

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación de Elicitores de Resistencia a Enfermedades en Variables Agronómicas, Fisiológicas y Rendimiento de Tomate (*Solanum lycopersicum* Var.

Ailsa Craig)

Por:

ALEXANDER PÉREZ MENDOZA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación de Elicitores de Resistencia a Enfermedades en Variables
Agronómicas, Fisiológicas y Rendimiento de Tomate (*Solanum lycopersicum* Var.

Ailsa Craig)

Por:

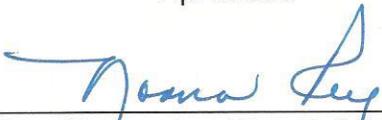
ALEXANDER PÉREZ MENDOZA

TESIS

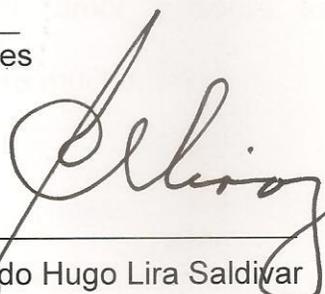
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

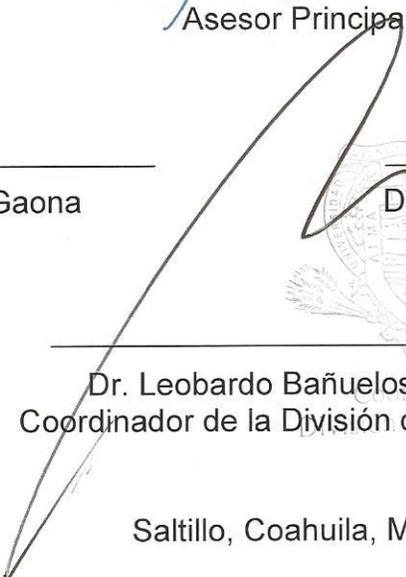
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada


Dra. Norma Angélica Ruíz Torres
Asesor Principal


Dra. Susana Solis Gaona
Coasesor


Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2014

DEDICATORIA

A DIOS: Por permitirme terminar mi estudio, guiarme por el camino correcto para llegar hasta donde estoy ahora y estar siempre conmigo sin importar las circunstancias.

A mis padres: María Asunción Mendoza Bautista y Romeo Pérez Martínez primeramente por darme la vida, por brindarme todo su amor, cariño, comprensión por darme sus consejo, todo su apoyo y esfuerzo para lograr mi gran sueño. Por apoyarme en las decisiones que he tomado, a ellos debo todo esto, los quiero mucho y sé que no los voy a defraudar.

A mis hermanos: Francelia Pérez Mendoza y Eduardo Pérez Mendoza por todo su apoyo incondicional en todo este tiempo, cariño, amor y sobre todo comprensión, gracias por estar siempre conmigo, los quiero mucho.

A mi novia: Aide Valerio Jalomo por ser la persona más importante para mí, que ha estado conmigo en momentos buenos y malos, por ser una gran motivación para seguir adelante y tener más ganas para seguir adelante.

A mis tíos (a): por su gran apoyo que he recibido de ustedes tanto económicamente como emocionalmente, su amor, comprensión, cariño durante este proceso.

A mis abuelos: por recibir de ellos mucho amor, alegría y motivación para seguir luchando por las cosas que uno se propone, gracias por todo eso que me han dado.

A mis amigos: Ing. Alexander Sandoval Mendoza, Ing. Wilbert Izeth Ramírez Genovés, Luis Alberto Ramírez, Ing. Elmer Ventura, Ing. Jorge Luis, Ing. Romeo, Ing. Rogelio por brindarme su amistad, apoyo y motivación para seguir adelante.

A mis amigos de generación, por ser una gran familia para mí, porque pasamos momentos buenos y malos en el que siempre estuvimos unidos a pesar de las circunstancias y salimos adelante.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la gran oportunidad de cursar esta bonita carrera, con todo su apoyo que me proporcionó en el transcurso de todo este tiempo para seguir adelante, mil gracias “Mi Alma Terra Mater”.

DR. HUMBERTO DE LEON CASTILLO: por su gran amistad, apoyo y por compartirme todo su conocimiento que me hace de mucha utilidad y a tener una mejor formación.

ING. JUAN MAYO: por brindarme su amistad, apoyarme en este trabajo realizado y compartir sus ideas.

DRA. SUSANA SOLIS GAONA: por su amistad, confianza, ayuda, sugerencias, conocimientos y por contribuir de manera importante en la realización de este trabajo. Por la dedicación y esfuerzo, muchas gracias.

DRA. NORMA RUIZ TORRES: por contribuir en la realización de éste trabajo y por todo su apoyo brindado en éste tiempo, muchas gracias.

ING. CARLOS ROJAS PEÑA: por brindarme todo su apoyo durante todo este proceso, su confianza y motivación para seguir adelante.

FAMILIA JALOMO:

Por brindarme su cariño, confianza y apoyo incondicional, por darme hospitalidad de su humilde y unida familia.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
I.- INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general.....	4
Objetivo específicos	4
Hipótesis	4
II.- REVISION DE LITERATURA	5
2.1 Origen e Historia	5
2.2 Clasificación taxonómica del tomate (Muñoz, 1995).....	6
2.3 Importancia del tomate.....	6
2.3.1 Importancia del tomate a nivel mundial.....	6
2.3.2 Importancia del tomate a nivel nacional.....	7
2.3.3 Exportación del tomate	7
2.4 Características botánicas	8
2.5 Requerimientos climáticos.....	10
2.6 Propiedades nutricionales y medicinales.....	11
2.7 Resistencia en las plantas.....	12
2.7.1 Inductores de resistencia a enfermedades.....	14
2.7.1.1 Derivados fenólicos.....	16
Ácido salicílico.....	16
Ácido benzoico.....	16
2.7.1.2 Ácido jasmónico	16

2.7.2 Defensas químicas de las plantas	17
2.7.2.1 Metabolitos de defensa	17
Fitoalexinas	17
Quitosana.....	18
2.7.3 Importancia de los elicitores	19
2.7.4 Efecto de elicitores de resistencia a enfermedades en variables de producción de cultivos.....	20
III.- MATERIALES Y METODOS.....	21
3.1 Ubicación del experimento	21
3.2 Descripción del material vegetal evaluado	21
3.3 Manejo del cultivo	21
Siembra.....	21
Trasplante.....	22
Tutorado.....	22
Nutrición	22
3.4 Experimento.....	24
Diseño experimental	24
Aplicación de tratamientos	25
3.5 Variables evaluadas	26
Altura de planta.....	26
Diámetro de tallo.....	26
Número de Frutos.....	26
Número de flores	27
Número de frutos	27
Fotosíntesis	27
Incidencia.....	28

Severidad.....	29
Rendimiento	29
3.6 Análisis Estadístico.....	29
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1 Variables fisiológicas.....	30
Fotosíntesis	30
4.2 Variables agronómicas	35
4.3 Rendimiento.....	36
4.4 Control de enfermedades	38
V.- CONCLUSIONES.....	40
VI.- LITERATURA CITADA.....	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Concentración de sales minerales usadas en la preparación de la solución nutritiva aplicada en la etapa de desarrollo vegetativo.....	23
Cuadro 2. Concentración de sales minerales usadas en la preparación de la solución nutritiva aplicada en la etapa de fructificación.....	24
Cuadro 3. Tratamientos aplicados a cultivo de tomate en invernadero.....	25
Cuadro 4.1. Cuadrados medios y nivel de significancia para variables fisiológicas determinadas en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero (primera medición).....	30
Cuadro 4.2. Comportamiento de las medias para las variables fisiológicas antes de aplicación de tratamientos, en tomate bajo condiciones de invernadero (primera medición).....	31
Cuadro 4.3. Cuadrados medios y nivel de significancia para variables fisiológicas determinadas en plantas de tomate tratadas con elicitores de resistencia a enfermedades después de 7 días de la aplicación de tratamientos, en tomate cultivado bajo condiciones de invernadero (segunda medición).	32
Cuadro 4.4. Comparación de medias para las variables de fotosíntesis después de 7 días de aplicación de tratamientos elicitores en comparación con la lectura inicial, en tomate cultivado bajo condiciones de invernadero.	32
Cuadro 4.5. Cuadrados medios y nivel de significancia para variables agronómicas determinadas en plantas de tomate tratadas con elicitores de resistencia a enfermedades después de 7 días de la aplicación de tratamientos, en tomate bajo condiciones de invernadero.....	35
Cuadro 4.6. Comportamiento de las medias de variables agronómicas después de 7 días de aplicación de tratamientos en tomate bajo condiciones de invernadero.....	35
Cuadro 4.7. Cuadrados medios y nivel de significancia para variables de rendimiento determinadas en plantas de tomate tratadas con elicitores de resistencia a enfermedades después de 7 días de la aplicación de tratamientos, en tomate bajo condiciones de invernadero.....	36
Cuadro 4.8. Comportamiento de las medias de componentes de rendimiento después de 7 días de aplicación de tratamientos en tomate bajo condiciones de invernadero.	37
Cuadro 4.9. Comportamiento de las medias de variables de control de enfermedades después de 7 días de la 2ª aplicación de tratamientos en tomate bajo condiciones de invernadero.....	38

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el ciclo agosto- diciembre de 2012, en Arysta LifeScience ubicado en Saltillo, Coahuila, con el objetivo de determinar el efecto de elicitors de resistencia a enfermedades, sobre el rendimiento, variables fisiológicas y agronómicas del fruto de tomate (*Solanum lycopersicon* Var. *Ailsa Craig*) bajo condiciones de invernadero. Se evaluó el efecto de 2 aplicaciones de los productos; ALSMX-080 que es un producto de extractos naturales, Acibenzolar S metil (ASM) y algas marinas. Las variables que se evaluaron a los 8 días después de segunda aplicación de tratamientos, fueron fotosíntesis (tasa fotosintética, conductancia estomática, CO₂ intercelular, transpiración, temperatura y humedad relativa) altura de planta, diámetro de tallo, número de flores, incidencia y severidad de enfermedades, así como el número y diámetro de frutos y rendimiento a cosecha. Los resultados obtenidos permiten determinar que las aplicaciones de los elicitors de resistencia evaluados no tuvieron efecto negativo en el desarrollo y rendimiento del tomate Var. *Ailsa Craig*.

Palabras claves: elicitor de resistencia, Acibenzolar S metil, *Solanum lycopersicum*, extractos naturales, fotosíntesis.

I.- INTRODUCCIÓN

El cultivo de tomate es la hortaliza de mayor consumo y sembrada a nivel mundial, con las nuevas tecnologías que hay hoy en día los rendimientos por hectárea han ido incrementando considerablemente, el mejoramiento que se ha hecho en cada una de las variedades, con el uso de invernadero bien equipados que permiten darle a las plantas las mejores condiciones y nutrientes necesarios, y sobre todo el buen manejo de la planta. Por lo que decimos que es muy rentable siempre y cuando se le dé un buen manejo.

El tomate es una de las hortalizas más importantes tanto a nivel nacional como internacional, debido a la gran cantidad de divisas que genera a los países que lo cultivan y lo exportan. La superficie mundial sembrada es de 2.85 millones de hectáreas, con un rendimiento de 77.5 millones de toneladas. En Estados Unidos, en los estados de Florida y California se siembran 200,000 hectáreas (SIAP, 2010).

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos hortícolas de mayor significación comercial en el mundo; de alta demanda y gran importancia en la dieta de la población, tanto en el consumo fresco, como en conservas (Prohens *et al.*, 2008).

En México el tomate es la segunda especie hortícola más importante por superficie sembrada, se encuentra en los mercados durante todo el año; su fruto se consume tanto fresco como procesado y es una fuente rica de vitaminas. A pesar de cultivarse en 27 estados de México, solo cinco concentran en promedio el 74.2% de la producción, destacándose Sinaloa como el principal productor, segundo de Baja California, San Luis Potosí, Jalisco y Nayarit. Es uno de los cultivos de mayor valor económico e importancia social por la cantidad de mano de obra que demanda. Actualmente se cuenta con cultivares de tomate altamente rendidores, por lo que es la especie que más se cultiva en invernadero y con sistemas hidropónicos en el mundo (SAGARPA, 2002).

Este cultivo requiere de ciertas condiciones climáticas para su desarrollo y producción, las cuales pueden ser afectados por factores del medio ambiente como temperatura, suministro de agua y energía solar. Esto repercute de manera directa en las funciones fisiológicas y metabólicas de la planta, por lo tanto es importante tener un claro entendimiento de las estrategias para mejorar la productividad del cultivo (Morgan, 2001).

El interés en el uso de las moléculas estimuladoras de los mecanismos naturales de defensa de la planta mediante aplicación exógena surgió por su contribución al control de patógenos y plagas, ya que presentan el potencial de disminuir y/o evitar el riesgo de emergencia de poblaciones de patógenos o plagas resistentes a productos químicos, contrarrestar parcialmente los daños químicos ocasionados a la planta por los pesticidas y finalmente originar aumento del rendimiento de las

cosechas(Barbosa, *et al.*, 2008).Los elicitores de resistencia a enfermedades son una forma práctica para inducir respuestas de la planta debido a que pueden ser patentados, fabricados y aplicados a un número grande de plantas por tecnología de aspersión convencional.

La aplicación de elicitores de resistencia a enfermedades como estrategia biotecnológica es de importancia en el estudio de los procesos relacionados con el cultivo de material vegetal, puesto que permite alcanzar mayor productividad de algunos metabolitos secundarios, generar conocimiento sobre las respuestas fisiológicas de las plantas y desarrollar estrategias para la purificación y extracción simultaneas de metabolitos de origen vegetal, producidos in vitro mediante cultivos de tejidos vegetales (Piñeros *et al.*, 2009).

Para usar elicitores de resistencia a enfermedades como una herramienta efectiva del manejo de enfermedades se deben evaluar los efectos de las respuestas inducidas sobre la productividad agrícola (Camarena, 2002). Por lo que se planteó desarrollar el presente estudio para conocer si la aplicación del elicitore en el cultivo de tomate, utilizado originalmente como alternativa para que la planta sea más resistente y así prevenir enfermedades, tiene algún efecto en variables agronómicas, fisiológicas y rendimiento del cultivo de tomate Var. *Ailsa Craig*.

El presente trabajo se realiza en tomate dado que es una hortaliza que representa gran importancia económica para el país, dado que ocupa el segundo lugar en

cuanto a superficie sembrada, la cual se ha mantenido, por lo que es necesario aumentar el rendimiento y la calidad del producto.

Objetivo general

Conocer el efecto de un elicitor de resistencia a enfermedades en el desarrollo, el rendimiento, calidad del cultivo de tomate y en su eficiencia fisiológica a través de la medición de parámetros relacionados con la asimilación de CO₂.

Objetivo específicos

Evaluar el efecto del elicitor de resistencia en variables agronómicas del cultivo de tomate de invernadero.

Evaluar el efecto del elicitor de resistencia en variables fisiológicas del cultivo de tomate de invernadero.

Evaluar el efecto del elicitor de resistencia en rendimiento del cultivo de tomate de invernadero.

Hipótesis

La aplicación del elicitor en el cultivo de tomate no tendrá efecto negativo en el desarrollo, rendimiento y asimilación de CO₂ en la Var. *Ailsa Craig* en invernadero

II.- REVISION DE LITERATURA

2.1 Origen e Historia

El origen del género *Solanum* se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, pero parece que fue en México donde se domesticó, quizá porque crecía como arvense entre los huertos. Durante el siglo XVI se consumían en México de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos, pero para entonces ya había sido llevado a España y servía como alimento también en Italia. En otros países europeos solo se utilizaban en farmacias y así se mantuvieron en Alemania hasta el siglo XIX. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, de allí a otros países asiáticos y de Europa se difundió a Estados Unidos y Canadá (Marroquín, 2005)

La gran diversidad varietal encontrada en la zona mexicana de Veracruz y Puebla llevó a Jenkins a considerar a México como el centro de origen del tomate cultivado de frutos grandes. El término tomate fue utilizado desde 1695 por los viajeros botánicos, quienes tomaron las palabras xitomate –xito-mate, con los que los aztecas designaban a esta planta. México está considerado a nivel mundial como el centro más importante de domesticación del tomate (Valadez, 1993).

En la actualidad, el tomate se consume fresco como ingrediente preferido de las ensaladas, en forma de jugo, deshidratado, para sopas, en conservas al natural, salsa para pasta, extracto tamizado y condimentos (cátsup, frutos verdes en vinagre (Pikles) y mermeladas (Nuez, 2001).

2.2 Clasificación taxonómica del tomate (Muñoz, 1995)

Reino	Vegetal
Subreino	Embriofitas
División	Antofitas
Clase	Dicotiledóneas
Orden	Solaneas (Personate)
Familia	Solanácea
Subfamilia	Solanoideae
Tribu	Solaneae
Genero	<i>Solanum</i>
Especie	<i>lycopersicon</i>
Nombre científico	<i>Solanum lycopersicon</i>

2.3 Importancia del tomate

2.3.1 Importancia del tomate a nivel mundial

La producción de tomate en el 2008 se distribuyó de la siguiente manera: China fue el principal productor de jitomate en el mundo, con una participación de 36%. Le sigue Estados Unidos de Norteamérica con 14%; Turquía, 12%; India, 11%; mientras que México ocupó el doceavo lugar, con 3% de participación en la producción. Los países que ocupan los primeros tres lugares en el ranking de mayores exportadores, comercializan poco más de 55% de total mundial. Holanda ocupa el primer sitio, con 22% del volumen de exportaciones mundiales de

jitomate; México tiene el segundo lugar con 18% de las mismas; en tercer lugar, España con 17% del total mundial (SAGARPA, 2010).

2.3.2 Importancia del tomate a nivel nacional

México ocupa mundialmente el décimo lugar como productor de jitomate o tomate rojo, pero es el tercer comercializador de esta hortaliza en el mundo, con volúmenes de exportación cercanos a las 600 mil toneladas anuales, la mayor parte tiene como destino los Estados Unidos de Norteamérica (Pérez *et al.*, 2005).

A nivel nacional, la producción de tomate rojo en 2008, según datos preliminares fue de 2.3 millones de toneladas, lo que representó un decremento del 4.1% respecto al año anterior, y un 11.2% con respecto a 2006. En el periodo comprendido entre 2002 y 2008, la producción presenta una Tasa Media Anual de Crecimiento (TMAC) del 2.6%. Para 2009 se estima un crecimiento de 2.7% en la producción, ubicándola en 2.4 millones de toneladas (Financiera Rural, 2009).

2.3.3 Exportación del tomate

En 2009 México exportó 1 millón 111 mil toneladas, de las cuales el 99.2% fueron a parar a los mercados de Estados Unidos y el resto a Canadá y Japón. Sin embargo, aproximadamente 49 mil 770 toneladas fueron reintroducidas al país en forma de ensaladas, jugos, preparaciones alimenticias y comidas enlatadas (FAO, 2011).

2.3.4 Principales estados productores

En México, la lista de los principales estados productores es encabezada por Sinaloa, que en 2008 tuvo una producción de 852.7 mil toneladas, equivalentes al 36.6% de la producción nacional. Baja California ocupa el segundo lugar, con una producción en 2008 de 206.2 mil toneladas. Le sigue Michoacán con 175.7 mil toneladas en el mismo año (FAO, 2011).

2.4 Características botánicas

Sistema radicular. La raíz principal es corta y débil, las raíces secundarias son numerosas y potentes y tiene raíces adventicias. Seccionando transversalmente la raíz principal del exterior al interior encontramos: epidermis, (donde se ubican los pelos absorbentes especializados en tomar agua y nutrimentos), córtex y cilindro central, donde se sitúa el xilema (Ruiz, 2002).

Tallo. El tallo es el eje sobre el cual se desarrollan las hojas, flores y frutos; el diámetro puede ser de 2 a 4 cm y el porte puede ser de crecimiento determinado (tallos que al alcanzar un determinado número de ramilletes y detienen su crecimiento) e indeterminado (tallos que no detienen su crecimiento). Los tallos son pubescentes en toda su superficie. En las axilas de las hojas del tallo principal surgen los tallos secundarios que son eliminados mediante poda para una buena conformación de la planta. El desbrote debe ser oportuno, sobre todo el brote inmediato inferior al racimo, el cual surge con gran vigor (Berenguer, 2003).

Hoja. Compuesta e imparipinnada, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. El mesófilo o tejido parenquimático está recubierto por una epidermis superior e inferior, ambas sin cloroplastos. La epidermis inferior presenta un alto número de estomas. Dentro del parénquima, la zona superior o zona en empalizada, es rica en cloroplastos. Los haces vasculares son prominentes, sobre todo en el envés, y constan de un nervio principal (Infoagro, 2012).

Flores. El tomate es una planta hermafrodita que presenta flores bisexuales en forma de racimo simple. El número de flores depende del tipo de tomate. En tomate de grueso calibre el ramillete tiene de 4-6 flores; en tomates de calibre aumenta de 10-12 flores por ramillete y en los tomates de tipo cereza o cherry no es extraño que se desarrollen hasta 100 flores por racimo (Berenguer, 2003).

Frutos. El fruto del tomate es una baya de color amarillo, rosado o rojo, debido a la presencia del licopeno y carotina. El fruto de tomate es una baya bi o plurilocular que desarrolla a partir de un ovario de unos 5-1 mm y alcanza un peso final en su madurez que oscila entre los 5 y 500 g en función de la variedad y de las condiciones de desarrollo. Su forma puede ser redonda achatada, o en forma de pera y en su superficie lisa o surcada (Chamarro, 2001).

Semilla. La semilla del tomate es de forma lenticular, con dimensiones aproximadas de 5x4x2 mm y está constituida por un embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión lo forma una yema apical, dos cotiledones, el hipocotilo y la radícula. La testa cubierta seminal es de un tejido duro e impermeable. La germinación de la semilla ocurre de manera fácil (Berenguer, 2003).

2.5 Requerimientos climáticos

Temperatura. La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20 y 30°C durante el día y entre 1 y 17°C durante la noche; temperaturas superiores a los 30 -35°C afectan la fructificación, por mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular. Temperaturas inferiores a 12-15°C también originan problemas en el desarrollo de la planta. A temperaturas superiores a 25°C e inferiores a 12°C la fecundación es defectuosa o nula.

La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10°C así como superiores a los 30°C originan tonalidades amarillentas. No obstante, los valores de temperatura descritos son meramente indicativos, debiendo tener en cuenta las interacciones de la temperatura con el resto de los parámetros climáticos (Infoagro, 2012).

Humedad. La humedad relativa óptima oscila entre un 60% y un 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades

aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor (Infoagro, 2012).

Luminosidad. Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad (Infoagro, 2012)

Suelo. La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura silíceo-arcillosa y ricos en materia orgánica. No obstante se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados. El pH de los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados. Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego (Infoagro, 2012)

2.6 Propiedades nutricionales y medicinales

El licopeno es el caratenoide más abundante en el tomate, pues comprende aproximadamente de 80 a 90% de los pigmentos presentes. La cantidad de

licopeno en tomates frescos puede variar dependiendo de la especie, la madurez y las condiciones ambientales en las que la fruta madura. Normalmente, los tomates contienen cerca de 3 a 5 mg de licopeno por 100 g de material crudo (Shi, 2000)

El licopeno parece reducir las probabilidades de cáncer de próstata, pulmón, estómago, vejiga, mama y cuello del útero, ayuda a rebajar la presión arterial, favorecer el buen estado de nuestro hígado o, también ayuda a curar las heridas de todo tipo, rebaja la inflamación y favorece la cicatrización (Martínez, 2005).

La vitamina A, ayuda al crecimiento celular, manteniendo los huesos y los dientes en buen estado, ayudando al sistema inmunológico a combatir las infecciones, y a mantener una buena salud ocular, también se ha encontrado menor daño en el ADN de los glóbulos blancos, lo que aumenta la autodefensa del cuerpo esto debido a las vitaminas A y E. Además de su aspecto, olor y sabor característico, que realiza el gusto y lo sabroso de los platillos con los que se condimenta o se condimenta o se acompaña en ensaladas (Martínez, 2005).

2.7 Resistencia en las plantas

Las plantas no son hospederos pasivos al ataque de microorganismos con los que interactúan en su ambiente, sino que se defienden contra tales ataques con un arsenal de mecanismos defensivos (Hutcheson *et al.*, 1998).

La resistencia de las plantas está dividida en defensa constitutiva, expresada como una característica normal del desarrollo de la planta, o defensa inducible, la cual se activa al contacto con lo que la planta detecta como un organismo o sustancia invasora. Éste último requiere de un sistema de vigilancia, el cual permita el reconocimiento de la amenaza, generando un sistema de traducción de señales y una ruta de respuesta, usualmente regulada a nivel transcripcional por medio de la expresión de genes relacionados con la defensa (Lamb *et al.*, 1989).

La resistencia inducible (RI) surgió como una importante alternativa de control de patógenos, la cual considera que las “armas” con las cuales las plantas se defienden, involucran a un gran número de pequeñas moléculas exógenas denominadas inductores o agentes inductores que, cuando son reconocidas por moléculas endógenas, tienen la función de activar o aumentar el nivel de resistencia de los vegetales, tanto a nivel local como en puntos distantes al sitio de infección, así como de participar de otras actividades fisiológicas (Schreiber *et al.*, 2008).

El término “resistencia inducida” fue propuesto en el Primer Simposio Internacional de Resistencia Inducida a Enfermedades de Plantas (First International Symposium of Induced Resistance to Plant Diseases) realizado en Corfú, Grecia, en el año 2000, para designar a todos los tipos de respuestas que incitan a las plantas a protegerse de las enfermedades y de plagas de insectos, incluyendo tanto respuestas locales como sistémicas (Angarita, 2001).

Dentro de la RI, la resistencia sistémica adquirida (RSA) involucra la síntesis de proteínas relacionadas a la patogénesis llamadas proteínas PR, las enzimas -1, 3 glucanasas, endohidrolasas, quitinasas, inhibidores de enzimas como amilasa y proteinasas (Camarena y De la Torre, 2007). Por su parte, la Resistencia sistémica inducida (RSI) no causa la acumulación de proteínas relacionadas a la patogénesis ni ácido salicílico, sino que utiliza las vías reguladas por el ácido jasmónico (Valland y Godman, 2004), este tipo de resistencia es inducida generalmente por rizobacterias.

La base fisiológica y bioquímica de la resistencia de plantas al ataque de patógenos, hongos y bacterias; se encuentra relacionada con la biosíntesis de metabolitos secundarios implicados en los procesos infecciosos. Múltiples cambios bioquímicos ocurren en las plantas después de una infección y algunos de estos cambios se han asociado con la expresión del mecanismo de defensa, produciendo sustancias llamadas fitoalexinas (García *et al.*, 2003). También se ha observado que la fuerza y estabilidad de la resistencia inducida puede ser influenciada por varios factores como son las condiciones climáticas y aspectos nutricionales (Camarena y De la Torre, 2007).

2.7.1 Inductores de resistencia a enfermedades

Los primeros trabajos sobre respuestas inductoras a las enfermedades en las plantas fueron desarrollados por Ray y Beauverie a comienzos del siglo XX, los cuales demostraban que existía la posibilidad de que las plantas puedan

protegerse del ataque de microorganismos patógenos mediante la activación de sus mecanismos de defensa (Angarita, 2001).

Dependiendo del tipo de agente inductor, existen dos tipos de inducción de resistencia. Una considera que la resistencia puede ser activada por la presencia, sobre el tejido vegetal, de organismos como hongos, virus, bacterias, nematodos e incluso de insectos herbívoros, conocida ésta como inducción biótica. Por otro lado, imitando la presencia de un patógeno o insecto, la resistencia también puede ser generada por la presencia de moléculas sintéticas depositadas sobre los órganos vegetales, denominada inducción abiótica (Kuc, 2001).

Los inductores abióticos, también denominados inductores químicos, actualmente constituyen una nueva clase de pesticidas, llamados “fungicidas de cuarta generación” por su efecto completamente diferente de los fungicidas conocidos hasta el momento. Esta diferencia se basa principalmente en el mecanismo de acción de los inductores, ya mencionado, basado en conocimientos sobre RI (Pascholati *et al.*, 2008).

Los elicitores son moléculas de origen biótico, capaces de estimular mecanismos defensivos, que provocan una resistencia sistémica ante el ataque de patógenos. Dentro de estos mecanismos se incluyen el incremento de la activación de enzimas tales como la fenilalanina amonio liasa (PAL), la cual es clave en la síntesis de metabolitos defensivos importantes, donde se destacan las fitoalexinas. También se inducen otras enzimas defensivas entre las que se

encuentran: β -1,3 glucanasas, quitinasas, quitosanasas, entre otras (Rodríguez *et al.*, 2004).

2.7.1.1 Derivados fenólicos

Ácido salicílico

Un derivado fenólico como lo es el ácido salicílico participa de forma importante en la cascada de señalización vegetal, reflejada en una adaptación a ambientes extremos, así como en la inducción de la resistencia sistémica adquirida (Raskin, 1992)

Ácido benzoico

El ácido benzoico es un derivado fenólico que se considera precursor del ácido salicílico y se encuentra en forma natural en las plantas. Este compuesto actúa también como un inductor de resistencia sistémica adquirida en cebolla (Benavides *et al.*, 2004).

2.7.1.2 Ácido jasmónico

El ácido jasmónico se encuentra en muchas especies vegetales y está involucrado en diversas funciones incluyendo la resistencia y senescencia de la planta. El ácido jasmónico es producido por la planta después del daño producido por una

oruga resultando un incremento de la producción de compuestos de resistencia, (Camarena, 2002).

El ácido jasmónico ahora es un miembro apreciado dentro de un gran grupo de compuestos relacionados biosintéticamente y estructuralmente denominados jasmonatos u octadecanoide ácido α -linolénico. Después se descubrió que el metil-jasmonato es un inductor de la síntesis de inhibidores de proteasas de insectos en tomate, una respuesta disparada normalmente por el ataque de herbívoros (Farmer *et al.*, 1990).

2.7.2 Defensas químicas de las plantas

Las defensas químicas de las plantas han sido consideradas usualmente como metabolitos secundarios, porque aunque son importantes para la interacción de la planta con su entorno, no son indispensables para la vida de la planta, como sí es el caso de la glucosa; de hecho, sin glucosa no hay metabolitos secundarios (Croteau *et al.*, 2000).

2.7.2.1 Metabolitos de defensa

Fitoalexinas

Las fitoalexinas son compuestos de bajo peso molecular, con actividad microbiana de amplio aspecto, sintetizados por la planta a partir de precursores lejanos en respuesta a infecciones microbianas, y que se acumulan en las células en

cantidades suficientes para limitar el crecimiento microbiano. Más de 300 moléculas con actividad como fitoalexinas han sido identificadas. La mayoría son compuestos fenólicos e incluyen grupos químicos tan diversos como flavonoides, cumarinas, terpenos y otros. Se han aislado de muchas familias de plantas, tanto monocotiledóneas como dicotiledóneas (Luis, 1998).

Quitosa

En cuanto a la quitosa se le ha prestado especial interés en los últimos años por su doble efecto: inhibir el crecimiento micelial de algunos hongos fitopatógenos y activar mecanismos de defensa en las plantas, en el control de enfermedades causadas por hongos fundamentalmente (Bautista-Baños *et al.*, 2006).

La quitosa, es un polisacárido que se obtiene de la quitina parcialmente desacetilada y es el segundo polisacárido más abundante en la naturaleza, es un copolímero lineal formado por unidades de glucosamina y en menor medida de N-acetil D-glucosamina unidos por enlaces β 1-4, cuya denominación química, según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), es 2 amino 2 desoxi - D-glucopiranososa (D-glucosamina GlcN) y 2 acetamida- 2 desoxi- D glucopiranososa N-acetil glucosamina (Sato *et al.*, 1998).

2.7.3 Importancia de los elicitores

El interés en las moléculas estimuladoras de los mecanismos naturales de defensa de la planta, de aplicación exógena, surgió por su contribución al control de patógenos y plagas, ya que presentan el potencial de disminuir y/o evitar el riesgo de emergencia de poblaciones de patógenos o plagas resistentes a productos químicos, contrarrestar parcialmente los daños químicos ocasionados a la planta por los pesticidas y finalmente originar aumento del rendimiento de las cosechas (Barbosa *et al.*, 2008).

Los inductores abióticos, también denominados inductores químicos, actualmente constituyen una nueva clase de pesticidas, llamados “fungicidas de cuarta generación” por su efecto completamente diferente de los fungicidas conocidos hasta el momento. Esta diferencia se basa principalmente en el mecanismo de acción de los inductores, ya mencionado, basado en conocimientos sobre RI. Aunque en su mayoría son compuestos naturales, de origen biológico, los inductores son sustancias sintetizadas en laboratorio, que se aplican externamente sobre las plantas, inyectadas o asperjadas, siendo una de las formas más comunes de utilización la aspersion (Pascholati *et al.*, 2008).

Los elicitores presentan propiedades que permiten elevar la resistencia propia de las plantas a las enfermedades o inducirla, por lo que son componentes importantes de los mecanismos de protección de las células vegetales (Mert-Türk, 2002).

Los elicitores son compuestos que inician respuestas inducidas a la planta cuando son aplicados al follaje o a las raíces. Los elicitores son una forma práctica para inducir respuestas de la planta debido a que pueden ser patentados, fabricados y aplicados a un número grande de plantas por tecnología de aspersión convencional. Para usar respuestas inducidas como una herramienta efectiva del manejo de plagas, se deben evaluar los efectos de las respuestas inducidas sobre la productividad agrícola (Camarena, 2002).

2.7.4 Efecto de elicitores de resistencia a enfermedades en variables de producción de cultivos

López *et al.* (1998) evaluaron el efecto de la aplicación del ácido salicílico en floración a dosis de 10^{-2} M para incrementar el rendimiento agronómico en tres variedades de Trigo, reportaron un incremento en 20% de la producción de grano.

III.- MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del experimento

La presente investigación se llevó a cabo en el invernadero de Arysta Lifescience México, que se localiza en el Boulevard Jesús Valdés Sánchez #2369, en el Fraccionamiento Europa, en Saltillo, Coahuila. El cual cuenta con temperatura controlada y sistema de fertiriego programable.

3.2 Descripción del material vegetal evaluado

El material utilizado para este experimento fue tomate tipo Saladette de crecimiento determinado variedad "*Ailsa Craig*".

3.3 Manejo del cultivo

Siembra

La siembra se realizó en una charola de 200 cavidades utilizando como sustrato Peat Moss, la siembra tuvo lugar el día 03 de Agosto del 2012, germinando a los 7-10 días después de la siembra en condiciones favorables.

Trasplante

Antes del trasplante se preparó el sustrato, con una mezcla de 60 % de Peat Moss, 40 % de vermiculita y 20 % de perlita en base a volumen posteriormente se llenaron las macetas con capacidad de 10 litros en donde se realizó el trasplante el día 05 de septiembre del 2012, 33 días después de la siembra.

Tutorado

Se utilizaron hilos de polietileno de color negro sujetos a los cables de acero que atraviesan al invernadero que soportaron el peso del cultivo.

Nutrición

Para la nutrición del cultivo, se utilizó la solución Hoagland en base a los siguientes cuadros:

Cuadro 1. Concentración de sales minerales usadas en la preparación de la solución nutritiva aplicada en la etapa de desarrollo vegetativo.

NOMBRE	SALES MINERALES	/ LITRO	g / 400 LITROS	TANQUE
Nitrato de potasio	KNO_3	1.02 g	408	Nitratos
Fosfato de amonio	$\text{NH}_4\text{H}_2(\text{PO}_4)$	0.23 g	92	
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	0.492 g	197	
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	0.49 g	196	Sulfatos
Ácido bórico	H_3BO_3	2.86 mg	1.14	
Sulfato de manganeso	$\text{MnCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	2.15 mg	0.86	
Sulfato cúprico	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	0.08 mg	0.032	
Sulfato de zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	0.22 mg	0.088	
Molibdato de sodio	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.09 mg	0.036	
Quelato de hierro	Fe 6%	0.0125 g	5.0	

Cuadro 2. Concentración de sales minerales usadas en la preparación de la solución nutritiva aplicada en la etapa de fructificación.

NOMBRE	SALES MINERALES	/ LITRO	g / 400 LITROS	TANQUE
Nitrato de potasio	KNO_3	1.125 g	450	Nitratos
Fosfato de amonio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2, 4 \text{H}_2\text{O}$	0.266 g	106.4	
Nitrato de calcio	$\text{NH}_4\text{H}_2(\text{PO}_4)$	0.124 g	49.7	
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O}$	0.265 g	106	Sulfatos
Ácido bórico	H_3BO_3	2.86 mg	1.14	
Sulfato de manganeso	$\text{MnCl}_2, 2 \text{H}_2\text{O}$	2.15 mg	0.86	
Sulfato cúprico	$\text{CuSO}_4, 5 \text{H}_2\text{O}$	0.08 mg	0.032	
Sulfato de zinc	$\text{ZnSO}_4, 5 \text{H}_2\text{O}$	0.22 mg	0.088	
Molibdato de sodio	$\text{Na}_2\text{MoO}_4, \text{H}_2\text{O}$	0.09 mg	0.036	
Quelato de hierro	Fe 6%	0.0125 g	5.0	

3.4 Experimento

Diseño experimental

Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar, con nueve tratamientos y ocho repeticiones (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tratamientos aplicados a cultivo de tomate en invernadero.

Tratamiento	Descripción de tratamientos	Dosis
T1	Ácido salicílico (AS) y Acibenzolar S metil (ASM)	0.07 g/L y 0.05 g / L
T2	Ácido salicílico (AS) y Acibenzolar S metil (ASM)	0.14 g/L y 0.075 g / L
T3	Ácido salicílico (AS) y Acibenzolar S metil (ASM)	0.209 g/L ya 0.1 g / L
T4	ALSMX-080	0.5 ml/L
T5	ALSMX-080	1.0 ml/L
T6	ALSMX-080	1.5 ml/L
T7	Algas marinas	1 ml/L
T8	Testigo sano	Agua
T9	Testigo enfermo	Agua

Aplicación de tratamientos

Se realizó una primera aplicación de tratamientos en floración y la segunda aplicación a los 7 días después. Es importante mencionar que los tratamientos 1, 2 y 3 incluyeron solamente ácido salicílico en la primera aplicación, respecto a la segunda aplicación se aplicó solamente Acibenzolar S Metil a las dosis declaradas en el cuadro 3.

3.5 Variables evaluadas

Altura de planta

Esta variable se determinó mediante una regla metálica de 30 cm, midiendo desde la base del tallo inferior hasta la base del tallo superior. Se realizaron 4 muestreos.

Diámetro de tallo

Esta variable se tomó a todas las plantas de los tratamientos con ayuda de un vernier marca FOY142070 de 15 cm, se tomó el tallo a partir del segundo racimo de abajo hacia arriba y se procedía a ajustar el vernier al tallo y finalmente se tomaba la lectura.

Número de Frutos

Para ésta variable los frutos obtenidos del corte, eran recolectados por separado en bolsas de papel identificadas por racimo y por repetición. Después los frutos fueron contabilizados, finalmente el valor tomado para análisis estadístico fue el número de frutos por racimo por repetición.

Número de flores

Para esta variable se hizo el conteo de las flores desde la aparición de las primeras hasta la aparición en el último corte o más bien la última cosecha. Quedando contabilizado por racimos y tomando como flor las que estuvieran completamente abiertas.

Número de frutos

Para esta variable se hizo el conteo de los frutos desde la aparición de los primeros frutos amarrados hasta los cosechados durante el último corte, es decir al finalizar la cosecha, específicamente por cada racimo.

Fotosíntesis

Se hicieron dos lecturas de fotosíntesis en las plantas de tomate durante etapa de floración a inicio de fructificación, en diferentes fechas, una lectura antes de la aplicación de tratamientos, durante la cual se presentó una intensidad promedio de luz de $880.43 \mu\text{mol luz m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y otra 7 días después de que las plantas fueron tratadas, en esta toma de datos hubo un promedio de intensidad de luz de $789.05 \mu\text{mol luz m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Se evaluaron parámetros asociados con la fotosíntesis, se usó un equipo portátil LI-COR 6400 y una concentración de CO_2 de 400 ppm. Primeramente se calibró y posteriormente se procedió a la toma de lectura, para lo cual se colocó una hoja

joven bien desarrollada dentro de la cámara, posteriormente se tomó el dato. Las variables evaluadas fueron: Tasa fotosintética ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conductancia estomática ($\text{mol H}_2 \text{ O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), CO_2 intercelular ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aire}^{-1}$), tasa de transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), temperatura de la hoja ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%).

Incidencia

Para esta variable se tomaron los datos con respecto a si la enfermedad estaba presente en la planta, se puso un valor equivalente a 0 cuando no estaba presente la enfermedad y se puso valor de 1 cuando si estaba enferma la planta, lo anterior para poder realizar análisis estadísticos de datos numéricos de la incidencia del complejo de enfermedades foliares que se presentaron en forma natural, los síntomas de dichas enfermedades fueron asociados a *Alternaria spp* a *Xanthomonas spp* y al virus del bronceado del tomate ocasionado por thrips. Se corroboró la presencia de thrips mediante observación de las hojas con lupa, para *Xanthomonas spp* y *Alternaria spp* se realizó siembra de tejido sintomático en PDA y agar nutritivo, se observaron al microscopio las cepas que se aislaron y mostraron conidias características de *Alternaria spp*, así como el crecimiento de la colonia en AN fue semejante al de *Xanthomonas spp*.

Severidad

Con respecto a esta variable se consideró la gravedad del porcentaje del daño del complejo de las enfermedades en la planta. Esto con base al número de hojas y folíolos de cada una de ellas. Ej. 5 de 10 folíolos dañados = 50 % de severidad.

Rendimiento

Esta variable se determinó al sumar el peso de los tomates de cada corte que se realizó a las plantas que se tenían por tratamiento, así como también a la cuantificación de los frutos cosechados por tratamiento. Rendimiento = peso promedio de frutos de cada repetición multiplicado por el número de frutos de cada repetición.

3.6 Análisis Estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante análisis de varianza (ANVA), donde se evaluó el efecto de los tratamientos. Usando el programa SAS versión 9.0 (Statistical Analysis System) bajo el modelo completamente al azar, posteriormente se realizó la comparación de medias, empleando la prueba de promedios de Duncan al 5%.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variables fisiológicas

Fotosíntesis

Los resultados obtenidos para las variables asociadas con la fotosíntesis en la primera medición muestran que no hay diferencia estadística significativa en las variables fisiológicas, mientras que en la segunda determinación, se observó diferencia estadística significativa por el efecto de la aplicación de tratamientos, como se presenta en los Cuadros 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4.

Cuadro 4.1. Cuadros medios y nivel de significancia para variables fisiológicas determinadas en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero (primera medición).

Fuente de variación	G L	A μmolCO_2 $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$	g_s $\text{mol H}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$	C_i $\mu\text{mol CO}_2$ mol aire^{-1}	E $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}$ s^{-1}	T_h $^{\circ}\text{C}$	HR %
Tratamientos	8	3.70	0.017	824.48	7.93	5.22	24.25
Error	63	15.15	0.057	1107.05	10.64	5.08	52.93
C.V.		22.84	40.029	12.06	23.43	7.94	23.33

No hay diferencia estadísticamente significativa, GL=Grados de libertad; C.V.=Coeficiente de variación; A= Tasa de fotosíntesis neta; g_s = Conductancia estomática; C_i = Concentración de CO_2 intercelular; E= Tasa de transpiración; T_i = Temperatura de la hoja; HR= Humedad relativa.

Los resultados de las variables fisiológicas antes de la aplicación de tratamientos (Cuadro 4.2) muestran que numéricamente las plantas enfermas tuvieron menor tasa fotosintética que las plantas sanas.

Cuadro 4.2. Comportamiento de las medias para las variables fisiológicas antes de aplicación de tratamientos, en tomate bajo condiciones de invernadero (primera medición).

Trat	A $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	g_s $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	C_i $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aire}^{-1}$	E $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	T_h $^{\circ}\text{C}$	HR %
1	17.15	0.53	266	13.82	29.17	29.94
2	17.49	0.63	284.6	13.72	27.27	32.18
3	16.09	0.61	290.6	13.71	27.14	33.65
4	16.50	0.59	275.7	13.88	28.52	30.71
5	16.97	0.56	264.7	13.31	28.65	30.16
6	18.35	0.70	283.0	15.27	28.32	32.36
7	17.24	0.59	280.5	15.39	29.69	31.91
8	17.52	0.61	283.0	14.87	28.46	33.54
9	16.52	0.60	264.0	12.50	28.28	28.65

No hubo diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos (Duncan, 0.05). A= Tasa de fotosíntesis neta; g_s = Conductancia estomática; C_i = Concentración de CO_2 intercelular; E= Tasa de transpiración; T_h = Temperatura de la hoja; HR= Humedad relativa.

En la segunda medición, después de aplicar los tratamientos, se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) para la tasa de asimilación de CO_2 , conductancia estomática, CO_2 intercelular y humedad relativa del ambiente, lo cual indica diferente respuesta a la aplicación de los tratamientos en estudio (Cuadro 4.3).

Cuadro 4.3. Cuadrados medios y nivel de significancia para variables fisiológicas determinadas en plantas de tomate tratadas con elicitores de resistencia a enfermedades después de 7 días de la aplicación de tratamientos, en tomate cultivado bajo condiciones de invernadero (segunda medición).

Fuente de variación	G L	A $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	g_s $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	C_i $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aire}^{-1}$	E $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	T_h °C	HR %
Tratamientos	8	10.76*	0.011*	1608.59*	5.58	2.075	35.20*
Error	53	6.39	0.006	831.89	4.81	3.33	21.80
C.V.		23.22	41.73	11.84	32.29	6.56	30.21

*, Significativo al 0.05 de probabilidad respectivamente; GL=Grados de libertad; C.V.=Coeficiente de variación; A= Tasa de fotosíntesis neta; g_s = Conductancia estomática; C_i = Concentración de CO_2 intercelular; E= Tasa de transpiración; T_h = Temperatura de la hoja; HR= Humedad relativa.

Cuadro 4.4. Comparación de medias para las variables de fotosíntesis después de 7 días de aplicación de tratamientos elicitores en comparación con la lectura inicial, en tomate cultivado bajo condiciones de invernadero.

Trat	A $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	g_s $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	C_i $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aire}^{-1}$	E $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	T_h °C	HR %
1	11.83 ab	0.26 a*	252.33 ab	7.93	27.04	18.69 a*
2	12.99 a*	0.23 ab	239.75 ab	7.71	27.74	17.64 ab
3	11.96 ab	0.19 ab	231.5 b	6.68	28.17	15.34 ab
4	9.85 ab	0.16 ab	230.29 b	6.03	28.32	13.21 ab
5	10.01 ab	0.15 b*	228.5 b*	5.74	28.82	12.52 b*
6	9.53 b*	0.15 ab	234.17 ab	5.71	28.06	12.46 b*
7	11.46 ab	0.21 ab	248.13 ab	7.14	27.7	16.41 ab
8	10.50 ab	0.16 ab	233.75 ab	5.47	27.06	13.65 ab
9	9.84 ab	0.23 ab	270.09 a*	7.44	27.43	16.78 ab

Medias con letras iguales dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Duncan, 0.05). A= Tasa de fotosíntesis neta; g_s = Conductancia estomática; C_i = Concentración de CO_2 intercelular; E= Tasa de transpiración; T_h = Temperatura de la hoja; HR= Humedad relativa.

La comparación de medias (Cuadro 4.4), en la segunda medición, muestra que el tratamiento 2 Acibenzolar S metil (ASM) superó estadísticamente en la tasa fotosintética al tratamiento 6 (ALSMX-080) que presentó menor tasa fotosintética que el testigo enfermo y sano; además numéricamente se observaron diferencias significativas entre el resto de los tratamientos. El tratamiento 2 (AS + ASM a dosis 0.14 g/L y 0.075 g /L) obtuvo mejor tasa fotosintética debido a que la planta en ese momento tenía los estomas más abiertos, por lo que la planta tuvo mayor concentración de CO₂ intercelular disponible para ser asimilado; sin embargo mayor apertura de estomas representa una mayor transpiración. Por su parte, el testigo sano (T8) mostró estomas más cerrados y una menor asimilación de CO₂ que el testigo enfermo (T9), sin embargo, las plantas sanas tuvieron menor transpiración, lo que se reflejó en una mayor tasa fotosintética debida a mejor capacidad de las plantas sanas para asimilar el CO₂. Esto se atribuye a que la tasa de fotosíntesis es condicionada principalmente por la concentración de CO₂ y por la temperatura en condiciones normales de producción como parte del metabolismo primario de las plantas (Van Ooteghem, 2007).

Si consideramos que las plantas enfermas tuvieron menor tasa fotosintética que las sanas debido a que presentaron mayor severidad del complejo de enfermedades (ver datos de severidad en páginas siguientes), y por lo tanto menos área foliar para fotosintetizar, podría especularse que las plantas enfermas tratadas con el tratamiento 6, las cuales tuvieron menor tasa fotosintética que el testigo enfermo y a su vez mostraron control de la severidad, produjeron metabolitos secundarios para controlar el avance de la enfermedad (ver datos de

severidad en cuadro 4.9) en lugar de dedicarse al metabolismo primario que implica la fotosíntesis.

Además del tratamiento 2 (AS y ASM a dosis media), los tratamientos 1, 3 (AS y ASM a dosis baja y alta) y 7 (algas marinas) fueron los mejores numéricamente para inducir mayor tasa fotosintética que el testigo sano (plantas sanas sin tratar), y también mostraron menos severidad del complejo de enfermedades, por lo que se puede sugerir que además de mostrar control del avance de enfermedades eficientizaron el proceso de fotosíntesis.

El proceso de fotosíntesis está relacionado con la transformación del CO₂ y agua en asimilados que la planta emplea para su mantenimiento, crecimiento y desarrollo. La tasa de fotosíntesis es condicionada principalmente por la concentración de CO₂ y por la temperatura, aunque otras variables climáticas tienen suficiente influencia en este proceso (Van Ooteghem, 2007). Pancheva *et al.* (1996) encontraron que al aplicar AS en plantas de cebada a dosis de 0.1 mM a 1 mM, se obtuvo la máxima tasa de fotosíntesis.

4.2 Variables agronómicas

Los resultados obtenidos para las variables agronómicas muestran diferencia significativa entre tratamientos, como se observa en el Cuadro 4.6.

Cuadro 4.5. Cuadros medios y nivel de significancia para variables agronómicas determinadas en plantas de tomate tratadas con elicitores de resistencia a enfermedades después de 7 días de la aplicación de tratamientos, en tomate bajo condiciones de invernadero.

FV	GL	Altura cm	GL	Diámetro mm	GL	# Flores
Tratamientos	8	353.35**	8	0.68*	8	7.00**
Error	52	142.81	52	0.56	241	3.01
C.V.		18.57		7.92		35.23

*,**, Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; GL=Grados de libertad; C.V.=Coeficiente de variación.

Al comparar las medias por tratamiento (Cuadro 4.6), se obtuvo que el tratamiento 8 (testigo sano) alcanzó una mayor altura y diámetro en comparación con el testigo enfermo que fue el más bajo en estas variables, además las plantas tratadas muestran un incremento de 15 a 38 % de altura con respecto al testigo enfermo, pero cabe destacar que en cuanto a la variable número de flores, las plantas enfermas tratadas y no tratadas son las que tienen mayor número (Cuadro 4.6), esto puede atribuirse a que las plantas enfermas usaron este mecanismo de sobrevivencia, aunado a que el uso de elicitores favorece el crecimiento vegetal, los cuales están involucrados en diversos procesos fisiológicos, tales como termogénesis, resistencia a patógenos, inducción a la floración, el crecimiento de raíces y absorción de nutrimentos (Hayat *et al.*, 2007).

Cuadro 4.6. Comportamiento de las medias de variables agronómicas después de 7 días de aplicación de tratamientos en tomate bajo condiciones de invernadero.

Trat	Tratamiento	Altura cm	Diámetro mm	# Flores
1	AS y ASM	69.87 ab	9.45 ab	4.39 bc
2	AS y ASM	73.81 ab	9.76 ab	4.93 ab
3	AS y ASM	66 abc	9.78 ab	4.89 ab
4	ALSMX-080	62.25 bc	9.39 ab	4.96 ab
5	ALSMX-080	62.06 bc	9.44 ab	5.5 a*
6	ALSMX-080	64.37 abc	9.66 ab	5.1 ab
7	Algas marinas	61.69 bc	9.68 ab	5.03 ab
8	Testigo sano	77.62 a*	9.91 a*	3.61 c*
9	Testigo enfermo	53.46 c*	8.92 b*	5.38 ab

Medias con letras iguales dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Duncan, 0.05). A= Altura de planta; D=Diámetro de planta; NF= Número de Flores

4.3 Rendimiento

Los resultados obtenidos para la variable de Rendimiento muestran que no hay diferencia significativa, aunque si se observan diferencias numéricas (Cuadro 4.7).

Cuadro 4.7. Cuadrados medios y nivel de significancia para variables de rendimiento determinadas en plantas de tomate tratadas con elicitores de resistencia a enfermedades después de 7 días de la aplicación de tratamientos, en tomate bajo condiciones de invernadero.

Fuente de variación	GL	Número de Frutos	GL	Diámetro Fruto Mm	GL	Rendimiento g/fruto
Tratamientos	8	1.47	8	288.82	8	1267.45
Error	201	1.37	457	87.20	195	1243.47
C.V.		50.86		35.29		92.37

GL=Grados de libertad; C.V.=Coeficiente de variación.

Cuadro 4.8. Comportamiento de las medias de componentes de rendimiento después de 7 días de aplicación de tratamientos en tomate bajo condiciones de invernadero.

Trat	Tratamiento	Número de frutos	Diámetro Fruto Mm	Rendimiento g/fruto
1	AS y ASM	2.21	29.11	44.37
2	AS y ASM	2.52	26.52	43.42
3	AS y ASM	1.92	27.53	33.58
4	ALSMX-080	2.16	28.52	39.14
5	ALSMX-080	2.26	28.38	45.34
6	ALSMX-080	2.38	24.23	34.42
7	Algas marinas	2.21	28.19	45.57
8	Testigo sano	2.29	25.15	29.24
9	Testigo enfermo	2.65	23.27	29.18

Las medias del cuadro 4.8 muestran que estadísticamente no hay diferencias significativas, sin embargo en cuanto a número de frutos el testigo enfermo superó al testigo sano y a las plantas tratadas debido a que produjo más flores como efecto de supervivencia, con respecto al diámetro de frutos se obtuvieron incrementos que fueron de 4 a 25 % mayor diámetro que el testigo enfermo. El rendimiento se vio incrementado en un rango de 15 a 56 % más que el testigo enfermo con la aplicación de algas marinas, seguido por la dosis media de ALSMX-080 y la dosis baja de AS y ASM. Estos mismos tratamientos produjeron frutos de mejor calidad que el testigo enfermo y sano.

Por otro lado, trabajos sobre productividad de flores y frutos en trigo donde se aplicó en floración ácido acetil salicílico en dosis de 10^{-2} M, incrementó en 20% la producción de grano (López *et al.*, 1998). Con los resultados de esta investigación

se corrobora que el AS induce un aumento del rendimiento, sin afectar la calidad de los frutos (Larqué *et al.*, 2007)

4.4 Control de enfermedades

Los resultados obtenidos para las variables en cuanto a control de enfermedades muestran diferencia significativa entre tratamientos, como se muestra en el Cuadro 4.9.

Cuadro 4.9. Comportamiento de las medias de variables de control de enfermedades después de 8 días de la 2ª aplicación de tratamientos en tomate bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	Incidencia %	Severidad %	Control de Severidad
1	87.5	71.3 abc	25.3
2	100.0	72.24 abc	24.3
3	75.0	66.25 abc	30.6
4	100.0	74.69 abc	21.8
5	100.0	74.94 abc	21.5
6	100.0	82.31 ab	13.8
7	87.5	59.73 bc	37.4
8	100.0	49.28 c	48.4
9	100.0	95.46 a	0.0

La evaluación de Incidencia del complejo de enfermedades ocurridas naturalmente (virus del bronceado por trips, mancha foliar por *Alternaria* y *Xanthomonas*) realizada a los 7 días de la segunda aplicación de tratamientos muestra que el 100% de las plantas del testigo sano se infectaron y los tratamientos 1 y 3 (AS + ASM a dosis baja y alta), así como el tratamiento 7 mantuvieron un 12.5 a 25 % de control de avance de la enfermedad.

En cuanto a severidad las plantas del testigo sano tuvieron el menor grado de severidad del complejo de enfermedades, sin embargo, todos los tratamientos mostraron un efecto de control de la severidad, destacando el tratamiento de Algas marinas (Algas), con diferencia significativa.

Las dosis de 0.5 y 1 ml de ALSMX-080 por litro de agua no mostraron diferencia significativa respecto al control que mostró el elicitor de resistencia a enfermedades validado científicamente por numerosos reportes (ASM), por lo que podemos asumir que ALSMX-080 tiene un efecto de protección (elicitor de resistencia) equivalente a ASM, aunque numéricamente si se observa mayor control del ASM y es de destacar que incluso el Algas marinas (algas) supera a ASM.

V.- CONCLUSIONES

- Las aplicaciones de los 3 elicitores evaluados no tuvieron efecto negativo en el desarrollo y rendimiento de tomate Var. *Ailsa Craig*.
- La aplicación conjunta de algas marinas, conjunto de AS + ASM, y ALSMX-080 tuvieron un efecto significativo en control de enfermedades.
- La utilización conjunta de AS + ASM tuvo un efecto significativo en incremento de fotosíntesis en plantas enfermas.
- La aplicación de algas marinas, conjunto de AS + ASM, y ALSMX-080 tuvieron un efecto en incremento de altura y diámetro de plantas enfermas de tomate Var. *Ailsa Craig*.
- La aplicación de algas marinas, ALSMX-080 y conjunto de AS + ASM tuvieron un efecto en incremento de rendimiento y calidad de frutos de tomate Var. *Ailsa Craig*.

VI.- LITERATURA CITADA

Alejandro B., L. y C. Aguirre M. 2002. Proteínas involucradas en los mecanismos de defensa de plantas. Universidad de Guanajuato. Guanajuato. México. pp. 3-28.

Angarita A., S. R. 2001. Moléculas activadoras de la inducción de resistencia, incorporadas en programas de agricultura sostenible. Revista Manejo Integrado de Plagas 6: 4-11.

Barbosa M., A.G., Laranjeira, D., Coelho R., S.B. 2008. Custo fisiológico da resistência em algodoeiros sob diferentes níveis de nitrogênio. Revista Summa Phytopathologica 34 (4): 338-342.

Benavides-Mendoza, A., Burgos-Limón, D., Ortega-Ortiz, H. Ramírez, H. 2007. El ácido benzoico y poliácido acrílico quitosán en la calidad y el rendimiento del tomate cultivado en suelo calcáreo. Terra Latinoamericana 25(3):123-129.

Berenguer, J. J. 2003. Manejo de cultivo de tomate en invernadero. pp. 147-152. En: Castellanos J. Z. y Muños R. J. J. (Eds). Curso Internacional de producción de hortalizas en invernaderos. Celaya Guanajuato, México.

Bautista-Baños, S., Hernández- Lauzardo, A. N., Velásquez del Valle M.G., Hernández-López, M., AitBarka, E., Bosquez-Molina, E., and Wilson, C.L. 2006.

Chitosan a potential natural compound to control pre-and postharvest diseases of horticultural commodities. *Crop protection* 25: 108-118 pp.

Chamarro, L. J. 2001. Anatomía y fisiología de la planta, pp. 43-87. En: F. Nuez (Ed.) El cultivo del tomate. Editorial Mundi-Prensa México.

Croteau, R., Kutchan, T. and Lewis, N. 2000. Natural Products (Secondary Metabolites). En: Buchanan, B., B., G. and Gruissem, J., *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (pp. 1250-1318), American Society of Plant Physiologists.

Farmer, E., Ryan C., A. 1990. Interplant Communication: Airborne methyl ácido jasmonicosmonate induces synthesis of protein ase inhibitors in plant leaves. *PNAS*. pp. 7713-7716.

FAO. 2011. Importancia del Jitomate en México. <http://www.horticulturaefectiva.net/2011/11/importancia-del-jitomate-en-mexico.html>. Consultado el 30 de diciembre de 2012.

Financiera Rural. 2009. Monografía Tomate Rojo (Jitomate). <http://www.financierarural.gob.mx>. Consultado el 21 de enero de 2013.

Camarena G. 2002. Octadecanoides como reguladores de la defensa de las plantas. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente. Universidad Autónoma Chapingo. pp. 107-112.

Hayat, S., Ali B., Ahmad, A. 2007. Salicylic acid: Biosynthesis, metabolism and physiological role in plants p. 1-11. *In* Hayat, S; Ahmad, A. eds. Salicylic acid a plant hormone. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 401 p.

Hutcheson, W. 1998. Current concepts of active defense in plants. *Annu. Rev. Phytopatol.* vol. 36, p. 59-90.

Infoagro, 2012. El cultivo de tomate. <http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.htm>. Consultado el día 13 de noviembre de 2012.

Kuč J. 2001. Concepts and direction of induced systemic resistance in plants its application. *European Journal of Plant Pathology* 107: 7-12.

Larqué–Saavedra, A., and Martín–Mex, R. 2007. Effects of salicylic acid on the bioproductivity of plants. pp: 15–23. *In*: Salicylic Acid: A Plant Hormone. Hayat, S. and Ahmad, A. (eds). Springer Netherlands.

López, T. R., Camacho– Rodríguez, V., Gutiérrez–Coronado, M. A. 1998. Aplicación de ácido salicílico para incrementar el rendimiento agronómico en tres variedades de Trigo. Terra 16: 43–48.

Luis F. A. C. 1998. Fitopatología: Un Enfoque Agroecológico. Primera edición. Editorial de la Universidad de Costa Rica. pp. 180.

Marroquín, J. 2005. Etimología del tomate. En línea.: <http://www.etimologias.dechile.net/?tomate>. Fecha de consulta 15/01/07.

Martínez, H. C. Cano, R. P. 2005.. Propiedades nutricionales y medicinales del tomate en: www.bitanical-online.com/medicinalspreparaciones.htm. Copyright 1999- 2005. Consultado el 12 de octubre de 2012.

Mert-Türk, F. 2002. Phytoalexins: Defense or just response to stress? .Journal of Cell and Molecular Biology 1:1-6.

Morgan, L. 2001. Greenhouse extremes, port one: minimizing the effects of high temperaturas. Thegrowingedge volumen 12:3 425-430 pp.

Muños, R. M. 1995. Desarrollo de ventajas competitivas en la agricultura. El caso del tomate rojo. SAGARPA. CUESTAAM. UACH: México. P. 120.

Nuez, F. 2001. El cultivo de Tomate. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. pp. 163-167.

Pancheva, T. V., Popova, L. P., Uzunova, A. N. 1996. Effects of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *J. Plant Physiol.* 149: 57-63.

Pascholati, S. F. Leite, B., Stangarlin, J. R. Cia P. 2008. Interação Planta – Patógeno: fisiologia, bioquímica e biologia molecular. FEALQ, Piracicaba, 411-429.

Pérez M. L. y E. Rico J. 2005. Virus fitopatógenos en cultivos hortícolas de importancia económica en el Estado de Guanajuato, México. Quinta edición, universidad de Guanajuato. Instituto de Ciencias Agrícolas. p. 64.

Prohens, J. y Nuez, F. Handbook of plant breeding, vol. 2, Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae, 2008, 365p.

Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology* 43: 439-463.

R. García M., y R. P. Leal. 2003. Fitoalexinas: Mecanismos de defensa de las plantas. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, enero- junio, año/vol. 9, pp. 5-10.

Rodríguez Aida, T., Ramírez, M. A., Falcón A. B., Guridi. F., Cristo, E.. 2004. Estimulación de algunas enzimas relacionadas con la defensa en plantas de arroz (*Oryza sativa*) obtenidas de semillas tratadas con quitosana. Cultivos tropicales. Vol.25. núm. 3. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana. Cuba. pp. 111-115.

Ruiz R., J. D. 2002. Poda en hortalizas. Apuntes de producción de hortalizas II. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila. México. p. 78.

Sato, H., Mizutani, S., Tsuge, S. 1998. Determination of the degree of acetylation of chitin/chitosan by pyrolysis-Gas chromatography in the presence of oxalic acid. Analytical Chemistry 70: 7-12.

Schreiber, K., and Desveaux, D. 2008. Message in a Bottle: Chemical Biology of induced Resistance in Plants. Plant Pathology Journal 24 (3): 245-268.

SAGARPA. 2002. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Volumen 1. Centro de Estadísticas Agropecuarias. D.F. México.

Shi J. 2000. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. Crit. Rev. Food. Sci. Nutr. 40: 1-42.

SIAP. 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (consultado el 22 de enero de 2013)

Valadéz, L. A. 1993. Producción de hortalizas. Cuarta edición. Ed. Limusa. México, D.F. pp: 157-163.

Van Ooteghem, R. 2007. Optimal control design for a solar greenhouse. Ph. D. Thesis Wageningen University. The Netherlands. 312 p.

Yildirim, E., and Dursun, A. 2009. Effect of foliar salicylic acid applications on plant growth and yield of tomato under greenhouse conditions. pp. 395–400. TÜZEL, Y. *et al.* Proc. IS on Prot. Cult. Mild Winter Climate. (eds.) Acta Horticulturae 807 p.

Yineth P. C., A. O. Álvarez, Mario V. L. 2009. Efecto de la aplicación de elicitores sobre la producción de ab-hidroxiwithanolido E., en raíces transformadas de *Physalis peruviana* L. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. Colombia. pp. 23-28.