (vitamina E), glutatión y β -carotenos (Scandalios, 2005).

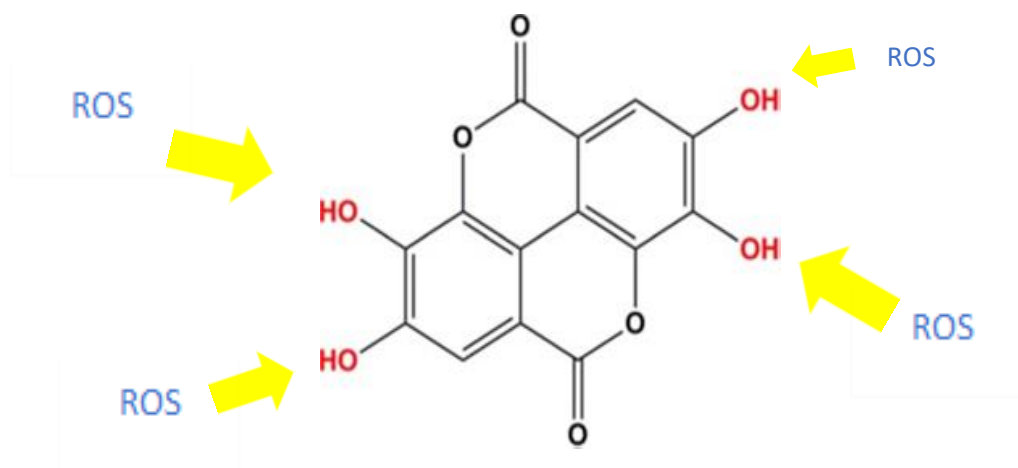


Figura 6. Diagrama del mecanismo de acción antioxidante de los grupos hidroxilos del ácido elágico atrayendo especies reactivas de oxígeno (ERO).

El ácido ascórbico (AA) es el antioxidante no enzimático más importante en plantas, ya que participa en la defensa contra el estrés oxidativo, biótico y abiótico, por su función en la degradación del H_2O_2 vía el ciclo glutatión-ascorbato (Smirnoff, 1996). Por lo que, de forma similar al ácido ascórbico, se esperaría que el ácido elágico intervenga en la defensa de la planta contra el estrés oxidativo generado por diversos factores bióticos y abióticos, ya que el ácido elágico presenta una gran capacidad antioxidante (Figuras 6 y 7). Adicionalmente, el AA está presente en muchos procesos fisiológicos de las plantas, tales como: fotosíntesis, cofactor enzimático, precursor de diversas rutas y desarrollo de la división celular (Mora-Herrera, 2011). Hasta el momento, no se ha investigado si el ácido elágico interviene en algunas vías o procesos metabólicos, principalmente se le atribuye cierta protección a las plantas por su acción biocida. Pero, las acciones de la molécula y sus propiedades podrían generar estímulos a las plantas, ya

que un incremento en el contenido de compuestos fenólicos se da principalmente como respuesta al estrés por la presencia de microorganismos o como defensa antes estrés por radiación ultravioleta, entre otros.

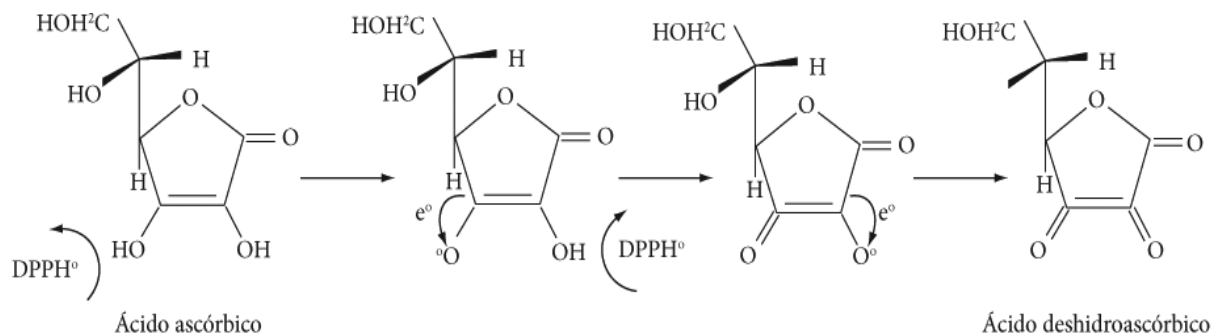


Figura 7. Mecanismo de acción del ácido ascórbico frente al DPPH demostrando su capacidad de antioxidante (Villanueva *et al.*, 2010).

Al observar el mecanismo de acción del ácido ascórbico podemos observar una ruta de antioxidante similar a la del ácido elágico debido a que ambos compuestos poseen un grupo fenol idóneo para atraer y detener las ERO y así evitar el estrés oxidativo.

Por otro lado, se ha demostrado el beneficio del metil jasmonato como antioxidante en las plantas, aunque su aplicación se ha centrado a nivel poscosecha para mejorar la calidad en frutos y resistencia a estrés abiótico. Hay estudios de precosecha en ciruela de variedad 'Royal Rosa' y 'Black Splendor', con concentraciones de metil jasmonato de 0.5, 1.0 y 2.0 mM, dando como resultado un aumento de polifenoles en fruto, junto con la actividad de enzimas antioxidantes como la catalasa y la peroxidasa, demostrando un retraso en la maduración de los frutos y prolongando así su vida útil (Martínez-Esplá, *et al.*, 2014).

VII.1.2. Efecto como Fitorregulador o Estimulante del Crecimiento

La mayoría de los bioestimulantes tienen acciones similares a los fitorreguladores o fitohormonas. En particular, los bioestimulantes como las oligosacarinas presentan principalmente una acción auxínica en sus mecanismos de respuesta, cuando son aplicadas en

las plantas de manera exógena (Nieves *et al.*, 2006). Por lo que, se espera que el ácido elálgico tenga acciones similares a los fitorreguladores, en particular como auxinas.

Las auxinas son consideradas las primeras fitohormonas descubiertas y las más estudiadas relacionadas ampliamente en el desarrollo y el crecimiento vegetativo, principalmente en la elongación del coleóptilo. Las auxinas están presentes en las plantas en forma de ácido indol acético (IAA). El ápice del tallo es la parte de la planta predilecta para las auxinas y se distribuye por toda la planta por medio de células parenquimáticas asociadas al tejido vascular. Dentro de los efectos fisiológicos de las auxinas están presentes el crecimiento y el desarrollo vegetativo, el crecimiento de raíz, el crecimiento de tallo y el aumento de la germinación (Jordán *et al.*, 2006). Su posible mecanismo de acción se encuentra en la Figura 8, en donde las auxinas estimulan diferentes genes que inducen la división y elongación celular.

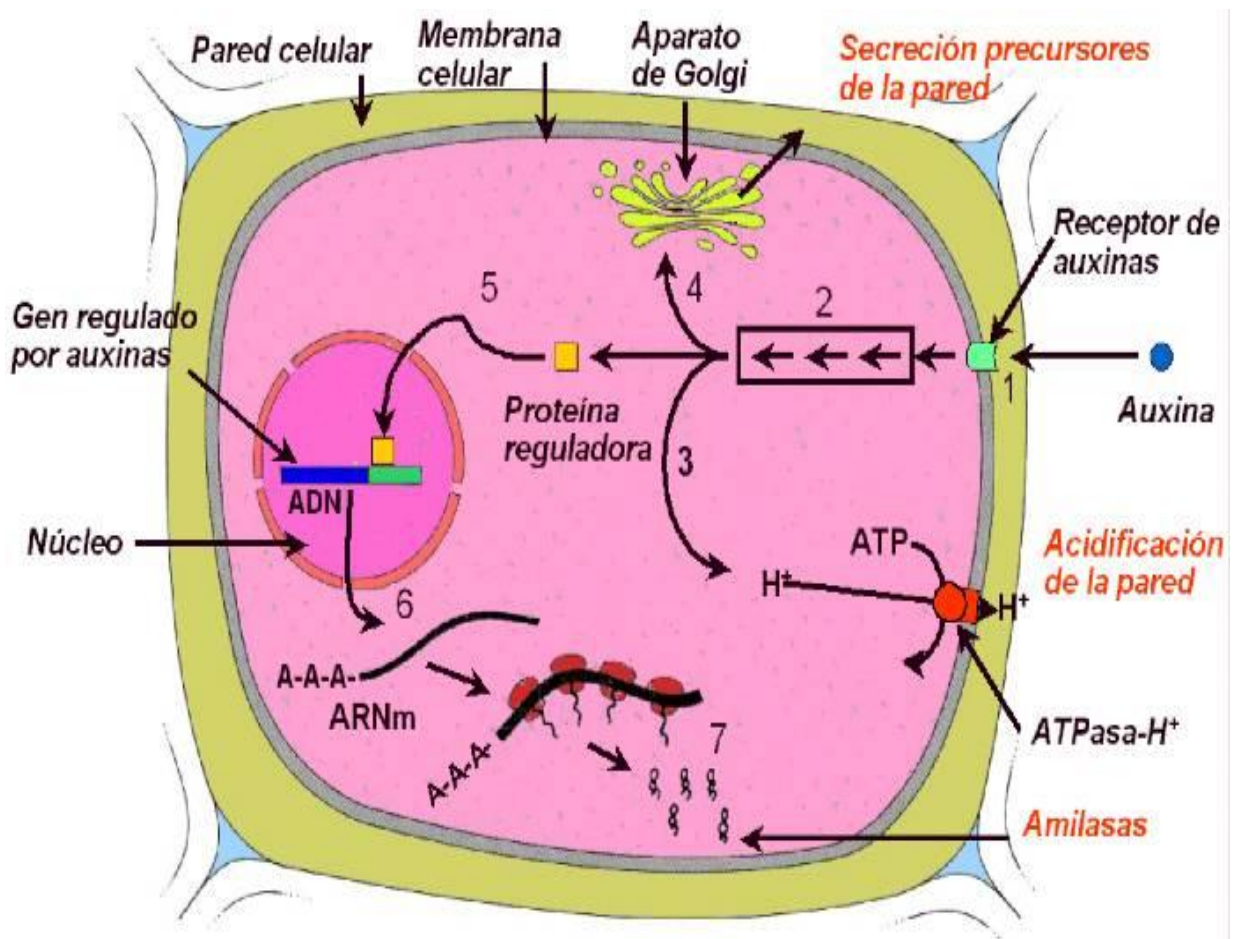


Figura 8. Posible ruta de acción de las auxinas para expresar genes de crecimiento. Imagen modificada de Taiz y Zieger, (1998).

Junto con las auxinas se tienen a las giberelinas (GA_3), fitohormonas de crecimiento diterpenoides tetracíclicas involucradas en varios procesos de desarrollo vegetativo. El principal efecto fisiológico de la giberelina es un aumento en la altura, ya que se ha demostrado que las plantas “enanás” poseen escasa giberelina. También generan floración y promueven el desarrollo de muchos frutos, inducen partenocarpia y tienen una aplicación especial en la producción de uvas “sin semilla” (Kato *et al.*, 2000). Así, tenemos que, en caso de que el ácido elálgico pueda tener acciones como fitorreguladores, esperaríamos que las plantas respondan incrementando la división celular (acción auxínica) y un aumento y/o elongación de la célula (crecimiento celular), repercutiendo en el crecimiento de las plantas y aumentando su biomasa. Además, de que estimulen una mayor floración y cuajado de los frutos, lo que incrementará el rendimiento y producción de las plantas.

Por último, dentro de los fitorreguladores también tenemos a las citoquininas, hormonas de crecimiento relacionadas con la división y diferenciación celular, las cuales, junto con las auxinas, promueven la acumulación de ciclinas y, por lo tanto, el inicio de un nuevo ciclo celular (Smith y Atkins, 2002). Por lo que se esperaría que el ácido elálgico induzca la división celular y, por tanto, un crecimiento mayor de las plantas.

Por otro lado, se ha demostrado el papel que juega el jasmonato como fitohormona de crecimiento y desarrollo, logrando obtener resultados referentes al crecimiento de la raíz primaria, el desarrollo reproductivo y la senescencia de hojas (Huang *et al.*, 2017). El ácido elálgico podría tener acciones similares al jasmonato, lo que nos podría ayudar a definir que una de las posibles respuestas de las plantas a la aplicación del ácido elálgico exógeno estaría relacionada con el crecimiento y el desarrollo reproductivo de las plantas.

Similar a los ácidos fúlvicos/húmicos, que han presentado efectos positivos en el crecimiento de la planta, los ácidos actúan en base a una mejor asimilación de nutrientes presentes en el suelo, principalmente elementos en estado “no disponible” para la planta (Chen *et al.*, 2004). Así, adicionalmente a la hipótesis de que el ácido elálgico pueda estar involucrado en efectos como las auxinas y las citoquininas, también podemos hipotetizar que el ácido elálgico

presentaría acciones similares los ácidos fúlvicos por las características químicas similares. Lo que nos daría como resultado que el ácido elágico incremente efectos positivos en el crecimiento de las plantas.

El posible mecanismo de acción del ácido elágico estaría más ligado al de las citoquininas por medio de promotores a la división celular y la diferenciación, lo cual daría a la planta un aumento del crecimiento foliar y la formación de nuevos brotes. Por lo que se propuso el siguiente modelo del efecto del ácido elágico en las plantas (Figura 9).

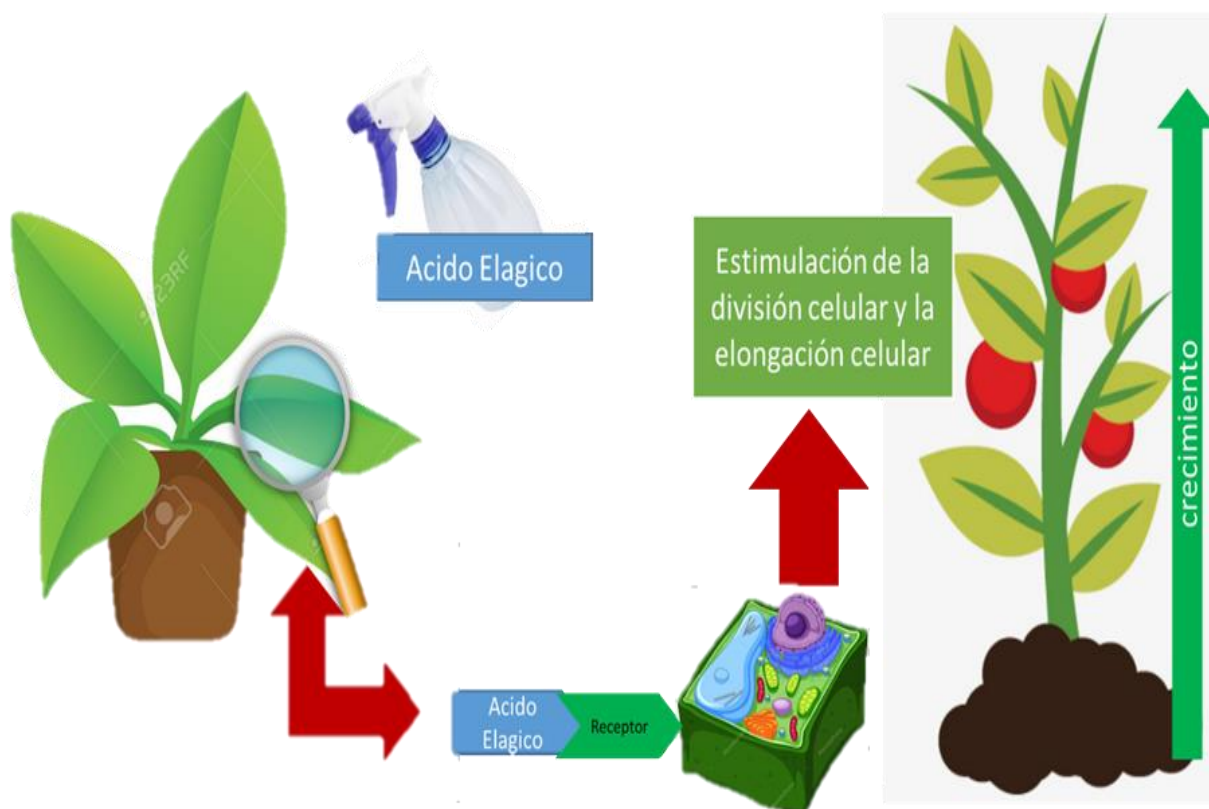


Figura 9. Diagrama propuesto para el efecto del ácido elágico aplicado de forma exógena.
Imagen propia.

VII.2. Otros Mecanismos de Acción del Ácido Elágico.

VII.2.1. Efecto sobre el Mecanismo de Respuesta/Defensa de la Planta (*Elicitor*)

Se ha observado relación entre los *elicitors* y el contenido fenólico de las plantas, por ejemplo: aplicaciones de metil jasmonato a plantas de alcachofa mejoraron considerablemente

la calidad de la misma, así como, un aumento en el contenido de fenoles. En esa investigación se concluyó que, el uso del metil jasmonato (*elicitor*) aumenta el rendimiento y la calidad de la alcachofa junto con el contenido fenólico y la actividad antioxidante (Martínez-Esplá *et al.*, 2017). Los *elicitores* se han usado desde siempre para mejorar la respuesta defensiva de la planta, activando mecanismos de defensa; siendo uno de ellos el aumento de polifenoles en las frutas. Además, muchos polifenoles y bioestimulantes ayudan en contra del estrés abiótico como las fitoalexinas y las oligosacarinas (Ruiz-García *et al.*, 2013).

El mecanismo de acción del jasmonato se esquematiza en la Figura 10, donde el ataque de patógenos induce una cascada de señalizaciones en las plantas, iniciando por la liberación de hormonas que pasan por el floema a otros tejidos, después la hormona señal activa receptores de la membrana plasmática para dar la señalización de la síntesis de ácido jasmónico, cuya función es activar los genes de transcripción para la defensa de la planta.

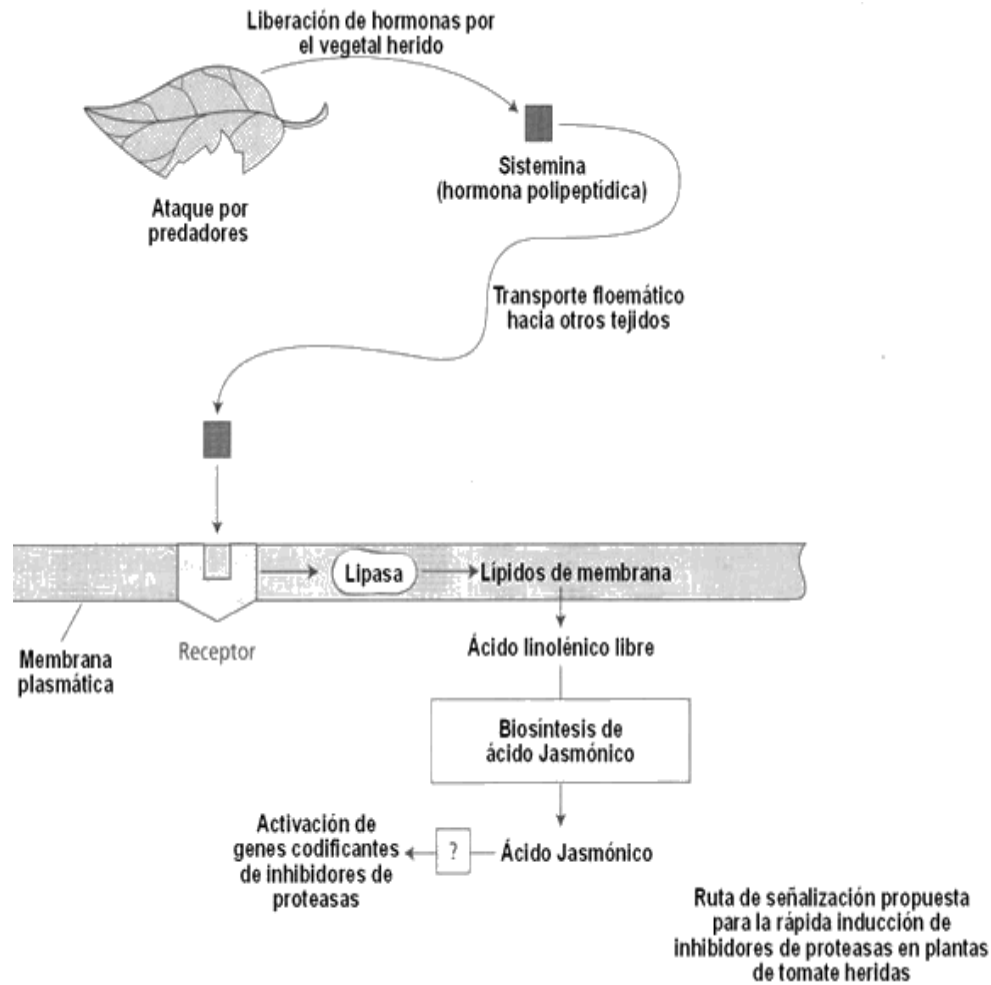


Figura 10. Mecanismo de acción de defensa del jasmonato. Imagen obtenida de <https://cienciadelatierra.wordpress.com/2010/04/07/defensas-en-vegetales/>

La relación entre el *elicitor* y el contenido de fenoles es muy estrecha, por lo que podemos deducir que el ácido elágico, por ser un polifenol presente en altas cantidades en las frutas, principalmente en la fresa, puede llegar a tener relación con la actividad del *elicitor* o el mismo tener esa propiedad.

El efecto del ácido elágico en las plantas puede tener un mecanismo parecido al del ácido salicílico, el cual ayuda en la defensa de la planta activando mecanismos de defensa por medio de la biosíntesis de la fenilalanina amonioliasa (PAL), que le da a la planta una resistencia sistemática adquirida (RSA), que se basa en inducción de una segunda ruta metabólica y la síntesis de compuestos fenólicos como respuesta a un ataque por patógenos (Ruiz-García *et al.*,

2013). Junto con el ácido salicílico, también se ha utilizado al metil jasmonato que, dentro de su mecanismo de acción, provoca la síntesis de compuestos fenólicos. Su mecanismo no se entiende claramente, pero induce la activación de genes relacionados con la patogénesis y además aumenta la resistencia al frío en plantas de tomate, principalmente (Ding *et al.*, 2002).

El ácido elágico, al tener una composición fenólica, se intuye que puede tener efectos parecidos al ácido salicílico en mecanismos de respuesta y defensa en la planta, esto se refuerza por la síntesis de compuestos fenólicos surgidos cuando actúa tanto el ácido salicílico como el metil jasmonato en la respuesta y defensa de la planta contra patógenos (Figura 11).

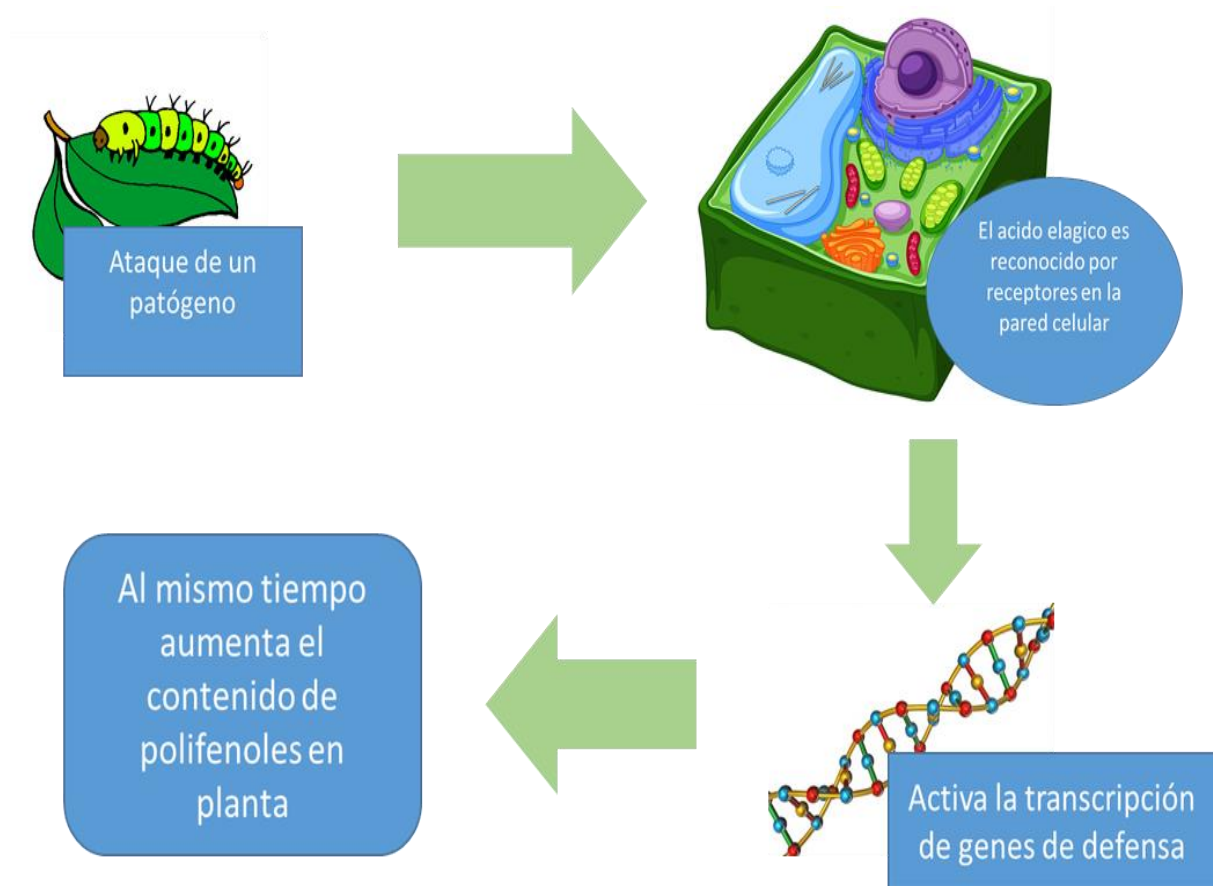


Figura 11. Posible mecanismo de respuesta/defensa del ácido elágico. Imagen propia.

VII.3. Posibles Resultados de la Aplicación del Ácido Elágico.

Los posibles resultados de la aplicación del ácido elágico pueden ser varios, en donde se puede mencionar su efecto en contra del estrés oxidativo gracias a su gran capacidad

antioxidante (Williams *et al.*, 2014), un efecto fitorregulador y aumento de crecimiento debido a su parecido con el ácido salicílico (Ruiz-García *et al.*, 2013) y efecto *elicitor* en los mecanismos de respuesta/defensa de la planta por la síntesis de fenoles.

Por lo que, el ácido elágico es un bioestimulante que en la literatura solo se ha resaltado su gran capacidad antioxidante gracias a sus grupos OH idóneos para capturar ERO. Debido a sus acciones similares a las de otros compuestos podemos intuir y relacionar varias funciones que al ácido elágico aún no se le han comprobado, tales como:

- Fitorregulador: gracias a su parentesco con el ácido salicílico y el papel de los fenoles en el crecimiento de las plantas.
- Crecimiento y desarrollo: gracias a su parentesco fenólico con los ácidos húmicos y fúlvicos.
- *Elicitor*: por la relación de la síntesis de fenoles y el mecanismo de acción de *elicitores* como el metil jasmonato y el ácido salicílico.
- Respuesta y defensa de la planta: relación de las reacciones de síntesis de fenoles y defensa a patógenos, visto desde las acciones similares al ácido salicílico.

Así mismo, se espera que la aplicación foliar del ácido elágico en etapas de desarrollo ayude en el crecimiento y el desarrollo de la planta por medio de rutas metabólicas parecidas a las de las citoquininas y auxinas que inducen un aumento en la división y diferenciación celular, así como, en el crecimiento y el desarrollo del tallo y, por lo tanto, aumento de biomasa (Figura 12).

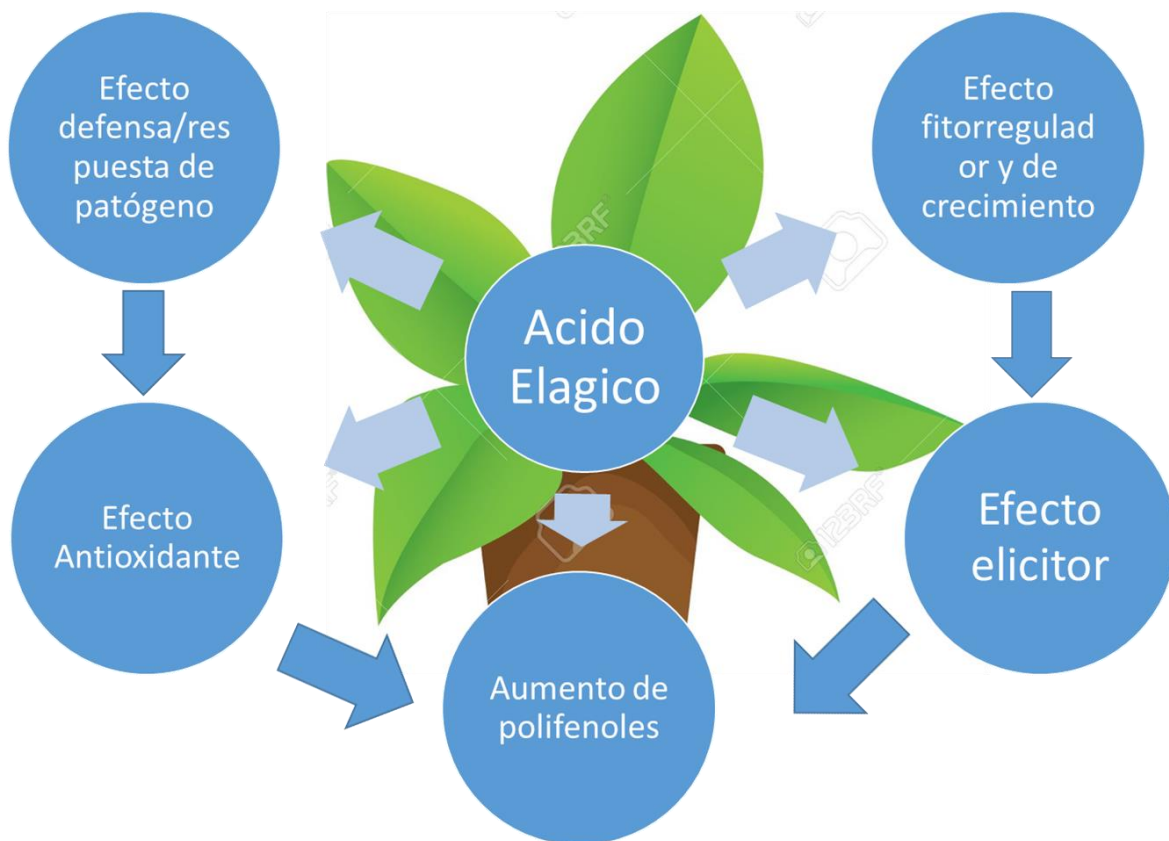


Figura 12. Mecanismo de acción propuesto para el efecto del ácido elágico aplicado de forma exógena. Imagen propia.

Adicionalmente a todo lo anterior, el ácido elágico ha tenido un gran impacto en el área farmacéutica gracias a sus propiedades antioxidantes, antihepatotóxicas, antihepatocarcinogénicas, antifibróticas y antivirales (García-Niño *et al.*, 2015). Así mismo, el ácido elágico inhibe el crecimiento de células hepáticas estrelladas y mastocitos, la apoptosis, la regulación negativa de genes en el ciclo celular y la angiogénesis, detiene la replicación viral y aumenta la respuesta antioxidante en células animales (García-Niño *et al.*, 2015). Estas características junto con la capacidad antimicrobiana propia de los polifenoles (Roy *et al.*, 2018), le da al ácido elágico un valor agregado, ya que aumenta el contenido de fenoles dentro de la planta y sus frutos, los cuales tendrían un efecto benéfico no solo en las plantas si no en las personas que las consumen.

VIII. CONCLUSIONES

El ácido elágico aplicado de forma asperjada vía foliar durante ciertas etapas de crecimiento, puede ayudar a mejorar el crecimiento y el desarrollo en las plantas, como se ha visto por medio de la literatura, ya que presenta una respuesta biológica positiva como estimulante en el crecimiento y el desarrollo por medio de la estimulación de la división y diferenciación celular, teniendo como extra su capacidad antioxidante y su ayuda en los mecanismos de respuesta a patógenos con efecto *elicitor*.

IX. REFERENCIAS

- Acevedo E., Violic A. y Silva P. (1999). La agricultura del siglo XX y sus desafíos al comenzar el nuevo milenio: el caso de Chile. *Simiente*, 69(3-4), 1-20.
- Altieri M.Á. y Nicholls CI. (2012). Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología*, 7(2), 65-83.
- Altieri M. (2009). La agricultura moderna: impactos ecológicos y la posibilidad de una verdadera agricultura sustentable. University of California, Berkeley, *Department of Environmental Science, Policy and Management*. Berkeley, CA, USA.
- Ascacio-Valdés J.A., Aguilera-Carbó A., Rodríguez-Herrera R. y Aguilar-González C. (2013). Análisis de ácido elágico en algunas plantas del semidesierto Mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 44(2), 36-40.
- Asrey R., Jain R.K. y Singh R. (2004). Effect of pre-harvest chemical treatments on shelf life of 'Chandler' strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 74(9), 485-487.
- Avella D.M.G., García C.A.O. y Cisneros A.M. (2008). Medición de fenoles y actividad antioxidante en malezas usadas para alimentación animal. In *Memorias del Simposio de Metrología*. Universidad Autónoma de Querétaro. Centro Nacional de Querétaro.
- Bakshi P., Wali V.K., Iqbal M., Jasrotia A., Kour K., Ahmed R. y Bakshi M. (2015). Sustainable fruit production by soil moisture conservation with different mulches: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 10(52), 4718-4729.
- Bhattacharjee R. y Dey U. (2014). Biofertilizer, a way towards organic agriculture: A review. *African Journal of Microbiology Research*, 8(24), 2332-2343.
- Behie S.W. y Bidochka M.J. (2014). Nutrient transfer in plant-fungal symbioses. *Trends Plant Science*. 19, 734-740.
- Benson E.E. y Bremner D. (2004) Oxidative stress in the frozen plant: a free radical point of view. In: Fuller BJ, Lane N, Benson EE (eds) *Life in the frozen state*. CRC Press, Boca Raton, pp. 205-241.
- Bojórquez A.D.A., Gutiérrez C.G., Báez J.R.C., Sánchez M.Á.A., Montoya L.G. y Pérez E.N. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai: Revista Científica de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sostenible*, 6(1), 51-56
- Bonfante P. y Genre A. (2010). Interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature Communications* 1, 1-11.

- Calvo P., Nelson L. y Kloepper J.W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*. 383, 3-41.
- Chen Y., Clapp C.E. y Magen H. (2004). Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complexes. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(7), 1089-1095.
- Colla G., Roupheal Y., Di Mattia E., El-Nakhel C. y Cardarelli M. (2015). Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as abiostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 95, 1706-1715.
- Cruz-Delgado D., Leos-Rodríguez J.A. y Altamirano-Cárdenas J.R. (2013). México: factores explicativos de la producción de frutas y hortalizas ante la apertura comercial. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 19(3), 267-278.
- da Câmara Machado A., Knapp E., Pühringer H., Seifert G., Hanzer V., Weiss H. y Laimer da Câmara Machado M. (1994). Gene transfer methods for the pathogen-mediated resistance breeding in fruit trees. *Genetic Improvement of Horticultural Crops by Biotechnology* 392, 193-202.
- Deng L., Zhou Y. y Zeng, K. (2015). Pre-harvest spray of oligochitosan induced the resistance of harvested navel oranges to anthracnose during ambient temperature storage. *Crop Protection*, 70, 70-76.
- De-Bashan L.E., Holguin G., Glick B.R. y Bashan Y. (2007). Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos agrícolas y ambientales. Microbiología agrícola. Hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico, planta-microorganismo. México: Editorial Trillas, 170-224
- Ding C.K., Wang C., Gross K.C. y Smith D.L. (2002). Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related-protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit. *Planta*, 214(6), 895-901
- Dodd J.I. (2015). *U.S. Patent Application No. 14/387,223*.
- Domingo A.M.S. (2009). La agricultura y su evolución a la agroecología. *Obra propia*
- du Jardin P. (2015). Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14.
- Enríquez-Guevara E.A., Aispuro-Hernández E., Vargas-Arispuro I. y Martínez-Téllez M.Á. (2010). Oligosacarinas derivadas de pared celular: Actividad biológica y participación en la respuesta de defensa de plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 28(2), 144-155.

- FAO e IFA (2002). Los fertilizantes y su uso. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes*.
- FAO (2015). Obtenido de <http://www.fao.org/investment-in-agriculture/es/>
- Feliziani E., Landi L. y Romanazzi G. (2015). Preharvest treatments with chitosan and other alternatives to conventional fungicides to control postharvest decay of strawberry. *Carbohydrate Polymers*, 132, 111-117.
- Fillatti J.J., Kiser J., Rose R. y Comai L. (1987). Efficient transfer of a glyphosate tolerance gene into tomato using a binary *Agrobacterium tumefaciens* vector. *Nature Biotechnology*, 5(7), 726.
- García-Niño W.R. y Zazueta C. (2015). Ellagic acid: pharmacological activities and molecular mechanisms involved in liver protection. *Pharmacological Research*, 97, 84-103.
- García-Olmedo F. (1998). La Tercera Revolución Verde. Plantas con luz propia. *Editorial Debate, S.A. Madrid, España*. 209p.
- Giménez M.J., Valverde J.M., Valero D., Díaz-Mula H.M., Zapata P.J., Serrano M. y Castillo, S. (2015). Methyl salicylate treatments of sweet cherry trees improve fruit quality at harvest and during storage. *Scientia Horticulturae*, 197, 665-673.
- Goffnett A.M., Sprague C.L., Mendoza F. y Cichy K.A. (2016). Preharvest herbicide treatments affect black bean desiccation, yield, and canned bean color. *Crop Science*, 56(4), 1962-1969.
- Hadwiger L.A. (2013). Multiple effects of chitosan on plant systems: Solid science or hype. *Plant Science*. 208, 42-49.
- Hamilton A.J., Lycett G.W. y Grierson, D. (1990). Antisense gene that inhibits synthesis of the hormone ethylene in transgenic plants. *Nature*, 346(6281), 284.
- Huang H., Liu B., Liu L. y Song S. (2017). Jasmonate action in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*, 68(6), 1349-1359.
- Jordán M. y Casaretto J. (2006). Hormonas y reguladores del crecimiento: auxinas, giberelinas y citocininas. *Squeo, F, A., & Cardemil, L.(eds.). Fisiología Vegetal*, 1-28.
- Karakas B., Ozias-Akins P., Stushnoff C., Suefferheld M. y Rieger M. (1997). Salinity and drought tolerance of mannitol-accumulating transgenic tobacco. *Plant, Cell & Environment*, 20(5), 609-616.
- Khan W., Rayirath U.P., Subramanian S., Jithesh M.N., Rayorath P., Hodges, D.M. Critchley A.T., Craigie J.S., Norrie J. y Prithiviraj B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*. 28, 386-399.

- Kim H., Yun J. y Kwon S.M. (2016). Therapeutic strategies for oxidative stress-related cardiovascular diseases: removal of excess reactive oxygen species in adult stem cells. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2016:2483163.
- Lucy M., Reed, E. y Glick, B.R. (2004). Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van leeuwenhoek*, 86(1), 1-25.
- Maestro-Durán R., León R. y Ruiz-Gutiérrez V. (1993). Los compuestos fenólicos en la autodefensa de los vegetales. *Grasas y Aceites de Sevilla*, 44, 365-369.
- Martínez-Esplá A., Valero D., Martínez-Romero D., Castillo S., Giménez M.J., García-Pastor M.E. y Zapata P.J. (2017). Preharvest application of methyl jasmonate as an elicitor improves the yield and phenolic content of artichoke. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(42), 9247-9254.
- Martínez-Flórez S., González-Gallego J., Culebras J.M. y Tuñón M. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición hospitalaria*, 17(6), 271-278.
- Meng X., Li B., Liu J. y Tian S. (2008). Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. *Food Chemistry*, 106(2), 501-508.
- Mora-Herrera M.E., Peralta-Velázquez J., López-Delgado H.A., García-Velasco R. y González-Díaz J.G. (2011). Efecto del ácido ascórbico sobre crecimiento, pigmentos fotosintéticos y actividad peroxidasa en plantas de crisantemo. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(SPE2), 73-81
- Moreno-Escamilla J.O., Álvarez-Parrilla E., Laura A., Núñez-Gastélum J.A., González-Aguilar G.A. y Rodrigo-García J. (2018). Effect of elicitors in the nutritional and sensorial quality of fruits and vegetables. En: Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality Siddiqui M.W. (Eds). Elsevier, San Diego, EUA. pp. 71-91.
- Nieves N., Poblete A., Cid M., Lezcano Y., González-Olmedo J. y Cabrera, J. (2006). Evaluación del Pectimorf como complemento del 2, 4-D en el proceso de la embriogénesis somática de caña de azúcar (*Saccharum spp*). *Cultivos Tropicales*. 27(1): 25-30.
- Oliveira T.G.S., Rodríguez-Junior A.G., Souza P.P.D. y Ribeiro L.M. (2013). Use of phyto regulators in overcoming macaw palm seed dormancy. *Acta Scientiarum Agronomy*, 35(4), 505-511.
- Olivoto T., Nardino M., Carvalho I.R., Follmann D.N., Szareski V.I.J., Ferrari M. y de Souza V.Q. (2017). Plant secondary metabolites and its dynamical systems of induction in response to environmental factors: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 12(2), 71-84.

- Pilon-Smits E.A., Ebskamp M.J., Paul M.J., Jeuken M.J., Weisbeek P.J. y Smeekens S.C. (1995). Improved performance of transgenic fructan-accumulating tobacco under drought stress. *Plant Physiology*, 107(1), 125-130.
- Pisoschi A.M. y Pop A. (2015) The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry* 97:55-74.
- Rengasamy K.R., Kulkarni M.G., Stirk W.A. y Van Staden J. (2015). Eckol a new plant growth stimulant from the brown seaweed *Ecklonia maxima*. *Journal of Applied Phycology*, 27(1), 581-587.
- Robledo-Arratia L. (2015). La historia de la agricultura y los cultivos transgénicos. *Cienciorama*. 1-11.
- Rose M.T., Patti A.F., Little K.R., Brown A.L., Jackson W.R. y Cavagnaro T.R. (2014). Ameta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. In: Sparks, D.S. (Ed.), *Advances in Agronomy*, Vol. 124, pp. 37-89.
- Roy S., Nuckles E. y Archbold D.D. (2018). Effects of phenolic compounds on growth of *Colletotrichum* spp. *in vitro*. *Current Microbiology*, 1-7.
- Ruiz-García Y. y Gómez-Plaza, E. (2013). Elicitors: a tool for improving fruit phenolic content. *Agriculture*, 3(1), 33-52.
- Saborio F. (2002). Bioestimulantes en fertilización foliar. En; Meléndez, G. y Molina, E. (Eds.). Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Laboratorio de suelos y foliares. Universidad de Costa Rica. Costa Rica, 107 p.
- SAGARPA (2016). Cuarto informe de labores 2015-2016. https://www.sagarpa.gob.mx/Transparencia/POT_2016/Informe/CuartoInformeDeLabor es_SAGARPA.pdf
- SAGARPA (2017). Atlas agroalimentario 2016. <https://www.gob.mx/siap/prensa/atlas-agroalimentario-2017>.
- Sayyari M., Salehi F. y Valero D. (2017). New approaches to modeling methyl jasmonate effects on pomegranate quality during postharvest storage. *International Journal of Fruit Science*, 17(4), 374-390.
- Scandalios J.G. (2005). Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 38: 995-1014.
- Singh R., Sharma R.R. y Tyagi S.K. (2007). Pre-harvest foliar application of calcium and boron influences physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae*, 112(2), 215-220.

- Silipo A., Erbs G., Shinya T., Dow J.M., Parrilli M., Lanzetta R., Shibuya N., Newman M.A. y Molinaro, A. (2010). Glycoconjugates as elicitors or suppressors of plant innate immunity. *Glycobiology*, 20, 406-419.
- Silva-Garza M.A., Gámez-González H., Zavala García F., Cuevas-Hernández, B. y Rojas-Garcidueñas, M. (2001). Efecto de cuatro fitorreguladores comerciales en el desarrollo y rendimiento del girasol. *Ciencia UANL*, 4(1), 69-75.
- Silva-Vargas M.E.S. (2000). Preconcentración selectiva de fenoles contaminantes prioritarios y determinación por espectrofotometría ultravioleta-visible, cromatografía líquida de alta eficacia y cromatografía de gases-espectrometría de masas. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones. Disertación. Tesis Doctoral. 193 pp.
- Smirnoff N. (1996). The function and metabolism of ascorbic acid in plants. *Annals of Botany* 78: 661-669.
- Smith P.M. y Ca A. (2002). Purine biosynthesis. Big in cell division, even bigger in nitrogen assimilation. *Plant Physiology* 128: 793-802
- Taiz L. y Zeiger E. (1998). Auxins. *Plant Physiology*. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 543-589.
- Valverde J.M., Giménez MJ., Guillén F., Valero D., Martínez-Romero D. y Serrano M. (2015). Methyl salicylate treatments of sweet cherry trees increase antioxidant systems in fruit at harvest and during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 106-113.
- Viacava G.E., Goyeneche R., Goñi M.G., Roura S.I. y Agüero M.V. (2018). Natural elicitors as preharvest treatments to improve postharvest quality of Butterhead lettuce. *Scientia Horticulturae*, 228, 145-152.
- Villanueva-Tiburcio J.E., Condezo-Hoyos, L.A. y Asquiere, E.R. (2010). Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, en la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh). *Food Science and Technology*, 30 (Suppl. 1), 151-160.
- Williams D.J., Edwards D., Pun S., Chaliha M. y Sultanbawa Y. (2014). Profiling ellagic acid content: The importance of form and ascorbic acid levels. *Food Research International*, 66, 100-106
- Zeb A. (2018). Ellagic acid in suppressing *in vivo* and *in vitro* oxidative stresses. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 1-15.