



*“Enseñar la explotación de la tierra,
no la del hombre”*

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA
POSGRADO EN PROTECCIÓN VEGETAL**

**“SILICIO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA PARA EL CONTROL DE *Phytophthora*
cactorum EN FRESA”**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

MORENO GUERRERO DISRAELI ERON



CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2014.

La presente tesis titulada “**SILICIO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA PARA EL CONTROL DE *Phytophthora cactorum* EN FRESA**” bajo la dirección y asesoría del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR:



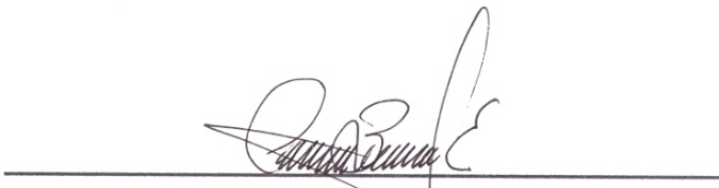
Dr. Santos Gerardo Leyva Mir

ASESOR:



Dra. Libia I. Trejo-Téllez

ASESOR:



Dr. Andrés Bolaños Espinoza

Chapingo, Estado de México, Septiembre de 2014.

DATOS BIOGRÁFICOS

Disraeli Eron Moreno Guerrero es originario del municipio de Zacapoaxtla en el Estado de Puebla. Realizó sus estudios de nivel Primaria en el Centro Escolar Presidente Manuel Ávila Camacho en el municipio de Teziutlán, Puebla; sus estudios de secundaria en la Escuela Secundaria Federal Antonio Audirac en el mismo lugar; realizó sus estudios de bachillerato, en el Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios 44 (CBTis 44), en el cual cursó la especialidad de Técnico en Computación, en el mismo municipio. En el año 2007 ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo, donde cursó el propedéutico, para incorporarse en el año 2008 al Departamento de Fitotecnia en donde obtuvo el título de Agrónomo Especialista en Horticultura Protegida. En 2012 ingresa a la Maestría en Protección Vegetal en el Departamento de Parasitología Agrícola.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo otorgado por la realización de mis estudios de postgrado.

A dios por permitirme seguir aquí y a la vida, que me ha dado tanto...

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi alma mater a la que siempre le estaré agradecido el haberme dado la oportunidad tan grandiosa de formarme humanística y profesionalmente.

A la Línea Prioritaria de Investigación 5 Biotecnología Microbiana, Vegetal y Animal del Colegio de Postgraduados por todas las facilidades y apoyo prestados en la realización de esta investigación.

Al departamento de Parasitología Agrícola, espacio que me dotó de conocimientos para obtener mi Maestría.

A mi director y asesores Dr. Santos Gerardo Leyva Mir, Dra. Libia I. Trejo-Téllez y Dr. Andrés Bolaños Espinoza por enriquecer con sus conocimientos y experiencias esta tesis.

Deseo agradecer también tanto a los técnicos del departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo como a los técnicos del laboratorio de Nutrición Vegetal del Postgrado en Edafología del Colegio de Postgraduados, comprometidos con la excelencia académica, y cuya asesoría y valiosos consejos durante el desarrollo de esta tesis fueran siempre importantes para marcar la diferencia.

A mis padres Sorobabel Isidro Moreno Álvarez y Maximina Guerrero Guerrero, por su cariño, confianza, comprensión y orgullo que siempre han sentido por mí, gracias.

A mi hermano Sorobabel Moreno Guerrero por su cariño, comprensión, confianza pero sobre todo por sus sabios consejos. A mi hija Ana Iris Moreno Salazar, mi mayor motivación para seguir adelante.

A todos, que de alguna u otra forma, contribuyeron a que esto fuera posible.

ÍNDICE GENERAL

	Página.
DATOS BIOGRÁFICOS	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE GENERAL	iii
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE CUADROS DEL APENDICE	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
3. OBJETIVOS	5
3.1. Objetivo general	5
4. HIPÓTESIS	5
4.1. Hipótesis general	5
5. REVISIÓN DE LITERATURA	6

5.1. El hospedante	6
5.1.1. Origen y distribución del hospedante	6
5.1.2. Importancia económica del cultivo de fresa	8
5.1.3. El cultivo de fresa	9
5.1.4. La solución nutritiva	11
5.1.5. Usos	11
5.2. Características morfológicas	12
5.2.1. Raíces	12
5.2.2. Tallo	12
5.2.3. Hojas	12
5.2.4. Inflorescencias	12
5.2.5. Fruto	13
5.3. Clasificación taxonómica	13
5.4. Requerimientos climáticos	13
5.4.1. Fotoperíodo	14
5.4.2. Temperatura	14
5.4.3. Humedad relativa	14

5.5. Factores limitantes del cultivo de la fresa	15
5.5.1. Principales enfermedades	15
5.5.1.1. Antracnosis	15
5.5.1.2. Mancha foliar	15
5.5.1.3. Quemadura de la hoja	16
5.5.1.4. Oídio	16
5.5.1.5. Marchitamiento por fusarium	16
5.5.1.6. Podredumbre gris	17
5.6. <i>Phytophthora cactorum</i>	17
5.6.1. Agente causal <i>Phytophthora cactorum</i>	18
5.6.2. Clasificación y características de <i>Phytophthora cactorum</i>	18
5.6.3. Sintomatología	19
5.6.4. Descripción morfológica de <i>Phytophthora cactorum</i>	20
5.6.5. Especialización de fisiología de <i>Phytophthora cactorum</i> ...	20
5.6.6. Biología y epidemiología de <i>Phytophthora cactorum</i>	20
5.6.7. Ciclo biológico de <i>Phytophthora cactorum</i>	21

5.7. Manejo de la enfermedad	22
5.7.1. Bioquímica del silicio en las plantas	23
5.7.2. Acción fungicida del silicio	25
6. MATERIALES Y MÉTODOS	27
6.1. Ubicación del experimento	27
6.2. Sustrato	27
6.3. Material vegetal	27
6.4. Identificación de <i>Phytophthora cactorum</i>	27
6.4.1. Recolección y aislamiento	27
6.4.2. Material de inoculación (zoosporas de <i>Phytophthora cactorum</i>)	28
6.5. Manejo del experimento	28
6.6. Diseño experimental	28
6.7. Manejo del cultivo	29
6.7.1. Establecimiento del experimento	29
6.7.2. Control fitosanitario	30
6.8. Aplicación de los tratamientos	30

6.8.1. Tratamientos vía raíz	35
6.8.2. Tratamientos vía foliar	37
6.8.3. Inoculación de <i>Phytophthora cactorum</i>	39
6.9. Variable evaluada	40
6.9.1. Porcentaje de frutos enfermos	40
6.9.2. Análisis estadístico	40
6.9.2.1. Modelo estadístico	40
7. RESULTADOS	41
7.1. Fenología del cultivo	41
7.2. Experimento vía raíz	41
7.3. Experimento vía foliar	44
8. DISCUSIÓN	47
8.1. Experimento vía raíz	47
8.2. Experimento vía foliar	47
9. CONCLUSIÓN	49
9. LITERATURA CITADA	50
APÉNDICE	62

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Origen y nombres de las principales variedades de fresa cultivadas en México.	7
Cuadro 2.	Principales estados productores de fresa (riego + temporal) en México.	8
Cuadro 3.	Calendario de aplicaciones de agroquímicos preventivos para insectos plaga y enfermedades en el cultivo de fresa.	30
Cuadro 4.	Fuentes de fertilización de macronutrientes para la preparación de la solución nutritiva de Steiner al 100% (Steiner, 1984).	31
Cuadro 5.	Descripción de los tratamientos de óxido de silicio y silicato de calcio aplicados en el experimento vía raíz en el cultivo de fresa.	31
Cuadro 6.	Descripción de tratamientos de óxido de silicio y silicato de calcio aplicados en el experimento vía foliar en el cultivo de fresa.	32
Cuadro 7.	Dosis de aplicación de óxido de silicio y silicato de calcio en el experimento vía raíz en el cultivo de fresa en g L ⁻¹ modificando la Solución Universal de Steiner al 100% (Steiner, 1984).	36

Cuadro 8.	Dosis de aplicación de óxido de silicio y silicato de calcio en el experimento vía raíz en el cultivo de fresa en g 200 L ⁻¹ modificando la Solución Universal de Steiner al 100% (Steiner, 1984).	36
Cuadro 9.	Dosis de aplicación de óxido de silicio y silicato de calcio en el experimento vía foliar en el cultivo de fresa en g L ⁻¹ .	38
Cuadro 10.	Dosis de aplicación de óxido de silicio y silicato de calcio en el experimento vía foliar en el cultivo de fresa en g 5 L ⁻¹ .	38
Cuadro 11.	Comparación de medias del porcentaje de infección de <i>Phytophthora cactorum</i> en experimento vía raíz en el cultivo de fresa en Montecillo, México. 2013.	43
Cuadro 12.	Comparación de medias del porcentaje de infección de <i>Phytophthora cactorum</i> en experimento vía foliar en el cultivo de fresa en Montecillo, México. 2013.	46

ÍNDICE DE CUADROS DEL APENDICE

	Página
Apéndice 1. Análisis de varianza del porcentaje de infección en experimento vía raíz del cultivo del fresa con <i>Phytophthora cactorum</i> en Montecillo, México, 2013.	62
Apéndice 2. Análisis de comparación de tratamientos en experimento vía raíz del cultivo del fresa con <i>Phytophthora cactorum</i> en Montecillo, México, 2013.	62
Apéndice 3. Análisis de varianza del porcentaje de infección en experimento vía foliar del cultivo del fresa con <i>Phytophthora cactorum</i> en Montecillo, México, 2013.	63
Apéndice 4. Análisis de comparación de tratamientos en experimento vía foliar del cultivo del fresa con <i>Phytophthora cactorum</i> en Montecillo, México, 2013.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Distribución física del experimento 1 vía raíz de los tratamientos dentro de los bloques del diseño de bloques completamente al azar (DBCA).	33
FIGURA 2. Figura 2. Distribución física del experimento 2 vía foliar de los tratamientos dentro de los bloques del diseño de bloques completamente al azar (DBCA).	34
FIGURA 3. Gráfica del experimento vía raíz del porcentaje de efectividad biológica de los tratamientos evaluados sobre <i>Phytophthora cactorum</i> en el cultivo de fresa en Montecillo, México 2013.	43
FIGURA 4. Gráfica del experimento vía foliar del porcentaje de efectividad biológica de los tratamientos evaluados sobre <i>Phytophthora cactorum</i> en el cultivo de fresa en Montecillo, México 2013.	46

“SILICIO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA PARA EL CONTROL DE *Phytophthora cactorum* EN FRESA”

“SILICON SOLUTION IN NUTRITIONAL CONTROL OF *Phytophthora cactorum* IN STRAWBERRY”

Disraeli Eron Moreno Guerrero¹ y Santo Gerardo Leyva Mir²

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar el efecto del suministro de SiO_2 y CaSiO_3 en distintas dosis mediante dos vías de aplicación, sobre la incidencia de la enfermedad *Phytophthora cactorum* en el cultivo de fresa; la primera, vía raíz a través de la adición a la solución nutritiva, y la segunda, vía foliar mediante el suministro a través de una mochila aspersora. El experimento se realizó en un invernadero tipo túnel del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México. Se establecieron plantas de fresa cv. Albion en un sistema hidropónico abierto, utilizando como sustrato tezontle. Las dosis de Si suministradas vía raíz fueron 50 y 100 mg L^{-1} , adicionadas a partir de dos fuentes SiO_2 y CaSiO_3 . El Si en la aplicación vía foliar tuvo una concentración de 2.5 y 5.0 g L^{-1} , a partir también de las fuentes antes referidas. En la aplicación vía raíz, en la soluciones nutritivas que contenían SiO_2 o CaSiO_3 en sus diferentes dosis se suministraron una única ocasión en seis riegos con intervalos de 4 h; posteriormente en el suministro vía foliar mediante el uso de una mochila aspersora donde se diluyeron en agua SiO_2 o CaSiO_3 se administraron en una única ocasión en cuatro aspersiones con intervalos de 6 h. Consiguientemente 4, 8 y 12 días después de la aplicación de tratamientos vía raíz y foliar, los frutos se inocularon con una solución conteniendo *Phytophthora cactorum* a una concentración de 10^5 zoosporas mL^{-1} . La incidencia de la pudrición cuerosa en frutos se evaluó a los 15 d después de la última inoculación de los frutos. Los resultados obtenidos muestran que la aplicación de SiO_2 y CaSiO_3 tanto vía raíz como foliar, fueron más efectivos en sus dosis más altas para el control de la enfermedad *Phytophthora cactorum*. Se observó que el uso de compuestos de Si es una alternativa sustentable que favorece al manejo y control de la enfermedad *Phytophthora cactorum*.

Palabras clave: Fresa, silicio, pudrición cuerosa, incidencia de la enfermedad.

ABSTRACT

The present investigation was conducted to determine the effect of supplying SiO_2 and CaSiO_3 in different doses by two routes of administration on the incidence of the disease *Phytophthora cactorum* in strawberry crops. The first route was through the roots by adding the silicon to the nutrient solution and the second route was foliar by supplying it with a backpack sprayer. The experiment was conducted in a greenhouse tunnel in the Colegio de Postgraduados, Montecillo, Mexico. Strawberry cv. Albion plants were established in an open hydroponic system, using tezontle (porous volcanic rock) as substrate. Si doses supplied via the roots were 50 and 100 mg L^{-1} , added from two sources, CaSiO_3 and SiO_2 . Si in the foliar fertilizer solution had a concentration of 2.5 and 5.0 g L^{-1} , also from the aforementioned sources. In the application via the roots, in nutrient solutions containing SiO_2 or CaSiO_3 at different doses were provided only once in six irrigations with 4 h intervals; subsequently foliar application was done using a backpack sprayer with SiO_2 or CaSiO_3 diluted in water administered only once with four sprays every 6 h. Accordingly, 4, 8, and 12 days after treatment application, foliar and via the roots, the fruits were inoculated with a solution containing *Phytophthora cactorum* at a concentration of 10^5 zoospores mL^{-1} . The incidence of leathery fruit rot was assessed 15 d after the last inoculation of the fruits. The results show that the application of CaSiO_3 and SiO_2 via both by the roots and leaves, was more effective at the highest dose for disease control of *Phytophthora cactorum*. We observed that the use of Si compounds is a sustainable alternative favoring the management and control of the disease *Phytophthora cactorum*.

Keywords: Strawberry, silicon, leathery rot disease, incidence.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de fresa es de gran importancia, por la cantidad de producto que se aporta al mercado, ya que según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera reporto que en el año 2013 se lograron producir 379,463 toneladas a nivel nacional, además de que dicho cultivo es importante fuente de generación de empleos y divisas, colocándose dentro de los primeros lugares en exportación del fruto en los últimos años (Martínez-Bolaños y et al., 2008).

La fresa es un fruto que se consume a nivel mundial tanto en fresco como procesado en un gran número de productos, debido a su sabor y aroma, y sus propiedades nutricionales como su contenido de vitamina A y C, y de compuestos antioxidantes. De acuerdo a Sharma y Singh (2008) estos compuestos ayudan a contrarrestar efectos involucrados en procesos de oxidación que se encuentran relacionados con algunas patologías crónico degenerativas como las enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer, y enfermedades neurodegenerativas (Rivera, 2012).

La fresa es una planta que pertenece a la familia Rosacea y el género *Fragaria*. Presenta tallos rastreros nudosos y con estolones, hojas grandes y frutos de color rojo intenso; perennes, no climatéricos. El fruto además de ser altamente perecedero presenta una elevada susceptibilidad al ataque de microorganismos especialmente de hongos parásitos (Chaves y Wang, 2004; Hanhineva, 2008).

El cultivo de la fresa, al igual que otros cultivos, es atacado por patógenos que afectan la capacidad fisiológica y productiva de la planta, logrando en muchos casos, incidir en la calidad de los frutos y en otros, provocar su destrucción total. Durante el desarrollo del cultivo se presentan diversas enfermedades de las cuales la pudrición cuerosa (*Phytophthora cactorum*) es una de las más dañinas ya que afecta la apariencia externa de los frutos y en consecuencia se ve limitado el mercado nacional (Rebollar-Alviter, A. 2009).

Las especies de *Phytophthora* causan varias enfermedades en muchos tipos de plantas, desde plántulas de hortalizas anuales o de ornato hasta árboles forestales, frutales y frutillas completamente desarrollados. La mayoría de las especies del hongo producen pudriciones de la raíz, ahogamiento de plántulas y pudriciones de tubérculos, base del tallo y otros órganos, enfermedades que son bastante semejantes a las que produce *Pythium spp.* Otras especies ocasionan pudriciones de yemas o de frutos y algunas de ellas producen tizones que atacan al follaje, ramas inmaduras y frutos. Algunas especies son específicas al hospedante, es decir, sólo atacan a una o dos especies de plantas, pero otras tienen una amplia gama de hospedantes y pueden causar síntomas similares o distintos en muchos tipos de plantas hospedantes. La especie que mejor se conoce es *Phytophthora infestans*, causante del tizón tardío de la papa y del tomate, pero cabe mencionar que muchas otras especies producen enfermedades devastadoras en sus hospederos. Fernández-Herrera (2007) menciona las demás especies importantes y las enfermedades que producen y que mejor se conocen de *Phytophthora*:

Phytophthora capsici genera la pudrición de la raíz del pimiento, zanahoria, calabaza y la pudrición del fruto del pimiento, tomate, berenjena y de las cucurbitáceas, entre otras plantas.

Phytophthora cinnamomi produce la pudrición de la raíz del aguacate, azalea, castaño, canelo, roble, pino, piña y muchos más árboles y arbustos.

Phytophthora fragariae produce la pudrición roja de la estela de la raíz de la fresa.

Phytophthora cactorum origina la pudrición del tronco o collar del manzano, la pudrición del pie y tallo del lirio, la muerte descendente de la azalea y la pudrición cuerosa en fresa.

Phytophthora cactorum es una enfermedad relevante a nivel nacional, sobre todo en los terrenos donde no se ha llevado a cabo la nivelación y donde se ha efectuado un deficiente manejo de los riegos, sobre todo en aquellos suelos de textura arcillosa y donde se suministran riegos pesados y prolongados. La enfermedad puede ser transmitida a través de planta madre, de hospederas o del suelo a partir de estructuras de resistencia llamadas oosporas.

En vivero los síntomas de *Phytophthora cactorum* se presentan con temperaturas frescas y lluvia. Al persistir el inóculo puede ser transportado por las plántulas, a las plantaciones comerciales de producción de fruta, donde los síntomas se pueden agravar al colapsarse la corona y finalmente morir la planta. Aún después de haberse controlado el hongo, este se puede manifestar en frutos en condiciones de suelo húmedo y medio ambiente fresco a manera de una pudrición café seca con un moho blanco. La enfermedad puede aparecer en cualquier tiempo durante el ciclo y el primer síntoma se observa como un estancamiento del desarrollo y con un marchitamiento de las hojas jóvenes que se puede dispersar al resto de las plantas y algunas hojas se tornan rojizas. Si el síntoma persiste las plantas eventualmente pueden colapsar y morir. Las plantas retrasadas pueden permanecer en ese estado el resto del ciclo. El síntoma de pudrición de corona y raíz por *Phytophthora cactorum*, puede ser distinguido de otras pudriciones por la apariencia del tejido decolorado en la corona acompañado de pequeños puntos rojizos. La pudrición inicia en un punto de la corona y se dispersa alrededor de la misma hasta que la planta es totalmente estrangulada. Las raíces pueden permanecer sanas. Si la corona enferma es rebanada longitudinalmente, el área afectada aparece humedecida y uniformemente café. El hongo sobrevive de estación en estación como oospora sobre frutos infectados y momificados. Las oosporas permanecen en el suelo por un tiempo mayor. Las estructuras germinan en primavera para producir esporangios. Los esporangios pueden aparecer en los frutos después de 3 horas bajo condiciones de humedad elevada y temperaturas entre 25 y 30 °C (L. Strand, 1994).

Como estrategias de control se comienza con prácticas culturales como lo es el drenaje y la circulación de aire en el suelo que contrarresta la incidencia de este patógeno. El acolchado reduce el contacto con el suelo y por consiguiente la proliferación de la enfermedad. Debido a que la pudrición cuerosa del fruto (*Phytophthora cactorum*) y moho gris (*Botrytis cinérea*) se encuentran comúnmente en los mismos campos, es necesaria la combinación de dos fungicidas para su control como lo es Captan, Thiram o Folpet, han sido fungicidas estándar, para el control de pudrición seca y benomilo y thiofanato han sido efectivos para el control de moho gris. Otros productos como Ridomil 4E (Metalaxil) y Aliette (Fosetil Aluminio) son efectivos (Paulus, 1990).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Bowen, P., J. Menzies, D. Ehret, L. Samuels y A. Glass (1992) en diversos estudios demuestran que la utilización de silicio para el control de oomicetos, específicamente *Phytophthora cactorum*, provee un control de la pudrición cuerosa del fruto en fresa en pre y post-infección; por lo que es necesario conocer si los efectos favorables se mantienen cuando el silicio se adiciona vía raíz a través de la solución nutritiva y en condiciones hidropónicas, así como también vía foliar mediante el suministro a través de una mochila aspersora. Por lo anterior, en este estudio se evaluaron diferentes dosis de SiO_2 y CaSiO_3 vía raíz y foliar sobre el control de *Phytophthora cactorum*, en preinfección, en plantas de fresa cv. Albion, cultivadas bajo condiciones de invernadero y en un sistema hidropónico abierto, utilizando tezontle rojo como sustrato.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la adición y aplicación de óxido de silicio y silicato de calcio vía raíz y foliar, a diferentes concentraciones, sobre el control de preinfección de *Phytophthora cactorum* (podrición cuerosa) en fresa cv. Albion, cultivada bajo condiciones de invernadero y en sistema hidropónico abierto.

4. HIPÓTESIS

4.1. Hipótesis general

La adición y aplicación de óxido de silicio y silicato de calcio, en concentraciones determinadas para ser suministrados vía raíz y foliar, y aplicadas determinadas veces, activa el sistema de defensa de las plantas de fresa y proporciona controles eficientes contra *Phytophthora cactorum*.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. El hospedante

5.1.1. Origen y distribución del hospedante

Existen especies de fresa oriundas de Europa, como *Fragaria vesca* L, *Fragaria moschata* Duch y *Fragaria viridis* Duch, las cuales producen frutos pequeños; por otro lado, existen especies americanas, tales como *Fragaria chiloensis* Duch, *F. virginiana* Duch, las cuales producen frutos grandes y de cuyos cruzamientos derivan los actuales cultivares, que suelen ser conocidos botánicamente como *Fragaria x ananassa* Duch (Maramoto y López, 1988).

Fragaria x ananassa Duch se caracteriza por ser una planta rastrera denominada perenne, es decir, puede producir brotes nuevos cada año o temporada. Su sistema de raíces es de extensión moderada, regularmente no rebasa los 30 cm de profundidad, teniendo así raíces con crecimiento horizontal y vertical, de aspecto fibroso, se originan en la corona y se dividen en primarias y secundarias. Las primarias se alargan rápidamente y antes de bifurcarse alcanzan algunos centímetros, son más gruesas y hacen el papel de soporte, son de color café oscuro y nacen en la base de las hojas. Las secundarias salen de las primarias y forman la masa radicular para la absorción de nutrientes y almacenamiento de sustancias de reserva, son más delgadas y de color marfil (Hernández, 2006; Sagñay, 2009).

De aquí la dedicación del hombre al cultivo de la fresa y su afán por obtener plantas con cualidades diferentes tales como: mayor potencial de rendimiento, diferente sabor, color y tamaño de fruto así como resistencia a los diferentes factores bióticos y abióticos que limitan la producción, se han creado un gran número de variedades, éstas se dividen en tres grandes grupos (Maramoto y López, 1988):

1. Variedades híbridas o inglesas o de fruto grande, las cuales se derivan del fresal de Carolina.
2. Variedades de las cuatro estaciones, también conocidas como de frutos pequeños.
- 3.- Variedades de frutos grandes pero reflorescientes (bíferas) caracterizadas por dar una segunda cosecha tardía.

Las variedades principales que se cultivan en México proceden de programas de mejoramiento de las Universidades de California y Florida, a continuación se muestran en el Cuadro 1 las diversas variedades que se han generado de estas instituciones.

Cuadro 1. Origen y nombres de las principales variedades de fresa cultivadas en México.

Variedades de la Universidad de California	Variedades de la Universidad de Florida
Pájaro o Pico de pájaro	Camino Real
Chandler	Ventana
Oso Grande	Festival
Selva	Carisma
Seascape	
Camarosa	
Parker	
Fern	
Gaviota	

5.1.2. Importancia económica del cultivo de fresa

La fresa ocupa menos del 1% de la superficie total del país dedicada a la agricultura, tiene un lugar importante por el papel económico a nivel regional y nacional. Ya que es una de las cadenas productivas más importantes, esta condición es debido al valor de la producción estimado en poco más de mil 200 millones de pesos, aunado a la generación de un importante número de empleos anuales y a las grandes inversiones que se canalizan para su producción, sobre todo si se considera que el cultivo de fresa es una de las actividades más costosas, pero también de las que más reditúan en México, así como también cabe destacar que México es el principal exportador de fresa al mercado de los Estados Unidos de Norteamérica. En el Cuadro 1 se muestran los principales estados productores de fresa en nuestro país (SIAP, 2013).

Cuadro 2. Principales estados productores de fresa (riego + temporal) en México (SIAP, 2013).

Ubicación	Sup. sembrada (ha)	Sup. cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Michoacán	4,605	4,482	204,937	45.72
Baja California	2,048	2,048	123,586	60.34
Guanajuato	903	901	20,198	22.42
México	332	328	5,923	18.03
Jalisco	35	35	510	14.57

Michoacán es el mayor estado productor del país, donde destacan tres regiones productoras: la región de Panindícuaro, el Valle de Maravatío y el Valle de Zamora: esta última considerada la región más productora de todo el país (SIAP, 2013).

5.1.3. El cultivo de fresa

Existen tres tipos comerciales de plantas de fresa, plantas de día neutro, plantas de día corto; además se tienen plantas de día largo. Las plantas de día corto presentan la iniciación de las yemas florales en condiciones de otras especies de día corto o cuando las temperaturas son menos de 15 °C y con un fotoperiodo de 8 a 12 h. Las plantas de día largo presentan la iniciación de yemas florales cuando los días son largos con un fotoperiodo mayor de 12 h y temperaturas moderadas (Hancock, 1999). En la costa central y sur de California, durante el verano las temperaturas son frescas, durante el invierno los cultivares de día corto comienzan a producir flores y la producción de frutos comienza a partir de marzo hasta el mes de noviembre (Gargantini, 1989).

En las plantas de día neutro, un fotoperiodo de 16 h con 4 h de interrupción durante la noche, es efectivo para la formación de floración temprana a temperaturas moderadas de alrededor de los 20 °C sin embargo, a temperaturas de 28 °C, tiene un efecto inhibidor sobre la floración (Hancock, 1999).

El objetivo de la plantación de cualquier cultivo es obtener el máximo rendimiento y la más alta calidad. El rendimiento de los cultivos es el método más eficaz para evaluar los beneficios económicos de los sistemas de producción, y las tecnologías de producción tienen un impacto directo en el rendimiento medio por hectárea, en el valor de la producción en miles de pesos y la calidad del producto, tanto en presentación como en inocuidad (USDA, 2006).

La mayoría de las plantaciones de fresa en México se lleva acabo en túneles de plásticos e invernaderos. En los sistemas de producción intensiva de la fresa, las cubiertas plásticas son ampliamente utilizadas para la retención de calor, ahorro de agua, control de malezas, obtención de frutos precoces y de calidad, así como rendimientos altos (USDA, 2006).

Singh *et al.* (2007) encontraron que al cultivar la fresa en macrotunel, la floración y la madurez del fruto ocurre 13 y 19 días antes, en comparación con las plantas establecidas a “cielo abierto”, también, aumenta el rendimiento mensual y rendimiento total de la producción de fruto. Lieten (2002) indicó que con un porcentaje de 65 a 75 de humedad relativa en macrotunel se obtienen la máxima producción y tamaño del fruto.

En agricultura protegida, la fresa puede ser cultivada en bolsas de polietileno o cloruro de polivinilo (PVC) en canales o tuberías (Paranjpe *et al.*, 2007). Cuando la densidad de las plantas aumenta, es evidente la competencia por la luz y por tanto, la planta presenta menor crecimiento que afecta directamente al rendimiento. (Paranjpe *et al.*, 2007).

Dijkstra *et al.* (1993) indican que el uso de acolchado permite la distribución uniforme y crecimiento de las raíces, y por tanto, mayor producción por planta. El acolchado es una de las prácticas culturales más importantes, que mejora el crecimiento de las plantas, aumenta el peso del fruto, rendimiento y calidad del fruto (Sharma y Singh, 2008). Singh *et al.* (2007) mencionan que en las plantaciones con acolchado, el fruto llega a presentar mayor contenido de sólidos solubles totales y de ácido ascórbico y menor acidez obteniendo mayor calidad para el mercado.

El riego en los sistemas de producción intensiva es importante, debido que aumenta el número de hojas, flores, frutos y estolones, rendimiento total de frutos, rendimiento de frutos comerciales, tamaño de frutos, conforme aumenta eficiencia global del riego y a su vez el riego excesivo reduce el rendimiento; mientras que el riego inadecuado causa escasez de agua y reduce la producción de materia seca (Yuan *et al.* 2003).

Kamperidou y Vasilakakis (2005) mencionan que al realizar un transplante con plantas frescas los frutos son de mayor tamaño que los de un transplante realizado con plantas que han sido almacenadas en refrigeración y también, pueden ser cosechados por un periodo más largo.

5.1.4. La solución nutritiva

La solución es un conjunto de elementos nutritivos requeridos por la plantas, disueltos en agua para que puedan ser absorbidos por el cultivo hidropónico. Los elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas son el carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, magnesio, fierro, manganeso, boro, cobre, zinc y molibdeno. El contenido de oxígeno disuelto de la solución nutritiva debe ser aproximadamente de 5 mg L⁻¹ o más. El máximo oxígeno en el agua bajo condiciones óptimas está alrededor de 8.6 mg L⁻¹. Los desórdenes nutricionales en las plantas pueden ser prevenidos teniendo cuidado en el control de la composición de la solución nutritiva, principalmente en sistemas cerrados (Sánchez y Escalante, 1998).

Al utilizarse métodos de cultivo a gran escala, la solución debe analizarse aproximadamente cada ocho días, con el objeto de restituir los elementos que las plantas consumen, o bien sustituirse por completo cada 10 o 15 días, sobre todo a nivel comercial, se debe revisar continuamente el pH y hacer adiciones de hierro (1 mg L⁻¹) cada dos días para asegurar un adecuado desarrollo y crecimiento del cultivo (Sánchez y Escalante, 1998).

5.1.5. Usos

Las frutas de calidad se destinan directamente a la comercialización como fruta fresca, mientras que las de segunda calidad son sometidas a un tratamiento posterior, por tanto, las empresas de transformación dependen a menudo de las variedades como lo son Camino Real y Festival provenientes de la Universidad de Florida, que son principalmente para el consumo en fresco (Wesche-Ebeling y Montgomery, 1990). Sin embargo, hay un número creciente de empresas de transformación que ofrecen una amplia variedad de productos de fresa: frutas congeladas, concentrados, mermeladas, jugo, néctar, jarabe, productos lácteos, entre otros (Gössinger, 2009).

5.2. Características morfológicas

5.2.1. Raíces

La fresa posee un sistema radicular fasciculado, constituido por un gran número de raíces y raicillas; la mayor parte de las raíces se encuentran localizadas superficialmente y están constituidas por un cambium vascular y suberoso; las raicillas carecen de cambium vascular, son de color claro y tienen un periodo de vida corto ya que sufren un proceso de senescencia para posteriormente dar lugar a la generación de nuevas raíces. (Galleta y Himelrick, 1990; Maramoto y López, 1988).

5.2.2. Tallo

El tallo está constituido por un eje corto de forma cónica llamado corona, en el que se observan numerosas escamas foliares, a su vez de la corona salen yemas axilares, y estolones los cuales son ramificaciones laterales; dichos estolones se caracterizan por poseer entrenudos distanciados entre sí, en los que aparecen rosetas de hojas y raicillas adventicias (Galleta y Himelrick, 1990).

5.2.3. Hojas

Las hojas aparecen sobre la corona en forma de roseta, son largamente pecioladas, trifoliadas, de bordes aserrados y provistos de dos estípulas rojizas, cuya función es la protección contra factores ambientales y bióticos. (Maramoto y López, 1988).

5.2.4. Inflorescencias

Las inflorescencias se desarrollan a partir de yemas terminales de la corona o de yemas axilares de las hojas. La ramificación de la inflorescencia está formada por una flor primaria, dos flores secundarias, cuatro terciarias y ocho cuaternarias. Una flor típica consta de diez sépalos, cinco pétalos, de veinte a treinta estambres y el número de pistilos va de 60 a 600.

El mayor número de pistilos se encuentra en la flor primaria, decreciendo sucesivamente en número de primarias a cuaternarias (Hancock, 1999).

5.2.5. Fruto

El fruto es un poliaquenio ya que está compuesto de numerosos ovarios, cada uno con un óvulo, el cual al ser fecundado da lugar a un aquenio; los aquenios están distribuidos sobre la superficie de un receptáculo carnosos, estimulan el crecimiento y la coloración de éste dando lugar al fruto de la fresa (Hancock, 1999; Maramoto y López, 1988).

5.3. Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Rosales

Familia: Rosaceae

Subfamilia: Maloideae

Género: *Fragaria*

Especie: *ananassa*

Nombre científico: *Fragaria x ananassa* Duch.

Nombre común: Fresa

5.4. Requerimientos climáticos

La fresa es altamente sensible a factores ambientales, tal es el caso que a una temperatura por arriba de los 30°C según Wang y Camp (2000) se reduce el tamaño de la fruta. Otros factores lo son también el fotoperiodo, estación del año, humedad del suelo, salinidad, nutrición mineral, etc.; diferencias en estos factores pueden variar el comportamiento de la planta, y así mismo cada variedad responde diferente a dichos factores por su composición genética (Larson y Shaw, 2000).

5.4.1. Fotoperíodo

La inducción floral es controlada por el fotoperíodo ya que las hojas son el receptor primario de la señal fotoperiódica y son el origen de señales de estimulación o inhibición que son transmitidas al meristemo apical, donde ocurre la respuesta de la floración (McDaniel, 1994).

En el cultivo de fresa como en otras especies perennes el crecimiento vegetativo es antagónico al crecimiento reproductivo, de manera general se conoce que el crecimiento vegetativo es favorecido por días largos y altas temperaturas de 25°C y el crecimiento reproductivo por días cortos y bajas temperaturas de 14°C en variedades de día corto, mientras que en variedades de día neutro, el fotoperíodo no limita ni induce la floración (Guttridge, 1985).

5.4.2. Temperatura

La temperatura y el fotoperíodo son factores ambientales que influyen la floración e interactúan en la regulación de los diferentes procesos fenológicos de la planta (Taylor, 2002).

La parte vegetativa de la fresa es altamente resistente a heladas, llegando a soportar temperaturas de hasta -20°C, aunque los órganos florales quedan destruidos con temperaturas de 0 °C. Teniéndose como rango de temperatura óptima para el cultivo de la fresa de 16 a 28 °C (Maramoto y López, 1988). Las temperaturas mayores de 30°C pueden estresar las plantas y reducir la floración, o causar flacidez y baja calidad de los frutos.

5.4.3. Humedad relativa

Temperaturas mayores a 30°C y humedades relativas mayores 75% afectan la viabilidad y la germinación de los granos de polen (Hancock, 1999).

5.5. Factores limitantes del cultivo de la fresa.

5.5.1. Principales enfermedades

El cultivo de fresa como cualquier otro cultivo agrícola, es susceptible al ataque de patógenos. Las infecciones fúngicas son las principales enfermedades que afectan al cultivo de fresa tanto en el campo como en postcosecha (Pelayo et al., 2002).

5.5.1.1. Antracnosis

Causada por el hongo *Colletotrichum* spp. afecta casi a toda la planta, en frutos maduros se desarrollan puntos firmes y hundidos de color marrón oscuro o negro al inicio de la infección, cuando se encuentran en condiciones elevadas de humedad se desarrolla el hongo de micelio blanco y una masa de esporas de color rosa-salmón (Cedeño y Carrero, 1997; Ullio y Macarthur, 2004). Así las especies de *Colletotrichum* como *Colletotrichum gloeosporioides* y *Colletotrichum acutatum* causan enfermedades como la pudrición de la corona y la mancha negra de las hojas (black leaf spot) respectivamente.

La antracnosis de la podredumbre de la corona y que en la literatura anglosajona se denomina “anthracnose crown rot” (ACR), tiene un efecto devastador en la planta causando marchitamiento y muerte rápida. Aquellas plantas cuyas coronas están infectadas pueden marchitarse y morir, una vez transplantadas, crecer aparentemente sanas durante algún tiempo y morir en los campos de producción (Milholland, 1982).

5.5.1.2. Mancha foliar

Causada por *Mycosphaerella fragariae* aparecen inicialmente como manchas pequeñas circulares, de color morado en la superficie superior de la hoja, crecen entre 3 y 6 mm de diámetro y el centro de la mancha se torna de color gris a blanco en las más viejas y color marrón en las hojas jóvenes. El hongo produce más esporas en las manchas y es capaz de afectar peciolo, estolones, tallos y el fruto (Ullio y Macarthur, 2004).

Con frecuencia las manchas coalescen y la zona púrpura puede extenderse ya sea en torno a varias manchas blancas e incluso hasta el borde de las hojas. Esta mancha foliar produce una notable disminución en la producción total de las plantas, una disminución en la calidad de los frutos cosechados y el debilitamiento de dichas plantas (Agrios, 1991).

5.5.1.3. Quemadura de la hoja

Causada por el hongo *Diplocarpon earliana*, la enfermedad se presenta por pequeñas manchas irregulares de color púrpura con centros de color marrón, cuando infecta mayor superficie, las manchas se tornan de un color violeta rojizo hasta marrón. La hoja se seca hacia arriba con los márgenes enrollados y presenta las características de la enfermedad, ataca peciolo, tallos, flores y frutos donde las manchas son alargadas y hundidas de color rojizo (Ullio y Macarthur, 2004).

5.5.1.4. Oídio

Causada por el hongo *Sphaerotheca macularis*, los síntomas iniciales de la enfermedad se presentan en las hojas hacia arriba de los bordes, seguido de un manchado irregular de color púrpura en la superficie de las hojas superiores y generalmente a lo largo de las venas principales. Esta enfermedad no produce masas de esporas pero si un micelio de color blanco (Ullio y Macarthur, 2004).

5.5.1.5. Marchitamiento por *fusarium*

Causada por el hongo *Fusarium oxysporum* las plantas se marchitan y mueren rápidamente, los síntomas se presentan en la corona con una coloración marrón-rojiza. Causando pudrición inhabilitando el sistema vascular tanto el xilema que transporta agua y minerales, así como también el floema que transporta nutrientes obtenidos de la fotosíntesis (Ullio y Macarthur, 2004).

5.5.1.6. Podredumbre gris

Causada por el hongo *Botrytis cinérea*, infecta cualquier parte de la planta en cualquier estado de desarrollo, la enfermedad se presenta inicialmente como una mancha marrón-amarillenta hacia el final de cáliz, y a los pocos días se cubre de una apariencia polvosa de moho gris en toda la superficie de la fruta provocando una pudrición, en las hojas se forman manchas de color café necrosadas en un estado latente para dispersarse y seguir con la infección (Chaves y Wang, 2004; Ullio y Macarthur, 2004).

La esporulación y dispersión de *Botrytis cinérea* es un factor clave ya que al establecerse la putrefacción en el tejido vegetal se presenta la infección de manera que las condiciones permiten la formación de conidios y conidióforos sobre la superficie del cultivo dando lugar a la coloración característica de la enfermedad. Una vez que el hongo ha esporulado la dispersión de los conidios inician nuevamente el ciclo en otra superficie vegetal (Espinosa, 2006).

5.6. *Phytophthora cactorum*

La pudrición de la corona causado por el hongo *Phytophthora cactorum*, genera la pudrición de la raíz, corona y frutos. En México, *Phytophthora cactorum* fue identificada por primera vez en las regiones freseras de Zamora, Michoacán e Irapuato, Guanajuato. En 1986, se observó que conjuntamente con *Colletotrichum* sp. reducen los rendimientos en promedio en 22%, lo cual representa una pérdida económica importante, sobre todo por el alto valor económico que la fresa alcanza en las épocas de lluvias, que es cuando se presentan con frecuencia los patógenos citados (Dávalos y Castro, 1987). En las mismas regiones, durante el año 1987, *Phytophthora cactorum* infectó a la mayoría de las variedades sembradas en el área, pero para la variedad cv. Pajaro el porcentaje incidencia fue el más alto con un 85% (Dávalos y Castro, 1987). Mendoza (1987) también reportó la presencia del hongo sobre frutos de fresa de la variedad Tioga en la región de Villa Guerrero, Estado de México.

5.6.1. El agente causal *Phytophthora cactorum*

De acuerdo Seemuller (1984), la pudrición de la corona es causada por *Phytophthora cactorum*, este reporta que la pudrición parece ser inducida por una raza específica del hongo porque sólo los aislamientos de las coronas enfermas son patogénicos a otras coronas de fresa; los aislamientos de *Phytophthora cactorum* de diferentes frutos afectados no causan pudriciones de la corona; investigaciones más recientes lo confirman, al detectarse una gran variabilidad genética entre aislamientos realizados de plantas de fresa, la misma variabilidad se detectó en aislamientos realizados en otras hospederas del mismo hongo (Hantula *et al.*, 2000; Thomidis, 2003; Huang *et al.*, 2004).

5.6.2. Clasificación y características de *Phytophthora cactorum*

Se encuentra clasificada dentro el dominio Eucariota, Reino Chromista, Phylum Stramenopila, Orden Pythiales, Familia Pythiaceae (Keeling *et al.*, 2005).

En México, Mendoza (1987) reportó en Villa Guerrero a *Phytophthora cactorum* var. *Aplanata* con las siguientes características: esporangióforo ramificado en simpodio simple, esporangios alargados, elipsoidales con base cónica, ovoides u obpiriformes y algunos distorsionados, de 39.2 a 90.1 por 25.4 a 39.2 μm , con tapón basal conspicuo y la papila prominente que mide de 3.9 a 6.8 μm . La inserción es simétrica y asimétrica.

Oogonio esférico de base cónica (embudo), anteridio parágino, declino ubicado cerca de la base del oogonio o parágino monoclino, casi sésil. Oosporas esféricas, lisas, pleróticas, de 24.5 a 37.2 μm de diámetro (29.8 μm en promedio), pared gruesa (de 1.9 a 2.9 μm); micelio de 2.9 a 4.9 μm (promedio 4.2 μm) de diámetro, aunque también se encuentra a *Phytophthora cactorum* var. *Typica*. En España, De los Santos (2003) la identifica utilizando las siguientes características: oogonio esférico de pared delgada, anteridio paragino unido al oogonio cerca del tallo oogonial, oosporas esféricas de doble capa color amarillo-cafesoso (20 a 25 μm de diámetro), papila del esporangio de 22 a 30 μm de diámetro.

5.6.3. Sintomatología

Causa pudrición de la raíz, corona y frutos. Su desarrollo se favorece en suelos arcillosos con drenaje pobre, riegos pesados o durante periodos lluviosos con temperaturas cálidas por encima de los 28°C. El ataque en frutos se presenta cuando estos están en contacto con el suelo mojado y cuando estos son salpicados por la lluvia (CESAVEG, 2002).

Seemuller (1984) señala que las hojas infectadas más jóvenes se marchitan repentinamente y con frecuencia se tornan verde azulosas y que el marchitamiento afecta rápidamente a toda la planta, la cual en pocos días muere, sobre la corona se observa una decoloración rojo-cafesosa. Con frecuencia las hojas jóvenes centrales se enroscan y sus peciolo quedan flácidos y cuando se trata de arrancar una planta enferma, al tirar de ella solo se obtiene la parte aérea, debido a que ésta se separa fácilmente de la corona y raíces como consecuencia de una pudrición total. El color café rojizo o castaño intenso y la eventual desintegración de la corona es la característica típica de la enfermedad. En algunos casos la planta sufre una disminución en el crecimiento (De los Santos, 2003).

Con respecto a los frutos, éstos pueden ser atacados en toda su etapa de desarrollo, desde recién formados hasta completamente maduros, también afecta el cáliz y pedúnculos. Sobre los frutos completamente maduros, también afecta el cáliz y pedúnculos. Sobre los frutos verdes, la infección se manifiesta en áreas necróticas de color café a café oscuro o verde circundadas por un borde café. En los frutos maduros, las lesiones son de un color lila claro a purpura con una coloración purpurea en el perímetro. Las áreas infectadas son característicamente duras y con tejido ligeramente blando y los tejidos vasculares muestran un pronunciado bronceado. Los frutos presentan una decoloración interna y externa con un sabor amargo. Cuando la pudrición avanza, los frutos se vuelven duros y coriáceos. En condiciones de almacén, se puede desarrollar un micelio superficial de color blanco; sin embargo, es muy raro encontrarlo en campo (Mass, 1984).

5.6.4. Descripción morfológica de *Phytophthora cactorum*

Las oosporas de *Phytophthora cactorum* son esféricas (usualmente de 24 a 30 μm de diámetro), con pared lisa, de doble capa y de color amarillento. Los anteridios son típicamente paraginos y están adheridos al oogonio cerca del tallo oogonias. Los esporangios pueden estar colocados terminal o lateralmente, son poco coloreados o transparentes, ovales de 50 a 60 μm (ocasionalmente pueden llegar a medir hasta 90 μm) y de 30 a 40 μm de ancho, presentan una papila en el ápice. Cada esporangio puede contener más de cinco esporangioforos. La hifa es delgada de crecimiento irregular y algunas veces ramificado en ángulo recto. Este pseudohongo se cultiva en agar papa dextrosa, donde forma colonias blancas pobremente enmarañadas (Mass, 1984).

5.6.5. Especialización de fisiología de *Phytophthora cactorum*

Phytophthora cactorum parasita a un número considerable de plantas, por ello es que De Bary la designó originalmente con el nombre *Phytophthora omnivora* (Frezzi, 1950). Es patógena en más de 200 especies (entre ellas malezas) de 150 géneros distribuidos en 60 familias botánicas, pero los mayores daños los provoca en la familia Rosaceae (Erwin y Ribeiro, 1996; Agustí Alcals, 2007).

5.6.6. Biología y epidemiología de *Phytophthora cactorum*

Grove *et al.* (1985) demostraron que una forma de dispersión de *Phytophthora cactorum* es por salpicadura de agua, y observaron que los esporangios, zoosporas y micelio fueron dispersados eficientemente a 1.2 y 0.5 m por esta vía, con gotas de 0.41 y 0.026 cm de diámetro y una velocidad final de 830 y 217 cm s^{-1} , respectivamente, a diferentes alturas. De acuerdo a Mass (1984), la infección inicia por medio de las zoosporas salpicadas con partículas de suelo en las partes florales o cuando las frutos próximos a la madurez están en contacto directo con el suelo húmedo.

Grove *et al* (1985a) en Ohio, encontraron que el hongo inverna como oosporas sobre frutos momificados de fresa infectados. Esto comprueba que los frutos de fresa momificados constituyen una fuente potencial de inóculo primario para la pudrición cuerosa del fruto de fresa.

Mass (1984) menciona que la enfermedad se ve favorecida por temperaturas cálidas de 28°C, pero influyen más las lluvias abundantes. Esto lo constato Grove *et al.* (1985b) al encontrar que la producción de esporangios aumenta cuando se incrementa la duración de la humedad (3 a 4 h) y la temperatura fluctúa entre 12.5 y 27.5 °C, pero en los diferentes periodos de humedad probados la producción de esporangios disminuye. Sin embargo, en algunas áreas, la enfermedad es favorecida por temperaturas bajas acompañadas con nieblas frecuentes y mañanas con rocío (Mass, 1984).

5.6.7. Ciclo biológico de *Phytophthora cactorum*

El patógeno sobrevive fuera del hospedante como oosporas formadas en el tejido enfermo, las cuales sobreviven en el suelo viables durante varios años; en agua y a temperaturas bajas o moderadas (10 a 20 °C), las oosporas germinan y producen zoosporas vía esporangios. Probablemente los principales agentes infectivos sean las zoosporas, aunque los esporangios pueden también iniciar la infección. Se disemina por el flujo de agua del suelo, de riego, o por salpicaduras de lluvia, y por tanto está asociado con condiciones húmedas o con suelos con drenaje deficiente. El patógeno puede introducirse por estolones de fresa infectados, las cuales dispersan con eficiencia la pudrición de la corona entre parcelas y entre países. La infección ocurre a través de heridas, superficies no protegidas o aberturas naturales como estomas y lenticelas. En los tejidos enfermos pueden desarrollarse los esporangios de forma masiva, pasar al suelo húmedo y dar lugar a nuevos ciclos de infección (Smith, 1992).

En la susceptibilidad del hospedante influyen factores endógenos y factores externos como lo son la edad de la planta, la variedad de la planta, la textura del suelo, la porosidad del suelo, la temperatura, la humedad relativa, etc.

En las dos enfermedades más estudiadas, la podredumbre del tronco del manzano y la podredumbre de la corona de la fresa, el hospedante sigue cambios marcados de susceptibilidad estacionales. La susceptibilidad de las fresas es máxima durante la floración y fructificación, y a menudo las infecciones de verano y otoño permanecen latentes hasta la primavera siguiente (Smith, 1992).

Grove *et al.* (1985a) mencionan que la infección se incrementa con el crecimiento del periodo de humedad a todas las temperaturas probadas (6 a 30 °C). Para cada periodo de humedad la infección se incrementa hasta la temperatura óptima (21 °C) y luego declina. Con temperaturas entre 17 y 25 °C combinado con un periodo hora de humedad, resulta una infección mayor al 80%.

5.7. Manejo de la enfermedad

Los métodos preventivos culturales para el manejo de la enfermedad incluyen el uso de cultivares resistentes, riegos adecuados, evitar sitios con mal drenaje, dando labores intensivas como podas de hojas y estolones, excelente nutrición, adecuada polinización y acolchado. Entre las medidas sanitarias están la esterilización del suelo, descontaminación del agua de riego y un sistema de producción de estolones sanos (Smith, 1992); además de incorporar abonos verdes de *Brassica rapa* L que reduce la incidencia de la enfermedad (Wilhelm y Nelson, 1980; Seemuller, 1984).

Hasta hace poco los fungicidas cúpricos eran casi los únicos utilizados para el manejo de este patógeno. Hoy en día varios fungicidas sintéticos, especialmente etridiazol y propamocarb, han resultado eficaces en ensayos contra *Phytophthora cactorum*, pero los productos con mejores perspectivas son metalaxyl y fosetil-AI (Smith, 1992). Las cubiertas de polietileno sobre el suelo forman un medio para reducir la densidad de propágulos de la enfermedad, ya que evitan el contacto entre el fruto y el suelo y minimizan el salpique de tierra por la lluvia hacia los frutos. Otras medidas sugeridas son evitar los excesos de humedad en el suelo, eliminar las partes dañadas y aplicar Metalaxyl, Fosetil-AI y Oxadixyl (Mendoza, 1992).

El uso de microorganismos antagónicos, tales como *Trichoderma* spp combinado con la solarización de los suelos reducen las poblaciones de *Phytophthora cactorum* en niveles que van de un 88.9% el primer año, 97.6% el segundo y 99% el tercer año (Porrás *et al.*, 2007).

5.7.1. Bioquímica del silicio en las plantas

El contenido de silicio en las plantas es variable y depende fundamentalmente de la especie, pudiendo oscilar entre 0.1 y 10 % del peso seco de las plantas superiores, en comparación con el calcio (0.1 a 0.6 %) y azufre (0.1 a 1.5 %) (Epstein, 1999). Su función en la planta no está establecida. La similitud química con fósforo y boro, ha hecho que algunos autores piensen en la posibilidad de que el silicio pueda remplazar o interferir en determinadas funciones de aquéllos, como por ejemplo condensarse con azúcares-alcoholes o ácidos orgánicos (Navarro, 2003).

El compuesto más comúnmente utilizado para realizar aportes de silicio a los cultivos es silicato de potasio (K_2SiO_3), el cual es obtenido a partir del proceso de calcinación entre arena sílicea (SiO_2) y carbonato de potasio (K_2CO_3) a una temperatura entre 1,100 a 2,300 °F, durante el proceso de fusión los dos componentes forman un cristal, el cual puede ser disuelto con vapor a alta presión hasta formar un fluido claro y ligeramente viscoso (Tisdale *et al.*, 1999).

El silicio ha sido reconocido por aumentar la eficiencia en la captación de la luz solar (Yoshida *et al.*, 1969) e incrementar el desarrollo de una amplia gama de especies (Adatia y Besford, 1986). En cultivos de la familia Poaceae, la absorción y acumulación de silicio es una de las principales características, sobre todo en la parte aérea de plantas de forraje (De Melo *et al.*, 2010) así como de algunos pastos (Nanayakkara *et al.*, 2008).

El ácido silícico desempeña un papel importante en la regulación de la absorción y balance de minerales en las plantas. Este, en conjunto con el calcio, están presentes en el mantenimiento de la integridad y fortaleza de la pared celular y en varias funciones metabólicas involucradas en el crecimiento y desarrollo (Epstein, 1999).

Dentro de la planta, el ácido silícico mejora la utilización del fósforo al reducir la absorción de manganeso y en menor grado la del hierro del suelo. El ácido silícico dentro de la planta también reduce los niveles internos del manganeso y otros metales pesados a través de la precipitación de compuestos como Si-Mn o Si-Fe. Esto mejora la tolerancia de las plantas (al reducir la toxicidad potencial) a los metales pesados al asegurar su dilución o distribución más uniforme (Epstein, 1994; Gascho, 1977; Elawad y Green, 1979).

El ácido silícico del suelo también permite aumentar la absorción de potasio. Las aplicaciones foliares de ácido silícico reemplaza el tratamiento de las plantas con potasio para endurecer y promover la maduración de los frutos (Epstein, 1999).

Por otra parte, el silicio mejora la tolerancia de las plantas a las condiciones de estrés por salinidad. Se ha observado un incremento a la tolerancia de sodio; principalmente debido a que el silicio reduce la permeabilidad de las membranas a este elemento nocivo. El resultado es un bajo nivel de sodio, pero un alto nivel de potasio en la savia (Epstein, 1999).

De acuerdo con investigaciones realizadas por Epstein (1994; 1999), algunos de los beneficios de la inclusión del silicio dentro de los programas de fertilización son: a) Mayor crecimiento, plantas más fuertes y compactas, b) Hojas más fuertes, más fotosíntesis, c) Mayor tolerancia a condiciones de baja luminosidad, estrés hídrico y térmico, d) Mayor resistencia a plagas y enfermedades, e) Mayor productividad y calidad, f) Mayor concentración de azúcares, almidón, vitaminas, etc., g) Epidermis fuertes y duras en los frutos, h) Aumento en productividad, i) Uniformidad de cosechas.

Los métodos de supresión de una enfermedad por el silicio incluyen barreras mecánicas crecientes (Datnoff *et al.*, 1997) así como la producción de enzimas por parte de la planta (Samuels *et al.*, 1993) y de compuestos que endurecen la pared celular (Fawe *et al.*, 1998).

El silicio en forma de silicatos es absorbido por las raíces junto con el agua de la solución del suelo y posteriormente fácilmente translocado vía xilema (Brady, 1992).

Se ha observado que las plantas de fresa fertilizadas con silicio producen más materia seca en las raíces y brotes (Wang y Galletta, 1998). Esto se cree que es debido a un aumento de contenido de clorofila (Wang y Galletta, 1998) y aumenta la fertilidad del polen (Miyake y Takahashi, 1986).

Los rasgos de la calidad de la fruta se ven influenciados por los tratamientos de silicio que incrementan el ácido cítrico, ácido málico unidos a la membrana de glicol y de fosfolípidos, y a su vez causan la disminución de fructuosa, glucosa, sacarosa y el contenido de mioinositol (Wang y Galletta, 1998). Miyake y Takahashi (1986) encontraron que el aumento de silicio en las hojas se correlacionó positivamente con la absorción de calcio cuya función es importante en la división celular y en la estabilidad de membrana y pared celular, y su vez se correlaciona negativamente con la absorción de nitrógeno y fósforo. Wang (1998) también demostró que la nutrición de silicio altera la partición de asimilados en los diversos tejidos de las plantas de fresa.

5.7.2. Acción fungicida del silicio

Por mucho tiempo se ha sabido que el silicio está presente en las plantas de fresa (Laning, 1960) y ha sido reconocido por incrementar el sistema inmune de las plantas contra el estrés biótico y abiótico (Belanger, 1995).

Con la aplicación foliar de silicio en el cultivo de fresa se incrementa el contenido de clorofila, ácidos orgánicos, fosfolípidos y glucolípidos; contribuyendo al mantenimiento de la fluidez de las membranas celulares e induciendo su división, lo que trae como consecuencia un aumento en el crecimiento de la planta (Wang y Galletta, 1998).

Por otra parte, investigaciones dirigidas por Lieten et al. (2000) han demostrado que altas concentraciones de silicio en solución nutritiva aumenta la incidencia de albinismo en el cultivar Elsanta de fresa, aunque también asocia este desorden a condiciones climáticas desfavorables y exceso de vigor en las plantas asociadas con problemas de fertirrigación.

Vooght y Sonneveld (2001) concluyeron que la acumulación de silicio en plantas de fresa hidropónica aumentó con la adición de este elemento en el medio radical, aunque esta acumulación solo denotó una mayor resistencia al ataque de oídio (Powdery mildew), pues registraron disminución en la calidad de la fruta cosechada y el rendimiento no se vio afectado.

Se cree que el silicio interfiere en enfermedades causadas por hongos así como en su desarrollo en los tejidos vegetales en dos formas: como una barrera física, y como un estimulador de la resistencia a las enfermedades mediante vías bioquímicas en respuesta a los hongos fitopatógenos (Carver *et al.*, 1987; Samuels *et al.*, 1991; Bowen *et al.*, 1992; Chérif *et al.*, 1992; Menzies *et al.*, 1992; Reynolds *et al.*, 1996; Blaich y Grundhöfer, 1998; Prats *et al.*, 2006). El silicio es el elemento más abundante que se encuentra en los halos de sitios de penetración y está asociado con la deposición de calosa en papilas. (Zeyen *et al.*, 2002).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Ubicación del experimento

El experimento se llevó cabo de julio a diciembre del año 2013 en un invernadero tipo túnel del área de Nutrición Vegetal-Edafología, del Campus Montecillo del Colegio Postgraduados; localizado a 19° 29´ latitud norte, 98° 53´ longitud oeste y una altitud de 2250 m (Estrada, 2010).

6.2. Sustrato

Como sustrato se utilizó tezontle rojo, el cual se cribó para obtener un tamaño de partícula de 3 a 5 mm. Los contenedores utilizados fueron bolsas negras con una medida de 30 x 30 cm (Estrada, 2010).

6.3. Material vegetal

Se utilizaron plantas de fresa cultivar Albion. Este cultivar se seleccionó porque en años recientes ha sido ampliamente utilizado en varias regiones freseras de México, en particular en la zona de Zamora, Michoacán, obteniendo buenos rendimientos.

6.4. Identificación de *Phytophthora cactorum*

6.4.1. Recolección y aislamiento

Los frutos de fresa, de los cuales se aisló *Phytophthora cactorum*, se recolectaron en plantaciones abandonadas de fresa del municipio de Maravatío, Michoacán en el mes de junio del 2013. Frutos con los síntomas típicos de pudrición cuerosa (Rebollar-Alviter *et al.*, 2010 Rebollar-Alviter *et al.*, 2007a) se recolectaron en campo, se desinfestaron con hipoclorito de sodio al 1% durante 1 min, posteriormente se lavaron con agua destilada estéril, se secaron y se colocaron en cajas Petri con medio de cultivo V-8 (300 mL de jugo V-8, 15 g de agar-agar y aforado con agua destilada a 1000 mL).

Las cajas se incubaron a temperaturas promedio de 20 °C con intervalos de 12 horas de luz blanca y 12 horas de oscuridad, en cámara de crecimiento SHEL-LAB Modelo LI15, fabricada por la empresa Sheldong MFg. Inc. Corneluis, Or (Rebollar-Alviter et al., 2010).

6.4.2. Material de inoculación (zoosporas de *Phytophthora cactorum*)

Se indujo en un cultivo puro de *Phytophthora cactorum* con 12 días de incubación a producir zoosporas, hasta que el micelio cubrió todo el medio y la producción de esporangios fue abundante. Para lograr la producción abundante de zoosporangios, el cultivo se mantuvo por 5 días a luz blanca continua, dentro de una cámara de crecimiento a temperatura promedio de 20 °C. En cada caja Petri con medio agar-agar se vertieron 10 mL de agua esterilizada para posteriormente incubarse a 4 °C por 30 min seguido de 30 min a temperatura ambiente. Concluido el proceso se observaron zoosporas flageladas características de *Phytophthora cactorum* en concentraciones superiores a 10^5 zoosporas mL^{-1} . (Gil, 2012).

6.5. Manejo del experimento

La nutrición de las plantas se realizó en base a la solución nutritiva universal de Steiner (1984), la cual en forma completa está constituida por (en $\text{mol}_e \text{ m}^{-3}$): 12 de NO_3^- , 1 de H_2PO_4^- , 7 de SO_4^{2-} , 7 K^+ , 9 de Ca^{+2} y 4 de Mg^{+2} .

6.6. Diseño experimental

Se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), teniendo dos experimentos, cada uno con cuatro bloques y en cada uno de ellos se ensayó cada tratamiento tres veces (12 repeticiones por tratamiento). La unidad experimental fue una bolsa de polietileno negro de 30 x 30 cm conteniendo una planta de fresa (Gil, 2012).

6.7. Manejo del cultivo

El cultivo de fresa hidropónica se puede desarrollar en varios tipos de sustratos, como peat moss, fibra de coco, espuma, tezontle, etc., el intervalo de pH óptimo va de 6 a 6.5; los mejores rendimientos se pueden obtener cuando las plantas desarrollan en sustratos con adecuada aireación, buena retención de humedad, buen drenaje, buena capilaridad, etc.. Como todas las plantas requieren niveles adecuados de macro y micronutrientes (elementos esenciales) dentro de la solución nutritiva; sin embargo, existen grandes diferencias en el comportamiento nutrimental en cada variedad de fresa, además el ambiente juega un papel primordial en la expresión de síntomas de deficiencia (Hancock, 1999). Para tener una buena respuesta en el manejo nutrimental de la fresa se deben cuidar aspectos como el uso de variedades adaptadas a la zona de producción, usar plantas libres de enfermedades, una selección adecuada del tipo de sustrato donde se establece la plantación, y contar con un sistema de riego adecuado. La solución nutritiva debe estar basada en un análisis químico del agua previo a la instalación del cultivo (Hart et al., 2000).

6.7.1. Establecimiento del experimento

El proceso de establecimiento del experimento inicio con la desinfección del tezontle con agua clorada al 1%, a través de tres lavados; una vez realizado la desinfección del tezontle se estableció un sistema de riego por goteo, que a su vez dio paso al transplante de plantas de fresa cv Albion que se realizó el 26 de julio del 2013. Cabe destacar que la distancia entre las plantas fue de 30 centímetros y entre hileras de 1 metro, y que para disminuir el estrés se mantuvo un buen nivel de humedad y se colocó una malla sombra durante los primeros 15 días. Posteriormente 7 días después del transplante se comenzó a aplicar la solución nutritiva universal de steiner al 25%, para ayudar al establecimiento del cultivo y uniformizarlo, dicha solución nutritiva al 25% se aplicó hasta el 13 de septiembre del 2013. Consiguientemente del día 14 de septiembre al 16 de octubre del 2013 se aplicó la solución nutritiva de steiner al 50%. Así mismo del 17 de octubre al 18 de noviembre del 2013 se aplicó la solución nutritiva de steiner al 75%. Finalmente al iniciar la fructificación, se incrementó la concentración de la solución, utilizando una solución nutritiva al 100%.

6.7.2. Control fitosanitario

Se realizaron aspersiones de manera preventiva y curativa, en función de los insectos plaga y enfermedades que se presentaron durante el experimento (Cuadro 3).

Cuadro 3. Calendario de aplicaciones de agroquímicos preventivos para insectos plaga y enfermedades en el cultivo de fresa.

Producto	Dosis del producto comercial	Fecha	Insecto plaga o enfermedad objetivo
Captan	1 g L ⁻¹	26/07/2013	Enfermedades de raíz
Extracto de ajo	2 ml L ⁻¹	04/09/2013	Araña de dos puntos
Clorpirifos	1.5 ml L ⁻¹	12/09/2013	Gusano soldado

6.8. Aplicación de los tratamientos

En este experimento se evaluaron cinco soluciones nutritivas completas, con niveles óptimos de macro y micronutrientes, se formularon tomando como referencia la Solución Nutritiva Universal de Steiner (1984) mostrada en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Fuentes de fertilización de macronutrientes para la preparación de la solución nutritiva de Steiner al 100% (Steiner, 1984).

Fuente	Peso Molecular	Peso Equivalente	mol _c m ⁻³	g L ⁻¹	g 200 L ⁻¹
Ca(NO₃)₂ 4H₂O	236.15	118.08	9	1.06	212
KNO₃	101.10	101.10	3	0.30	60
K₂SO₄	174.30	87.15	3	0.26	52
MgSO₄ 7H₂O	246.50	123.25	4	0.49	98
KH₂PO₄	136.09	136.09	1	0.14	28

El silicio fue suministrado a partir de SiO₂ (óxido de silicio) y CaSiO₃ (silicato de calcio). Las cantidades evaluadas en g L⁻¹, (tomando en cuenta el Si total) fueron las que se muestran a continuación en el Cuadros 5 y 6:

Cuadro 5. Descripción de los tratamientos de óxido de silicio y silicato de calcio aplicados en el experimento vía raíz en el cultivo de fresa.

Tratamiento	Descripción	g del compuesto por litro de solución nutritiva
1	Testigo	0.0000
2	50 mg/L de Si (a partir de SiO ₂) L ⁻¹	0.1070
3	100 mg/L de Si a partir de SiO ₂) L ⁻¹	0.2140
4	50 mg/L de Si a partir de CaSiO ₃) L ⁻¹	0.2067
5	100 mg/L de Si a partir de CaSiO ₃) L ⁻¹	0.4134

Cuadro 6. Descripción de tratamientos de óxido de silicio y silicato de calcio aplicados en el experimento vía foliar en el cultivo de fresa.

Tratamiento	Descripción	g del compuesto por litro de solución nutritiva
1	Testigo	0.0000
2	FF con solución 2.5 g Si L ⁻¹ de Si (0.25% de Si a partir de SiO ₂)	5.3486
3	FF con solución 5 g Si L ⁻¹ de Si (0.5% de Si a partir de SiO ₂)	10.6972
4	FF con solución 2.5 g Si L ⁻¹ de Si (0.25% de Si a partir de CaSiO ₃)	10.3343
5	FF con solución 5 g Si L ⁻¹ de Si (0.5% de Si a partir de CaSiO ₃)	20.6686

La distribución de los tratamientos en el experimento 1 y 2 dentro de los bloques del diseño de bloques completamente al azar (DBCA) se pueden observar en las Figura 1 y 2.



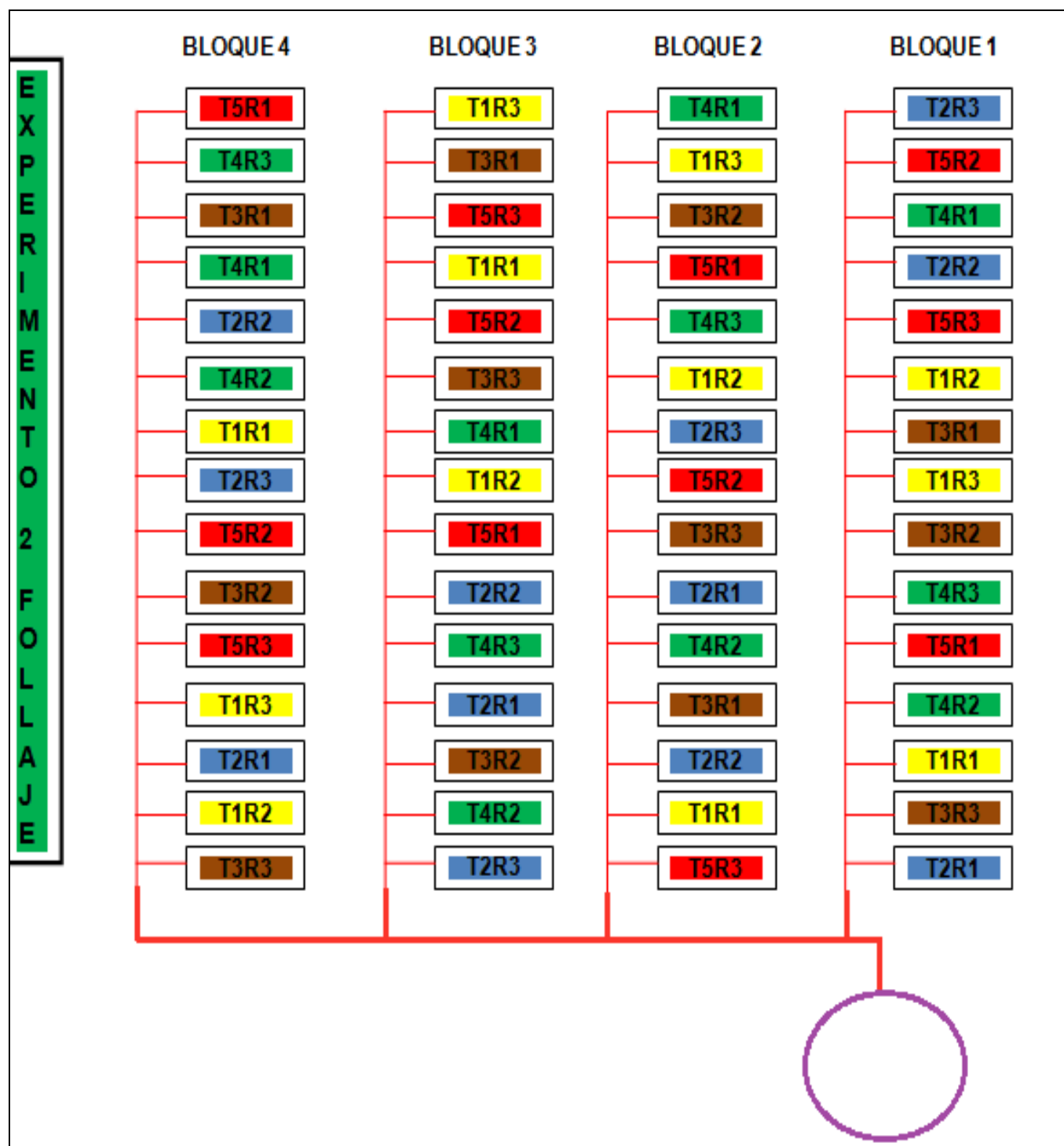


Figura 2. Distribución física del experimento 2 vía foliar de los tratamientos dentro de los bloques del diseño de bloques completamente al azar (DBCA).

6.8.1. Tratamientos vía raíz

La aplicación de tratamientos vía raíz se realizó 4 días antes de la primera inoculación de *Phytophthora cactorum* bajo el siguiente esquema:

1. Se preparó la solución nutritiva universal de steiner al 100% en los 5 tinacos con capacidad de 200 L, correspondiendo cada tinaco a un tratamiento dando un total así de 5 tratamientos.
2. Se agregó ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 97% para bajar el pH de la solución nutritiva.
3. Se verificó que la solución nutritiva tuviera un pH de 5.5
4. Para el tratamiento 1 no se adiciono al tinaco con capacidad de 200 L de solución nutritiva ninguna dosis de algún compuesto de silicio ya que este fungió como testigo.
5. Para el tratamiento 2 se adiciono al tinaco con capacidad de 200 L de solución nutritiva una dosis de óxido de silicio (SiO_2) de 21.4 g.
6. Para el tratamiento 3 se adiciono al tinaco con capacidad de 200 L de solución nutritiva una dosis de óxido de silicio (SiO_2) de 42.8 g.
7. Para el tratamiento 4 se adiciono al tinaco con capacidad de 200 L de solución nutritiva una dosis de silicato de calcio (CaSiO_3) de 41.2 g.
8. Para el tratamiento 5 se adiciono al tinaco con capacidad de 200 L de solución nutritiva una dosis de silicato de calcio (CaSiO_3) de 82.6 g.
- 9.- Finalmente cada uno de los cinco tratamientos se suministraron una única ocasión en seis riegos con intervalos de 4 h.

Las cantidades de silicio suministradas vía raíz a partir de SiO_2 (óxido de silicio) y CaSiO_3 (silicato de calcio) en g L^{-1} fueron las que se muestran a continuación en los Cuadros 7 y 8:

Cuadro 7. Dosis de aplicación de óxido de silicio y silicato de calcio en el experimento vía raíz en el cultivo de fresa en g L^{-1} modificando la Solución Universal de Steiner al 100% (Steiner, 1984).

Fertilizante	Fórmula Química	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4	Tratamiento 5
Óxido de silicio	SiO_2	0	0.107	0.214	0	0
Silicato de calcio	CaSiO_3	0	0	0	0.206	0.413

Cuadro 8. Dosis de aplicación de óxido de silicio y silicato de calcio en el experimento vía raíz en el cultivo de fresa en g 200 L^{-1} modificando la Solución Universal de Steiner al 100% (Steiner, 1984).

Fertilizante	Fórmula Química	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4	Tratamiento 5
Óxido de silicio	SiO_2	0	21.4	42.8	0	0
Silicato de calcio	CaSiO_3	0	0	0	41.2	82.6

6.8.2. Tratamientos vía foliar

La aplicación de tratamientos vía foliar se realizó 4 días antes de la primera inoculación de *Phytophthora cactorum* bajo el siguiente esquema:

1. Se hizo uso de una mochila aspersora con capacidad de 15 L marca Swissmex.
2. Se calibro la mochila aspersora para aplicar 5 L de agua con el compuesto de silicio determinado correspondiendo cada nueva carga a un tratamiento dando un total así de 5 tratamientos.
3. Para el tratamiento 1 no se adiciono a la mochila aspersora con una carga de 5 L de agua ninguna dosis de algún compuesto de silicio ya que este fungió como testigo.
4. Para el tratamiento 2 se adiciono a la mochila aspersora con una carga de 5 L de agua una dosis de óxido de silicio (SiO_2) de 26.74 g.
5. Para el tratamiento 3 se adiciono a la mochila aspersora con una carga de 5 L de agua una dosis de óxido de silicio (SiO_2) de 53.48 g.
6. Para el tratamiento 4 se adiciono a la mochila aspersora con una carga de 5 L de agua una dosis de silicato de calcio (CaSiO_3) de 51.65 g.
7. Para el tratamiento 5 se adiciono a la mochila aspersora con una carga de 5 L de agua una dosis de silicato de calcio (CaSiO_3) de 103.3 g.
- 9.- Finalmente cada uno de los cinco tratamientos se administraron en una única ocasión en cuatro aspersiones con intervalos de 6 h.

Las cantidades de silicio suministradas vía foliar a partir de SiO_2 (óxido de silicio) y CaSiO_3 (silicato de calcio) en g L^{-1} fueron las que se muestran a continuación en los Cuadro 9 y 10:

Cuadro 9. Dosis de aplicación de óxido de silicio y silicato de calcio en el experimento vía foliar en el cultivo de fresa en g L^{-1} .

Fertilizante	Fórmula Química	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4	Tratamiento 5
Óxido de silicio	SiO_2	0	5.348	10.697	0	0
Silicato de calcio	CaSiO_3	0	0	0	10.334	20.668

Cuadro 10. Dosis de aplicación de óxido de silicio y silicato de calcio en el experimento vía foliar en el cultivo de fresa en g 5 L^{-1} .

Fertilizante	Fórmula Química	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4	Tratamiento 5
Óxido de silicio	SiO_2	0	26.74	53.48	0	0
Silicato de calcio	CaSiO_3	0	0	0	51.65	103.3

Se preparó la solución nutritiva manteniendo un pH de entre 5.5 y 5.8, ya que es considerado como el óptimo, y rango en donde están disponible los silicatos, y cuando se presentaron variaciones se realizaron ajustes, utilizando H_2SO_4 (al 97%) para subir o bajar el pH, respectivamente, hasta alcanzar el pH indicado.

6.8.3. Inoculación de *Phytophthora cactorum*

La primera etapa de inoculación de *Phytophthora cactorum* consistió en asegurarse de que realmente la cepa correspondía al oomiceto *Phytophthora cactorum* a través de la observación al microscopio de los signos característicos de este patógeno, consiguientemente se indujo un cultivo puro de *Phytophthora cactorum* con 28 días de incubación a producir zooporas hasta que el micelio cubrió todo el medio y la producción de esporangios fue abundante. Posteriormente en cada caja Petri con medio agar-agar se vertieron 10 mL de agua esterilizada para posteriormente incubarse a 4 °C por 30 min seguido de 30 min a temperatura ambiente.

Concluido el proceso mencionado anteriormente, se observaron zoosporas flageladas características de *Phytophthora cactorum* en concentraciones superiores a 10^5 zoosporas por mililitro (Estrada, 2010).

Es importante destacar que las aplicaciones de los tratamientos de SiO_2 y CaSiO_3 a nivel raíz y foliar se realizaron 4 días antes de la inoculación, previo a ello se tuvo un pH dentro de la solución nutritiva de 5.5.

Al momento de la inoculación se aseguró la existencia de una adecuada cantidad de frutos con el mismo desarrollo fenológico, y se realizó dicha inoculación directamente a los frutos con una mochila aspersora manual.

Así mismo se aseguró que antes y después de la inoculación se tuvieran temperaturas mayores a los 28°C y humedades relativas por encima del 80% para que se presentará *Phytophthora cactorum*.

De ésta manera se aseguró que las respuestas de frutos sanos y enfermos fueran causa de la aplicación de los tratamientos correspondientes. Finalmente se realizó el conteo de frutos sanos y enfermos 15 días después de la última inoculación.

6.9. Variable evaluada

6.9.1. Porcentaje de frutos enfermos

Se determinó la incidencia de la enfermedad 15 días después de la última inoculación contando el número de frutos sanos y enfermos en cada unidad experimental. Posteriormente con los datos obtenidos del total de frutos sanos y enfermos se estimó el porcentaje de incidencia de la enfermedad en cada unidad experimental y repetición (Gil, 2012).

6.9.2. Análisis estadístico

6.9.2.1. Modelo estadístico

Se utilizó el Diseño Experimental De Bloques Completamente Al Azar:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, t \quad j = 1, 2, \dots, r$$

Donde:

Y_{ij} = Observación de la variable respuesta del i -ésimo tratamiento en el j -ésimo bloque.

μ = Respuesta promedio de las unidades experimentales.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

B_j = Efecto del j -ésimo bloque.

E_{ij} = Error experimental asociado a Y_{ij} .

Los datos de incidencia obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza mediante el procedimiento ANOVA y la prueba de comparación de medias de Tukey (Tukey, $P \leq 0.05\%$), para lo cual se utilizó el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, Institute, 2002; Cary, NC, USA).

7. RESULTADOS

7.1. Fenología del cultivo

El cultivar “Albion” presentó hojas aserradas, la producción de follaje fue abundante. Alrededor del día 35 ddt se observaron las flores primarias, el follaje se incrementó alrededor del día 55 ddt, y al día 65 ddt ya se apreciaba una floración abundante, durante los siguientes 50 días se desarrollaron los primeros frutos, aunque continuaron flujos de floraciones traslapadas. A partir de ese momento se tuvo fruto para cosecha, la cual se recolectó cada ocho días.

7.2. Experimento vía raíz

Al realizar el análisis de varianza del experimento vía raíz (Apéndice 1), con los datos obtenidos del porcentaje de infección en la evaluación (15 días después de la inoculación), no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($P=0.6727$).

Dichas diferencias se muestran al realizar la comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$), donde se observa la formación de cuatro grupos (Cuadro 11).

El primer grupo está formado por el tratamiento 1 que fue el testigo absoluto (sin silicio) el cual resultó ser el tratamiento con mayor porcentaje de infección de *Phytophthora cactorum* de los 5 tratamientos de 63.475% (Tukey, $P \leq 0.05$) confirmando que existían las condiciones adecuadas para el desarrollo de la enfermedad (Cuadro 11).

El segundo grupo estadístico está constituido formado por el tratamiento 4 (50 mg/L de Si a partir de CaSiO_3) el cual tuvo una baja eficacia de control de la enfermedad *Phytophthora cactorum* de 42.85% de efectividad biológica (Tukey, $P \leq 0.05$) (Cuadro 11).

El tercer grupo conformado por el tratamiento 2 (50 mg/L de Si de solución nutritiva, suministrado a partir de SiO_2) y el tratamiento 3 (100 mg Si L^{-1} de solución nutritiva adicionados a partir de SiO_2) los cuales tuvieron una eficacia de control de la enfermedad de *Phytophthora cactorum* de 47.49 a 67.06%. Finalmente el cuarto grupo conformado por el tratamiento 5 (100 mg Si L^{-1} de solución nutritiva, adicionados de Si a partir de CaSiO_3) obtuvo la eficacia de control de la enfermedad de *Phytophthora cactorum* más alta (75.5%) debido a que fue la dosis de concentración de silicato de calcio (CaSiO_3) más alta, (Tukey, $P \leq 0.05$). Todo esto argumenta que la efectividad de óxido de silicio (SiO_2) y silicato de calcio (CaSiO_3) aumenta cuando se aplican en las dosis de concentración más altas en etapa de preinfección (Cuadro 11).

En el análisis de la comparación de tratamientos se realizó con el grupo de tratamientos 5 (100 mg Si L^{-1} de solución nutritiva a partir de CaSiO_3) y 3 (100 mg Si L^{-1} de solución nutritiva a partir de SiO_2) contra el grupo de tratamientos 2 (50 mg Si L^{-1} de solución nutritiva a partir de SiO_2) y 4 (50 mg Si L^{-1} de solución nutritiva a partir de CaSiO_3); dicha comparación no resultó significativa ($P < 0.6727$), posteriormente el grupo conformado por los tratamientos 5 y 3 disminuyó la incidencia de *Phytophthora cactorum* en frutos (36.4510), mientras que el grupo conformado por los tratamientos 2 y 4 presentó una mayor incidencia de la enfermedad *Phytophthora cactorum* (69.5920) (Apéndice 2).

La aplicación de 100 mg Si L^{-1} de solución nutritiva a partir de CaSiO_3 (tratamiento 5) y 100 mg Si L^{-1} de solución nutritiva a partir de SiO_2 (tratamiento 3) disminuyó la incidencia de la enfermedad de *Phytophthora cactorum* en comparación con la aplicación de 50 mg Si L^{-1} de solución nutritiva a partir de SiO_2 (tratamiento 2) y 50 mg Si L^{-1} de solución nutritiva a partir de CaSiO_3 (tratamiento 4) (Tukey, $P \leq 0.05$) (Apéndice 2).

Cuadro 11. Comparación de medias del porcentaje de infección de *Phytophthora cactorum* en experimento vía raíz en el cultivo de fresa en Montecillo, México. 2013.

Tratamiento	Descripción	Porcentaje de infección (%)	Efectividad biológica (%)
1	Testigo (Sin Si)	63.475 a	*
4	50 mg Si L ⁻¹ (a partir de CaSiO ₃)	36.264 b	42.86
2	50 mg Si L ⁻¹ (a partir de SiO ₂)	33.328 bc	47.49
3	100 mg Si L ⁻¹ (a partir de SiO ₂)	20.904 bc	67.06
5	100 mg Si L ⁻¹ (a partir de CaSiO ₃)	15.547 c	75.50
P>F (ANOVA)		< 0.6727	
DMS		19.721	

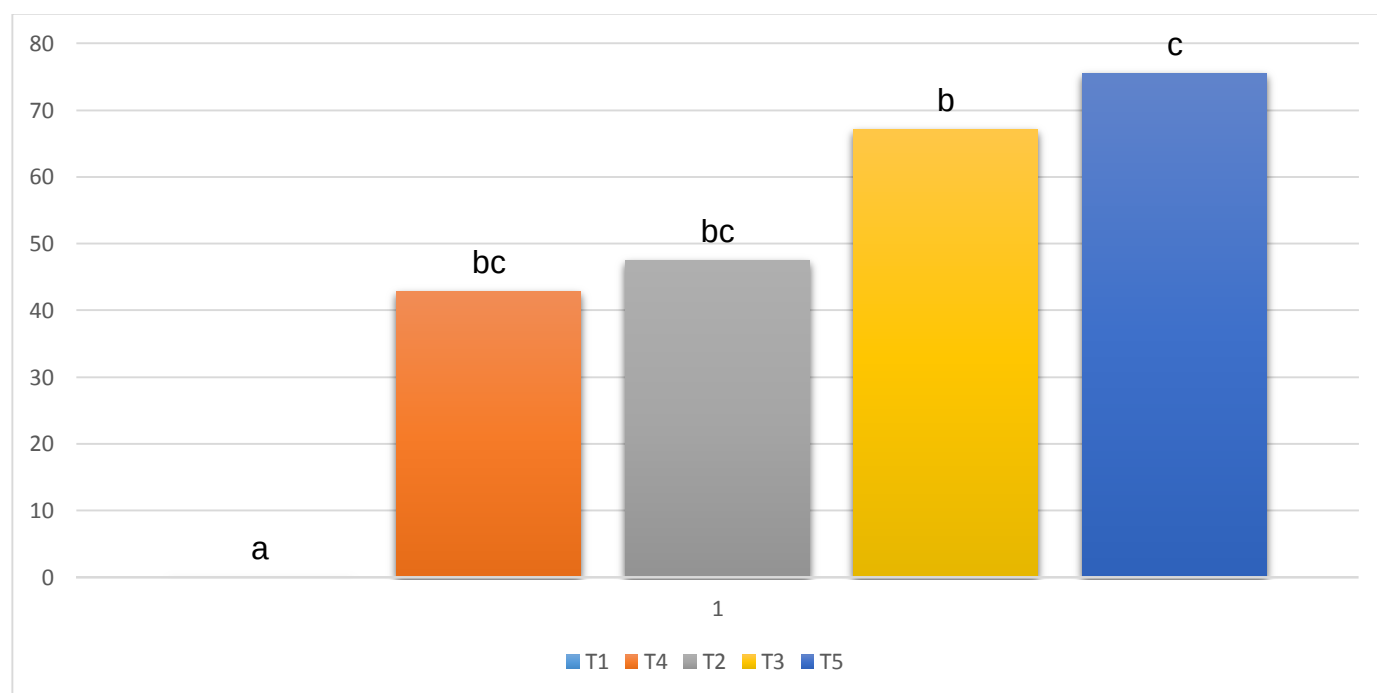


Figura 3. Gráfica del experimento vía raíz del porcentaje de efectividad biológica de los tratamientos evaluados sobre *Phytophthora cactorum* en el cultivo de fresa en Montecillo, México 2013.

7.3. Experimento vía foliar

Al realizar el análisis de varianza del experimento vía foliar (Apéndice 3), con los datos obtenidos del porcentaje de infección en la evaluación (15 días después de la inoculación), se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($P=0.0004$).

A través de la comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$), se observa la formación de cinco grupos (Cuadro 12).

El primer grupo está formado por el tratamiento 1 que fue el testigo absoluto (sin aspersión foliar con Si) presento de manera positiva *Phytophthora cactorum* con el porcentaje de infección más alto de los 5 tratamientos de 63.784% (Tukey, $P \leq 0.05$) confirmando que existían las condiciones adecuadas para el desarrollo de la enfermedad (Cuadro 12).

El segundo grupo formado por el tratamiento 2 [FF con solución g Si L⁻¹ de Si (0.25% de Si a partir de SiO₂)] el cual tuvo una baja eficacia de control de la enfermedad *Phytophthora cactorum* de 47.19% debido a que fue el tratamiento donde la dosis de concentración óxido de silicio (SiO₂) fue la más baja (Tukey, $P \leq 0.05$) (Cuadro 12).

El tercer grupo conformado por el tratamiento 4 [FF con solución 2.5 g Si L⁻¹ (0.25% de Si a partir de CaSiO₃)] el cual tuvo una eficacia de control de la enfermedad de *Phytophthora cactorum* de 58.97% (Tukey, $P \leq 0.05$) (Cuadro 12).

El cuarto grupo integrado por el tratamiento 3 [FF con solución 5 g Si L⁻¹ (0.5% de Si a partir de SiO₂)] el cual tuvo una eficacia de control de la enfermedad de *Phytophthora cactorum* de 65.88% (Tukey, $P \leq 0.05$) (Cuadro 12).

Finalmente el quinto grupo conformado por el tratamiento 5 [FF con solución g Si L⁻¹ (0.5% de Si a partir de CaSiO₃)] el cual tuvo la más alta eficacia de control de la enfermedad de *Phytophthora cactorum* de 71.32% (Tukey, $P \leq 0.05$) (Cuadro 12).

En el análisis de la comparación de tratamientos se realizó con el grupo de tratamientos 5 [FF con solución 5 g Si L⁻¹ (0.5% de Si a partir de CaSiO₃) y 3 [FF con solución 5 g Si L⁻¹ (0.5% de Si a partir de SiO₂)] contra el grupo de tratamientos 4 [FF con solución 2.5 g Si L⁻¹ de Si (0.25% de Si a partir de CaSiO₃)] y 2 [FF con solución 2.5 g Si L⁻¹ (0.25% de Si a partir de SiO₂); dicha comparación resultó significativa ($P < 0.0004$), posteriormente el grupo conformado por los tratamientos 5 y 3 disminuyó la incidencia de *Phytophthora cactorum* en frutos (40.0460), mientras que el grupo conformado por los tratamientos 4 y 2 presentó una mayor incidencia de la enfermedad *Phytophthora cactorum* (59.8500) (Apéndice 4).

La aplicación de FF con 5 g Si L⁻¹ (0.5% de Si a partir de CaSiO₃) (tratamiento 5) y FF con 5 g Si L⁻¹ (0.5% de Si a partir de SiO₂) (tratamiento 3) disminuyeron la incidencia de la enfermedad de *Phytophthora cactorum* en comparación con la aplicación de FF con solución 2.5 g Si L⁻¹ (0.25% de Si a partir de CaSiO₃) (tratamiento 4) y FF con solución 2.5 g Si L⁻¹ (0.25% de Si a partir de SiO₂) (tratamiento 2) (Tukey, $P \leq 0.05$) (Apéndice 4).

Cuadro 12. Comparación de medias del porcentaje de infección de *Phytophthora cactorum* en experimento vía foliar en el cultivo de fresa en Montecillo, México. 2013.

Tratamiento	Descripción	Porcentaje de infección (%)	Efectividad biológica (%)
1	Sin FF	63.784 a	*
2	FF con solución 2.5 g Si L-1 (0.25% de Si a partir de SiO ₂)	33.681 b	47.19
4	FF con solución 2.5 g Si L-1 (0.25% de Si a partir de CaSiO ₃)	26.169 c	58.97
3	FF con solución 5 g Si L-1 (0.5% de Si a partir de SiO ₂)	21.758 cd	65.88
5	FF con solución 5 g Si L-1 (0.5% de Si a partir de CaSiO ₃)	18.288 d	71.32
P>F (ANOVA)		< 0.0004	
DMS		7.0731	

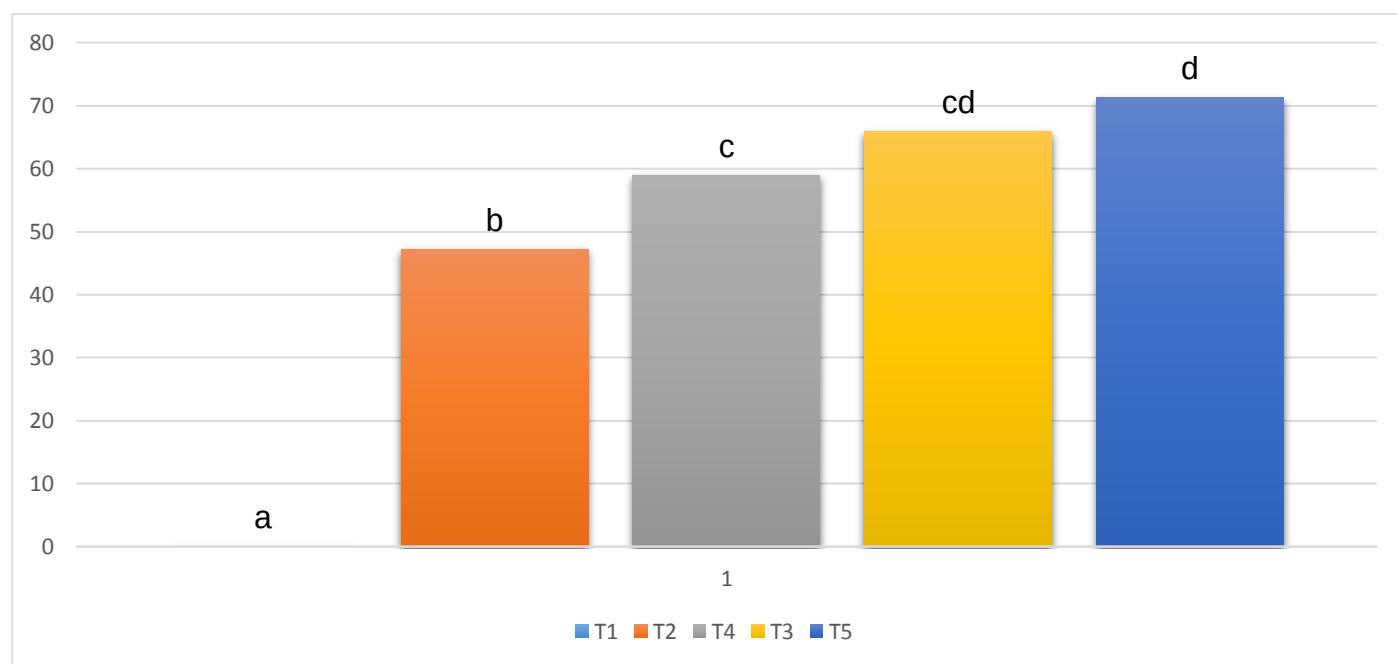


Figura 4. Gráfica del experimento vía foliar del porcentaje de efectividad biológica de los tratamientos evaluados sobre *Phytophthora cactorum* en el cultivo de fresa en Montecillo, México 2013.

8. DISCUSIÓN

8.1. Experimento vía raíz

Shetty et al. (2012), señalaron que en rosas hidropónicas en maceta con sustrato PINDSTRUB® al aplicar en el sistema de riego una solución de $0.100 \text{ g Si L}^{-1}$ (silicato de potasio) en invernadero, se retrasó la infección para el oomiceto mildiu (*Peronospora sparsa*) de 1 a 2 días y redujo el porcentaje de infección hasta en 48.9%, en comparación con su testigo. De acuerdo a los resultados obtenidos en este experimento el tratamiento 2 del experimento vía raíz fue la dosis más parecida que fue de $0.107 \text{ g Si L}^{-1}$ (óxido de silicio) el cual tuvo un porcentaje de infección de 33.328% del oomiceto *Phytophthora cactorum*, sin embargo el tratamiento 3 del mismo experimento con una dosis de $0.214 \text{ g Si L}^{-1}$ (óxido de silicio) mostró mayor efectividad y diferencia significativa en cuanto al control y disminuyó el porcentaje de infección a 20.904%. La dosis a la cual se logra el mejor control sobre la pudrición cuerosa (*Phytophthora cactorum*) utilizando óxido de silicio fue de $0.214 \text{ g Si L}^{-1}$.

8.2. Experimento vía foliar

López (2013), señaló que en rosas bajo invernadero al aplicar de manera foliar una dosis de 3 g Si L^{-1} (silicato de potasio) en invernadero, la cual fue efectiva contra el oomiceto mildiu (*Peronospora sparsa*) con la cual se obtuvo un porcentaje de infección 36.4%. De acuerdo a los resultados obtenidos en este experimento el tratamiento 2 del experimento vía foliar fue la dosis más parecida que fue de $5.348 \text{ g Si L}^{-1}$ (óxido de silicio) el cual tuvo un porcentaje de infección de 33.681% del oomiceto *Phytophthora cactorum*, sin embargo el tratamiento 3 del mismo experimento con una dosis de $10.697 \text{ g Si L}^{-1}$ (óxido de silicio) mostró mayor efectividad y diferencia significativa en cuanto al control y disminuyó el porcentaje de infección a 21.758%. La dosis a la cual se logra el mejor control sobre la pudrición cuerosa (*Phytophthora cactorum*) utilizando óxido de silicio fue de $10.697 \text{ g Si L}^{-1}$.

En general, al Si se le pueden atribuir características como las de: promover fotosíntesis, efectos sobre propiedades de superficie en tejidos, resistencia a herbívoros, resistencia a toxicidad por metales, resistencia a salinidad, reducción de estrés en casos de sequedad y protección a temperaturas extremas (Epstein, 2001). Sin embargo, para lograr lo anterior primero es necesario que las plantas absorban al elemento.

Mattson y Leatherwood (2010), sugieren que se requieren altas concentraciones de Si en los tejidos de las plantas para obtener sus beneficios. El efecto de la silificación en plantas se correlaciona con la tasa transpiratoria por el movimiento pasivo de ácido silícico con el agua (Bauer et al., 2011).

9. CONCLUSIÓN

El mejor tratamiento en el experimento vía raíz fue el tratamiento 5 (100 mg Si L⁻¹ de solución nutritiva de Si a partir de CaSiO₃) para el control de *Phytophthora cactorum* en fresa, por lo que, lo convierte en una alternativa en el control de esta enfermedad.

En el experimento vía raíz los tratamientos 3 (100 mg Si L⁻¹ de solución nutritiva a partir de SiO₂), y 2 (50 mg Si L⁻¹ de solución nutritiva a partir de SiO₂), mostraron un menor control de la enfermedad *Phytophthora cactorum*, aunque también pueden ser considerados como herramientas útiles en programas del manejo de esta enfermedad.

En el experimento vía foliar el mejor fue el tratamiento 5 (100 mg Si L⁻¹ de solución nutritiva a partir de CaSiO₃) para el control de *Phytophthora cactorum* en fresa.

En el experimento vía foliar el tratamiento 3 (FF con solución 5 g Si L⁻¹ (0.5% de Si a partir de CaSiO₃), mostro un adecuado control de la enfermedad *Phytophthora cactorum*, por lo que es pertinente considerarlo como una herramienta en programas de manejo de esta enfermedad.

10. LITERATURA CITADA

ADATIA, M. H.; BESFORD, R. T. 1986. The effect of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Ann. Bot.* 58(3):343-351.

AGRIOS, G. N. 1991. Fitopatología. 1er. Edición. México, p 756.

AGUSTÍ ALCALS L. 2007. Characterization and efficacy of bacterial strains for biological control of soil-borne diseases caused by *Phytophthora cactorum* and *Meloidogyne javanica* on rosaceous plants. Doctoral Thesis. Departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària, Institut de Tecnologia Agroalimentària. Universitat de Girona. 152 pp.

BAUER, P., R. ELBAUM, AND I. M. WEISS. 2011. Calcium and silicon mineralization in land plants: Transport, structure and function. *Plant Science* 180: 746-756.

BELANGER, R. R. 1995. Soluble silicon: its rol in crop and disease management of greenhouse crops. *Plant Dis* 79:329-336.

BLAICH, R. AND H. GRUNDHÖFER. 1998. Silicate incrusts induced by powdery mildew in cell walls of different plant species. *Journal of Plant Diseases and Protection* 105: 114 - 120.

BOWEN, P., MENZIES, J. & EHRET, D. 1992. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development of grape leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 906-912.

BRADY, N. C. 1992. The nature and properties of soil. 10 ed. New York: Macmillan Publishing. 750 p.

CARVER, T. L., R. J. ZEYEN AND G. G. AHLSTRAND. 1987. The relationship between insoluble silicon and success or failure of attempted primary penetration by powdery mildew (*Erysiphe graminis*) germplings on barley. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 31: 133 - 148.

CEDENO, L. Y CARRERO, C. 1997. Antracnosis causada por *Colletotrichum acutatum* en frutos de fresa en Mérida, Venezuela. *Revista Interciencia*, 22(6) 315-319.

CESAVEG. 2002. Campaña de manejo fitosanitario de la fresa. SAGARPA-Secretaria de Desarrollo Agropecuario del Estado de Guanajuato. Irapuato, Gto.

CHAVES, N. Y WANG, A. 2004. Combate al moho gris (*Botrytis cinerea*) de la fresa mediante *Gliocladium roseum*. *Agronomía Costarricense*, 28(2):73-85.

CHÉRIF M, BENHAMOU N, MENZIES JG, BÉLANGER RR. 1992. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. *Physiol Mol Plant Pathol* 41:411–425.

DATNOFF, L.E., DEREN, C.W. & SNYDER, G.H., 1997. Silicon fertilisation for disease management of rice in Florida. *Crop Prot.* 16(6): 525-531.

DAVALOS, P.; CASTRO F. J. 1987. Estimación de daños por *Colletotrichum* sp y *Phytophthora cactorum*, principales causantes de la pudrición de la fresa en Irapuato. Gto. Memorias del XIV Congreso Nacional de Fitopatología. Morelia. Michoacán. SMF.

DE LOS SANTOS, B. M. 2003. First Report of *Phytophthora cactorum* on Strawberry Plants in Spain. *Plant Disease* 70: 1038-1043.

DE MELO, S. P.; MONTEIRO, F. A.; DE BONA, F. D. 2010. Silicon distribution in shoot tissue of the tropical forage grass *Brachiaria brizantha*. *Plant and Soil* 336(1):241-249.

DIJKSTRA, J., J. DE BRUIJN, A. SCHOLTENS, AND J. M. WIJSMULLER. 1993. Effects of planting distance and peat volume on strawberry production in bag and bucket culture. *Acta Horticulturae*. 348:180-184.

ELAWAD, S. H.; GREEN, V. E. 1979. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. *Il Riso* 28:235-253.

EPSTEIN, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91:11-17.

EPSTEIN, E. 1999. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 641 -664.

EPSTEIN, E. 2001. Silicon in plants: Facts vs concepts. In: *Silicon in Agriculture*. Datnoff, L. E., G. H. Snyder and G. H. Korndörfer (eds). Amsterdam, The Netherlands. 2001. Elsevier Science. pp 1-15.

ERWIN D.C. Y RIBEIRO O.K. 1996. *Phytophthora Diseases Worldwide*. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minn, USA. 562 pp.

ESPINOSA, M. D. 2006. Estudio de la variabilidad genética y organización cromosómica en el hongo fitopatógeno *Botrytis cinérea*. Tesis Doctoral Universidad de Cádiz.

ESTRADA, O, E. 2010. Fosfitos en la producción de fresa. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

FAWE, A., ABOU-ZAID, M., MENZIES, J.G. & BÉLANGER, R.R., 1998. Silicon mediated accumulation of flavanoid phytoalexins in cucumber. *Phytopathology*. 88(5), 396-401.

FERNÁNDEZ-HERRERA, E. Y ACOSTA-RAMOS, M. 2005. Síntomas y patogenicidad de hongos causantes de la pudrición de raíz y cuello en jitomate. Memorias del XXXII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología. Chihuahua, Chihuahua, México. Resumen, L-69.

FREZZI M.J. 1950. Las especies de *Phytophthora* en la Argentina. *Revista de investigaciones agrícolas*. 4: 47-133. Eds. INTA.

GALLETA, G. J., AND D. G. HIMELRICK. 1990. Small fruit crop management. Prentice Hall. New Jersey, USA.

GARGANTINI, G. 1989. The strawberry production in Argentina. *Acta Horticulturae* 54(4) 265-756.

GASCHO, G. J. 1977. Response of sugarcane to calcium silicate slag. I. Mechanisms of response in florida. *Proc. Crop Sci. Soc. Fl.* 37:55-58.

GIL, V, J. A. 2012. Fosfito en la solución nutritiva para el control de *Phytophthora cactorum* en fresa. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

GÖSSINGER, M., S. MORITZ, M. HERMES, S. WEDELIN, H. SCHERBICHLER, H. HALBWIRTH, K. STICH, AND E. BERG HOFER. 2009. Effects of processing parameters on colour stability of strawberry nectar from puree. *Journal of Food Engineering* 90:171-178.

GROVE, G. G.; ELLIS, M. A.; MADDEN, L. V.; SCHMITTHENNER, A. F. 1985a. Overwinter survival of *Phytophthora cactorum* in infected strawberry fruit. *Plant Disease* 69: 514-515.

GROVE, G. G.; MADDEN, L. V.; ELLIS, M. A. 1985b. Influence of temperature and wetness duration on sporulation of *Phytophthora cactorum* on infected strawberry fruit. *Phytopathology* 75: 700-703.

GROVE, G. G.; MADDEN, L. V.; ELLIS, M. A.; SCHMITTHENNER, A. F. 1985c. Influence of temperature and wetness duration on infection of immature strawberry fruit by *Phytophthora cactorum*. *Ecology and Epidemiology* 75(2): 165-169.

GUTTRIDGE, C. G. 1985. *Fragaria x ananassa*. In: CRC Handbook of flowering, Vol 3. (Halevy A., Ed.), CRC Press, Boca Raton, Florida. pp 16-33.

HANCOCK, J. F. 1999. Strawberries. CAB International Publishing. New York, NY, USA. 237 p. Larson, K. D., and D. V. Shaw. 2000. Soil fumigation and runner plant production: A synthesis of four years of strawberry nursery field trials. *Scientia Horticulturae*. 35:642-646.

HANHINEVA, K. 2008. Metabolic engineering of phenolic biosynthesis pathway and metabolite profiling of strawberry (*Fragaria* × *ananassa*). Kuopio University Publications C. Natural and Environmental Sciences 231:89.

HANTULA J.; LILJA, H.; NUORTEVA, H; PARIKKA, P; WERRES, S. 2000. Pathogenicity, morphology and genetic variation of *Phytophthora cactorum* from strawberry, apple, rhododendron, and silver birch. *Mycological Research* 104: 1062-1068.

HART, J.; RIGHETTI, T.; SHEETS, A.; MARTIN, L. W. 2000. Strawberries. Fertilizer Guide Oregon State University. FG 14-E. Departement of Agriculture and Oregon Counties, extension services, Oregon. United States.

HERNÁNDEZ, A. 2006. Evaluación de la actividad enzimática peroxidasa y polifenoloxidasas en dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* var. Chandler y Sweet Charlie) durante estrés por bajas temperaturas. Tesis de licenciatura. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de ciencias. Bogotá, D.C. 121 pp.

HUANG H.; JEFFERS, S. N.; LAYNE, D. R.; SCHNABEL, G. 2004. AFLP analysis of *Phytophthora cactorum* isolates from strawberry and other hosts: Implications for identifying the primary source of inoculum. *Plant Disease* 88: 714-720.

KAMPERIDUO, I., AND M. VASILAKAKIS. 2005. Effect of propagation material on some quality attributes of strawberry fruit (*Fragaria x ananassa*, var. Selva). *Scientia Horticulturae*. 107:137-142.

KEELING, P. J.; BURGER, G.; DURNFORD, D. G.; LANG, B. F.; LEE, R. W.; PEARLMAN, R. E.; ROGER, A. J.; GRAY, M. W. 2005. The tree of eukaryotes. *Trends in Ecology and Evolution* 20(12): 670-676.

LANING, F. C. 1960. Nature and distribution of silica in strawberry plants. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 76: 349-358.

LARSON, K. D., AND D. V. SHAW. 2000. Soil fumigation and runner plant production: A synthesis of four years of strawberry nursery field trials. *Scientia Horticulturae*. 35:642-646.

LIETEN, P.; HORVATH, J.; ASARD, H. 2000. Effect of silicon on albinism of strawberry. *Acta Hort. (ISHS)* 567:361-364.

LIETEN, F. 2002. Gassamenstelling bewaring aardbeiplanten (Controlled atmosphere storage). *Ann. Res. Rept. Strawberries*. Pp: 13-15.

LOPEZ, G. D. 2013. EFECTO DEL SILICIO EN LAS PRINCIPALES ENFERMEDADES FOLIARES DEL ROSAL (*Rosa* spp.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

MARAMOTO, B. J.; LOPEZ, G. S. 1988. Producción de fresas y fresones. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

MARTÍNEZ-BOLAÑOS, M; NIETO-ANGEL, D; TÉLIZ-ORTIZ, D; RODRÍGUEZ-ALCAZAR, J; MARTÍNEZ-DAMIAN, M; VAQUERA-HUERTA, H. Y CARILLO MENDOZA, O. 2008. Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, vol. 14(2): 113-119.

MASS, J. L. 1984. Compendium of strawberry diseases. APS Press Edit. St. Paul Minnesota, U.S.A.

MATTSON, N. S., AND W. R. LEATHERWOOD. 2010. Potassium Silicate Drenches Increase Leaf Silicon Content and Affect Morphological Traits of Several Floriculture Crops Grown in a Peat-based Substrate. *HortScience* 45(1): 43-47.

McDANIEL, C. N. 1994. Photoperiodic introduction, evocation and floral initiation. In: *The Development of flowers* (Greyson R.I.) Oxford University Press, Oxford, pp. 25-43.

MENDOZA, Z. C. 1987. Principales enfermedades fungosas y control químico de la cenicilla de la fresa (*Fragaria chiloensis* Duchesne var. *Ananassa*) en Villa Guerrero, Estado de México. Tesis de Maestría. Departamento de Parasitología Agrícola. UACH. Chapingo, México.

MENDOZA, Z. C. 1992. Enfermedades fungosas de hortalizas y fresa. In: Anaya, R. S.: Bautista M. N.; Domínguez, R. B. (eds.). *Manejo fitosanitario de las hortalizas en México*. Colegio de Postgraduados. Chapingo. México, Edo de México.

MENZIES, J., BOWEN, P. & EHRET, D. 1992. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon and zucchini squash. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 902-905.

MILHOLLAND, R. D. 1982. Histopathology of strawberry infected with *Colletotrichum fragariae*. *Phytopathology* 72: 1434-1439

MIYAKE, Y. AND E. TAKAHASHI 1986. Effect of silicon on the growth and fruit production of strawberry plants in a solution culture. *Soil Science and Plant Nutrition* 32: 321 -326.

NANAYAKKARA, U. N.; UDDIN, W.; DATNOFF, L. E. 2008. Application of silicon sources increases silicon accumulation in perennial ryegrass turf on two soil types. *Plant Soil* 303:83-94.

NAVARRO, G. G. 2003. Silicio. In: *Química Agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid España. pp. 425-427.

PARANPEJPE, A. 2007. Winter strawberry production in greenhouses using soilless substrates: an alternative to methyl bromide soil fumigation. *Proceedings of the Florida State for Horticultural Science*, 116: 98-105.

PAULUS, O., A. 1990. *Fungal diseases of strawberry*. *HortScience*, 25 (8), 885-888.

PELAYO, C., S. E. EBELER., AND A. A. KADER. 2002. Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5 °C in air or air 20 kPa CO₂. *Postharvest Biological Technology*. 27 (2):171-183.

PORRAS, M.; BARRAU, C; ARROYO, F. T.; SANTOS, B.; BLANCO, C; ROMERO, F. 2007. Reduction of *Phytophthora cactorum* in strawberry fields by *Trichoderma* spp. and soil solarization. *Plant Disease* 91: 142-146.

PRATS, E., T. L. W. CARVER, M. F. LYNCKJAER, P. C. ROBERTS AND R. J. ZEYEN 2006. Induced inaccessibility and accessibility in the oat powdery mildew system: insights gained from used of metabolic inhibitors and silicon nutrition. *Molecular Plant Pathology* 7: 47 - 59.

REBOLLAR-ALVITER, A.; WILSON, L. L.; MADDEN, L. V.; ELIS, M. A. 2007a. Pre and Post-infection Activity of Azoxystrobin, Pyraclostrobin, Mefenoxam, and Phosphite Against Leather Rot of Strawberry, Caused by *Phytophthora cactorum*. *Plant Disease* 91: 559-564.

REBOLLAR-ALVITER, A. 2009. Manejo de la Fitosanidad de Frutillas. En: memorias del II Simposium Nacional de Producción Forzada. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. p. 65-70. Primera edición. ISBN: 978-607-7533-35-1.

REBOLLAR-ALVITER, A.; WILSON, L. L.; MADDEN, L. V.; ELIS, M. A. 2010. A comparative evaluation of post-infection efficacy of mefenoxam and potassium phosphite with protectant 37 efficacy of azoxystrobin and potassium phosphate for controlling leather rot of strawberry caused by *Phytophthora cactorum*. *Crop Protection* 29: 349-353.

REYNOLDS, A. G., L. J. VETO, P. L. SCHOLBERG, D. A. WARDLE AND P. HAAG 1996. Use of potassium silicate for the control of powdery mildew [*Uncinula necator* (Scwein) Burrill] in *Vitis vinifera* L. cultivar Bacchus. *American Journal on Enology and Viticulture* 47: 421 - 428.

RIVERA, F. 2012. Propiedades antioxidantes de extractos metanólicos de fruto de fresa de variedades nacionales y extranjeras. Tesis de grado sin publicación, CIIDIR IPN-Unidad Michoacán, México.

SAGÑAY, N. 2009. Control de calidad de frutilla (*Fragaria vesca*) deshidratada por método de microondas a tres potencias. Tesis de licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 114 pp.

SAMUELS. A. L., A. D. M. GLASS, D. L. EHRET AND J. A. MENZIES 1991. Distribution of silicon in cucumber leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). *Canadian Journal of Botany* 69: 140- 146.

SAMUELS, A.L., GLASS, A.D.M., EHRET, D.L. & MENZIES, J.G., 1993. The effects of silicon supplementation on cucumber fruit: Changes in surface characteristics. *Ann. Bot.* 72, 433-440.

SÁNCHEZ DEL C, F. E.; Escalante R. 1998. Hidroponia. Principios y métodos de cultivo. Dirección General de Patronato Universitario. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 194 p.

SAS Institute Inc. 2002. SAS/STAT Software: Changes and Enhancements, Release 6.10, Cary, NC: SAS Institute Inc.

SEEMULLER, E. 1984. Crown rot (Vascular collapse). In: Mass, J. L. (ed). Compendium of strawberry diseases. American Phytopathological Society. St. Paul Minnesota. U.S.A.

SHARMA, R. R., AND R. SINGH. 2008. Fruit nutrient content and lipoxigenase activity in relation to the production of malformed and button berries in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) Scientia Horticulturae. 119:28-31.

SHETTY, R., B. JENSEN, N. P. SHETTY, M. HANSEN, C. W. HANSEN, K. R. STARKEY, AND H. J. L. JORGENSEN. 2012. Silicon induced resistance against powdery mildew of roses caused by *Podosphaera pannosa*. Plant Pathology 61: 120-131.

SIAP. 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2013. En línea: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=197.

SINGH, R., R. R. SHARMA, AND R. K. GOYAL. 2007. Interactive effect of planting time and mulching on “Chandler” strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). Scientia Horticulturae. 111:344-351.

SMITH, I. M. 1992. Manual de enfermedades de las plantas. Edit. Mundi-Prensa. Barcelona España.

STEINER, A. 1984. The universal nutrient solution. In: I. S. O. S. C. Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. pp. 633-649. The Netherlands.

STRAND L, 1994. *Integrated Pest Management for Strawberries*. California, USA: University of California, Publication 3351.

TAYLOR, D. R. 2002. The physiology of flowering in strawberry. Acta Horticulturae. 567:245-251.

THOMIDIS, T. 2003. Variability in pathogenicity among Greek isolates of *Phytophthora cactorum* to four peach rootstock. Australian Journal of Experimental Agriculture 43: 99-103.

TISDALE, S.; NELSON, W.; HAVLIN, J.; BEATON, J. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An introduction a nutrient management. Prentice-Hall. New Jersey. USA. 503p.

ULLIO, L. Y. MACARTHUR, E. 2004. Strawberry disease control guide. *Journal NSW Agriculture*, vol. 3:236-244.

USDA, 2006. United States Standards for Grades of Strawberries.

VOOGTH, W.; SONNEVELD, C. 2001. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. *Studies in Plant Science*. 8:115–131.

WANG, S. Y. AND G. J. GALLETTA 1998. Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. *Journal of Plant Nutrition* 21: 157 -167.

WANG, S., AND M. J. CAMP. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae*. 85:183-199.

WESCHE-EBELING, P., AND M. W. MONTGOMERY. 1990. Strawberry polyphenoloxidase: Its role in anthocyanin degradation. *Journal of Food Science*, 55, 731-734

WILHELM, S.; NELSON, R. D. 1980. Pp. 245-292. Fungal Diseases of the strawberry plant. *In*: Childers, F. (ed.). *The strawberry. Proceedings and added information from the National strawberry Conference*. Saint Louis, Missouri.

YOSHIDA, S.; NAVASERO, S. A.; RAMIREZ, E. A. 1969. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characters of rice plants. *Plant Soil* 31:48-56

YUAN, J. P., E. SADILOVA., AND F. CHEN. 2003. Degradation of ascorbic acid in aqueous solution. *Food Research International*. 42: 1023-1033.

ZEYEN, R. J., T. L. W. CARVER AND M. F. LYNCKJAER 2002. Epidermal cell papillae. In, *The powdery mildews: A comprehensive treatise* (eds R. R. Bélanger, W. R. Bushnell, A. J. Dik and T. L. W. Carver). American Phytopathological Society Press, St. Paul, Minnesota, U.S.A. 107 - 125

APÉNDICE

Apéndice 1. Análisis de varianza del porcentaje de infección en experimento vía raíz del cultivo del fresa con *Phytophthora cactorum* en Montecillo, México, 2013.

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Prob > F
Modelo	19	19623.71075	1032.82688	10.64	0.0001
Tratamiento	4	16635.98200	4158.99550	42.85	0.0001
Bloque	3	231.48910	77.16303	0.80	0.5039
Tratamiento*Bloque	12	2756.23965	229.68664	2.37	0.0207
Error	40	3882.30037	97.05751		
Total	59	23506.01112			

Apéndice 2. Análisis de comparación de tratamientos en experimento vía raíz del cultivo del fresa con *Phytophthora cactorum* en Montecillo, México, 2013.

Variable	Análisis de contrastes	Σ Tratamientos	Pr> F	Mejor Grupo
Incidencia de la enfermedad	Tratamiento 5,3	36.4510	0.6727	
Incidencia de la enfermedad	Tratamiento 2,4	69.5920	0.6727	
				Tratamiento 5,3

Apéndice 3. Análisis de varianza del porcentaje de infección en experimento vía foliar del cultivo del fresa con *Phytophthora cactorum* en Montecillo, México, 2013.

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Prob > F
Modelo	19	19623.71075	1032.82688	10.64	0.0001
Tratamiento	4	16635.98200	4158.99550	42.85	0.0001
Bloque	3	231.48910	77.16303	0.80	0.5039
Tratamiento*Bloque	12	2756.23965	229.68664	2.37	0.0207
Error	40	3882.30037	97.05751		
Total	59	23506.01112			

Apéndice 4. Análisis de comparación de tratamientos en experimento vía foliar del cultivo del fresa con *Phytophthora cactorum* en Montecillo, México, 2013.

Variable	Análisis de contrastes	Σ Tratamientos	Pr> F	Mejor Grupo
Incidencia de la enfermedad	Tratamiento 5,3	40.0460	0.0004	
Incidencia de la enfermedad	Tratamiento 4,2	59.8500	0.0004	
				Tratamiento 5,3