



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

PROGRAMA DE POSGRADO EN ALIMENTOS
DEL CENTRO DE LA REPÚBLICA
(PROPAC)

**Susceptibilidad de genotipos de manzano introducidos en Querétaro
a oídio (*Podosphaera leucotricha*) y roña (*Venturia inaequalis*)**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Presenta

I.A. Abraham Paz Cuadra

Dirigido por

Dr. RAMÓN ÁLVAR MARTÍNEZ PENICHE

Santiago de Querétaro, Qro. México, Noviembre de 2013



Portada Interna de Tesis

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Susceptibilidad de genotipos de manzano introducidos en Querétaro a oídio
(*Podosphaera leucotricha*) y roña (*Venturia inaequalis*)

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

I.A. Abraham Paz Cuadra

Dirigido por:

Dr. Ramón Álar Martínez Peniche

SINODALES

Dr. Ramón Álar Martínez Peniche
Presidente

Firma

Dra. Ludmila Elisa Guzmán Pantoja
Secretario

Firma

M.C. Kruskaia Karenia Caltzontzin Fernández
Vocal

Firma

Dra. Montserrat Hernández Iturriaga
Suplente

Firma

Dr. Juan Ramiro Pacheco Aguilar
Suplente

Firma

M.S.P. Sergio Pacheco Hernández
Director de la Facultad

Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y
Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Noviembre de 2013
México

RESUMEN

Las manzanas producidas en la sierra Queretana maduran en agosto, época de mayor oferta en el mercado, son de baja calidad y se ven afectadas por enfermedades fungosas, por lo que no cubren las exigencias del mercado nacional. El objetivo del presente trabajo fue determinar la susceptibilidad de diversos genotipos de manzano a cenicilla (*Podosphaera leucotricha*) y roña (*Venturia inaequalis*), y evaluar su adaptación a nuevas regiones productoras de Querétaro. La susceptibilidad a cenicilla se determinó en hojas de manzanos establecidos en dos huertos ubicados en Cadereyta y Amealco, así como en plantas en vivero; mientras que la susceptibilidad a roña se determinó en hojas y frutos de plantas del huerto de Cadereyta. Los estudios fenológicos se llevaron a cabo en un huerto joven establecido en Amealco, determinando la época de brotación, de floración y el vigor de 13 genotipos, así como en un ensayo de 'Rayada' sobre siete portainjertos clonales en San Juan del Rio, Qro. 'Lourdes', '436' y '468' resultaron los genotipos más tolerantes a cenicilla sin presentar daño ni en el campo ni en el vivero, lo que los hace recomendables para ser establecidos en ambientes húmedos, y/o de poco manejo agronómico. La presencia de *V. inaequalis* en las hojas, obtenida en el campo, se detectó en sólo cinco de 33 genotipos, mientras que en el fruto la mayor incidencia se obtuvo en '419' y 'Rayada' con 6.5 y 6.0 % respectivamente. Por lo que respecta a los estudios fenológicos realizados en Amealco, los genotipos con el mayor número de yemas brotadas al día 6 de febrero fueron '424' y 'Joya' (22.3 y 21.0 yemas, respectivamente), contrastando con '429 a', 'Delicious' y 'Golden Delicious' que brotaron después del 3 de marzo llegando a un máximo de 10 yemas brotadas. 'Joya' produjo la mayor cantidad de flores (9.8 en marzo de 2012 y 5.3 en marzo de 2013) y cuajó frutos durante los dos años de estudio, mientras que '424' y '428' mostraron abundante floración en 2012 (9.4 y 8.4, respectivamente), mas no en 2013 (menos de una yema floral brotada por planta). La mayor longitud de los ramos fue obtenido por 'Joya' y 'Royal Gala' (123.9 y 104.4 cm, respectivamente) y contrastando con '428' (56.5 cm). Finalmente, se detectaron diferencias en el área transversal del tronco de 'Rayada' en función del portainjerto habiéndose obtenido el mayor valor con G.202 (145.8 mm²) y contrastando con M.7 (88.4 mm²), pero no se observaron diferencias entre la brotación y la longitud de brotes entre portainjertos. En el presente trabajo se reveló la existencia de genotipos introducidos con tolerancia a cenicilla y roya y con características interesantes de adaptaciones a las condiciones ecológicas de Amealco, Qro.

(Palabras clave: *Podosphaera leucotricha*, *Venturia inaequalis*, genotipo, resistencia a enfermedades, fenología, portainjertos).

SUMMARY

Apples produced in the mountains of Queretaro ripen in August, at the time of increased supply in the market, they also show low quality and are attacked by fungal diseases, so that they don't attain the local requests. The aim of this study was to determine the susceptibility of 38 apple genotypes to powdery mildew (*Podosphaera leucotricha*) and apple scab (*Venturia inaequalis*), and to evaluate their adaptation to new regions of Queretaro. The susceptibility to powdery mildew was determined in leaves of apples trees established in two orchards located in Cadereyta and Amealco, as well as in plants under nursery conditions, while the susceptibility to apple scab was determined in leaves and fruits of trees in Cadereyta. Additionally, the phenological studies were accomplished in a young orchard established in Amealco, evaluating budbreak time, blossom and vigor of 13 genotypes, as well as an essay of the cultivar 'Rayada' grafted on seven clonal rootstocks in San Juan del Rio, Qro. 'Lourdes', '436' and '468' were the most resistant genotypes to powdery mildew without any damage neither in the field, nor in the nursery, which means they are recommended to be establishing for cultivation in humid environments, and/or where little agronomic management is undertaken. Presence of *V. inaequalis* was only detected on the leaves of five of 33 genotypes established in the field, while the highest incidence in fruits was obtained in '419' and 'Rayada' with 6.5 and 6.0 %, respectively. Concerning phenological studies realized in Amealco, genotypes with the earliest budbreak and the highest number of sprouted buds on February 6th were '424' and 'Joya' (22.3 and 21.0 buds, respectively), contrasting with '429', 'Delicious' and 'Golden Delicious' which sprouted after March 3rd reaching just a total of less than ten buds sprouted. 'Joya' produced the highest number of flowers (9.8 in March 2012 and 5.3 in March 2013) and set fruits during the two years of study, while '424' and '428' showed abundant flowering in 2012 (9.4 and 8.4, respectively) but not in 2013 (less than one flower bud sprouted per plant). The highest length of branches was obtained by 'Joya' and 'Royal Gala' (123.9 and 104.4 cm, respectively) contrasting with '428' (56.5 cm). Finally, differences in the sectional area of the trunk of 'Rayada' as a function of rootstock were detected, with the highest value obtained by G.202 (145.8 mm²) contrasting with M.7 (88.4 mm²), but no differences in the number of branches and the length shoot were observed between rootstocks. In this study, the existence of apple genotypes introduced to Queretaro are tolerant to powdery mildew and apple scab, and with interesting features adaptations to the ecological conditions of Amealco, Querétaro was revealed.

(Keywords: *Podosphaera leucotricha*, *Venturia inaequalis*, genotype, disease resistance, phenology, rootstocks).

DEDICATORIAS

A Dios que me dio la oportunidad de vivir muchas experiencias en estos dos años de Maestría, y por las fuerzas que me regalo para librar los momentos difíciles, pero llenos de aprendizaje.

A mis padres Manuel Paz y Patricia Cuadra, por todo el apoyo que me han dado para lograr mis sueños, siendo para mí un gran ejemplo de vida.

A mis hermanos Manuel, Patricia y Saray por su apoyo, y por la gran felicidad que me hace formar parte de esta excelente familia.

A los que de verdad se portaron como auténticos amigos, por sus consejos y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Querétaro, por recibirme como estudiante de Posgrado en Alimentos.

A CONACYT por la beca, que fue de gran apoyo para realizar este sueño.

Al Dr. Ramón Álar Martínez Peniche quien durante los dos años me apoyo y guío, gracias por los consejos y la gran cantidad de conocimientos que me ha trasmitido.

A la Dra. Ludmila E. Guzmán por el apoyo y arduo trabajo que realizó junto conmigo durante su estancia posdoctoral.

A cada uno de los miembros de comité de evaluación, por su gran apoyo y observaciones durante el desarrollo del trabajo.

A los investigadores y amigos en el IRTA Lérida, España; por su amistad y apoyo durante mi estancia.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	i
SUMMARY.....	ii
DEDICATORIAS.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Importancia económica del manzano.....	3
2.1.1. <i>Mundial</i>	3
2.1.2. <i>Nacional</i>	4
2.1.3. <i>Regional</i>	4
2.2. Botánica del manzano.....	6
2.2.1. <i>Taxonomía</i>	6
2.2.1.1. Generalidades.....	6
2.2.1.2. Principales variedades.....	7
2.2.1.3. Principales portainjertos.....	10
2.2.2. <i>Morfología</i>	13
2.2.3. <i>Fisiología</i>	16
2.2.3.1. Ciclo vegetativo.....	16
2.2.3.2. Ciclo reproductivo.....	17
2.3. Prácticas de cultivo del manzano.....	20
2.3.1. <i>Multiplicación</i>	20
2.3.2. <i>Establecimiento del huerto</i>	22
2.3.3. <i>Manejo del huerto</i>	23
2.3.4. <i>Control fitosanitario</i>	25
2.3.5. <i>Cosecha</i>	25
2.3.6. <i>Manejo en poscosecha</i>	26
2.4. Requerimientos ecológicos del manzano.....	27
2.4.1. <i>Temperatura</i>	27
2.4.2. <i>Captación y utilización de la luz</i>	27
2.4.3. <i>Requerimientos de agua</i>	28
2.4.4. <i>Suelo</i>	28
2.5 Enfermedades del manzano.....	28
2.5.1. <i>Principales patógenos que atacan al follaje y frutos</i>	29
2.5.1.1. <i>Cenicilla</i>	30

2.5.1.2. Roña o Moteado.....	34
2.5.2. Métodos de control de enfermedades.....	38
2.6 Resistencia genética de las plantas a enfermedades.....	40
2.6.1. Métodos para evaluar la sensibilidad de genotipos de manzanos al daño de enfermedades.....	42
2.6.1.1. Método en campo.....	42
2.6.1.2. Métodos en invernadero.....	44
2.6.1.3 Métodos <i>in vitro</i>	45
OBJETIVOS.....	47
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
3.1. Localización y características del sitio experimental.....	48
3.2. Material biológico.....	50
3.2.1. Genotipos de manzano.....	50
3.3. Determinación de sensibilidad de los genotipos a cenicilla (<i>P. leucotricha</i>).....	53
3.3.1. Evaluación en el campo.....	53
3.3.2. Evaluación en invernadero.....	55
3.3.3. Ensayo <i>in vitro</i>	57
3.4. Determinación de la sensibilidad de genotipos al ataque a roña (<i>Venturia inaequalis</i>)	59
3.4.1. Evaluación en el campo.....	59
3.4.2. Evaluación en invernadero y en el laboratorio.....	60
3.5. Evaluación de la época de brotación y el vigor de manzanos en huertos jóvenes de Amealco.....	61
3.5.1. Establecimiento y manejo de los huertos.....	61
3.5.2. Determinación de la época de brotación.....	62
3.5.3. Determinación del vigor.....	62
3.6 Efecto de distintos portainjertos clonales de manzano sobre el desarrollo inicial y final de ‘Rayada’.....	62
3.6.1. Establecimiento y manejo del huerto experimental.....	62
3.6.2. Variables evaluadas.....	63
3.7. Análisis estadísticos.....	64
3.7.1. Evaluación de la susceptibilidad a cenicilla y roña en campo.....	64
3.7.2. Evaluación de la susceptibilidad a cenicilla en vivero.....	65
3.7.3. Época de brotación.....	65
3.7.4. Portainjertos.....	66

3.8. Análisis de los datos	66
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
4.1. Estudio de la tolerancia de los genotipos a enfermedades fungosas	67
4.1.1. Cenicilla	67
4.1.1.1. <i>Identificación del estado conidial</i>	67
4.1.1.2. <i>Evaluación en Cadereyta</i>	68
4.1.1.2.1. <i>Incidencia</i>	68
4.1.1.2.2. <i>Severidad y número de conidios</i>	69
4.1.1.2.3. <i>Correlación entre incidencia, severidad y número de conidios</i>	71
4.1.1.3. <i>Evaluación en Amealco</i>	72
4.1.1.3.1. <i>Incidencia</i>	72
4.1.1.3.2. <i>Severidad y número de conidios</i>	74
4.1.1.3.3. <i>Correlación entre incidencia, severidad y número de conidios en Amealco</i>	75
4.1.1.4. <i>Bioensayo en invernadero</i>	77
4.1.1.4.1. <i>Incidencia</i>	77
4.1.1.4.2. <i>Severidad y número de conidios</i>	78
4.1.1.4.3. <i>Correlación entre incidencia, severidad y número de conidios</i>	80
4.1.1.5. <i>Correlación de la susceptibilidad a cenicilla entre sitios</i>	82
4.1.1.5.1. <i>El Suspiro vs. invernadero</i>	82
4.1.1.5.2. <i>Amealco e invernadero</i>	83
4.1.1.6. <i>Evaluación de la resistencia a cenicilla en el laboratorio</i>	85
4.1.1.6.1. <i>Establecimiento de las condiciones in vitro con hojas desprendidas</i>	85
4.1.2. Roña (<i>Venturia inaequalis</i>)	88
4.1.2.1. <i>Evaluación en las hojas</i>	88
4.1.2.2. <i>Evaluación en fruto</i>	91
4.1.2.3. <i>Correlación de la susceptibilidad a roña en fruto y hoja</i>	96
4.2. Estudios fenológicos	97
4.2.1. Evaluación de diversos genotipos en Amealco	97
4.2.1.1. <i>Determinación de la época de brotación</i>	97
4.2.1.2. <i>Número y longitud de brotes, diámetro del tronco y peso de la madera</i>	102
4.2.2. Efecto de distintos portainjertos clonales sobre el desarrollo inicial y final de ‘Rayada’	105
4.2.2.1. <i>Área transversal, número y longitud de brotes</i>	106
4.2.2.2. <i>Correlación entre diámetro y longitud en el tiempo</i>	108
CONCLUSIONES	109
V. LITERATURA CITADA	113
VI. ANEXOS	127

ÍNDICE DE TABLAS

No.	Título	Página
2.1	Principales países productores de manzana, valor de la producción, producción y área cultivada para 2011.	3
2.2	Clasificación botánica del manzano.	7
2.3	Taxonomía de <i>Podosphaera leucotricha</i> (Ell. and Ev.) Salm.	30
2.4	Taxonomía de <i>Venturia inaequalis</i> (Cooke) G. Winter (1897).	34
3.1	Ubicación y edad de los sitios experimentales incluidos en este estudio.	49
3.2	Temperaturas medias (TM), días con heladas y horas frío (HF) acumuladas en Amealco, Querétaro entre noviembre y febrero en 2011-2012 y 2012-2013.	49
3.3	Genotipos de manzano usados en este estudio para determinar la sensibilidad a enfermedades fungosas por tipo de experimento.	51
3.4	Denominación y características de los genotipos de manzano usados en este estudio.	52
3.5	Principales características de los portainjertos de manzanos utilizados en este estudio.	52
3.6	Temperatura, precipitación días con lluvias y humedad relativa mensuales durante el periodo de evaluación de la susceptibilidad a oídio de manzano establecidos en los municipios de Cadereyta y Amealco, Qro (año 2012).	55
3.7	Tipo de portainjerto y número de plantas por injerto para la variedad 'Rayada' establecida en Senegal de las Palomas, San Juan del Río, Qro., México.	63
4.1	Porcentaje de incidencia de <i>P. leucotricha</i> en hojas de 13 genotipos de manzano evaluada en cuatro fechas y considerando éstas como repeticiones en el tiempo, bajo condiciones de inóculo natural en Cadereyta, Qro.	69

4.2	Severidad (mm ²) de <i>P. leucotricha</i> en hojas de 13 genotipos de manzano evaluada en cuatro periodos y considerando éstos como repeticiones en el tiempo y número de conidios/cm ² bajo condiciones de inóculo natural en Cadereyta, Qro.	70
4.3	Coeficientes de correlación y significancia de incidencia, severidad y número de conidios de <i>Podosphaera leucotricha</i> en hojas de manzanos establecidos en Cadereyta, Qro.	71
4.4	Porcentaje de incidencia de <i>P. leucotricha</i> en hojas de nueve genotipos de manzano evaluada en tres fechas y considerando éstas como repeticiones en el tiempo, bajo condiciones de inóculo natural en huertos de Amealco, Qro.	73
4.5	Severidad (mm ²) de <i>P. leucotricha</i> en hojas de nueve genotipos de manzano, evaluada en tres periodos y considerando éstos como repeticiones en el tiempo y número de conidios/cm ² bajo condiciones de inóculo natural en huertos de Amealco, Qro.	74
4.6	Coeficientes de correlación y significancia estadística de incidencia, severidad y número de conidios de <i>Podosphaera leucotricha</i> en hojas de manzanos establecidos en campo en el municipio Amealco.	76
4.7	Porcentaje de incidencia de <i>Podosphaera leucotricha</i> en hojas de 14 genotipos de manzanos evaluada en dos periodos y considerando éstos como repeticiones en el tiempo bajo condiciones de inóculo artificial en invernadero	78
4.8	Severidad (mm ²) de <i>P. leucotricha</i> en hojas de 14 genotipos de manzano, evaluada en dos periodos y considerando éstos como repeticiones en el tiempo, número de conidios/cm ² y número de conidios/hoja, bajo condiciones de inóculo artificial en invernadero	79
4.9	Coeficientes de correlación y significancia de incidencia, severidad y número de conidios de <i>Podosphaera leucotricha</i> en hojas de manzanos establecidos en invernadero	81

4.10	Coeficientes de correlación y significancia de incidencia, severidad y número de conidios de <i>Podosphaera leucotricha</i> en hojas de manzanos establecidos en Cadereyta, Qro. vs. Invernadero	82
4.11	Coeficientes de correlación y significancia de incidencia, severidad y número de conidios de <i>Podosphaera leucotricha</i> en hojas de manzanos establecidos en Amealco vs. Invernadero	84
4.12	Porcentaje promedio de sobrevivencia de hojas de 'Golden Delicious' desinfectadas con cuatro tratamientos en función del periodo de incubación	86
4.13	Porcentaje de incidencia de <i>V. inaequalis</i> en hojas, cinco de un total de 33 genotipos de manzano que manifestaron daño, evaluada en tres fechas y considerando éstas como repeticiones en el tiempo, bajo inóculo natural en Cadereyta, Qro.	89
4.14	Severidad (mm ²) de <i>V. inaequalis</i> en hojas de cinco genotipos de manzano, evaluada en tres periodos y considerando éstos como repeticiones en el tiempo bajo condiciones de inóculo natural en Cadereyta, Qro.	90
4.15	Incidencia de <i>V. inaequalis</i> en frutos de 28 genotipos de manzano evaluada en tres fechas y considerando éstas como repeticiones en el tiempo, bajo condiciones de inóculo natural en Cadereyta, Qro.	93
4.16	Severidad de <i>V. inaequalis</i> en frutos de 28 genotipos de manzano, evaluada en tres periodos y considerando éstos como repeticiones en el tiempo bajo condiciones de inóculo natural en Cadereyta, Qro.	94
4.17	Coeficientes de correlación y significancia estadística de incidencia y severidad de <i>V. inaequalis</i> en fruto de manzanos establecidos en Cadereyta, Qro.	95
4.18	Coeficientes de correlación y significancia de incidencia y severidad de <i>V. inaequalis</i> en hojas y frutos de manzanos establecidos en Cadereyta, Qro.	96
4.19	Número, longitud y peso de la madera del crecimiento obtenido en 2012, así como diámetro promedio de brotes de diferentes genotipos de manzano establecidos en Amealco, Qro.	103

4.20	Área transversal del tronco principal de plantas del cv. 'Rayada' injertadas sobre siete portainjertos de manzano, tomados en tres fechas durante su primer año de establecimiento en San Juan del Rio, Qro	106
4.21	Número promedio de brotes del cv. 'Rayada' por portainjerto de manzano establecidos en San Juan del Rio, Qro. en dos muestreos sucesivos y considerando éstos como repeticiones en el tiempo.	107
4.22	Longitud promedio de brotes del cv. 'Rayada' injertada sobre siete portainjertos distintos establecidos en San Juan del Rio, Querétaro., evaluada en dos fechas y considerando éstas como repeticiones en el tiempo	108

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Título	Página
2.1	Ubicación del Estado de Querétaro.	4
2.2	Daño provocado por granizo en hoja de manzano.	6
2.3	Vigor relativo de árboles de manzano en función del portainjerto.	12
2.4	Árbol de manzano en floración.	13
2.5	Raíces fasciculares de plantas de manzano injertadas.	14
2.6	Hoja del manzano haz y envés.	14
2.7	Flor e inflorescencia del manzano.	15
2.8	Frutos del manzano.	15
2.9	Desarrollo fenológico del manzano en el hemisferio Norte.	16
2.10	Desarrollo de la yema floral del manzano, método de Fleckinger.	18
2.11	Caída de pétalos posterior a la fecundación.	18
2.12	Desarrollo del fruto del manzano.	19
2.13	Crecimiento del fruto de manzano.	20
2.14	Hoja y frutos con daños caudados por <i>Podoshæra leucotricha</i> .	31
2.15	Ciclo biológico de la cenicilla del manzano.	32
2.16	Hojas y frutos con síntomas de <i>Venturia inaequalis</i> .	36

2.17	Ciclo de la enfermedad causado por <i>Venturia inaequalis</i> .	37
3.1	Localización de los sitios experimentales donde se realizó este trabajo.	48
3.2	Observaciones de <i>P. leucotricha</i> a. y b. Daño en brotes jóvenes c. Cadenas conidiales al microscopio estereoscópico (4x) en el genotipo '424'.	56
3.3	Diferentes etapas del establecimiento del huerto de 'Rayada' sobre distintos portainjertos clonales. a. Recepción de los árboles, b. Desinfección con Benlate [®] , c. Poda a raíz desnuda, d. trasplante en bolsas con suelo, e. etiquetado, f. atrincheramiento de árboles. G. cepa con árbol y sistema de riego. H. Rellenado de cepa con mezcla de materia orgánica.	64
4.1	Observaciones de <i>P. leucotricha</i> a. Daño en brotes jóvenes b. Cadenas conidiales al microscopio estereoscópico (4x) c. Conidios al microscopio óptico (100x) d. Cadena conidial y conidióforo al microscopio óptico (100x).	67
4.2	Regresión lineal de la incidencia de cenicilla en manzanos de Cadereyta e invernadero.	83
4.3	Regresión lineal de la incidencia de oídio en manzanos de Amealco e invernadero	85
4.4	Hojas de manzano sanitizadas en diferentes bioensayos <i>in vitro</i> con presencia de micobiota nativa.	86
4.5	Desarrollo de roña en árboles de manzano establecido en el huerto de 'El Suspiro' a. Genotipos '406' y '407' injertados sobre el mismo árbol b. hoja de '407' infectada de <i>V. inaequalis</i> c. Brote de '406' con hojas infectadas de <i>V. inaequalis</i> . d. Conidios de <i>V. inaequalis</i> al microscopio óptico (100x) e. Conidio conectado a conidióforo, sobre la superficie de hoja de manzano al microscopio óptico (100x) f. Conidio de <i>V. inaequalis</i> cerca de estomas en hoja de manzano visto al microscopio óptico (100x).	88
4.6	a. Genotipo '424' injertado sobre 'MM 106' b. Daño severo de cepa de <i>V. inaequalis</i> c. Daño moderado cepa de <i>V. inaequalis</i> . d. Conidios de cepa <i>V. inaequalis</i> al microscopio óptico (100x) aislados de fruto con lesión.	92

4.7	Regresión lineal de la incidencia de roña en hoja y fruto de manzanos establecidos en Cadereyta	97
4.8	Número promedio por planta de yemas brotadas en manzanos establecidos en Amealco, Querétaro durante el invierno de 2012. Datos provenientes de cuatro repeticiones	98
4.9	Número promedio por planta de yemas florales brotadas en manzanos establecidos en Amealco, Querétaro, evaluados durante el invierno de 2012. Datos provenientes de cuatro repeticiones.	99
4.10	Número de yemas brotadas por planta en manzanos establecidos en Amealco, Querétaro, evaluados en 2013. Datos obtenidos de cuatro repeticiones.	100
4.11	Número de flores por planta, en manzanos establecidos en Amealco, Querétaro evaluados en 2013. Datos obtenidos de cuatro repeticiones	101

I. INTRODUCCIÓN

La producción de manzana en México se concentra en los estados del norte, destacando Chihuahua, Durango y Coahuila. En Querétaro, el manzano se cultiva bajo temporal, siendo los principales municipios productores San Joaquín, Cadereyta, Pinal de Amoles y Amealco (SIAP, 2010). La superficie establecida ha disminuido significativamente en los últimos 20 años, en 1991 había un registro de 1,366 ha y para 2011 se redujo a 704.5 ha, lo cual se debe a diversos factores, como la presencia de enfermedades fungosas y la escasa disponibilidad de cultivares y portainjertos, que propicia que el precio que se paga por el producto sea bajo y que el cultivo no sea rentable.

Por lo que respecta a las enfermedades fungosas, destaca la roña (*Venturia inaequalis*), que produce manchas en el fruto y caída de la hoja, cuyas pérdidas pueden ir de 70 hasta 100 % del valor de la producción, y la cenicilla (*Podosphaera leucotricha*), que llega a causar defoliación y piel áspera en frutos, provocando pérdidas de hasta 50 % en el huerto (Jones y Aldwinckle, 2002).

Entre los métodos para el control de enfermedades fungosas, destacan el control cultural que consiste en la eliminación del material vegetal infectado, fertilización, deshierbe, conducción de ramas y el facilitar el drenaje en la plantación (Meszka y Bielenin, 2006); el control biológico que se fundamenta en el uso de microorganismos antagónicos al patógeno (Larena *et al.*, 2001); y el control químico, a través del uso de fungicidas, productos que pueden resultar dañinos para la salud y el medio ambiente, además de generar cepas resistentes por parte de los patógenos (Meszka y Bielenin, 2006).

Otra alternativa para el control de enfermedades es la utilización de variedades resistentes a los fitopatógenos, método que presenta como principal ventaja la reducción de costos generados por cualquiera de los métodos anteriormente mencionados. A nivel mundial existen diversos reportes de resistencia genética para enfermedades de la raíz, del follaje y del fruto. Uno de los ejemplos clásicos en las plantas es el uso de híbridos de trigo duro tales como

'Syria 1740', 'Creso' y 'CMH82A' (Mariscal, 2007) resistentes a la roya (*Puccinia triticina*), hongo causante de cuantiosas pérdidas económicas en México. En el caso particular del manzano, varios cultivares obtenidos mediante programas de mejora genética como 'Prima', 'Priscilla', 'Liberty' y 'Freedom' han mostrado resistencia a roña y, en el caso de cenicilla, destacan 'Winesap', 'York Imperial', 'Nittany' y 'Lord Lambourne' (Jones y Aldwinckle, 2002).

En lo que concierne a la poca disponibilidad de cultivares de manzana en la región, podemos señalar que las principales variedades establecidas son 'Golden Delicious' y 'Delicious', las cuales maduran en agosto, cuando el mercado se encuentra saturado y su valor comercial se ve mermado; por lo que se requiere evaluar nuevas variedades adaptadas a las condiciones locales y de maduración temprana que ofrezcan buena calidad y rendimiento. A partir de 2001, se han introducido a la región Serrana de Querétaro diversos genotipos, la mayoría de ellos originados en México, de los cuales se han seleccionado algunos sobresalientes por sus características agronómicas y de calidad, sin embargo, se desconoce su tolerancia a enfermedades y su adaptación a otras regiones productoras, como Amealco, Qro.

En cuanto a los portainjertos, la mayor parte de éstos son de origen desconocido, se cree que los principales introducidos en la región son los clonales MM.106 y MM.111, así como portainjertos francos, por lo que se hace necesario introducir nuevos materiales de diversos orígenes, para determinar su adaptación, el potencial productivo y vigor que transfiere a las nuevas variedades seleccionadas en la zona.

Por lo anterior, este trabajo tuvo como objetivos determinar la sensibilidad de diferentes genotipos de manzano, introducidos en la Sierra de Querétaro al ataque por cenicilla y roña, y evaluar la adaptación de diversas variedades y portainjertos de manzano en nuevas regiones productoras de Querétaro.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importancia económica del manzano

2.1.1. *Mundial*

El manzano es uno de los frutales más cultivados en todo el mundo, lo cual se debe a su popularidad y a la facilidad de adaptación a los distintos climas y suelos, de acuerdo a la FAO, para 2011 la superficie mundial establecida era de 4,766,775 ha. En los últimos años, la producción de manzana ha aumentado notablemente llegando a más de 75 millones de toneladas anuales (FAO, 2011).

China es el primer productor mundial con más de 35 millones de toneladas y una superficie plantada que supera 2 millones de hectáreas, mismas que corresponden a 43.1 % de la superficie mundial. EE.UU., aunque ocupa el 6º lugar en superficie cultivada, siendo el 2º productor mundial con 4, 272,000 toneladas, lo que refleja una elevada tecnificación del cultivo Tabla 2.1 (FAO, 2011).

Tabla 2.1. Principales países productores de manzana, valor de la producción, producción y área cultivada para 2011

	País	Sup. cultivada (miles de ha)	Producción (miles de t)	Valor de la Producción (miles de dólares)
1	China	2,052	35,987	15,219
2	India	289	2,891	1,222
3	Rusia	188	1,200	507
4	Polonia	183	2,493	1,054
5	Turkia	142	2,680	1,133
6	Estados Unidos	133	4,272	1,807
7	Iran	133	1,651	698
8	Pakistan	110	598	253
9	Ucrania	105	954	403
10	Korea del Norte	72	806	341
11	Uzbekistan	70	779	329
12	Bielorrusia	60	192	81
13	Italia	56	2,411	1,019
14	México	56	630	266
15	Republica de Moldova	55	268	113
16	Romania	52	620	262
17	Serbia	48	265	112
18	Argelia	47	450	190
19	Argentina	42	1,115	471
20	Francia	41	1,858	786
	Total 20 países principales	3,942	62,128	26,275
	Resto del mundo	824	14,661	5,712
	Total mundial	4,766	75,635	31,987

(Fuente: FAO, 2011)

2.1.2. Nacional

La producción de manzana en México ha mantenido un cierto ritmo de crecimiento durante los últimos años. Sin embargo la disponibilidad de manzana en el periodo 1998-2000 fue de 74 % de producción doméstica y 26 % restantes de importaciones (Plan Reactor Sistema Nacional Manzana, 2005). El volumen anual promedio de importaciones para 2012 fue de 236,818.5 toneladas (SIAP, 2012), siendo EE.UU. el principal abastecedor, con una participación de 53 %, seguido de Chile, Canadá y Nueva Zelanda, el máximo periodo de compras a EE.UU. es entre diciembre a septiembre, mientras que al resto de los países del Hemisferio Sur es de abril a julio (SIAP, 2012).

Para 2010 se tenía una superficie establecida en México de 57,742.9 ha, 73 % de las cuales se encontraba en los estados de Chihuahua, Durango y Puebla. La producción total nacional en este mismo año, fue de 584,655 toneladas (Anexo1), las cuales generaron un valor de la producción de 3,253 millones de pesos (SIAP, 2010).

2.1.3. Regional

El estado de Querétaro, México, parte del centro de la República Mexicana, está rodeado por los estados de: San Luis Potosí al Norte, Guanajuato al Oeste, Hidalgo al Este, el Estado de México al Sureste y, finalmente, con el estado de Michoacán al Suroeste (Figura 2.1).



Figura 2.1. Ubicación del Estado de Querétaro

El manzano es considerado uno de los principales cultivos perennes en el estado, habiendo 704.5 ha establecidas repartidas en los municipios de San Joaquín, Cadereyta de Montes, Pinal de Amoles, Peñamiller y Amealco (Anexo 2) (SIAP, 2011). El estado ocupa el 11° lugar en superficie cultivada con más de 1,000 ton producidas (SIAP, 2013). Los principales huertos se ubican generalmente en alturas superiores a 2200 msnm, con temperaturas medias anuales que rondan 18 °C. El clima característico en estos sitios es el templado subhúmedo a húmedo, teniendo registros de precipitación promedio anual de alrededor de 800 mm anuales (SMN, 2010).

Las principales variedades establecidas en el estado son 'Delicious', 'Golden Delicious' y algunas criollas, los primeros de maduración intermedia (Mendoza *et al.*, 2008; Sáenz *et al.*, 1999). Dentro de las criollas destaca también la variedad 'Rayada' de origen desconocido, la cual se caracteriza por ser de floración intermedia, pero de maduración temprana, lo que le permite escapar de las heladas tardías y tener una excelente ventana de comercialización.

Entre los principales problemas que enfrenta el cultivo del manzano en el estado podemos citar la falta de agua en las zonas que ofrezcan las características climáticas de explotación, la ocurrencia de heladas tardías (marzo y abril), así como de granizo (Zavala, 2005); la escasa disponibilidad de variedades aptas, la mala adaptación de las variedades existentes, el escaso manejo en cuanto a podas y raleo, la baja tecnificación del cultivo, la presencia de enfermedades fungosas, las cuales se controlan deficientemente y la maduración del producto en agosto, cuando el mercado se encuentra saturado con fruta proveniente tanto de otros estados como de importación. Todo lo anterior se traduce en diversos problemas, como la presencia de frutos pequeños, de color heterogéneo y enfermos, bajos rendimientos (1.25 t/ha) (SIAP, 2011), pobre valor comercial de la fruta y una disminución de la superficie establecida (Mendoza *et al.*, 2008), lo que a su vez propicia que el producto sea de baja calidad y que se comercialice deficientemente (Mendoza *et al.*, 2006).

Entre las alternativas de solución podemos citar la introducción y evaluación de genotipos que se adapten a la región, rendidores, de calidad comercial, de floración tardía y maduración temprana y que además presenten niveles de tolerancia a enfermedades.

En 2001, diversos genotipos de bajo requerimiento de frío, la mayor parte obtenidos mediante mejoramiento genético en México, fueron introducidos y evaluados en la región de San Joaquín y Cadereyta (Mendoza y Martínez, 2008); a pesar de que se han detectado algunos materiales sobresalientes, se desconoce su comportamiento fenológico en la región productora de Amealco, Qro.



Figura 2.2. Daño provocado por granizo en hoja de manzano

2.2. Botánica del manzano

2.2.1. Taxonomía

2.2.1.1. Generalidades

El manzano pertenece al orden *Rosales* que incluye a más de 3,000 especies, a la familia *Rosaceae*, subfamilia *Pomoideae* y género *Malus* (Tabla 2.2). La Especie *Malus domestica* Borkh, como lo conocemos actualmente, es un híbrido complejo generado a partir de diferentes especies del género *Malus sieversii* considerada la especie que mayor aporte genético tiene; originaria del Cáucaso *M. orientalis* Uglitzk, así como *M. sylvestris* Miller (manzana silvestre), *M. baccata* legitima de Siberia, *M. mandshurica* originaria de Manchuria y de China *M. prunifolia* son especies que probablemente también contribuyeron al aporte de genes y *Malus Micromalus* Makino (De Ravel, 1970; USDA, 2013). Este último es

originario de China, donde se ha cultivado en las región montañosa del noreste y sureste, así como en Corea y Japón; se ha usado como una fuente de resistencia a cenicilla y roña en portainjertos de manzano, se consume en fresco y deshidratado; el árbol también es valorado como ornamental (Hanelt, 2001).

Tabla 2.2. Clasificación botánica del manzano

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Tracheohyta</i>
Subdivisión	<i>Pteropsidae</i>
Clase	<i>Angiospermae</i>
Subclase	<i>Dicotiledoneae</i>
Orden	<i>Rosales</i>
Familia	<i>Rosaceae</i>
Subfamilia	<i>Pomoidea</i>
Género	<i>Malus</i>
Especie	<i>Malus domestica</i> Borkh

(Ramírez y Cepeda, 1993)

2.2.1.2. Principales variedades

Son más de 7,000 variedades de manzano las que se han reconocido de esta especie, pero sólo unos cuantos son comerciales, ya que son poseedores de características convenientes de cultivo y comercialización (Westwood, 1993). Es por ello que la selección de nuevas variedades es por medio de la obtención de mutantes de las variedades mayormente cultivadas, buscando mejorar algún aspecto de la variedad original, y en segundo caso la obtención de híbridos por el cruzamiento de estas variedades con otras que presenten alguna cualidad notable: como coloración, fructificación, árboles con mejor desarrollo y resistencia a enfermedades (Álvarez, 1988). Algunas de las principales, son las que se enlistan a continuación:

1. 'Red Delicious' (o 'Delicious') (RD) fue obtenida en EE.UU. en 1881, por Jesse Hiatt y comercializada en 1895 por Stark Brothers en Louisiana, Missouri. Ésta ha dado lugar a la mayor parte de las mutaciones rojas que se cultivan en nuestro país (González, 2002). Se caracteriza por producir frutos de buen tamaño, de color rojo intenso, de pulpa jugosa azucarada y punteado amarillo, ligeramente acidulada y muy aromática. El árbol tiene la tendencia a generar ángulos agudos con la intersección de sus ramas. Es de floración semitardía. Exigente desde el punto de vista edafológico. Es sensible a plagas como el pulgón lanífero (*Eriosoma lanigerum*) y la araña roja (*Tetranychus* spp.) y a enfermedades como roña (*Venturia inaequalis*) (Lalatta, 1999).
2. 'Golden Delicious' (GD) fue encontrado en una granja de la familia Mullins en el condado de Clay en Virginia del Oeste en EE.UU., es la más producida en Europa, es precoz y alcanza altos rendimientos. El árbol muestra un vigor medio. El fruto se caracteriza por ser mediano o grande esferoidal con pedúnculo largo y delgado. Con piel amarillo intenso cuando se encuentra madura, con matices rozados y de superficie lisa (Lalatta, 1999). Se han encontrado mutantes de 'Golden Delicious' en México, como lo es 'Aguanueva' que prácticamente tiene muchas características de 'Golden Delicious' pero con un requerimiento de 500 horas frío; entre las características morfológicas del árbol están: hoja ancha, brillante y glabra con inserción acostada (Martínez, 2012).
3. 'Gala' (GA) Procedente de Nueva Zelanda, se caracteriza por producir frutos firmes, crujientes y sin harinosidad. Es de color rojo la mitad de la superficie. Presenta inconvenientes en la falta de color y el calibre, y no alcanza la selección estándar. Entre los mutantes más importantes se encuentra 'Royal Gala' (Hansen y Zanon, 1982; Lalatta, 1999).

4. 'Anna' (A) originaria de Israel obtenida en 1967. Tiene como progenitores a 'R. Hadassiya' x 'Golden Delicious' es de requerimiento bajo de frío, sus frutos maduran a finales de junio e inicios de julio. Presenta una forma similar a 'Delicious' con sabor dulce a ligeramente ácido (Crocker, 2005). Se caracteriza por ser una manzana roja moteada y que brotar adecuadamente con 218 ± 113 horas frío (HF) (González *et al.*, 2005; Andersen y Crocker, 2009).

5. 'Rayada' (RA) perteneciente al grupo de las rojas, este es un cultivar de origen desconocido y posiblemente introducido de EE.UU., en los años 60's por migrantes originarios de San Joaquín, Qro. Es de floración intermedia, este periodo es corto (una semana) lo que proporciona una producción homogénea y una cosecha temprana, característica económicamente deseable, también ha sido caracterizada como una variedad que presenta un alto vigor y un rendimiento estimado muy alto (Mendoza *et al.*, 2006).

6. 'Aguanueva' (AN) es un mutante de 'Golden Delicious', de origen dudoso procedente de Aguanueva, Coahuila obtenido por el Ing. Aroldo Rumayor Flores. Se caracteriza por tener un gran vigor y rendimiento estimado alto (Ramírez y Mata, 1986).

7. 'Princess'. Cultivar de bajo requerimiento de frío, entre 400-500 horas de frío; produce frutos de color rojo anaranjado, presentan características de calidad como jugosidad y firmeza (Janick *et al.*, 1996; Seipel *et al.*, 2009).

La práctica de generar nuevos cultivares y portainjertos para el manzano mundial se realiza en países como EE.UU., Japón, China, Francia, España, Australia, etc. En nuestro país no existe un programa de mejoramiento genético para el manzano, sin embargo instituciones como el INIFAP en Chihuahua buscan metodologías viables para dar opciones a los productores mediante la

introducción, evaluación y selección de los mejores materiales para la zona (Parra, 1993). De modo particular han existido grandes esfuerzos por hacer mejoramiento genético en manzano, tal es el caso del genetista Ing. Aroldo Rumayor quien desarrollo algunas variedades entre ellas la 'Lourdes'.

La elección de una especie o un cultivar exige de estudios detallados de las condiciones del medio, prácticamente incontrolables del clima. Debe tenerse en cuenta si las condiciones climáticas y el suelo son prácticamente incontrolables en fruticultura y, en general, el agricultor se limita a adaptar las técnicas de manejo a las condiciones de cultivo y a las condiciones naturales de su parcela. La influencia del cultivar es, por tanto, decisiva en la calidad y las labores de cultivo solo constituyen una ayuda, en la mayor parte de los casos costosa, para el arbolado que, de este modo, puede desarrollarse mejor (Augustí, 2011).

2.2.1.3. Principales portainjertos

Los portainjertos de manzano se pueden clasificar, de acuerdo con su origen, en francos y clonales. Los primeros son plantas procedentes de semilla. Los segundos se reproducen vegetativamente y surgen de la selección de plantas de los programas de mejora genética. Las plantas obtenidas a partir de la germinación de semillas de una especie no poseen características homogéneas cuando se utilizan como patrones, ya que son genéticamente distintas. Por tanto, presentan diferencias morfológicas y fisiológicas (Augustí, 2011).

En fruticultura, al conjunto de individuos obtenidos a partir de una misma planta, se denomina *clon* y al individuo que ha dado origen al grupo *cabeza de clon* y al proceso de multiplicación que asegura la fidelidad del origen único *propagación clonal*. Los patrones así obtenidos son, por tanto clonales. La ventaja de este procedimiento es que los individuos tienen una dotación genética idéntica. Dependiendo de su origen, cada clon de patrones tiene unas características determinadas de comportamiento, y adaptación al medio, resistencia o tolerancia a enfermedades y de incluir características específicas sobre las variedades

injertadas. La reproducción de patrones seleccionados y la obtención de materiales mediante programas de mejora genética, son los procesos más habituales en la producción de nuevos patrones (Augustí, 2011).

No existe un patrón ideal, ya que son muchos los factores que afectan en su comportamiento y, sobre todo, sus relaciones con la variedad injertada. Sin embargo, es posible establecer una serie de características que definen su calidad, aunque estén sujetas a las variaciones inducidas por el medio. Entre las principales características que debe reunir un buen patrón es que sea fácilmente propagable, compatible, capaz de controlar el vigor, debe crecer en una amplia gama de condiciones ambientales, promover una pronta entrada en producción y dar lugar a cosechas elevadas, de calidad y constantes. Debe ser longevo para rentabilizar la plantación, buen anclaje, capacidad para absorber agua y nutrientes, debe tener tolerancia a la sequía y fitopatógenos de raíz

El uso de portainjertos clonales de manzano se conoce desde hace tiempo, según la literatura se reporta su utilización desde 1969, iniciándose las primeras pruebas clonales en Europa en 1910 en la Estación East Malling (M) y Malling Merton (MM). Dentro de la serie East Malling encontramos portainjertos originales M.1, M.2, M.4, M.7, M.9 y M.16, resultado dentro de los programas de mejoramiento de selecciones M.25, M.26. Dentro de éstos, M.7 ha sido uno de los más utilizados por ser el más tolerante a enfermedades, y el más adaptable a una gran variedad de tipos de suelos y climas. Sobresale también M.25, el cual tiene como progenitores a 'Northern Spy' x M.2, y que se caracteriza por inducir precocidad, sin embargo, debido a su alto vigor no es usado en EE.UU. (Ferre y Carlson, 1987).

Otra de las series es la Malling Merton, la cual fue desarrollada como una necesidad de resistencia al pulgón lanigero; teniendo como portainjertos importantes a MM.106 ('Northern Spy' x M.1), considerado un patrón de vigor alto, de porte medio erguido, sensible a cenicilla, muy usado para huertos semi-intensivos en espaldera, es menos resistente a la sequía que M.7 por su sistema radicular superficial. Además destaca MM.111 ('Northern Spy' x M.793),

recomendado para ser utilizado en plantaciones semiintensivas por su buen vigor, presenta buena resistencia a la sequía (Masseron, 1989).

En la Figura 2.3 se puede observar la diferencia de vigor que confieren distintos patrones de manzano (Martínez, 1993).

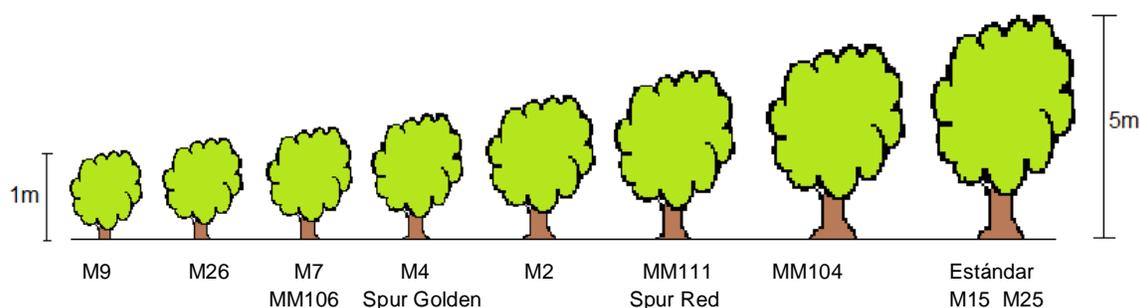


Figura 2.3. Vigor relativo de árboles de manzano en función del portainjerto

En México, a principios de los 60's, la mayoría de los cultivares establecidos desarrollaban sobre portainjertos francos (de semilla). Hoy en día la mayor parte de los huertos se encuentran injertados sobre una gran variedad de portainjertos de multiplicación vegetativa de las series East Malling (M) y Malling Merton (MM) (Martínez, 1993). En el país, el portainjerto predominante es el franco, con más de 80 % de la superficie plantada y el resto de los portainjertos clonales como MM.106, MM.109, MM.111, EM.VII y EM.XXVI (Parra *et al.*, 2002).

Además de los portainjertos provenientes de la Estación experimental de East Malling, se han desarrollado otras series a nivel mundial, como la Geneva (G), cuyo objetivo principal fue el desarrollo de patrones con resistencia a fuego bacteriano y a *Phytophthora*. Esta serie se inició en la estación experimental de Geneve en Nueva York, EE.UU., por conducto de J. Cummins y H. Aldwinckle. Los portainjertos ahí obtenidos han sido comercializados desde 2003; algunos de los nuevos patrones prometedores incluyen G.16 (producción igual que M.9), G.11 (más productivo que M.26), G.30 cuyos progenitores son 'Robusta 5' x M.9 (mayor precocidad y vigor que M.7 y alta productividad similar a M.16) y G.202 cruza de

'Robusta 5' x M.27 (resistente al piojo lanoso y más productivo que M.16) (Wertheim, 1998); y finalmente de la Serie Budagovsky (B), seleccionada en el Michurin College of Horticulture, para obtener resistencia a las severas condiciones invernales de Rusia Central, el patrón B.9 que desciende del cruzamiento de M.8 x 'Red Standard', tiene hoja roja es enanizante y precoz como M.9 similar en, rendimiento, eficiencia, tamaño de fruta y porte (Felipe, 1989; Norelli *et al.*, 2003; Adams, 2006).

2.2.2. Morfología

El manzano es un árbol frutal con una vida promedio de 60 a 80 años, suele alcanzar una altura de 10 m y se caracteriza por tener una copa globosa (Figura 2.4), sostenida por un tronco que generalmente se encuentra erecto y alcanza los 2 a 2.5 m de altura, presenta también una corteza cubierta de lenticelas, lisa, adherida de color ceniciento verdoso sobre las ramas y una corteza escamosa de color grisáceo sobre las partes viejas del árbol.

Las ramas se caracterizan por insertarse con ángulos abiertos sobre el tallo principal y son de color verde oscuro a veces, dependiendo de la variedad, negruzco o violáceo (Ramírez y Cepeda, 1993).



Figura 2.4. Árbol de manzano en floración

Las raíces son fasciculares cuando provienen de patrones clonales (Figura 2.5), y pivotantes cuando provienen de semilla es decir por medio del desarrollo del embrión (Calderón, 1993).



Figura 2.5. Raíces fasciculares de plantas de manzano injertadas

Las hojas son simples y caducas en forma entre oval y elíptica, cortamente acuminadas, aserradas de dientes obtusos, blandas, con el haz verde oscuro, y lanoso-blanquecino por el envés (Figura 2.6), de doble longitud que el peciolo, corto de 4 a 13 cm de longitud, con cuatro a ocho nervios alternados y bien desarrollados (Lalatta, 1999).



Figura 2.6. Hoja del manzano haz y envés

Las flores son de tamaño grande se encuentran casi sentadas o cortamente pedunculadas, brotan unos días antes que las hojas (Figura 2.7). Son hermafroditas y se dan en un número que va de tres a seis unidas por una inflorescencia denominada corimbo (Zavala, 2005).



Figura 2.7. Flor e inflorescencia del manzano

El fruto que se deriva del receptáculo de la flor, se encuentra clasificado botánicamente como un pomo, es de estructura firme, carnoso, con sabor agridulce, de forma oblonga, globular y cónica con sus extremos superiores e inferiores hundidos en la parte central y con superficie lisa (Figura 2.8). Con variaciones en tamaño, forma y color dependiendo de la variedad. En su interior puede llegar a contener más de 10 semillas mismas que se encuentran protegidas por cámaras cartilaginosas las cuales provienen de cinco carpelos del pistilo floral. Según la variedad la pulpa puede variar de blanca a rosa (Ramírez y Cepeda, 1993).



Figura 2.8. Frutos del manzano

2.2.3. Fisiología

Dado que el árbol de manzano es una especie perenne y caducifolia, en invierno entra en reposo profundo, después de llevar a cabo un ciclo anual de desarrollo dividido en vegetativo y productivo (Ramírez y Cepeda, 1993).

2.2.3.1. Ciclo vegetativo

Éste inicia a mediados de octubre hasta mediados de noviembre para el hemisferio norte, y se caracteriza por la caída de hojas, iniciando de esta manera el reposo invernal que durará hasta febrero. La nueva actividad vegetativa se manifiesta con la brotación o desborre de las yemas la cual se presenta en el mes de marzo; seguida de ésta se encuentra la floración y aparición de las primeras hojas en abril; además el amarre o cuajado de fruto se da a finales de este mismo mes. El periodo de máxima vegetación en el que tiene lugar el desarrollo de hojas y frutos, así como la acumulación de nutrimentos para el siguiente ciclo se da en los meses de mayo a septiembre. La cosecha inicia en agosto y en algunos lugares hasta finales de septiembre. Después, el árbol se prepara para la caída de las hojas, dicho desarrollo fenológico se muestra en la figura 2.9 (Ramírez y Cepeda, 1993).

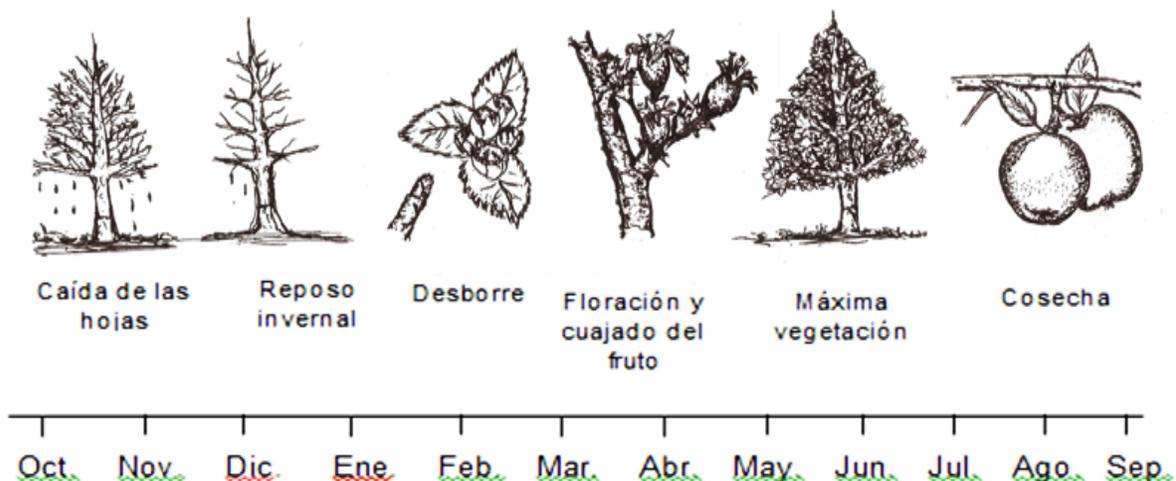


Figura 2.9. Desarrollo fenológico del manzano en el hemisferio Norte

El reposo es provocado cuando las temperaturas son menores a 6 ó 7 °C y de esta manera permanece durante el invierno y es en este periodo que el árbol acumula horas frío, lo que le permite la brotación de las yemas vegetativas y florales (Ramírez *et al.*, 2002).

Los estudios fenológicos en frutales, y en particular en el manzano, consisten en la descripción de las etapas del ciclo anual de la especie, tales como la brotación, floración y maduración de los frutos, entre otras, relacionándolas con el clima y especialmente con los cambios estacionales a los que se encuentran sometidas las plantas (Zegbe, 1995). El manzano es un especie exigente en cuanto a frío (\approx 1000 horas frío en las variedades consideradas finas), y se adapta muy bien a altitudes de 600 a 1000 msnm, lo cual favorece la coloración y calidad del fruto en comparación con zonas de llanura (Agustí, 2010). Los modelos de desarrollo floral en manzanos, pueden ser usados como herramienta para la selección en función de los requerimientos de frío (Ramírez-Legarreta *et al.*, 2008).

2.2.3.2. Ciclo reproductivo

- **Diferenciación floral**

Es la evolución de las yemas florales las cuales se transformará en flores y, si son fecundadas, en frutos. Por diferenciación de la yema entendemos que ésta se convertirá en primordios florales y al brotar flores en lugar de tallos, se muestra el desarrollo de la yema floral del manzano en la Figura 2.10 (Melgarejo y Hernández, 2003).

- **Floración**

Las yemas florales comienzan a diferenciarse en el verano del año anterior al de su brotación. Y al aproximarse el otoño entran en estado de quiescencia donde se mantienen latentes debido a factores exógenos. Después comienza el reposo cada vez más profundo, hasta que se completa a finales del otoño. Durante el invierno estas yemas permanecen en estado de reposo. Este

periodo es vital para romper con la latencia y de esta manera reiniciarán su crecimiento en la primavera (Álvarez, 1988).

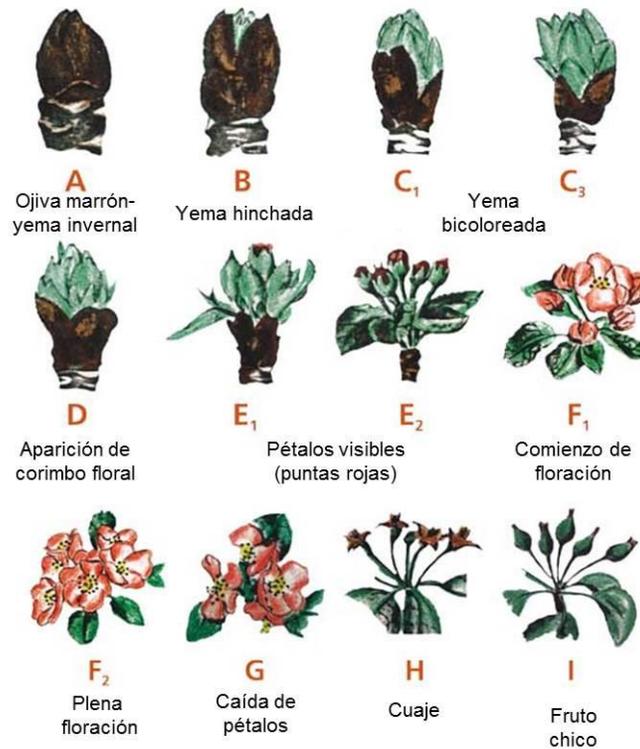


Figura 2.10. Desarrollo de la yema floral del manzano, método de Fleckinger

La fecundación del manzano es resultado de la fusión de los granos de polen y los óvulos en la flor y así fecundada se convertirá en fruto. Posterior a la fecundación viene la caída de los pétalos de la flor (Figura 2.11).



Figura 2.11. Caída de pétalos posterior a la fecundación

Se llama autofecundación al fenómeno que se da cuando una flor es fecundada con su propio polen y si la polinización no es realizada por la misma flor sino por otra se llama polinización cruzada. La polinización cruzada es la mejor garantía de lograr buenas cosechas y frutos de calidad debido a la influencia que los reguladores de las semillas bien formadas tienen sobre el cuajado y el desarrollo del fruto (Álvarez, 1988).

- **Desarrollo y maduración del fruto**

Una vez fecundada la flor empieza el desarrollo del fruto. La fecundación del óvulo promueve el desarrollo de las semillas y así se estimula el crecimiento del ovario y del receptáculo floral con la posterior formación del fruto tal como se muestra en la Figura 2.12.



Figura 2.12. Desarrollo del fruto del manzano

Después de la fecundación comienza la multiplicación celular, durante la cual cada célula localizada en las paredes del ovario se divide en dos, y así sucesivamente de forma progresiva, sin que las mismas aumenten del tamaño. Este periodo dura de cuatro a ocho semanas y durante éste, el tamaño del fruto depende del número de células, en la Figura 2.13 se aprecia el cuajado del fruto (Calderón, 1993).



Figura 2.13. Crecimiento del fruto de manzano

2.3. Prácticas de cultivo de manzano

2.3.1. *Multiplicación*

El manzano se puede producir de forma natural por semilla, a nivel comercial se produce vegetativamente por medio de injerto sobre patrón determinado. En el manzano existen dos tipos de portainjertos: los francos (obtenidos de semilla) y los clonales o vegetativos. Los primeros producen árboles más robustos y con un mejor sistema radical por lo que viven más años, aunque su desventaja es que son menos precoces y su plantación menos homogénea, no toleran de manera consistente las condiciones adversas del terreno y son menos predecibles en su comportamiento que los propagados vegetativamente (Martínez, 1993).

a) Semilla

La germinación de las semillas se produce cuando éstas se sitúan en condiciones adecuadas de humedad, luz y temperatura. La nueva planta se origina a partir de un embrión, procedente del cigoto formado, a su vez, por la unión de la ovocélula del gametofito femenino con uno de los núcleos generativos del polen. Por semillas (propagación sexual) la descendencia es variable. La

planta resultante tiene caracteres de interés agronómico diferentes a la planta madre. De esta manera, las buenas características de las variedades de los frutales no se mantienen en la descendencia (segregación de caracteres) (Augustí, 2011).

b) Estacado

Es parte de la planta desprovista de yemas y que, en condiciones adecuadas, puede ser inducida a emitir raíces, una vez enraizada recibe el nombre de barbado. En fruticultura se utilizan estacas de tipo leñosos, porciones de brotes parcialmente lignificados, que son estacas herbáceas o semileñosas, y porciones de raíces o estacas radicales (Augustí, 2011).

c) Acodo

Es una forma de reproducción asexual que consiste en formar nuevos ejemplares partir de una rama de la planta madre, no separada todavía de la misma, a la que se hacen brotar raíces. Una vez producidas la raíces, la rama se separa de la planta madre y por tanto esta forma de multiplicación se obtiene nuevas plantas que son genéticamente iguales a la planta de la que se obtuvo. En el manzano en particular se utilizan el acodo de trinchera y el acodo de montículo para la reproducción de portainjertos clonales (Augustí, 2011).

d) Injerto

Es un método de reproducción vegetativa que consiste en la unión de partes de plantas por lo general de la misma especie para formar un solo individuo. Todo árbol en cultivo está formado por una parte situada por debajo del injerto, denominada *portainjerto* o *patrón*, y una parte superior, injertada, que forma la copa se denomina *injerto*. El injerto se utiliza con diferentes finalidades, entre ellas adaptar los árboles a diferentes condiciones ambientales (suelo y

clima), con la utilización de patrones adecuados, obtener las combinaciones más adecuadas para mejorar la producción y la calidad de los frutos, introducir polinizadores en las plantaciones con dificultades de producción, sustituir variedades en cultivo por otras más recientes y de mayor interés. Diagnosticar enfermedades injertando plantas indicadoras que muestran síntomas inequívocos de ellas (Álvarez, 1988).

Los injertos por aproximación se realizan eliminando porciones iguales de corteza de ramos de dos cultivares (*cvs*) diferentes hasta llegar al *cambium* y facilitando posteriormente su unión. Cuando lo que se injerta es una porción de corteza que contiene una yema, se denomina *injerto de yema*. Según el método de injertar, puede ser de *escudete*, o en T, por que se realiza un corte en forma de T (normal o invertida). En el injerto de púa, la yema a injertar se localiza en una porción de ramo con base cortada en cuña que recibe el nombre de púa. Los tipos de injerto más importantes de este grupo son hendiduras, en los que se introduce la púa en una hendidura. En ocasiones, se seleccionan patrón y púa a partir de ramas de diámetros similares y se separan de la planta, en cada caso, mediante un corte oblicuo que tenga la misma inclinación para poder superponer después el injerto, en este caso, además, se practica en la superficie de corte de ambas partes dos lengüetas complementarias para que encajen mejor y se mantenga firme la unión. Este tipo se denomina injerto de lengüeta o injerto inglés (Augustí, 2011).

2.3.2. Establecimiento del huerto

El manzano se planta en el invierno a raíz desnuda, época en la que la planta se encuentra en reposo profundo, este periodo va desde la caída de las hojas en otoño hasta la nueva brotación en primavera. También se puede llevar a cabo en la etapa de crecimiento si la planta se maneja en maceta, lo que resulta conveniente en cultivo bajo temporal (Martínez *et al.*, 1993).

La distancia entre árboles al momento de la plantación depende de los patrones empleados y de las distintas formaciones. Normalmente es de 2 a 3 m para el cordón horizontal sencillo y de 10 a 12 m, para formas libres sobre portainjerto franco. Las densidades de plantaciones oscilan los 1,500 y 3,000 árboles/ha en los sistemas en eje y densidades de 1,000 a 1,700 árboles/ha en espaldera (Calderón, 1993).

2.3.3. Manejo del huerto

a) Poda

Uno de los objetivos de la poda es frecuentemente dar al árbol una forma más acorde con nuestros intereses de producción. Entre los diferentes tipos de poda se encuentra la de fructificación cuyo objetivo es lograr la mejor distribución nutricional posible. La poda de mantenimiento persigue controlar el desarrollo, debe ser moderada, y siguiendo la tendencia natural del árbol. La poda de regeneración se emplea solamente en árboles viejos en los que se detecta una reducción progresiva de la cosecha, la copa se elimina casi en su totalidad. La poda por despunte se corta una parte de un ramo y, por tanto, siempre es sobre una yema determinada. Cuando lo que se elimina son los ramos enteros desde su punto de inserción de las ramas, respetando otros, recibe el nombre de poda de aclareo (Velarde, 2003).

b) Fertilización

Esta actividad debe ir acompañada de estudios físicos y químicos de los suelos. Como regla general se requieren de 30 a 60 g de nitrógeno puro al año, dependiendo de la edad. Lo anterior implicaría aplicar de 90 a 180 g de urea, en suelos con pH de 6.0 a 6.5 o bien de 150 a 300 g de sulfato de amonio en suelos ligeramente alcalinos, es decir, pH arriba de 7.0. La recomendación general para la fertilización de huertos es aplicar el completo alrededor de 30 a 40 días después de la caída de los pétalos si existe humedad suficiente, si no, al inicio de las

lluvias. La urea se aplica en suelos con pH ligeramente ácido indicado anteriormente y el sulfato de amonio en suelos con pH ligeramente alcalinos; en ambos casos el producto se debe dividir en su dosis de aplicación la primera en la etapa vegetativa y la segunda después de la cosecha. La forma de aplicación es al voleo en el plato de los árboles y el sistema dependerá de la topografía. En el caso de que el huerto se encuentre en un terreno plano y posea riego por gravedad a través de canales, la fertilización debe realizarse por esa vía. Para árboles jóvenes se aconsejan 2.26 kg de materia seca por unidad y para adultos 4.53 kg al año. Aplicar la urea o el sulfato de amonio, después de la cosecha si al analizar el suelo el pH es de 5.5 ó 7.5, respectivamente (Álvarez, 1996).

c) Raleo

Práctica que consiste en eliminar una cantidad de flores y/o frutos recién formados en el árbol, mejorando el tamaño de los frutos remanentes al reducir la competencia por los nutrientes disponibles en el árbol (Westwood, 1993). Entre las ventajas del raleo se encuentran el incrementar el tamaño de los frutos, mejora el color, produce homogeneidad en el tamaño, incrementa la floración siguiente y la cosecha bianual se reduce, por lo tanto se optimiza el valor de la cosecha y la calidad del fruto (Zavala, 2005).

El resultado del raleo se debe al aumento de la densidad floral, con relación al número de frutos. El amarre de un fruto por cada diez o quince hojas resulta excesivo y por lo tanto el árbol se da lugar a frutos de tamaño pequeño, pobres de color, baja calidad y agota prematuramente. Si el amarre se reduce a un fruto por cada treinta o cuarenta hojas, los frutos ganan notablemente tamaño y color, y la manera fructífera del árbol también mejora (Álvarez, 1996).

2.3.4. Control fitosanitario

El uso de productos químicos tienen 200 años, y entre los que se encuentra el caldo bordelés, constituido por sales de mercurio y azufre; para el control de patógenos de menor importancia en el manzano, se sugiere lo siguiente (Fernández y Parra, 2006):

- Mosca de la manzana: establecer trampas colgadas en la mayoría de los árboles, con atrayente de proteína diluido con agua y un insecticida.
- Escama de San José: Diazinón o Dimetoato u otro insecticida 50 mL/15 L de agua en mochila aspersora. Repetir en 10 días, según el grado de incidencia del insecto.
- Palomilla del manzano: Malatión en época de mayor incidencia, repetir por 15 días.
- Pulgón lanigero: Primor o Folimat en mayo, y en árboles nuevos el uso de patrones o portainjertos resistentes como MM.111, MM.109 o MM.106.
- Frailecillo o Mancebado: Servin, Malation u otro insecticida de contacto, al inicio de época de lluvias, repetir las veces necesarias revisando el huerto cada 3 días.
- Tizón de fuego: poda de ramas dañadas y Agrimicin bajo los puntos de corte.
- Pudrición de la Raíz: Caldo bordelés, corregir mal drenaje del huerto.
- Cenicilla: Azufre humectable antes de la época de lluvias.
- Control de maleza: Chaponeo o aplicación de herbicidas a las 3 semanas de iniciadas las lluvias, así como después de las cosecha.
- Herbicida Glifosate o Faena para el control de maleza perenne. Herbicida Paraquat o Gramoxone para el control de maleza anual.

2.3.5. Cosecha

Las manzanas pueden estar en condiciones para el consumo directamente del árbol. Las manzanas destinadas a un largo almacenamiento son

cosechadas en un estado de maduración menos avanzado que las que se venden inmediatamente. La recolección de manzanas dedicadas al mercado en fresco se hace a mano. Puesto que la calidad empieza a deteriorarse desde el momento de la recolección, para mantenerlas en buen estado se procede a mantenerlas en frío tan pronto como son cosechadas. Para reducir el mínimo de heridas y magulladuras que producen una merma en su aspecto, así como favorecen la entrada de hongos que producen podredumbres durante su almacenamiento, es necesario extremar las precauciones en su manejo (Álvarez, 1996).

Se utilizan diferentes índices madurez para determinar el momento adecuado para cosechar cada cultivar. Algunos índices sirven para determinar la dureza de la pulpa utilizando penetrómetro; el contenido del almidón se detecta por la aplicación de yodo; la evaluación del color en la piel, utilizando modelos de color; la evolución del etileno por cromatografía gases; también se determina el color de las semillas (Bultitude, 1983).

Actualmente se han desarrollado en Italia novedosos sistemas de cosecha semiautomática lo que ha reducido tiempos de cosecha, algunos sistemas tienen la capacidad de cosechar 350 kg de manzanas/hora por persona. Salvaguardando la integridad de la fruta, cintas transportadoras electromecánicas depositan en grandes contenedores el fruto. Dichos sistemas contienen sensores electrónicos que revisan daños o magulladuras en la fruta (ZUCAL, 2012).

2.3.6. Manejo en poscosecha

En la prevención de la proliferación de enfermedades durante la conservación de la fruta es fundamental una buena profilaxis, es decir, una limpieza y desinfección de todas las cámaras, los envases y la maquinaria clasificadora, entre otros.

2.4. Requerimientos ecológicos del manzano

El clima y el suelo son factores críticos en el desarrollo de los frutales, de hecho puede ser limitante para su cultivo y además, es difícilmente modificables para las especies arbóreas (Augustí, 2011).

2.4.1. Temperatura

El manzano es un frutal de clima templado, requiere de periodos variables de frío y estado latente para fructificar. Se puede cultivar en regiones cálidas siempre y cuando se satisfagan sus requerimientos de horas frío. En su mayoría los diferentes genotipos necesitan 1000 h a menos de 7 °C para brotar, este requerimiento se puede modificar por un tiempo nublado, poda o empleo de patrones de poco desarrollo, el requerimiento de los árboles es variable según la especie y variedad, pero la falta de frío en ocasiones puede ser grave (Álvarez, 1988). Según el requerimiento de horas frío se puede clasificar el manzano de la siguiente manera, requerimiento bajo: de 500 a 600 horas frío; requerimiento medio: 600 a 700 HF; requerimiento alto: de 700 a más horas frío. Por otro lado las temperaturas menores para un buen desarrollo de este frutal es en brotación 8 °C, floración 8 °C, maduración del fruto de 18 a 25 °C. Un exceso de follaje en la fase vegetativa promueve un aumento de temperatura y con ello el marchitamiento de hojas y de frutos (Ramírez y Cepeda, 1993).

2.4.2. Captación y utilización de la luz

En la década de los 30's, Heinicke y Childers determinaron la actividad fotosintética de un manzano a lo largo de su ciclo vegetativo. Sus resultados demostraron una pérdida de energía al inicio del mismo, un incremento lento de la presencia de fotoasimilados (Ft) a medida que aumentaba la media foliar, y un posterior descenso de la tasa fotosintética coincidente con la senescencia de las hojas. El factor más importante durante el ciclo vegetativo fue la luz, de modo que en días de elevada irradiación la síntesis de Ft fue así mismo elevada, mientras que en los días nublados ésta apenas alcanzó el 25 % de los valores correspondientes a los días luminosos (Augustí, 2011).

2.4.3. Requerimientos de agua

El manzano utiliza gran cantidad de agua, de modo que un árbol adulto necesita entre 200 y 300 L por año y kg de fruta, siendo julio el mes de máximo consumo; por lo que se requiere al menos 700 mm y aún más en regiones cálidas (Ramírez y Cepeda, 1993; Augustí, 2011).

2.4.4. Suelo

Los suelos para el manzano deben ser de textura media (francos o de migajón) a ligera (arenosos), de 60 cm de profundidad y bien drenados, debido a que sus raíces solamente respiran en un suelo permeable al aire y no demasiado húmedo. En el manzano la fertilidad del suelo es relativamente menos importante que las características físicas. El pH más favorable se encuentra entre 5.5 y 6.5 aunque puede desarrollarse con pH dentro del intervalo de 4.0 y 8.5 (Álvarez, 1988).

2.5. Enfermedades del manzano

Toda disfunción de un proceso vital que resulta en una anomalía estructural deletérea o en alteraciones fisiológicas, con síntomas acompañantes más o menos específicos, recibe el nombre de enfermedad. En las plantas, las anomalías y alteraciones pueden afectarla completamente, alguno de sus órganos, o a sus productos, y los agentes que las producen, reciben el nombre de fitopatógenos (virus, bacteria y hongo, entre otros).

Las principales enfermedades del manzano y los síntomas específicos que producen se mencionan a continuación.

a) Enfermedades bacterianas

Entre la sintomatología causada por bacterias fitopatógenas se encuentran pudriciones blancas, manchado foliar y cáncer de raíces y ramas. Las enfermedades de mayor importancia son *Erwinia amylovora* también conocido como tizón de fuego; la agalla de la corona (*Agrobacterium tumefaciens*), la cual consiste en una serie de tumoraciones en el cuello y en la raíces; y los daños que provoca *A. rhizogenes* que produce una proliferación de raíces generalmente largas, anaranjadas y desprovistas de raicillas (Latorre, 1999).

b) Enfermedades causadas por hongos

Algunos de los fitopatógenos solo pueden sobrevivir y multiplicarse en asociación con la planta hospedera es decir son parásitos obligados, por otro lado también se encuentran los hongos que requieren de una planta hospedera para completar su ciclo de vida pudiendo crecer y multiplicarse en materia orgánica muerta o en medios artificiales por lo que se les llama parásitos no obligados (Agrios, 2005).

En el caso del manzano podemos separar en dos grupos a los hongos, el primero que afecta a raíces y al tronco, y el segundo los que atacan el área foliar y los frutos. *Phomopsis mali* Roberts, responsable de la corteza áspera, daña exclusivamente a la corteza del árbol generando anillos en el tronco llegando a colapsar la planta. *Sclerotium rolfsii* Sacc., causante de la pudrición algodonosa, se manifiesta en necrosis y pudrición del cuello y de las raíces más superficiales. *Phytophthora cactorum* Leber y Cohn, responsables de la pudrición del cuello, provoca gomosis, ennegrecimiento y pudrición de las raíces.

2.5.1. Principales patógenos que atacan al follaje y frutos

Los principales fitopatógenos que afectan al follaje y los frutos, son los causantes de las mayores pérdidas económicas. *Botryosphaeria dothidea* causa el

cancro áspero o granuloso en ramas, y provoca una pudrición húmeda y firme en frutos (Latorre, 1999). *Nectria galligena* Bres, provoca el cancro europeo que ataca por lo general a las yemas (Latorre, 1999). *Podosphaera leucotricha*, conocida como cenicilla o mildiu polvoriento, es un hongo que por lo general ataca a nivel foliar, y se caracteriza por un micelio blanco grisáceo sobre hojas y deja cicatrices en frutos (Latorre, 1999).

2.5.1.1. Cenicilla

Es una enfermedad que se registra en todas las zonas donde se cultiva el manzano. Siempre es importante en los viveros de manzano a nivel mundial (Jones y Aldwinckle, 2002). Se considera como endémica en la región, la cenicilla (*Podosphaera leucotricha*), el cual ataca el follaje en forma de zonas blanquecinas de micelio y esporas del hongo; a menudo produce arrugamientos foliares y, en situaciones más severas, las hojas y las flores se desprenden, y los frutos llegan a presentar paño (Jones y Aldwinckle, 2002). En el Tabla 2.3 se muestra la taxonomía de *P. leucotricha* según Agrios.

Tabla 2.3. Taxonomía de *Podosphaera leucotricha* (Ell. and Ev.) Salm.

Subdivisión	<i>Ascomycotina</i>
Clase	<i>Pyrenomycetes</i>
Familia	Erysiphaceae
Orden	<i>Erysiphales</i>
Género	<i>Podosphaera</i>
Especie	<i>leucotricha</i>

(Agrios, 2005)

a) Síntomas

Puede atacar las hojas, las flores y los frutos de manzano. Las infecciones en las hojas se presentan primeramente en forma de zonas

blanquecinas apergaminadas de micelio del hongo y esporas, en el envés de la hoja (Figura 2.14). Las lesiones pueden aparecer, al inicio de la infección, como manchas cloróticas sobre el haz de la hoja o bien pueden extenderse por la superficie del envés y cubrir completamente la hoja con una masa polvorienta de esporas y micelio de color blanco. A menudo, las infecciones a lo largo de los bordes foliares producen un arrugamiento o encrespamiento de la hoja. Cuando las hojas están infestadas se estrechan y se pliegan longitudinalmente, llegando a ser quebradizas con el tiempo y a veces se desprenden a mitad de temporada (Jones y Aldwinckle, 2002).



Figura 2.14. Hoja y frutos con daños causados por *Podoshara leucotricha*

b) Organismo causal

La cenicilla del manzano está originada por el hongo *P. leucotricha* un ascomiceto heterotálico. Los conidios elipsoidales (de 20-38 x 12 μm), seccionados y hialinos (diáfanos), que contienen partículas fibrosas, se producen en largas cadenas sobre micelio, espaciado y anígeno. Los peritecios (cleistotecios) son subglobosos, de 75 a 96 μm de diámetro, densamente gregarios y rápidamente dispersados y tienen apéndices apicales y basales. Las ascas de 55-70 x 44-50 μm , en los peritecios son oblongos a subglobulosos y llenas de ascosporas. Las ascosporas en número de ocho son de forma elíptica, de 22-36 x 12-15 μm (Jones y Aldwinckle, 2002).

c) Ciclo de la enfermedad y epidemiología

P. leucotricha es un patógeno obligado que hiberna en el manzano en forma de micelio dentro de las yemas, infectadas durante la anterior estación de cultivo. La hibernación potencial viene limitada en principio por las temperaturas. El efecto de las temperaturas extremadamente bajas sobre la supervivencia del hongo en las yemas infectadas no es claro, aunque las temperaturas próximas a -12 °C pueden ser desfavorables para la infección de las yemas. Las yemas sanas pueden soportar temperaturas entre 2 y 10 °C más bajas que las infectadas (Jones y Aldwinckle, 2002). Los conidios producidos en el micelio hibernante inician las infecciones primarias del ciclo de la enfermedad (Figura 2.15 esquema de S.F. Brown) e infectan a las hojas jóvenes, flores y frutos que a la vez suministran inóculo para los ciclos secundarios sobre tejidos sanos.

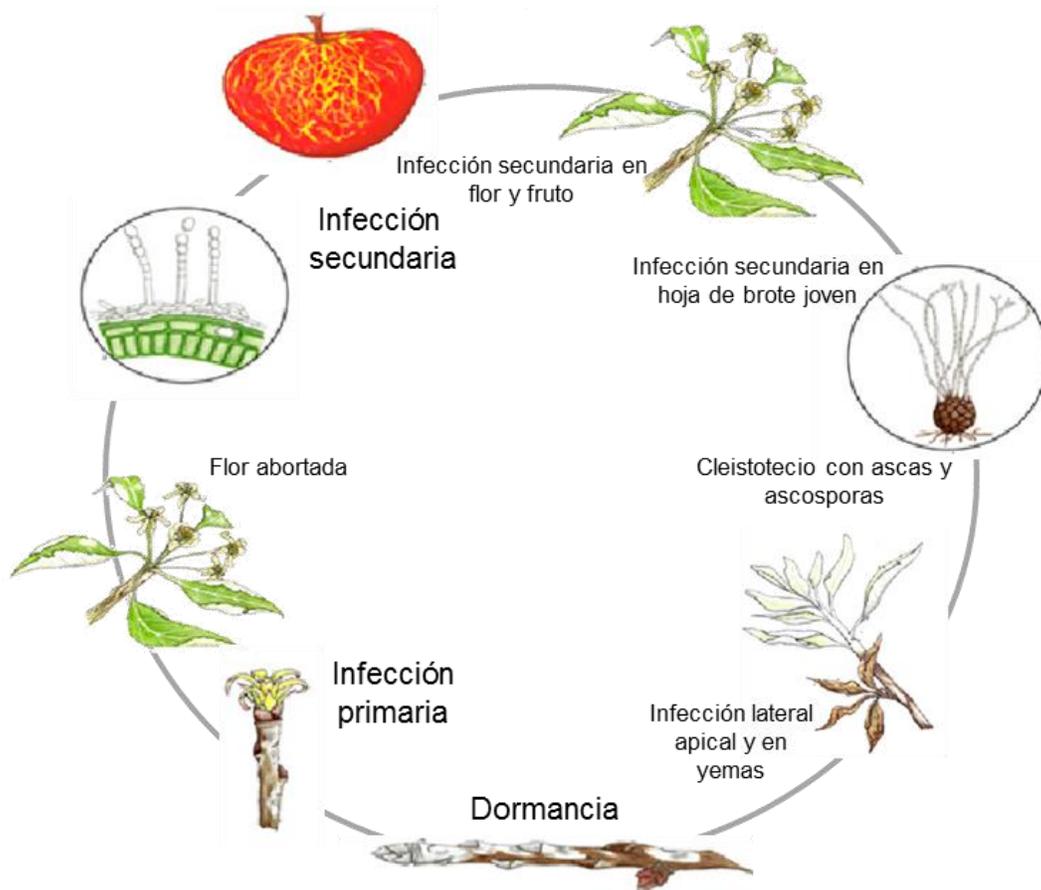


Figura 2.15. Ciclo biológico de la cenicilla del manzano

Pueden producirse conidios en las infecciones primarias en algunas yemas infectadas. La infección de las yemas laterales se produce un mes después de que se hayan formado, aparentemente antes que las escamas protectoras de las yemas se lignifiquen. Después de la infección el micelio permanece quiescente hasta la apertura de las yemas de la primavera siguiente. Además, la frecuencia de hibernación en las yemas terminales puede llegar al 60 a 70% cuando el desarrollo se reanuda en el verano anterior después de la floración de aquellas yemas (Jones y Aldwinckle, 2002).

Las hojas jóvenes son susceptibles solamente durante algunos días después de su emergencia aunque pueden ser infectadas en cualquier momento si son dañadas mecánicamente. De 10 a 25 °C (el óptimo es 20 a 22 °C) los conidios germinan fácilmente sobre placa asociada a hoja con un 96 a 100 % de humedad relativa (% HR), así como sobre la superficie de la hoja con humedad al 70 %. Al comienzo de la temporada las infecciones secundarias se producen sobre todo por temperaturas bajas más que por la humedad relativa (Jones y Aldwinckle, 2002). Los daños se intensifican con el aumento de la temperatura, la radiación solar, la humedad y el viento que provoca la dispersión de los conidios (Sutton y Jones, 1979).

Cuando germinan los conidios, el tubo germinativo penetra en las células de la cutícula y de la epidermis mediante acción enzimática, posteriormente se forman haustorios que suministran nutrientes y anclaje a las hifas situadas sobre la superficie foliar.

Las estructuras sexuales de la fase sexual de *P. leucotricha* no parece que tengan mucha importancia en el ciclo de la enfermedad. Aunque se han registrado germinaciones bajas durante los meses de la mitad del invierno, han fracasado muchos intentos para hacer germinar ascosporas o incubar follaje con ellas. Pueden ser necesarios largos períodos, de hasta 4 a 7 meses después de la

formación de cleistotecios, para que las ascosporas alcancen capacidad para germinar.

Las pérdidas económicas por esta enfermedad pueden llegar hasta 50 % (Jones y Aldwinckle, 2002), pero éstas tienden a incrementarse, debido a que los nuevos cultivares son altamente sensibles a este hongo (Sholberg *et al.*, 2001).

2.5.1.2. Roña o Moteado

Causado por *Venturia inaequalis* (Cooke) Winter., es una de las enfermedades más graves que afectan a este frutal siendo particularmente severa bajo condiciones de clima templado húmedo. Los ataques son frecuentes durante todo el ciclo vegetativo del árbol afectando a las hojas, flores y frutos. Las pérdidas ocasionadas pueden alcanzar hasta el 100 % debido a una disminución cualitativa y cuantitativa de la producción. La taxonomía de este hongo se resume en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Taxonomía de *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter (1897)

Reino	<i>Fungi</i>
División	<i>Ascomycota</i>
Subdivisión	<i>Pezizomycotina</i>
Clase	<i>Dothideomycetes</i>
Subclase	<i>Loculoascomycetidae</i>
Orden	<i>Pleosporales</i>
Familia	<i>Venturiaceae</i>
Género	<i>Venturia</i>
Especie	<i>inaequalis</i>

(Mycobank, 2012)

a) Síntomas

- **En las hojas.** En primavera la enfermedad aparece en forma de pequeñas manchas circulares de 4 a 6 mm de diámetro de color verde oliváceo. Estas

lesiones adquieren posteriormente un aspecto aterciopelado debido a la presencia de conidióforos y conidios. Posteriormente, el tejido foliar se necrosa, se deseca y se rompe del centro hacia la periferia de la lesión; si las lesiones son numerosas el limbo se deforma y las hojas se caen prematuramente. En el otoño las lesiones se localizan frecuentemente en el envés de las hojas, sin embargo las lesiones son más pequeñas que las que se presentan en primavera y son de color más negruzco (Figura 16).

- **En las flores.** Las lesiones se presentan en los sépalos y en los pedúnculos floreales ocasionando una caída considerable de la flor y con ello una baja importante de la producción del árbol.
- **En los frutos.** Los frutos son sensibles en todos sus estados de desarrollo, sin embargo se ha observado ciertas diferencias de susceptibilidad según las variedades. En frutos jóvenes las lesiones son en un principio aisladas y se parecen a las lesiones observadas en las hojas. Posteriormente los frutos se deforman debido a que el tejido afectado cesa de crecer al nivel de la lesión, mientras que el tejido sano continúa creciendo ocasionando también con ello cuarteaduras en el fruto (Figura 2.16). Estas aberturas son puerta de entrada a organismos secundarios que ocasionan la pudrición del fruto.
- **En las ramas.** Este tipo de síntomas son generalmente raros en Inglaterra se ha observado este daño. Los síntomas se manifiestan en los extremos de las ramas jóvenes o en su base según si la infección es tardía o precoz. En los puntos de infección se forman pequeñas pústulas de 1 a 4 mm de diámetro con un pequeño orificio negruzco recubierto de conidióforos y conidios.



Figura 2.16. Hojas y frutos con síntomas de *Venturia inaequalis*

b) Aspectos morfológicos y biológicos del hongo

- **El micelio**

Durante la fase parasitaria el hongo presenta micelio ramificado irregularmente, haploide y septado con células uninucleadas que miden de 10 a 40 μm X 5 a 8 μm . El micelio es hialino al principio y oliváceo posteriormente, se desarrolla entre la cutícula y la epidermis de los órganos afectados formando un estroma.

- **Tipos de reproducción**

Este patógeno presenta dos tipos de reproducción. La reproducción asexual origina conidióforos y conidios durante todo el ciclo vegetativo del árbol constituyéndose como la fase parasitaria del hongo. En este caso el hongo se reconoce como *Spilocaea pomi*. La reproducción sexual forma peritecios y ascosporas en hojas caídas al suelo durante el otoño e invierno, siendo esta etapa la fase saprofita del hongo reconocida como *Venturia inaequalis*.

c) Ciclo de la enfermedad y epidemiología

Las ascosporas son liberadas al inicio de la primavera y transportadas por el viento hacia las hojas y flores constituyendo el inóculo de la infección primaria. A continuación forman un apresorio que se adhiere fuertemente a la superficie foliar (Figura 2.17). Después de la penetración las hifas forman un

estroma subcuticular que da origen a conidioforos y conidios que rompen la zona lesionada del órgano vegetativo afectado. El periodo de incubación varía de 7 a 21 días dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad. Los conidios son dispersados por el viento o la lluvia constituyendo el inóculo de infección secundaria. La dispersión diaria de los conidios se caracteriza por tener su máximo entre las 14 y 16 horas y entre las 21 y 22 horas. Cuando los conidios llegan a los órganos susceptibles del manzano germinan en presencia de agua a temperaturas comprendidas entre 1 y 32 °C. Enseguida ocurre la penetración, formación de apresorios y formación del estroma (en forma similar a como ocurre con las ascosporas) del que se originan conidióforos y conidios, siendo esta la forma en que el hongo se propaga durante todo el ciclo vegetativo del árbol (Agrios, 2005). Una vez avanzada la estación cuando comienzan a caer los tejidos de la hoja da inicio la fase saprofítica del hongo. En esta etapa ocurre la formación del peritecio con sus ascas y ascosporas, las que serán diseminadas en la primavera siguiente para iniciar un nuevo ciclo de la enfermedad (Jones y Aldwinckle, 2002).

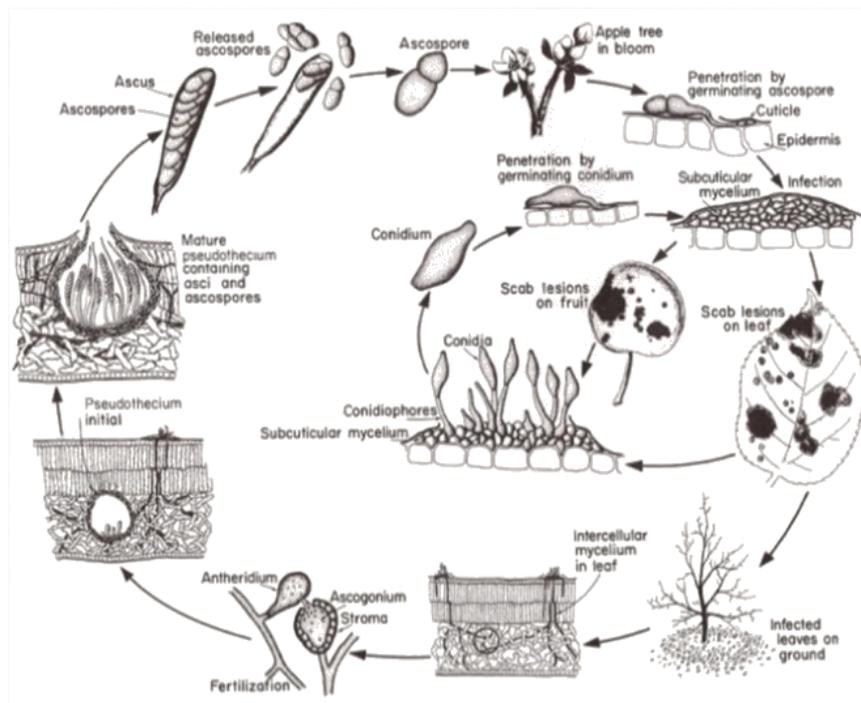


Figura 2.17. Ciclo de la enfermedad causado por *Venturia inaequalis*

d) Órganos de reproducción

Los conidióforos son erectos y unicelulares, cortos, simples con una serie de anillos en la parte apical. Las conidios son amarillo oliváceas, generalmente unicelulares y piriformes, midiendo de 17 a 30 μm X 7 a 9 μm . Los peritecios son de forma subesférica midiendo de 90 a 160 μm de diámetro con septos a nivel del ostiolo. Al interior del peritecio se forman las ascas las que presentan 8 ascosporas bicelulares de color amarillo oliváceo, con la célula inferior más grande que la célula superior (Jones y Aldwinckle, 2002).

2.5.2. Métodos de control de enfermedades

En fruticultura el control de enfermedades se lleva a cabo, principalmente, mediante métodos químicos, aunque también es posible el control biológico. En todo caso es conveniente el manejo integrado usando diversos productos, concentraciones adecuadas y épocas compatibles de aplicación, para favorecer la protección del medio ambiente, así como aplicando técnicas de cultivo, como injertos, desinfección de herramientas, quema de restos de poda, manejo del riego, desinfección del suelo, entre otras. Pero ha sido la resistencia genética, la utilización de variedades y/o portainjertos tolerantes o resistentes a enfermedades, lo que ha permitido convivir con muchos fitopatógenos, sobre todo de origen vírico, sin restarle importancia a precio de la producción y a la calidad de los frutos (Agustí, 2011).

a) Control cultural

En el caso de enfermedades fungosas como cenicilla, la eliminación de las yemas terminales infectadas durante la hibernación por medio de podas puede reducir el nivel de inóculo primario, aunque esta técnica no ha sido aceptada de forma general por que los síntomas no son evidentes hasta el momento de la apertura de las yemas y la poda, precisa de una gran cantidad de operaciones, además de intervenir con las prácticas de formación de los árboles y sobre la producción (Jones y Aldwinckle, 2002).

Alternar cultivares de susceptibilidades diferentes en un huerto conduce a tratamientos basados en las necesidades de los cultivares más susceptibles. En las plantaciones mixtas pueden ser necesario aplicar tratamientos suplementarios para los cultivares muy susceptibles con el fin de reducir la fuente del inóculo (Jones y Aldwinckle, 2002).

Las prácticas sanitarias para el caso de *V. inaequalis* van orientadas a la prevención de la formación de seudotecios y así reducir la presencia del moteado en el manzano. La inoculación invernal puede reducirse mediante la aplicación de nitrógeno (por ejemplo, en forma de urea) con fertilización foliar en otoño con el fin de favorecer la descomposición de la hojas bajo condiciones invernales ligeras. Otra de las prácticas culturales para reducir el moteado del manzano es que al establecerse el huerto, los árboles deberían de quedar espaciados de tal forma que el aire pase fácilmente entre ellos y se promueva un rápido secado del follaje cuando estos sean adultos, así como podarlos regularmente de forma que sus partes inferiores puedan quedar relativamente abiertas con el fin de alcanzar la mejor cobertura de las fumigaciones (Jones y Aldwinckle, 2002).

b) Control químico

Para el caso de *P. leucotricha* el control químico es la más eficaz ya que al tratarse de hongo que desarrolla en la superficie epidérmica, el fungicida entra fácilmente en contacto con las hifas y las destruye; también se emplean fungicidas sistémicos. Entre los primeros se utiliza el azufre a pesar de su citotoxicidad, si no se usa correctamente y de sus efectos negativos sobre la fauna útil y los dinitrofenoles, como dinocap y banapacril; del grupo de los sistémicos se emplean los 2-aminopirimidina como bupirimato, así como los fungicidas organosforados y los inhibidores de la síntesis del ergosterol, que son de amplio espectro y de naturaleza heterogénea, entre los que se hayan las piperazinas, piridinas (nuarimol y fenarimol), morfolinas (tridemorf y fenpropimorf) e imidazoles (imazalil, autorizado para aplicaciones post-cosecha) (Jones y Aldwinckle, 2002).

El moteado causado por *V. inaequalis* es controlado por fungicidas como el captán, los etilenbisditiocarbamatos, los benzimidazoles, los inhibidores de la

síntesis del ergosterol y la dodina. Los benzimidazoles y la dodina se utilizan actualmente menos por que causan más rápidamente resistencia en los hongos fitopatógenos (Jones y Aldwinckle, 2002). Sin embargo, pueden dañar la salud y el medio ambiente, y generar la aparición de cepas resistentes (Borlaug y Dowswell, 2002).

c) Control biológico

Se refiere al uso de microorganismos que, de forma natural, tienen capacidad para el control de enfermedades, se les conoce como agentes antagonicos y se sabe que la manipulación directa o indirecta de estos organismos podría provocar un incremento de su capacidad para inhibir a las enfermedades, según Nigam y Mukerji (1988).

En la búsqueda de antagonistas se ha encontrado que uno de los mecanismo de la inhibición se debe a la producción de algún metabolito con características antibióticas, tal es el caso de *Pseudomonas cepacia* la que produce pirrolnitrina, que es un poderoso antibiótico que controla a *Penicillium expansum* y *Bortrytis cinerea* en fruta de pepita (Janisiewicz y Roitman, 1991).

Algunos metabolitos secundarios producidos por los microorganismos pueden inducir resistencia en el huésped, como la producción de sustancias inhibidoras, por ejemplo algunas cepas de *Candida* spp. son capaces de causar cambios químicos y osmóticos en los tejidos de manzana (Mc Laughlin *et al.*, 1991).

Otros ejemplos de la utilización de microorganismos con potencial antagonico, son *Bacillus subtilis*, *Ampelomyces quisqualis* y *Lecanicillium lecanii*, que han controlado exitosamente *P. fusca* en melón (Romero *et al.*, 2007).

2.6. Resistencia genética de las plantas a enfermedades

El uso de variedades resistentes es una alternativa que permite minimizar los costos generados por la aplicación de cualquiera de los otros métodos de

control descritos y obtener producciones rentables en zonas manzaneras, como en Querétaro, donde casi no se practica el control fitosanitario.

En la segunda mitad del siglo XIX, los trabajos de mejoramiento por selección de cultivares han permitido obtener manzanos con frutos de calidad superior, de tamaño más grande y pulpa jugosa a la madurez. Aparentemente había una gran diversidad genética en estos frutales puesto que en cada lugar geográfico se acumuló una amplia variedad de cultivares locales que se seleccionaron de plantas de pie franco (Moore y Janick, 1998).

Prácticas de multiplicación sexual como vegetativa han favorecido la aparición de gran número de variedades al producirse el desarrollo espontáneo de árboles de semillas y el mantenimiento por parte del productor mediante injertos de todas las variedades que pudieran tener cierto interés (Dapena *et al.*, 2006).

El esfuerzo que se realiza en cuanto a la evaluación, selección y mejora de variedades ha permitido optimizar el aprovechamiento de valiosos recursos genéticos y poner a disposición de los productores material de alta valor agronómico y tecnológico que permite mejorar la rentabilidad del cultivo y facilitar de esta manera la puesta en marcha de programas de nominación de calidad (Dapena *et al.*, 2006).

El programa PRI, en un esfuerzo de colaboración con las Universidades de Purdue y Rutgers en Illinois, ha conseguido la obtención de varios cultivares resistentes a *V. inaequalis* como 'Prima', 'Pricilla', 'Sir Prize', 'Jonafree' y 'Redfree', también tras variedades como la 'Liberty' y 'Freedom' fueron obtenidos en programas de mejora en la estación experimental Agrícola de Nueva York; en Geneva se ha evaluado una selección adicional. Otras variedades resistentes a *V. inaequalis* se han logrado por programas de mejora de Canadá tal es el caso de las variedades siguientes: 'Macfree', 'Moira', 'Tret', 'Nova Easygro', 'Novamac', 'Richelieu' y 'Rouville'. Entre las variedades que presentan diferentes niveles de sensibilidad a cenicilla se tiene 'Jonathan', 'Baldwin', 'Cortland', 'Iderand', 'Rome Beauty', 'Monroe', 'Gravenstein', 'Granny Smith', 'Prima' con una susceptibilidad

moderada o alta y variedades como 'Delicious', 'Golden Delicious', 'Winesap', 'York Imperial', 'Nittany', 'Lord Lambourne' son consideradas como de menor susceptibilidad (Jones y Aldwinckle, 2002).

2.6.1. Métodos para evaluar la sensibilidad de genotipos de manzanos al ataque de enfermedades

La determinación precisada por la cantidad de resistencia conferida por cualquier progenitor potencial es vital. Desde el inicio debe desarrollarse un programa cuidadosamente planeado de ensayos y es aquí donde un grupo entre pomólogos y fitopatólogos comienza su papel esencial. La susceptibilidad de los manzanos puede determinarse en campo, en invernadero e *in vitro*, el segundo método es preferible por que proporciona información definitiva y necesaria en menor tiempo (Sholberg y Boulé, 2009).

2.6.1.2. Métodos de campo

La evaluación del material progenitor resistente en condiciones de campo es el siguiente paso a la identificación en invernadero. Ésta debe de continuarse por un periodo de varios años, aun cuando ya estén en campo las generaciones avanzadas de dichos progenitores para pruebas de fructificación.

Cada huerto experimental puede considerarse como una repetición del estudio de la sensibilidad al patógeno. Las pruebas en campo pueden incluir las posibles razas fisiológicas del fitopatógeno no incluidas en las pruebas realizadas previamente en invernadero. Las condiciones climáticas pueden causar el desarrollo, lo cual proporciona oportunidades excepcionalmente buenas para evaluar (Moore y Janick, 1998).

Aun cuando el material progenitor seleccionado se cultivara probablemente donde el patógeno en cuestión sea endémico, el genetista no debería confiar solamente en este factor para ejercer presión en la infección;

también la concentración del inóculo debe tomarse en cuenta. En algunos años el inóculo puede ser insuficiente en cantidad. Las condiciones climáticas del año pueden proporcionar un tiempo limitado en el cual puede ocurrir la infección y si esto coincide con bajos niveles de inóculo, resultaría reducción de la infección.

La infección de los individuos en estudio puede asegurarse mediante la introducción del patógeno sobre material infectado, cultivado al material progenitor en proximidad a cultivares u otros materiales emparentados con alta susceptibilidad (Sholberg *et al.*, 2001).

La resistencia de genotipos de manzano a cenicilla puede evaluarse directamente en el huerto, donde las plantas se exponen al ambiente natural y probablemente a diversas cepas del fitopatógeno (Moore y Janick, 1998). Se reportan diferentes metodologías para determinar la susceptibilidad de los genotipos de manzano a *P. leucotricha* en las cuales se evalúa la severidad a través del porcentaje de área foliar cubierta por el hongo y determinando la relación de conidios por cm² de área foliar. También se determina la incidencia de cenicilla mediante la evaluación de las hojas con lesiones visibles del hongo, partiendo con la primera que se desdobra en la parte terminal y terminando con la hoja número diez (Sholberg *et al.*, 2001).

Sholberg *et al.* (2001) evaluaron durante cuatro años la sensibilidad a cenicilla de 13 variedades introducidas mediante injerto sobre árboles de 'Jonagold' fuertemente infestados, habiendo encontrado que 'Beesbe Delicious' presentó una menor incidencia de conidios, contrastando con 'Gala'. Jones y Aldwinckle (2002) reportaron una elevada resistencia a cenicilla de 'Delicious' y 'York Imperial' a diferencia de 'Rome Beauty', 'Granny Smith' y 'Jonathan' que se mostraron sensibles. Por otro lado entre los cultivares y los patrones se han encontrado diferente susceptibilidad, por ejemplo: 'Golden Delicious' se ha encontrado menos susceptible que 'Gala' y 'Granny Smith'. Los Portainjertos de la serie 'Malling-Merton' son muy susceptibles a cenicilla (Janick *et al.*, 1996; Knight y Alston, 1968). Los genes *PI-1*, *PI-2*, *PI-w* y *PI-d* han sido descrito como los genes de resistencia a cenicilla, según lo reportado por Duneman *et al.* (1999).

Se han realizado numerosos estudios con el fin de identificar cultivares que muestran menor susceptibilidad al daño del moteado o roña; algunos de los cuales consisten en evaluar en condiciones de inóculo natural teniendo en cuenta la temperatura máxima y mínima, así como la precipitación y los periodos de humedecimiento de la hoja. Liebhard *et al.* (2003) reportan que los cvs. 'Fiesta' y 'Discovery' presentaron resistencia a roña durante tres años en tres sitios distintos de Suiza. Se ha llegado a relacionar el nivel de resistencia de algunos cultivares, como es el caso de la variedad 'Rayada', con el continuo ataque epidémico a través de los años, así como también se considera de importancia la estructura de crecimiento de un árbol, es decir cantidad de follaje, si las ramas se encuentran abiertas o cerradas de manera que esta estructura facilite las condiciones de infección. La evaluación de la incidencia se realiza haciendo la consideración del número de lesiones en cuatro ramas con orientaciones norte, sur, este y oeste, así como la evaluación en frutos con periodos de medición semanal previa a la cosecha al final de los ciclos (Legarreta, 2007).

2.6.1.1 Métodos en invernadero

Es en el invernadero y el vivero donde pueden reunirse los componentes necesarios del "triángulo de la enfermedad" (hospedero, patógeno y medio ambiente) en condiciones reproducibles (Van der Plank, 1968).

Las pruebas en el invernadero requieren de la identificación, el aislamiento, el almacenamiento y el incremento del inóculo virulento. La incidencia de las enfermedades es generalmente proporcional a la cantidad de inóculo presente. Así la selección por altos niveles de resistencia es fuertemente dependiente de la provisión de inóculo adecuado, donde pueden observarse diferencias en la cantidad de infección en el invernadero. En las pruebas de invernadero para cenicilla de manzano Dayton (1977) registró que la expresión de los síntomas fue de muy alta susceptibilidad a completamente libres de la infección.

Las respuestas de plantas a un patógeno, después de haber sido inoculado en invernadero, pueden ser diversas, dependiendo del patógeno, de la

resistencia genética y bioquímica del hospedero y de las condiciones. Los síntomas foliares causados por la mayoría de los patógenos generalmente son puntos superficiales y lesiones cloróticas o necróticas sin esporulación o con esporulación restringida o activa.

A nivel de invernadero, donde puede ejercerse una mayor presión del inoculo, Blažek (2004) evaluó la sensibilidad de plántulas de semilla a cenicilla, aplicando suspensiones conidiales en los brotes jóvenes; aquellas que mostraron la mayor tolerancia fueron evaluadas durante 10 años en campo. Jeger *et al.* (1986) reportaron diferencias en la sensibilidad de cultivares de manzana inoculados con una misma concentración de esporas de cenicilla, resultando 'Discovery' altamente resistente, 'Bramley's Seedling' y 'Suntan' resistentes, y 'Golden Delicious' muy susceptible.

2.6.1.3. Métodos *in vitro*

Finalmente, aunque aparentemente no existen reportes de ensayos *in vitro* para cenicilla en variedades de manzano, se ha estudiado la tolerancia a diversas especies de *Podosphaera* en otros frutales y hortalizas, mediante la colocación de discos foliares en cajas Petri sobre medio de cultivo, los cuales se inoculan con una concentración conocida del fitopatógeno, midiendo el desarrollo del hongo después de un periodo de incubación. Esta metodología se considera un sistema predictor comparable con la evaluación de la resistencia en el huerto (Olmstead *et al.*, 2000). Por ejemplo existen ensayos *in vitro* para la evaluación de la susceptibilidad de genotipos de cereza (*Prunus avium*) a cenicilla (*P. clandestina*), ensayos desarrollados con el objetivo de evaluar los efectos del fotoperiodo (Luz/oscuridad: 24:0 y 14:10 horas, respectivamente), el contenido de nutrientes en el sustrato (agua destilada estéril y 1 % de sacarosa), la edad de la hoja (viejas, jóvenes y emergentes) y el tamaño de la hoja (hoja intacta, de 30 mm, 20 mm) en el desarrollo del hongo en las hojas de las variedades en estudio. Para establecer la prueba de disco de hoja, 14 cultivares de cerezo dulce fueron examinados en dos experimentos, y clasificado de acuerdo al nivel de

susceptibilidad (Olmstead y Lang, 2000). El ensayo de disco de hoja reduce el espacio necesario para examinar la susceptibilidad de las variedades, y es considerado un sistema predictor repetible y objetivo de la resistencia registrada en condiciones de campo por lo que puede ser útil para la selección de germoplasma (Urbanietz y Dunemann, 2005).

Resumen de la revisión bibliográfica

La presente revisión nos permitió conocer múltiples aspectos de importancia para el cultivo del manzano, que van desde su relevancia económica, la botánica, principales variedades, portainjertos, morfología, fisiología, prácticas de cultivo, el establecimiento y manejo del huerto, requerimientos ecológicos, las principales enfermedades (Cenicilla y Moteado), métodos de control de estas y conceptos de resistencia genética. Toda esta información ha de ser de gran utilidad para comprender la problemática a la que se pueden afrontar los productores de la región y a su vez para poderles brindar asesoría objetiva.

OBJETIVOS

General

Determinar la susceptibilidad de genotipos de manzano a *P. leucotricha* y *V. inaequalis*, y evaluar la adaptación de diversas variedades y portainjertos de manzano en nuevas regiones productoras de Querétaro.

Específicos

- Evaluar la sensibilidad a cenicilla (*Podosphaera leucotricha*) de diferentes genotipos de manzano introducidos en Querétaro, México, a través de ensayos realizados en el campo, el invernadero e *in vitro*, y evaluar la correlación entre los tipos de ensayos.
- Identificar genotipos de manzana con tolerancia a la roña (*Venturia inaequalis*) en ensayos realizados en el campo.
- Determinar la época de brotación, la precocidad en la entrada en producción y el vigor de genotipos de manzano introducidos en Amealco, Qro., durante dos años de desarrollo.
- Evaluar el efecto de diversos portainjertos clonales de manzana sobre el desarrollo del cv. 'Rayada' en San Juan del Río, Qro.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización y características del sitio experimental

El presente proyecto de investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Querétaro y en cuatro huertos de manzano, el primero de ellos situado en la comunidad de “El Suspiro” Mpio. de Cadereyta, Qro.; dos huertos recién establecidos ubicados en la comunidad de San José Itho, Mpio. de Amealco, Qro. y uno más en la comunidad de Senegal de las Palomas, San Juan del Río, Qro. En la Tabla 3.1 se muestra la localización geográfica de cada uno de los huertos.



Figura 3.1. Localización de los sitios experimentales donde se realizó este trabajo

En los tres primeros huertos se llevó a cabo la evaluación de la sensibilidad de distintos genotipos de manzano a enfermedades fungosas de precosecha; en los dos huertos de San José Itho, además de lo anterior, se estudió durante 2012 y 2013 la fenología y el desarrollo inicial de genotipos prometedores de manzano. Mientras que en el huerto de Senegal de las Palomas

se realizó el ensayo sobre el efecto de siete portainjertos en el desarrollo inicial del cultivar 'Rayada' en 2012. Finalmente, en el invernadero establecido en la UAQ se llevaron a cabo ensayos de sensibilidad de los genotipos a cenicilla.

Tabla 3.1. Ubicación y edad de los sitios experimentales incluidos en este estudio

Huerto	Municipio	Edad	Latitud Norte	Longitud Oeste	Elevación (msnm)
El Suspiro	Cadereyta.	10 años	20°51´	99°34´	2495
San José Itho 1	Amealco.	1 año	20°09´	100°07´	2279
San José Itho 2	Amealco.	1 año	20°10´	100°07´	2275
Senegal de las Palomas	San Juan del Río.	1 año	20°26´	99°34´	1919
Invernadero UAQ	Querétaro.	3 meses	20°35´	100°24´	1822

Para el caso particular de los huertos en Amealco, los suelos son profundos (> 50 cm) de textura arcillosa, pH ligeramente ácido (5.6 a 6.0), baja salinidad (0.03 – 0.04 dS•m⁻¹) y bajo contenido de materia orgánica (<1.1 %). Las temperaturas medias, los días con heladas correspondientes a los años en que se llevaron a cabo los experimentos, así como la acumulación de horas frío en el municipio, se muestran en el Tabla 3.2 (CEA, 2013).

Tabla 3.2. Temperaturas medias (TM), días con heladas y horas frío (HF) acumuladas en Amealco, Querétaro entre noviembre y febrero de 2011-2012 y 2012-2013

Mes	TM		Días con heladas		HF	
	2011-2012	2012-2013	2011-2012	2012-2013	2011-2012	2012-2013
Noviembre	15.2	11.7	3	1	53.0	151.7
Diciembre	10.7	12.9	0	3	179.7	117.1
Enero	11.5	12.0	3	3	158.5	142.9
Febrero	12.0	14.7	1	1	141.9	65.4
Suma			7	8	533.1	477.1

HF= Horas frío, de acuerdo con Da Mota (1957) (Melgarejo y Salazar, 2003). La acumulación de frío de 2011 y 2012 repercute respectivamente en la brotación 2012 y 2013.

3.2. Material biológico

3.2.1. Genotipos de manzano

En el presente trabajo se utilizaron 38 genotipos de manzana para la totalidad de los experimentos, los detalles por cada tipo de investigación se muestran a continuación.

a) Susceptibilidad a cenicilla y roña

Se utilizaron 38 genotipos de manzano, 33 para los ensayos en campo, los cuales fueron introducidos mediante injerto sobre plantas adultas de 'Golden Delicious' / MM.106, en 2001 y 14 para el invernadero (nueve presentes en los dos ensayos). Éstos incluyen cultivares, criollos, mutantes e híbridos. En la Tabla 3.3 se muestra el origen y la ubicación de los materiales incluidos en esta evaluación. Para la evaluación de susceptibilidad a roña se usaron los genotipos localizados en campo con excepción de '406', '407', '401', 'SMF' y '416', y para la evaluación en invernadero se usó 'Rosada', 'Delicious', 'Golden Delicious', 'Anna', 'Royal Gala', 'Aguanueva' y 'Joya'.

b) Evaluación fenológica

Se utilizaron 13 materiales genéticos, nueve provenientes de un banco de germoplasma ubicado en "El Suspiro", Cadereyta, Querétaro (incluidos siete cruzamientos de 'Anna', el cultivar criollo 'Rayada' y la especie *Malus micromalus*), así como cuatro cultivares comerciales. Las principales características de los genotipos empleados se detallan en el en la Tabla 3.4. (Mendoza *et al.*, 2008).

El portainjerto clonal MM.106, sobre el cual se injertaron todos los materiales, proviene de la cruce de M.2 x 'Northern Spy' realizada en la estación experimental de East Malling en Inglaterra. Es semienanizante y resistente al pulgón lanígero (Sadhu, 1989).

Tabla 3.3. Genotipos de manzano usados en este estudio para determinar la sensibilidad a enfermedades fungosas por tipo de experimento

Genotipo	Origen	Ubicación*		
		El Suspiro	Campo Amealco	Invernadero
'401'	'Tropical Beauty' x 'Princesa'	X		
'403'	'Tropical Beauty' x 'Princesa'	X		
'406'	'Anna' x 'COOP30'	X		
'407'	'Anna' x 'COOP30'	X		
'411'	'Anna' x 'Gala'	X		
'418'	'Anna' x 'CLR9T10'	X		
'416'	'Anna' x 'CLR9T10'	X		
'421'	'Anna' x 'Gala'	X		
'419'	'Golden 650' x 'Gala'	X		
'424'	'Anna' x 'Princesa'	X	X	X
'428'	'Anna' x 'Gala'	X	X	X
'429'	'Anna' x 'CLR9T10'	X	X	X
'436'	'Anna' x 'Gala'	X	X	X
'438'	'Anna' x 'CLR9T10'	X		
'441'	'Anna' x 'Gala'	X		
'442-9'	'Anna' x 'CLR9T10'	X		
'443'	'Einsherimer' x 'Princesa'	X		
'449'	'Anna' x 'CLR9T10'	X		
'468'	'Anna' x 'Liberty'	X	X	X
'SMA'	Desconocido	X		
'SMB'	Desconocido	X		
'SMC'	Desconocido	X		
'SMD'	Desconocido	X		
'SME'	Desconocido	X		
'SMF'	Desconocido	X		
'SMG'	Desconocido	X		
'SM3'	Desconocido	X		
'SM6'	Desconocido	X		
'Lourdes'	Desconocido	X		X
'Golden Delicious'	'Golden Reinette' x 'Grimes Golden'	X	X	X
'Delicious'	Selección realizada en Madison, EE.UU.	X	X	X
'Rayada'	Desconocido, criollo de La Esperanza, Qro.	X	X	X
<i>Malus micromalus</i>	<i>Malus baccata</i> x <i>Malus spectabilis</i>	X	X	
'Joya'	'Anna' x 'Gala'		X	X
'Royal Gala'	'Golden Delicious' x 'Kidd's Orange'		X	X
'Agua Nueva'	Mutante de 'Golden Delicious'		X	X
'Anna'	'Red Hadassiya' x 'Golden Delicious'			X
'Rosada'	Desconocido, criollo de Amealco, Querétaro			X

* Sitio donde los genotipos fueron evaluados

Tabla 3.4. Denominación y características de los genotipos de manzano usados en este estudio

Genotipo	Origen	Color del fruto	Rendimiento	Tamaño de fruto
424	'Anna' x 'Princesa' ^R	Amarillo chapeado	Bajo	Mediano
428	'Anna' x 'Gala' ^R	Rojo estriado	Elevado	Grande
429-a	'Anna' x 'CLR9T10' ^R	Rojo liso	Intermedio	Grande
429-b	'Anna' x 'CLR9T10' ^R	Rojo liso	Bajo	Grande
436	'Anna' x 'Gala' ^R	Rojo estriado	Intermedio	Mediano
468	'Anna' x 'Liberty' ^R	Amarillo	Bajo	Grande
'Joya'	'Anna' x 'Gala' ^R	Rojo estriado	Elevado	Mediano
'Golden Delicious'	'Golden Reinette' x 'Grimes Golden'	Amarillo liso	Elevado	Pequeño
'Delicious'	Selección de Madison, EE.UU.	Rojo estriado	Elevado	Pequeño
'Rayada'	Criollo de La Esperanza, Qro.	Rojo estriado	Elevado	Mediano
<i>Malus micromalus</i>	<i>Malus baccata</i> x <i>Malus spectabilis</i>	Rojo liso	Elevado	Canica
'Royal Gala'	'Golden Delicious' x 'Kidd's Orange Red'	Rojo estriado	Elevado	Mediano
'Aguanueva'	Mutante de 'Golden Delicious'	Amarillo liso	Elevado	Mediano

c) Estudio de Portainjertos

Se utilizó el cultivar 'Rayada' injertado sobre siete portainjertos provenientes del "Vivero Sacramento" localizado en Chihuahua, cuatro de la estación de East Malling en Inglaterra, dos de Geneva en EE.UU. y uno de la serie Budagovsky de Rusia. Las principales características de los portainjertos utilizados en este estudio se consignan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Principales características de los portainjertos de manzanos utilizados en este estudio

Portainjerto	Origen	Características
M.7	Estación East Malling Inglaterra	Semienano, raíz con anclaje pobre, y susceptible a agalla de corona y pulgón lanigero. Resistente al tizón de fuego y a cenicilla, favorece a la producción de frutos con buen peso.
M.25	Estación East Malling Inglaterra	Vigor alto, precoz, no presenta resistencia a <i>Phytophthora</i> y al frío, resiste al pulgón lanigero y tiene mal anclaje.

Portainjerto	Origen	Características
MM.106	Estación East Malling Inglaterra	Vigor bajo y resistencia a pulgón lanigero, susceptible a <i>Phytophthora</i> y a tizón de fuego, no es resistente al frío, de fácil propagación y alta producción.
MM.111	Estación East Malling Inglaterra	De vigor medio, crece en suelos pobres y secos. Tolera bajas temperaturas y resiste a pulgón lanigero y a <i>Phytophthora</i> , que provoca pudrición de cuello, y es susceptible a cenicilla.
G.30	Universidad de Cornell Nueva York.	Vigor medio, resistente a tizón de fuego y a niveles altos de humedad en el suelo, induce mayor número de fruta. Forma una unión débil en injerto con cultivar 'Gala'.
G.202	Universidad de Cornell, Nueva York	Resistente a tizón de fuego, pulgón lanigero y pudrición de cuello.
B.9	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	Enanizante, con follaje color rojo. Es un portainjerto precoz e induce alto rendimiento. Es resistente a <i>Phytophthora</i> y al frío. Moderada resistencia a roña y a cenicilla. Susceptible a tizón de fuego y pulgón lanigero.

(Wertheim, 1996)

3.3. Determinación de la sensibilidad de los genotipos a cenicilla (*P. leucotricha*)

3.3.1. Evaluación en el campo

a) Ubicación y desarrollo del experimento

Estos ensayos se realizaron en los huertos establecidos en los municipios de Cadereyta y Amealco. En el primer caso se evaluó un árbol de cada genotipo, en cada uno de los cuales se seleccionaron cuatro ramas al azar y las evaluaciones se realizaron en cuatro muestreos sucesivos desde mayo hasta

septiembre de 2012. Para el caso del segundo sitio experimental, se evaluó diferente número de árboles de cada genotipo (desde 15 hasta 38), en tres muestreos sucesivos entre agosto y octubre de 2012. En ambos casos se registró la respuesta de 10 hojas extendidas contadas desde el ápice, a la inoculación natural de cenicilla.

b) Variables evaluadas:

- Incidencia. Porcentaje de hojas con presencia visible de cenicilla en el haz y/o envés (lado de la hoja más común donde desarrolla cenicilla), realizando el análisis en las hojas completamente abiertas de las ramas seleccionadas (Olmstead y Lang, 2000).
- Severidad. Área foliar cubierta por el hongo (largo por ancho de la lesión medido con un vernier) (Sholberg *et al.*, 2001).
- Número promedio de conidios por cm² de área foliar. Para ello, a finales de septiembre de 2012 se colectaron las hojas que presentaron daño de cada genotipo, se colocaron en un recipiente con 10 mL de agua destilada estéril y una gota de Tween 20, y seguido de agitación suave (100 rpm durante 30 minutos). El número de conidios por mL de suspensión fue determinado por el promedio de dos conteos realizados en un hematocitómetro Neubauer y, a partir de allí, la densidad conidial por cm² de área foliar (Sholberg *et al.*, 2001), la cual se estimó mediante análisis de imágenes, usando el programa MATLAB[®] (Vázquez-Cruz *et al.*, 2012).

c) Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas registradas en los huertos experimentales durante el periodo de evaluación se indican en la Tabla 3.6 (CEA, 2012). Se observó que hubo mayor precipitación en Cadereyta que en Amealco (73.5 y 45.2 mm respectivamente), sin embargo, los días de lluvia totales durante el estudio fueron menos en Cadereyta que en Amealco (6.6 y 12.7). Finalmente el %HR en Cadereyta fue superior con un 62.9%.

Tabla 3.6. Temperatura, precipitación, días con lluvias y humedad relativa mensuales durante el periodo de evaluación de la susceptibilidad a oídio de manzano establecidos en los municipios de Cadereyta y Amealco, Qro (año 2012)

Mes	Cadereyta				Amealco			
	T (°C)	P (mm)	DLL	%HR	T (°C)	P (mm)	DLL	%HR
Mayo	14.8	0.3	1	41.4	17.2	27.4	8	28.1
Junio	15.4	5.1	1	58.0	15.7	113.8	15	43.4
Julio	14.3	97.3	6	72.8	14.3	148.3	17	57.7
Agosto	14.4	168.7	12	73.0	14.8	83.1	22	56.3
Septiembre	13.4	96.3	13	74.6	14.5	51.8	13	54.5
Octubre	12.5	67.8	5	57.6	14.5	0.8	3	39.2
PPE	14.5	73.54	6.6	62.9	14.6	45.2	12.7	46.5
Suma	-	435.5	38	-	-	425.5	78	-

PPE= Promedio en el periodo de evaluación, DLL= Días con lluvias

3.3.2. Evaluación en invernadero

Los genotipos de manzana evaluados fueron injertados en enero de 2012 sobre el portainjerto clonal MM.106, establecido en maceta. En mayo del mismo año, cada una de las 10 hojas superiores extendidas de seis plantas de cada genotipo fue inoculada en el envés con 200 µL de 7×10^4 conidios mL⁻¹ (14,000 conidios), posteriormente en agosto y octubre se determinó la incidencia y la severidad del hongo, en los brotes nuevos expuestos al inóculo presente en el invernadero, así como la densidad conidial por cm² de área foliar y por hoja durante el último muestreo (Sholberg *et al.*, 2001). Se realizaron análisis de correlación por pares con los genotipos que coinciden en los dos sitios experimentales en campo con los que se localizaron en invernadero.

a) Colecta de *P. leucotricha*

El inóculo se obtuvo de hojas de manzanos infectadas por cenicilla colectadas en el huerto “El Suspiro”, Cadereyta.

b) *Identificación y conservación del fitopatógeno*

La identificación del hongo se llevó a cabo mediante el reconocimiento de sus estructuras típicas (micelio, conidióforos, conidios, cleistotecios, ascas y ascosporas) presentes en cortes finos del tejido infectado, preparados con alcohol, observados en el microscopio (Figura 3.2). Para su conservación y ulterior utilización en los bioensayos en el invernadero, el hongo se inoculó en plantas establecidas en maceta.

El hongo se conservó en plantas consideradas *a priori* susceptibles, tales como '424', las cuales fueron inoculadas y mantenidas en vivero para ser utilizadas como fuente de inóculo para las evaluaciones en el laboratorio y en el vivero.

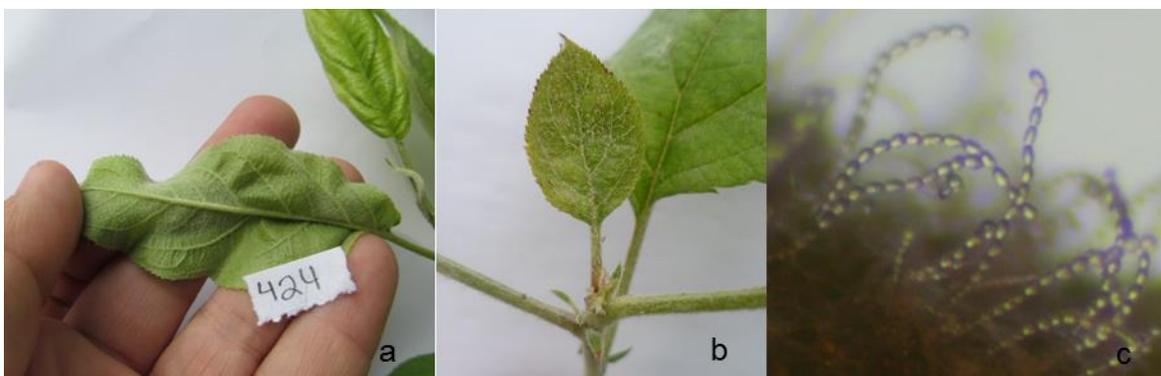


Figura 3.2. Observaciones de *P. leucotricha* **a.** y **b.** Daño en brotes jóvenes **c.** Cadenas conidiales al microscopio estereoscópico (4x) en el genotipo '424'.

c) *Preparación del inóculo de P. leucotricha*

Hojas infestadas por el hongo fueron sumergidas en 20 mL de agua destilada estéril (agente acarreador) y una gota de Tween 20 (agente dispersante) y agitadas suavemente por 1 min; el sobrenadante conteniendo las esporas fue depositado en un matraz y se estimó la concentración de esporas mediante un hematocitómetro Neubauer (profundidad: 0.100 mm, Neubauer improved, Marienfeld® Germany). La suspensión madre se mezcló con glicerol 2 %, se almacenó a -20 °C. Para su utilización, la suspensión se ajustó a 7×10^4 conidios mL⁻¹.

d) *Bioensayo*

Se inocularon 14 genotipos distintos (con número de plantas diferente), previamente injertadas sobre MM.106 en enero 2012, con una concentración de 7×10^4 conidios mL⁻¹. El inóculo se colocó en el envés de las primeras 10 hojas jóvenes y extendidas. Después de dos meses, 3 de las plantas que no presentaron la enfermedad, se podaron y fueron expuestas al inóculo presente en el vivero; y las otras 3 plantas se reinocularon usando la misma concentración del hongo antes mencionada. La evaluación de la infección se realizó diariamente, y se registró el inicio del desarrollo del hongo. Posteriormente la incidencia y severidad se registraron una vez al mes, durante tres meses. Asimismo, se monitorearon la temperatura y la humedad relativa al interior del vivero. Al final se calculó el número promedio de conidios por cm² de área foliar, como se mencionó anteriormente.

3.3.3. Ensayo *in vitro*

Para evaluar el grado de daño causado por cenicilla en hojas de manzano se trabajó en el laboratorio con hojas sanas y jóvenes provenientes del Huerto ubicado en la comunidad de “El Suspiro”.

a) Bioensayo 1.

En condiciones de asepsia, con tres diferentes concentraciones de NaClO (0.5, 1 y 1.5%) las hojas fueron sumergidas en intervalos de dos minutos en cada solución y enjuagadas con agua destilada estéril. Otras hojas se dejaron sin tratamiento, como testigo. Las hojas fueron secadas y colocadas con el envés en contacto con el medio APD suplementado con rosa de bengala. Incubando a $22 \pm 2^\circ\text{C}$ y 16 h luz. Las hojas fueron revisadas periódicamente. Los genotipos usados para este bioensayo fueron 'Golden Delicious' y 'Joya'.

b) Bioensayo 2.

Las hojas se lavaron con agua corriente para eliminar el polvo excesivo, posteriormente, fueron sumergidas en etanol a 70 % durante 30 segundos, después de lo cual recibieron dos enjuagues con agua destilada estéril, seguidas de un lavado en NaClO al 0.5% durante 1 min. Las hojas nuevamente fueron enjuagadas en agua destilada estéril y sumergidas en NaClO 1% por diez minutos. Finalmente las hojas fueron enjuagadas tres veces con agua destilada estéril y secadas en toallas de papel estéril. Terminado el tratamiento, se colocaron sobre medio APD vaciado en placa bajo las mismas condiciones mencionadas anteriormente. Para este bioensayo los genotipos usados fueron 'Golden Delicious', '428' y 'Joya'.

c) Bioensayo 3.

Se usó la técnica propuesta por Olmstead *et al.* (2000) y Urbanietz y Dunemann (2005). Cuatro hojas jóvenes, emergentes y sanas de cada una de los genotipos de manzanos en estudio fueron colectadas y desinfectadas con Benomilo (Benlate[®]) a 30% por 10 min, luego enjuagadas tres veces con agua destilada, sumergidas en plata coloidal 5% durante 5 min y enjuagadas tres veces con aguas destilada estéril. Las hojas se secaron y posteriormente fueron colocadas en frascos de plástico que contenían agar suplementado con sorbitol, rosa de bengala y ampicilina. Los genotipos usados fueron: 'Delicious', '468', '429-b', '424', 'Golden Delicious', 'Aguanueva', 'Royal Gala', 'Joya' y '428'.

d) Bioensayo 4.

Para este último ensayo se realizó la misma metodología y genotipos correspondientes al ensayo anterior, solo que después del secado fueron colocadas las hojas en frascos de plástico que contenían solución de sacarosa 1%.

Para cada bioensayo, se dejaron hojas sin tratamiento, como testigo. Las hojas fueron analizadas diariamente usando un microscopio estereoscopio y se registró el periodo de incubación necesario para la formación de la primera colonia

de cenicilla, la incidencia, severidad y densidad micelial (número de conidios/cm²) en el tejido de las hojas infectadas.

3.4. Determinación de la sensibilidad de genotipos al ataque a roña (*Venturia inaequalis*)

3.4.1. Evaluación en el campo

Las evaluaciones se realizaron dos veces por mes, desde finales de mayo hasta septiembre de 2012. Para la evaluación en el fruto, se utilizó un árbol de cada genotipo (33 genotipos en total) de los cuales se seleccionaron 25 frutos al azar próximos a la madurez fisiológica. Las variables evaluadas fueron las siguientes:

- Incidencia. Número de frutos con síntomas del hongo (fruto con desarrollo limitado, asimétrico y lesiones típicas en el epicarpio).
- Severidad. Porcentaje de área del fruto con lesiones en el epicarpio por *V. inaequalis* (se usó la escala de severidad propuesta por Caltzontzin (2003)).

El daño final en fruto se evaluó cuando éste alcanzó su completo desarrollo o cuando estaba próximo a la madurez fisiológica aparente, en este estado se observaron manchas superficiales aisladas con un halo marrón alrededor de la lesión (infección tardía de la roña del manzano). La identificación del hongo presente en frutos con daños se realizó en el microscopio a través de observaciones de estructuras típicas del hongo y por medio de manuales especializados (Barnett y Hunter, 1998). Por otro lado, de los 25 frutos en estudio se cosecharon aquellos que en campo hayan presentado síntomas de daño por *V. inaequalis* y se determinó el número de frutos con daño (raquitismo, deformidad y agrietamiento).

La evaluación en las hojas comprendió el porcentaje de hojas con presencia de infección típica de roña así como la severidad que fue medida como el área de la lesión (largo por ancho).

3.4.2. **Evaluación en invernadero y en el laboratorio**

En esta etapa se establecieron las condiciones para poder llevar a cabo la evaluación a nivel de invernadero y de laboratorio.

a) Colecta del *V. inaequalis*

El inóculo se obtuvo tanto de hojas secas de manzanos que contenía estructuras infectivas del hongo en estado sexual principalmente (ascas, ascosporas y cleistotecios), recolectadas del suelo de los huertos experimentales, como de hojas frescas y frutos con síntomas de la enfermedad. En las hojas frescas se buscaron manchas circulares de 4 a 6 mm de diámetro de color verde oliváceo o lesiones con aspecto aterciopelado debido a la presencia de conidióforos y conidios; en los frutos jóvenes, las lesiones se encontraban por lo general separadas parecidas a las observadas en las hojas.

b) Identificación y aislamiento del fitopatógeno

La identificación del hongo presente en hojas y frutos con daños, se realizó en el microscopio compuesto a través de la observación de preparaciones y del reconocimiento de estructuras típicas del hongo por medio de manuales especializados (Barnett y Hunter, 1998) (Figura 4.5).

Para el aislamiento del hongo, el material colectado fue sanitizado superficialmente con etanol al 70% y se tomaron fracciones del tejido vegetal con signos del patógeno. En seguida, estos pequeños trozos se sembraron en una caja de Petri con medio de cultivo agar malta, después de lo cual se incubaron a oscuridad continua a 16 °C por 48 h para inducir la germinación de los conidios (Hernández *et al.*, 2002). De este crecimiento se realizaron resiembras y observaciones al microscopio hasta tener una cepa pura de *V. inaequalis*.

c) *Ensayo en invernadero*

Los genotipos en estudio se injertaron sobre patrones de manzano MM.106 en enero del 2012. Diez hojas de cuatro plantas de cada genotipo fueron inoculadas con una suspensión de *V. inaequalis* (1×10^5 conidios mL⁻¹ en agua). Los síntomas de la enfermedad se evaluaron visualmente durante dos meses julio y agosto, registrando la incidencia y la severidad de manchas circulares de color verde oliváceo como se mencionó anteriormente.

d) *Establecimiento de las condiciones para el bioensayos en hojas aisladas*

Para la sanitización y preparación de medio asociado a hojas de manzanos en estudio, se procedió como se describe para el bioensayo con cenicilla, las hojas fueron inoculadas con 2×10^5 conidios/mL de *V. Inaequalis* y se mantuvieron en incubación a 16 °C por 48 h y con un fotoperiodo de 16 h de luz y 8 h de oscuridad. Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones y el testigo se preparó con hojas de cada genotipo sin inocular.

3.5. Evaluación de la época de brotación y el vigor de manzanos en huertos jóvenes de Amealco

3.5.1. *Establecimiento y manejo de los huertos*

Los huertos experimentales fueron establecidos en julio de 2011 a partir de planta injertada en maceta a una densidad de 1000 plantas ha⁻¹ (4 m x 2.5 m). Después de la plantación se realizó una fertilización con sulfato de amonio, desyerbes, cajeteos y riegos de auxilio durante las sequías, particularmente entre marzo y mayo. En febrero de 2012 se efectuó una poda de formación seleccionando un tallo principal a 70 cm de altura y, el siguiente año, se podó en la misma época seleccionando un tallo central con tres o cuatro ramas secundarias.

3.5.2. Determinación de la época de brotación

Se realizaron conteos periódicos en invierno de 2012 y 2013 del número de yemas florales y vegetativas brotadas (Bogantes y Mora, 2010). Las yemas vegetativas se consideraron abiertas cuando se observaron ápice foliares verdes, a 5 mm por encima de las escamas, mientras que las florales se consideraron brotadas cuando las puntas verdes de las hojas encierran las flores (Agustí, 2011). El registro de las variables se realizó en intervalos de 7 ó 15 días dependiendo de la evolución del cultivo, en fechas entre febrero 2012 y marzo de 2013. Así como la época de floración durante dos años de establecimiento.

3.5.3. Determinación del vigor

Las variables evaluadas relacionadas con el vigor fueron las siguientes (UPOV, 2005): a) Número de brotes por planta, en septiembre de 2012. b) Longitud de los brotes, el 7 de septiembre de 2012, usando un flexómetro. c) Diámetro del tronco, el 17 de marzo de 2013, 5 cm sobre la unión del injerto, usando un vernier digital (Electronic Digital[®]). d) Peso de la madera producida, el 25 de enero de 2013, mediante una balanza granataria digital de un decimal (Sartorius[®])

3.6. Efecto de distintos portainjertos clonales de manzano sobre el desarrollo inicial y final de ‘Rayada’

3.6.1. Establecimiento y manejo del huerto experimental

Se colectó vareta de la variedad ‘Rayada’, la cual se envió al “Vivero Sacramento” localizado en el Km 40, de la carretera Chihuahua-El Sauz, estado de Chihuahua, donde fue injertada sobre siete diferentes patrones clonales (Tabla 3.7) de un año de edad, se evaluó el vigor de las plantas después de un año de haber sido injertadas a través del área transversal de su tronco, 5 cm arriba de la unión del injerto antes de la plantación.

Tabla 3.7. Tipo de portainjerto y número de plantas por injerto para la variedad ‘Rayada’ establecida en Senegal de las Palomas, San Juan del Río, Qro., México.

No.	Portainjerto	No. de plantas por portainjerto	No. de plantas por sitio		No. de plantas por Bloque		
			“La Joya”	Senegal de las Palomas	I	II	III
1	M.7	18	3	15	5	5	5
2	M.25	24	3	21	7	7	7
3	MM.106	10	0	10	3	3	4
4	MM.111	28	5	23	8	8	7
5	G.30	13	3	10	3	3	4
6	G.202	14	3	11	4	4	3
7	B.9	19	4	15	5	5	5
	Total	126	21	105	35	35	35

Las plantas fueron establecidas en el mes de marzo de 2012 en la Comunidad de Senegal de las Palomas, Municipio de San Juan del Río, Qro. Previo al establecimiento se hizo la apertura de las cepas de 40 x 40 cm y 50 cm de profundidad, mientras tanto las plantas fueron recibidas el 2 de marzo y se procedió al conteo e identificación de la planta injertada; las raíces de las plantas fueron desinfectadas con una solución de Benlate[®] y posteriormente se realizó una poda de raíces. Finalmente las plantas fueron atrincheradas para después ser plantadas el día 7 de marzo a una densidad de 1666 plantas ha⁻¹ (3m x 2m) (Figura. 3.3).

Después de dos semanas de establecidas se podó a 40 cm sobre la unión del portainjerto, posteriormente se realizaron riegos rodados de auxilio, mientras se instaló un sistema de riego por goteo (Figura 3.3).

3.6.2. Variables evaluadas

Se evaluó el porcentaje de prendimiento, la altura y el número de los brotes, así como el diámetro del tronco principal y la presencia de síntomas visibles de enfermedades al final del primer ciclo de cultivo.



Figura. 3.3. Diferentes etapas del establecimiento del huerto de 'Rayada' sobre distintos portainjertos clonales. **a.** Recepción de los árboles, **b.** Desinfección con Benlate[®], **c.** Poda a raíz desnuda, **d.** trasplante en bolsas con suelo, **e.** etiquetado, **f.** atrincheramiento de árboles. **G.** cepa con árbol y sistema de riego. **H.** Rellenado de cepa con mezcla de materia orgánica

3.7. Análisis estadísticos

3.7.1. Evaluación de la susceptibilidad a cenicilla y roña en campo

Diseño de tratamientos: Unifactorial

Diseño experimental: completamente al azar, con cuatro repeticiones (ramas) para oídio y 25 repeticiones (frutos) para roña en Cadereyta. Bloques completos al azar para oídio en los huertos de Amealco.

Factor de estudio y tratamientos: genotipos: 33 tratamientos correspondientes a los distintos genotipos, con mediciones repetidas en el tiempo (Cadereyta) y porcentaje de frutos con daño por roña; 13 tratamientos para la evaluación de oídio en Amealco.

Unidad experimental: para la evaluación de oídio: una rama (con 10 hojas de cada rama), para la evaluación de roña un fruto (Cadereyta) y para la evaluación de oídio en Amealco.

VARIABLES EVALUADAS: incidencia y severidad para oídio y roña; y número de conidios por unidad de área foliar para oídio solamente.

3.7.2. Evaluación de la susceptibilidad a cenicilla en vivero

Diseño experimental: completamente al azar, con cuatro repeticiones (árboles).

Factor de estudio y tratamientos: genotipos: 14 tratamientos correspondientes a los distintos genotipos, con mínimo cuatro árboles para cada uno, con mediciones repetidas en el tiempo.

Unidad experimental: una planta (con 10 hojas cada rama).

VARIABLES EVALUADAS: incidencia, severidad y número de conidios por unidad de área foliar.

3.7.3. Época de brotación

Diseño experimental: bloques al azar, con 4 repeticiones (en cada huerto 2 repeticiones).

Factores de estudio y tratamientos: genotipos: 13 tratamientos correspondientes a los distintos genotipos, con mediciones repetidas en el tiempo.

Unidad experimental: entre 5 y 11 plantas por repetición.

VARIABLES EVALUADAS: número de brotes por planta, longitud de los brotes, diámetro del tronco y peso de la madera producida.

3.7.4. Portainjertos

Diseño del experimento: experimento unifactorial

Diseño experimental: bloques al azar, con tres repeticiones.

Factor de estudio y tratamientos: portainjertos: siete tratamientos correspondientes a los distintos portainjertos, con mediciones repetidas en el tiempo.

Unidad experimental: Entre tres y ocho plantas de cada portainjerto por repetición.

Variables evaluadas: Número de brotes, longitud y área transversal del troco.

3.8. Análisis de los datos

Todos los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza de “Fisher” y pruebas de medias de Tukey ($p < 0.05$). Para la evaluación de la susceptibilidad, la incidencia y la severidad se analizaron en cada período de muestreo y considerando dichos periodos como repeticiones en el tiempo. Para el experimento realizado en campo, únicamente se analizaron aquellos genotipos que mostraron daño visible del hongo. Los valores de incidencia fueron transformados a grados angulares [Arcoseno $\sqrt{(\% \text{ registrado}/100)}$], la severidad fue transformada a $\sqrt{(x+1)}$, y la densidad conidial fue transformada a $\log_{10}(x+1)$. Para la época de brotación y portainjertos, los valores de número de flores y de brotes por planta se usó la transformación $\sqrt{(x)}$. Utilizando el Programa estadístico JMP 8.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estudio de la tolerancia de los genotipos a enfermedades fungosas

4.1.1. *Cenicilla*

4.1.1.1. *Identificación del estado conidial*

En los árboles establecidos tanto en el campo como en el invernadero se logró identificar la presencia de cenicilla (*P. leucotricha*) por los signos típicos de la enfermedad. Observaciones microscópicas permitieron evidenciar las manchas blancas con aspecto polvoriento, así como la formación de micelio y esporas hialinas creciendo sobre la superficie de la hoja (Figura 4.1) Estas características observadas coinciden sensiblemente con lo reportado por Agrios (2005).

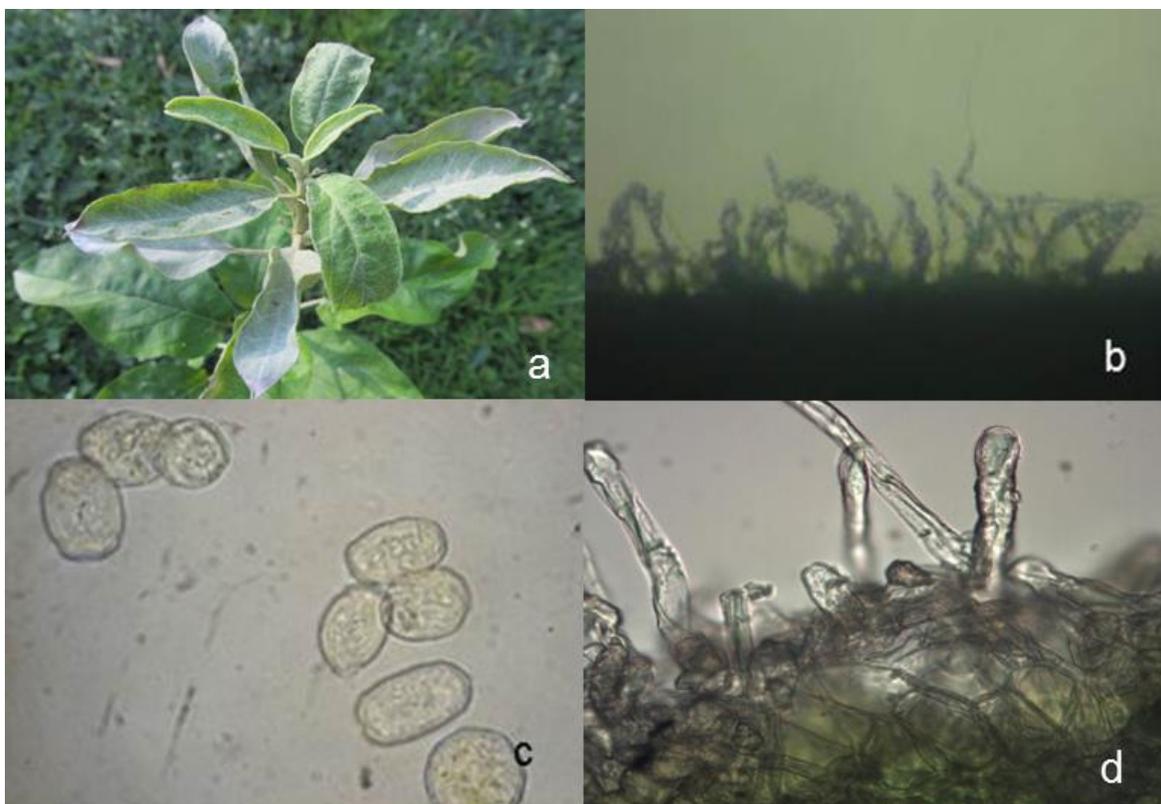


Figura 4.1 Observaciones de *P. leucotricha* **a.** Daño en brotes jóvenes **b.** Cadenas conidiales al microscopio estereoscópico (4x) **c.** Conidios al microscopio óptico (100x) **d.** Cadena conidial y conidióforo al microscopio óptico (100x)

4.1.1.2. Evaluación en Cadereyta

4.1.1.2.1. Incidencia

De los 33 genotipos evaluados, sólo 13 mostraron daños visibles por cenicilla. Éstos manifiestan diferencias en los porcentajes de incidencia del patógeno en cada una de las cuatro fechas de evaluación, así como cuando éstas se consideraron repeticiones en el tiempo, en que 'Rayada' y '411' ('Anna' x 'Gala') obtuvieron los mayores valores (59.4 y 40.6%, respectivamente), seguidos de '429'. 'Rayada', criollo introducido de EE.UU., reviste un gran interés local por ser de floración tardía y maduración temprana y por producir un fruto rojo muy atractivo (Mendoza y Martínez, 2008), mientras 'Gala', progenitor de '411', es considerado susceptible a cenicilla (Sholberg *et al.*, 2001). El resto de los genotipos, que incluyen a 'Golden Delicious' y '403' ('Tropical Beauty' x 'Princesa') presentaron porcentajes de incidencia menores a 11.2 % (Tabla 4.1). 'Golden Delicious' y 'Princesa' son también consideradas susceptibles a cenicilla (Biggs *et al.*, 2009). El rango de susceptibilidad de diversas variedades de manzano a patógenos fúngicos, a menudo depende de las observaciones hechas por los productores y genetistas en los sitios experimentales; actualmente, durante la última década, ha habido pocos reportes nuevos de materiales con tolerantes a la cenicilla (Biggs *et al.*, 2009). En la comunidad de El Doctor, Mpio. de Cadereyta, Querétaro, la colección de manzanos, establecida desde el 2001, así como los huertos de nuevo establecimiento, ubicados en Amealco, representan una fuente invaluable para examinar, en ensayos replicados, híbridos, selecciones y variedades criollas bajo un amplio rango de condiciones edafoclimáticas, y determinar las limitaciones y atributos hortícolas positivos, incluyendo la susceptibilidad a enfermedades de dichos genotipos con potencial comercial.

La más baja incidencia del patógeno, considerando el promedio de los 13 genotipos con síntomas visibles de la enfermedad, se presentó el 11 de mayo ($\bar{X} = 11.9 \%$), en que la humedad relativa fue inferior a la de los otros muestreos (41.4 %) (Tabla 3.6), condición desfavorable para el desarrollo del patógeno.

Tabla 4.1. Porcentaje de incidencia de *P. leucotricha* en hojas de 13 genotipos de manzano evaluada en cuatro fechas y considerando éstas como repeticiones en el tiempo, bajo condiciones de inóculo natural en Cadereyta, Qro.

Genotipo	11 Mayo		7 Junio		4 Julio		10 Septiembre		%lp ± EE	
	%lp ± EE		%lp ± EE		%lp ± EE		%lp ± EE		En el tiempo	
'Rayada'	50 (±0)	a	70 (±4.1)	a	57.5 (±4.8)	a	60 (±5.8)	a	59.4 (±4.1)	a
'411'	32.5 (±7.5)	ab	35 (±5)	ab	47.5 (±2.5)	a	47.5 (±2.5)	a	40.6 (±4)	ab
'429'	7.5 (±2.5)	cd	12.5 (±4.8)	bc	15 (±6.4)	bc	15 (±5)	b	12.5 (±1.8)	bc
'SM6'	15 (±5)	bc	30 (±0)	b	0 (±0)	bc	0 (±0)	c	11.2 (±7.2)	c
'449'	10 (±0)	bcd	10 (±0)	bc	10 (±0)	bc	10 (±0)	b	10 (±0)	c
'438'	10 (±0)	bcd	10 (±0)	bc	7.5 (±2.5)	bc	10 (±0)	b	9.4 (±0.6)	c
'403'	5 (±2.9)	cd	5 (±2.9)	c	12.5 (±2.5)	b	12.5 (±2.5)	b	8.7 (±2.2)	c
'424'	5 (±2.9)	cd	15 (±11.9)	bc	15(±11.9)	bc	0 (±0)	c	8.7 (±3.7)	c
'SMA'	0 (±0)	d	7.5 (±2.5)	bc	12.5 (±2.5)	b	12.5 (±2.5)	b	8.1 (±2.9)	c
'418'	10 (±0)	bcd	10 (±0)	bc	10 (±0)	bc	0 (±0)	c	7.5 (±2.5)	c
'SMC'	2.5 (±2.5)	cd	7.5 (±2.5)	bc	10 (±0)	c	10 (±0)	b	7.5 (±1.8)	c
'SMB'	0 (±0)	d	7.5 (±2.5)	bc	10 (±0)	bc	10 (±0)	b	6.9 (±2.4)	c
'Golden D'	7.5 (±2.5)	cd	10 (±0)	bc	0 (±0)	c	0 (±0)	c	4.4 (±2.6)	c
Promedio	11.9		17.7		16.0		14.4		14.5	
Valor de "F"	11.0**		8.4**		12.1**		50.0**		8.4**	
DMS Tukey	19.1		22.3		19.8		11.2		20.2	

Medias seguidas de letras distintas denotan diferencias estadísticas (Tukey, 0.05). % lp= Porcentaje promedio de incidencia obtenido de 40 datos individuales (cuatro repeticiones con 10 hojas cada una). Datos transformados a grados angulares ($\arccos(\sqrt{\%/100})$) para su análisis y expresados en la tabla en términos de la variable original. EE= Error estándar. DMS = Diferencia mínima significativa. ** Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$).

4.1.1.2.2. Severidad y número de conidios

Si consideramos las fechas de muestreo como repeticiones en el tiempo, nuevamente '411' y 'Rayada' resultaron los más susceptibles al obtener los mayores valores de severidad (128.3 y 120.0 mm² en área de lesión, respectivamente), siendo iguales a '438', '403', 'SMA', 'SMB', 'Golden Delicious', 'SMC' y '429' (56.2, 42.7, 40.0, 33.8, 27.4, 20.6 y 16.5 mm², respectivamente), pero superiores al resto de las variedades, mientras que el mayor número de conidios por cm² de área foliar (nc/cm²) se obtuvo en '411' (563.3 x 10⁴ nc.cm⁻²) seguido de 'SMC' y '449' (113.1 y 109.4 x10⁴ nc/cm², respectivamente) (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Severidad (mm²) de *P. leucotricha* en hojas de 13 genotipos de manzano evaluada en cuatro periodos y considerando éstos como repeticiones en el tiempo y número de conidios/cm² bajo condiciones de inóculo natural en Cadereyta, Qro.

Genotipo	7 Junio		4 Julio		10 Septiembre		Sp ± EE		(1x10 ⁴)	
	Sp ± EE		Sp ± EE		Sp ± EE		En el tiempo		nc/cm ²	
'411'	40.5 (±6.4)	ab	143.8 (±53.1)	a	200.5 (±65.2)	a	128.3 (±40.5)	a	563.3	a
'Rayada'	49.3 (±2.2)	ab	106.6 (±42)	ab	204 (±80.1)	ab	120.0 (±39.1)	ab	19.2	bc
'438'	64.5 (± 25.5)	ab	53.9 (±15.3)	abc	50.2 (±14.4)	c	56.2 (±3.7)	abc	50.3	bc
'403'	39.7 (±23)	ab	30.9 (±39.7)	bcd	57.2 (±6.3)	bc	42.7 (±6.7)	abc	3.7	c
'SMA'	22.5 (±9.2)	ab	23.8 (±2.8)	bcdef	73.6 (±29)	abc	40.0 (±14.6)	abc	19.3	bc
'SMB'	28 (±12.9)	ab	31.9 (±8.6)	bcde	41.5 (±14.4)	cd	33.8 (±3.5)	abc	17	bc
'SMC'	28.3 (±12.1)	ab	16.8 (±2.8)	cdef	16.8 (±2.8)	cd	20.6 (±3.3)	abc	113.1	ab
'429'	34 (±12.8)	ab	6.4 (±3.1)	def	9.1 (±4.4)	cd	16.5 (±7.6)	abc	13.9	bc
'Golden D'	82.2 (±42.3)	a	0 (±0)	f	0 (±0)	d	27.4 (±3.7)	bc	0	d
'449'	11.6 (±4.4)	ab	2.1 (±0.4)	def	13.2 (±4.7)	d	9.0 (±3)	c	109.4	ab
'SM6'	48.8 (±14.2)	ab	0 (±0)	f	0 (±0)	d	16.3 (±14.1)	c	0	d
'418'	7.8 (±2.5)	ab	8.2 (±3)	cdef	0 (±0)	d	5.3 (±2.3)	c	0	d
'424'	0.7 (±0.5)	b	0.8 (±0.5)	ef	0 (±0)	d	0.5 (±0.2)	c	0	d
Promedio	35.3		33.4		51.2		39.7			
Valor de "F"	2.2*		13.1**		15.1**		4.5**		162.2**	
DMS Tukey	7.2		5.0		6.1		7.7		1.0	

Medias seguidas de letras distintas denotan diferencias estadísticas (Tukey, 0.05). Sp= Severidad promedio (mm²) obtenido de 40 datos individuales (cuatro repeticiones con 10 hojas cada una). Datos de severidad transformados a $\sqrt{x + 1}$ y datos de número de conidios transformados a $\log_{10}(x+1)$, para su análisis y expresados en la tabla en términos de la variable original. nc= Número de conidios/cm² de área foliar. EE = Error estándar. DMS= Diferencia mínima significativa. *, ** Diferencias significativas para una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente.

La severidad de las lesiones causadas por el patógeno se incrementó de 35.3 a 51.2 mm² entre junio y septiembre, lo cual probablemente se debió a que en junio la HR promedio fue de sólo 58.0 % y la precipitación de 5.1 mm, mientras en septiembre los valores respectivos fueron de 74.6 % y 96.3 mm (Tabla 3.6).

Entre los 20 genotipos que no mostraron daños visibles por cenicilla durante todo el periodo de evaluación se encuentra 'Delicious', considerada moderadamente resistente (Korban y Riemer, 1990), *Malus micromalus*, y las variedades prometedoras 'Lourdes' (de maduración tardía), '428' (roja temprana) y '436' (intermedia). Es poco probable que la ausencia de síntomas de cenicilla en este grupo sea de origen genético, pudiendo atribuirse a una deficiente inoculación natural de las plantas establecidas en el huerto. El nivel de inóculo puede ser insuficiente cuando los factores ecológicos son desfavorables para éste, por lo que

suele observarse poca incidencia del hongo (Moore y Janick, 1998). La temperatura media de los meses comprendidos en el periodo de evaluación fue de 14.5 °C, la humedad relativa de 61.7 % y la precipitación mensual promedio de sólo 49.7 mm (Tabla 3.6), mientras que este hongo desarrolla óptimamente cuando el verano es húmedo y templado y se ve limitado cuando la humedad relativa es menor a 70 % (Jones y Aldwinckle, 2002).

4.1.1.2.3. Correlación entre incidencia, severidad y número de conidios

Los coeficientes de correlación obtenidos entre las incidencias observadas en los distintos periodos (1er cuadrante) fueron superiores a 0.817**, lo cual muestra que la sensibilidad al patógeno de los genotipos es en general consistente a través del tiempo; en el caso de la severidad (4° cuadrante), también se obtuvieron correlaciones significativas, a excepción de las relacionadas con el muestreo del mes de junio, lo cual pudo deberse al ambiente seco que se presentó en ese mes (Tabla 4.3).

Tabla 4.3. Coeficientes de correlación y significancia de incidencia, severidad y número de conidios de *Podosphaera leucotricha* en hojas de manzanos establecidos en Cadereyta, Qro.

Variable	%lp mayo	%lp junio	%lp julio	%lp septiembre	%lp en el tiempo	Sp junio	Sp julio	Sp septiembre	Sp en el tiempo	(1x10 ⁴) nc/cm ²
%lp mayo	1.000									
%lp junio	0.956**	1.000								
%lp julio	0.871**	0.827**	1.000							
%lp septiembre	0.870**	0.817**	0.963**	1.000						
%lp en el tiempo	0.965**	0.940**	0.954**	0.950**	1.000					
Sp junio	0.328 ^{NS}	0.302 ^{NS}	0.097 ^{NS}	0.241 ^{NS}	0.248 ^{NS}	1.000				
Sp julio	0.777**	0.676**	0.877**	0.905**	0.856**	0.300 ^{NS}	1.000			
Sp septiembre	0.817**	0.755**	0.927**	0.959**	0.915**	0.260 ^{NS}	0.960**	1.000		
Sp en el tiempo	0.815**	0.738**	0.869**	0.925**	0.884**	0.454 ^{NS}	0.972**	0.973**	1.000	
(1x10 ⁴) nc/cm ²	0.415 ^{NS}	0.259 ^{NS}	0.541*	0.545*	0.467 ^{NS}	0.070 ^{NS}	0.726**	0.606**	0.625*	1.000

Porcentaje promedio de incidencia (%lp) y Severidad promedio (Sp) de cenicilla en hojas de manzanos establecidos en condiciones de campo, municipio de Cadereyta. El análisis se realizó exclusivamente con los 13 genotipos que mostraron desarrollo visible del hongo. nc/cm²= Número de conidios por centímetro cuadrado de área foliar. *, ** Correlación significativa para una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente. NS = No significativo.

Asimismo, a excepción de los datos de severidad tomados en junio, se obtuvieron valores de $r \geq 0.676^{**}$ entre las incidencias y las severidades del hongo (3er cuadrante), que indica una correspondencia entre las dos variables evaluadas, lo cual coincide con un estudio llevado a cabo por Sholberg *et al.* (2001) durante dos años sucesivos con diversas variedades de manzanos, injertadas sobre 'Jonagold'.

Finalmente, las correlaciones de nc/cm^2 con la incidencia (5° cuadrante) y la severidad (6° cuadrante) del patógeno resultaron significativas para las evaluaciones de julio y septiembre, siendo este último mes en que se realizó el recuento de conidios. Sholberg *et al.* (2001) mencionan que genotipos de manzanos con una elevada severidad por cenicilla, muestran un alto número de conidios por cm^2 de área foliar. Asimismo, Dewdney *et al.* (2003) señalan que la concentración de conidios de *Venturia inaequalis* se encuentra correlacionada con la susceptibilidad de manzanos a este patógeno.

4.1.1.3. Evaluación en Amealco

4.1.1.3.1. Incidencia

De los 13 genotipos evaluados en condiciones de campo en el municipio de Amealco, nueve mostraron daños en las hojas por cenicilla, manifestando diferencias en los porcentajes de incidencia del patógeno en cada una de las tres fechas de evaluación, así como cuando éstas se consideraron repeticiones en el tiempo. En la Tabla 4.4 se consignan sólo aquellos materiales que presentaron daños visibles por el hongo. 'Rayada' y '428' ('Anna' x 'Gala') obtuvieron los mayores valores de incidencia (18.3 y 17.3 %, respectivamente), seguidos de 'Joya', 'Royal Gala', '429-b', '424', 'Aguanueva' y '429-a'. El resto de los genotipos, que incluyen a 'Golden Delicious' y 'Delicious' presentaron porcentajes de incidencia menores a 4.2 % (Tabla 4.4). El comportamiento de 'Rayada' obtenido en Amealco, coincide sensiblemente con los resultados de "El Suspiro". Sin embargo con los demás genotipos que coinciden con el estudio en "El suspiro", se tiene una correlación no significativa (0.525^{NS}), lo que puede deberse a la

diferencia en la concentración del inoculo en ambos sitios, o también a la variación de las condiciones ambientales en casa sitio.

Tabla 4.4. Porcentaje de incidencia de *P. leucotricha* en hojas de nueve genotipos de manzano evaluada en tres fechas y considerando éstas como repeticiones en el tiempo, bajo condiciones de inóculo natural en huertos de Amealco, Gro.

Genotipo	7 Agosto		14 Septiembre		26 Octubre		%Ip ± EE en el tiempo	
	%Ip ± EE		%Ip ± EE		%Ip ± EE			
'Rayada'	13.1 (±2.1)	ab	20.2 (±1.3)	a	21.7 (±2.2)	a	18.3 (±2.7)	a
'428'	15.7 (±1.9)	a	17.8 (±2.8)	ab	18.4 (±2.8)	a	17.3 (±0.8)	a
'Joya'	10.6 (±3.2)	abc	13.6 (±3.8)	ab	15.1 (±4.1)	ab	13.1 (±1.3)	ab
'Royal Gala'	10.0 (±1.4)	abc	12.5 (±1.3)	ab	14.5 (±1.3)	ab	12.3 (±1.3)	ab
'429-a'	5.4 (±0.8)	abc	14.8 (±3.9)	ab	18.0 (±2.5)	a	12.8 (±3.8)	ab
'429-b'	7.4 (±1.6)	abc	11.7 (±2.7)	ab	15.4 (±3.6)	ab	11.5 (±2.3)	ab
'424'	1.4 (±0.6)	c	11.2 (±0.8)	ab	12.5 (±0.8)	ab	8.4 (±3.5)	bc
'Aguanueva'	5.5 (±3.2)	bc	8.0 (±4.9)	ab	8.5 (±5.5)	b	7.3 (±0.9)	bc
'Golden Delicious'	2.0 (±0.8)	c	4.5 (±1.5)	b	6.0 (±2.5)	b	4.2 (±1.2)	c
Promedio	7.9		12.7		14.5		11.7	
Valor de "F"	3.5*		5.3*		7.4**		21.2**	
DMS Tukey	12.6		15.4		11.3		10.1	
C.V. (%)	35.92		33.0		32.8		28.5	

Medias seguidas de letras distintas denotan diferencias estadísticas (Tukey, 0.05). % Ip= Porcentaje promedio de incidencia obtenido de cuatro u 11 repeticiones con 10 hojas cada una. Datos transformados a grados angulares (arco seno $\sqrt{\%/100}$) para su análisis y expresados en la tabla en términos de la variable original. EE= Error estándar. NS= No significativo. DMS = Diferencia mínima significativa. ** Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$).

La más baja incidencia del patógeno, considerando el promedio de los nueve genotipos con síntomas visibles de la enfermedad, se presentó el 7 de agosto ($\bar{X} = 7.9 \%$) mes en que la humedad relativa fue inferior a 70 % (56.3 %) condición desfavorable para el desarrollo del patógeno (Ellis, 2008) (Tabla 3.6). Los resultados aquí obtenidos coinciden sensiblemente con lo observado en Cadereyta en donde la menor incidencia también se presenta en un mes seco y con una HR baja (58.0 %).

4.1.1.3.2. Severidad y número de conidios

Si consideramos las fechas de muestreo como repeticiones en el tiempo, 'Royal Gala' resultó el más susceptible al obtener el mayor valor de severidad (464 mm² en área de lesión), siendo igual a 'Joya', '429-a', '428' y '424' (239.5, 131.7, 120.8 y 82.6 mm²) pero superior al resto de los genotipos, mientras que el mayor número de conidios por cm² de área foliar se obtuvo en 'Rayada' (6643.3 x 10⁴ nc.cm⁻²) (Tabla 4.5). El número de conidios es 11 veces mayor en la evaluación en Amealco que en "El Suspiro", lo que podría atribuirse a una mayor presión del inoculó procedente de los arboles adultos en Amealco, sin embargo encontramos una similitud, al ser este el genotipo con mayor número de conidios en ambos sitios.

Tabla 4.5. Severidad (mm²) de *P. leucotricha* en hojas de nueve genotipos de manzano, evaluada en tres periodos y considerando éstos como repeticiones en el tiempo y número de conidios/cm² bajo condiciones de inóculo natural en huertos de Amealco, Qro.

Genotipo	7 Agosto Sp ± EE		14 Septiembre Sp ± EE		26 Octubre Sp ± EE		Sp ± EE en el tiempo		(1x10 ⁴) nc.cm ⁻²	
'Royal Gala'	19.8 (±2.6)	bc	655.7 (±228.6)	a	716.4 (±206.5)	a	464.0 (±222.8)	a	663.6	ab
'Joya'	85.7 (±17.3)	a	289.3 (±55.5)	ab	343.4 (±27.7)	ab	239.5 (±78.5)	ab	180.7	ab
'429-a'	39.2 (±9.1)	b	46.7 (±14.1)	c	309.1 (±83.4)	abc	131.7 (±88.8)	ab	5287.6	a
'428'	23.4 (±1.8)	bc	147.0 (±10.5)	bc	192.3 (±37.3)	bcd	120.8 (±50.4)	ab	889.2	ab
'424'	20.2 (±2.8)	bc	25.0 (±8.5)	c	202.6 (±38.7)	bcd	82.6 (±60.0)	ab	1213.0	ab
'Aguanueva'	12.7 (±7.4)	c	23.9 (±14.1)	c	125.0 (±82.1)	bcd	53.9 (±35.7)	b	1656.2	ab
'Rayada'	30.0 (±3.0)	bc	42.4 (±8.0)	c	50.2 (±10.6)	cd	40.8 (±6.0)	b	6643.3	a
'429-b'	27.1 (±2.4)	bc	26.3 (±7.0)	c	44.2 (±8.4)	cd	32.5 (±5.8)	b	1590.0	ab
'Golden Delicious'	8.5 (±2.9)	c	15.6 (±7.3)	c	18.5 (±6.7)	d	14.2 (±3.0)	b	988.8	ab
Promedio	29.6		141.3		222.4		131.1		2123.6	
Valor de "F"	1.9 ^{NS}		3.1*		4.7*		8.4**		2.7**	
DMS Tukey	3.1		9.4		11.0		10.1		7.5	
C.V. (%)	24.9		42.4		36.0		35.7		26.8	

Medias seguidas de letras distintas denotan diferencias estadísticas (Tukey, 0.05). Sp= Severidad promedio (mm²) obtenido de cuatro a once repeticiones con 10 hojas cada una. Datos de severidad transformados a $\sqrt{x+1}$ y datos de número de conidios transformados a $\log_{10}(x+1)$, para su análisis y expresados en la tabla en términos de la variable original. nc= Número de conidios por cm² de área foliar. EE = Error estándar. DMS= Diferencia mínima significativa. *, ** Diferencias significativas para una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente, NS= No significativa.

La severidad causada por el patógeno fue claramente afectada por las condiciones climáticas, aumentando de 29.6 a 222.4 mm² entre agosto y octubre. En condiciones de Cadereyta, lugar donde hubo HR favorable para la enfermedad, la severidad registrada en el periodo de evaluación no fue superior a la observada en las condiciones de baja humedad y mayor número de días con lluvia registrado en Amealco, por lo que la intensidad de la infección, en este último sitio experimental, fue posiblemente determinada principalmente por la concentración de conidios (número de conidios por unidad de área foliar), que a su vez es dependiente de la cantidad de conidios en el aire y de la velocidad del viento (Xu *et al.*, 1995), probablemente superior a la dosis de conidios presente en Cadereyta en 2012.

Entre los cuatro genotipos que no mostraron daños visibles por oídio durante todo el periodo de evaluación se encuentra 'Delicious', considerada moderadamente resistente de acuerdo a las observaciones anteriores, *Malus micromalus*, y las variedades prometedoras '467' (temprana) y '436' (intermedia) los cuales tampoco mostraron daño por oídio en Cadereyta. Es posible que la ausencia de síntomas visibles de oídio en este grupo tenga un origen genético, ya que en los genotipos en que se estableció el hongo se observó un daño más severo y mayor número de conidios por cm² de área foliar bajo los factores ecológicos de esta región, en comparación a las evaluaciones realizadas en el huerto "El Suspiro". Esto podría deberse a la fuerte presencia de cenicilla en los árboles adultos cercanos a los genotipos en estudio.

4.1.1.3.3. Correlación entre incidencia, severidad y número de conidios en Amealco

a) Entre las incidencias y severidades

Los coeficientes de correlación obtenidos entre las incidencias observadas en los distintos periodos (1er cuadrante) fueron superiores a 0.722**, lo cual muestra que la sensibilidad al patógeno de los genotipos es en general consistente a través del tiempo; en el caso de la severidad (4° cuadrante), también se obtuvieron correlaciones significativas (entre 0.919** y 0.979**), a excepción de

las relacionadas con el muestreo del mes de agosto, lo cual pudo deberse a la abundante precipitación ocurrida en este mes (83.1 mm), factor que limita la incidencia de cenicilla (Tabla 4.6).

Tabla 4.6. Coeficientes de correlación y significancia estadística de incidencia, severidad y número de conidios de *Podospaera leucotricha* en hojas de manzanos establecidos en campo en el municipio Amealco

Variable	%lp agosto	%lp septiembre	%lp octubre	%lp en el tiempo	Sp agosto	Sp septiembre	Sp octubre	Sp en el tiempo	(1x10 ⁴) nc.cm ²
%lp agosto	1.000								
%lp septiembre	0.789*	1.000		1				2	
%lp octubre	0.722*	0.976*	1.000						
%lp en el tiempo	0.887*	0.980*	0.957*	1.000					
Sp agosto	0.323 ^{NS}	0.360 ^{NS}	0.382 ^{NS}	0.379 ^{NS}	1.000				
Sp septiembre	0.373 ^{NS}	0.123 ^{NS}	0.116 ^{NS}	0.215 ^{NS}	0.213 ^{NS}	1.000			
Sp octubre	0.197 ^{NS}	0.131 ^{NS}	0.142 ^{NS}	0.166 ^{NS}	0.237 ^{NS}	0.919**	1.000	4	
Sp en el tiempo	0.303 ^{NS}	0.147 ^{NS}	0.150 ^{NS}	0.211 ^{NS}	0.280 ^{NS}	0.977**	0.979**	1.000	
(1x10 ⁴) nc.cm ²	0.133 ^{NS}	0.541 ^{NS}	0.582 ^{NS}	0.446 ^{NS}	-0.032 ^{NS}	-0.373 ^{NS}	-0.263 ^{NS}	-0.322 ^{NS}	1.000

Porcentaje promedio de incidencia (%lp) y Severidad promedio (Sp) de cenicilla en hojas de manzanos establecidos en condiciones de campo, municipio Amealco. El análisis se realizó con los nueve genotipos que mostraron desarrollo visible del hongo. nc.cm⁻²= Número de conidios por centímetro cuadrado de área foliar. *, ** Correlación significativa para una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente. NS = No significativo.

b) Incidencia vs. severidad

A diferencia de lo ocurrido en el huerto “El Suspiro”, se obtuvieron coeficientes de correlación no significativos ($r \leq 0.379^{\text{NS}}$) o menores entre las incidencias y las severidades del hongo (3er cuadrante), lo que indica una falta de correspondencia entre las dos variables evaluadas. Esta falta de concordancia podría deberse a la forma irregular de la lesión de cenicilla, tal como lo mencionan Seem y Gilpatrick (1980) quienes evaluaron la sensibilidad a cenicilla en ‘McIntosh’, ‘Idared’ y ‘Cortland’, durante diferentes años, observando una clara correspondencia entre las incidencias pero no de las severidades con las incidencias. Esta situación también ocurre para *Venturia inaequalis* y

Gymnosporangium juniperivirginianae. Por otro lado Blažek (2004) menciona que las plantas de menos de dos años de edad, por lo general muestran una excesiva severidad de cenicilla, debido a un proceso de adaptación metabólico y fisiológico, por lo que es conveniente realizar las evaluaciones en plantas de mayor edad.

Asimismo, las correlaciones de nc.cm^{-2} con la incidencia (5° cuadrante) y la severidad (6° cuadrante) del patógeno resultaron no significativas en todos los tiempos, con valores menores a 0.582^{NS} y -0.032^{NS} respectivamente.

4.1.1.4. Bioensayo en invernadero

4.1.1.4.1. Incidencia

Se observan diferencias en el porcentaje de incidencia por cenicilla ($p \leq 0.001$) entre los genotipos considerados (Tabla 4.7), destacando '424' y '428' (ambos de maduración temprana), con los mayores valores (32.6 y 27.5 %), siendo estadísticamente iguales a un grupo de cinco genotipos también de maduración temprana y que incluye a 'Royal Gala', 'Joya', 'Rayada' y 'Agua Nueva' (mutante de 'Golden Delicious'). Sholberg *et al.* (2001) reportan a 'Royal Gala' como muy susceptible a cenicilla en estudios realizados en dos sitios durante cuatro años. En el caso de 'Rayada', que manifiesta ventajas agronómicas y de calidad, la recomendación de su establecimiento en la región, deberá ir acompañada de un programa de control químico, dada la sensibilidad en campo e invernadero al hongo que muestra en este estudio. Por otro lado, 'Golden Delicious' y 'Delicious' muestran niveles de incidencia comparables, lo que contrasta con lo reportado por Janick *et al.* (1996) y Biggs *et al.* (2009). Finalmente, '436' y 'Lourdes' (de maduración intermedia y tardía, respectivamente), no manifestaron daño alguno por el patógeno, como tampoco lo hicieron en campo. La temperatura y la humedad relativa al interior del invernadero, durante el tiempo del experimento, fluctuaron entre 17 y 25 °C y entre 30 y 69 %, respectivamente.

Tabla 4.7. Porcentaje de incidencia de *Podosphaera leucotricha* en hojas de 14 genotipos de manzanos evaluada en dos periodos y considerando éstos como repeticiones en el tiempo bajo condiciones de inóculo artificial en invernadero

Genotipo	13 Agosto		9 Octubre		%Ip ± EE	
	%Ip ± EE		%Ip ± EE		En el tiempo	
'424'	33.7 (± 11.8)	a	31.4 (± 13.2)	a	32.6 (± 1.2)	a
'428'	25.0 (± 15)	ab	30.0 (± 20)	a	27.5 (± 2.5)	ab
'Royal Gala'	32.5 (± 11.1)	ab	18.6 (±8.4)	a	25.5 (± 7)	abc
'Joya'	23.3 (± 14.1)	ab	23.3 (± 14.1)	a	23.3 (±0)	abc
'Rayada'	20.0 (± 5.5)	ab	22.0 (± 5.8)	a	21.0 (±1)	abc
'429'	3.3 (± 3.3)	ab	26.7 (± 26.7)	a	15.0 (± 11.7)	abcd
'Anna'	5.0 (± 5)	ab	13.3 (± 6.1)	a	9.2 (±4.2)	abcd
'Agua Nueva'	8.6 (± 7)	ab	8.6 (± 7.4)	a	8.6 (±0)	abcd
'Golden D'	6.7 (± 4.9)	ab	1.7 (± 1.7)	a	4.2 (±2.5)	bcd
'Delicious'	2.8 (± 2.8)	b	4.3 (± 3)	a	3.6 (± 0.7)	bcd
'Rosada'	3.3 (± 3.3)	ab	3.3 (± 3.3)	a	3.3 (± 0)	cd
'468'	0 (± 0)	b	3.3 (± 3.3)	a	1.7 (± 1.7)	d
'436'	0 (± 0)	b	0 (± 0)	a	0 (± 0)	d
'Lourdes'	0 (± 0)	b	0 (± 0)	a	0 (± 0)	d
Promedio	11.7		13.3		12.5	
Valor de "F"	3.3 **		1.8 ^{NS}		10 **	
DMS Tukey	38.2		43.1		20.9	

Medias seguidas de letras distintas denotan diferencias estadísticas (Tukey, 0.05). %Ip= Porcentaje promedio de incidencia, obtenido de 30 datos individuales (tres repeticiones con 10 hojas cada una). Datos transformados a grados angulares (arco seno $\sqrt{\%I/100}$) para su análisis y expresados en la tabla en términos de la variable original. EE= Error estándar. DMS= Diferencia mínima significativa. ** Diferencias significativas para una $P \leq 0.01$. NS= no significativo a $P \leq 0.05$.

4.1.1.4.2. Severidad y número de conidios

Si consideramos las fechas de muestreo como repeticiones en el tiempo (4ª columna), la mayor severidad promedio se presentó en '428' (229.5 mm²), no siendo distinto a 'Royal Gala', '424' y 'Joya' (168.6, 86.6 y 58.9 mm², respectivamente), pero superior al resto de las variedades, mientras que el mayor número de conidios por cm² de área foliar (nc/cm²) en las hojas se obtuvo en '424' (557.5 x 10⁴ nc/cm²), seguido de 'Anna' y '428' (334.4 y 153.1 x 10⁴ nc/cm², respectivamente). En el otro extremo nuevamente se encuentran '436' y 'Lourdes'

sin presencia de daño. El número total de conidios por hoja (nc/hoja) es también inferior en estos dos últimos genotipos (Tabla 4.8).

Tabla 4.8. Severidad (mm²) de *P. leucotricha* en hojas de 14 genotipos de manzano, evaluada en dos periodos y considerando éstos como repeticiones en el tiempo, número de conidios/cm² y número de conidios/hoja, bajo condiciones de inóculo artificial en invernadero

Genotipo	13 Agosto		9 Octubre		Sp ± EE		(1x10 ⁴)		(1x10 ⁴)	
	Sp ± EE		Sp ± EE		En el tiempo		nc/cm ²		nc/Hoja	
'428'	180.3 (±84.2)	a	278.8 (± 211.2)	a	229.5 (± 49.2)	a	153.1	a	715.5	a
'Royal Gala'	240.0 (± 117.5)	a	97.2 (± 36.9)	ab	168.6 (± 71.4)	ab	48.8	abc	117.2	a
'424'	71.1 (± 37.6)	ab	102 (± 48.1)	ab	86.6 (± 15.5)	abc	557.5	a	517.5	a
'Joya'	52.5 (± 28)	ab	65.4 (± 32)	ab	58.9 (± 6.5)	abcd	10	abc	69.4	a
'Rayada'	28.8 (± 13.5)	ab	55.7 (±18.9)	ab	42.3 (± 13.4)	bcd	16.2	abc	75.0	a
'Anna'	8.1 (± 8.12)	b	58.9 (± 35.9)	ab	33.5 (± 25.4)	bcd	334.4	a	221.9	a
'Agua Nueva'	34.1 (± 31.6)	b	26 (± 23.5)	ab	30.1 ± (4)	bcd	7.0	c	21.3	a
'Golden D'	24.0 (± 15.7)	b	12.7 (± 12.7)	b	18.4 (± 5.7)	cd	5.9	abc	275.0	a
'468'	0 (± 0)	b	24.8 (± 24.8)	ab	12.4 (± 12.4)	cd	143.2	ab	169.8	a
'Rosada'	1.1(± 1.1)	b	18.8 (± 18.8)	ab	10 (± 8.8)	cd	0.4	c	25.0	a
'429'	3.5 (± 3.5)	b	12.0 (± 12)	b	7.8 (± 4.3)	cd	24.7	abc	25.0	a
'Delicious'	1.8 (± 1.8)	b	5.1 (± 4.1)	b	3.5 (± 1.6)	cd	2.3	bc	37.5	ab
'436'	0 (± 0)	b	0 (± 0)	b	0 (± 0)	d	0	d	0	b
'Lourdes'	0 (± 0)	b	0 (± 0)	b	0 (± 0)	d	0	d	0	b
Promedio	16.1		54.1		50.1		93.1		162.2	
Valor de "F"	4.2 **		2.2 *		9.9 **		46.3**		8.4	
DMS Tukey	9.4		11.4		7.6		5.2		4.0	

Medias seguidas de letras distintas denotan diferencias estadísticas (Tukey, 0.05). Sp= Severidad promedio (mm²) obtenido de 30 datos individuales (tres repeticiones con 10 hojas cada una). Datos de severidad transformados a $\sqrt{x+1}$ y datos de número de conidios transformados a $\log_{10}(x+1)$, para su análisis y expresados en la tabla en términos de la variable original. nc= Número de conidios. EE= Error estándar. C.V.= Coeficiente de variación. DMS= Diferencia mínima significativa. *, ** Diferencias significativas para una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente.

Las diferencias en la susceptibilidad a cenicilla pueden considerarse de origen genético, lo que a su vez puede estar relacionado con la capacidad de síntesis de metabolitos de resistencia (Hernández *et al.*, 2002), ya que todos los materiales evaluados se encontraban en las mismas condiciones ambientales y bajo una fuerte presión del inóculo al interior del invernadero, por lo que podríamos clasificarlos de la siguiente manera: a) Los resistentes (sin síntomas visibles del hongo), 'Lourdes' y '436', que podrían ser recomendados para su cultivo en climas favorables para el desarrollo del patógeno, y/o donde se practica el control fitosanitario de manera incipiente ya que, además poseen características agronómicas y de calidad interesantes. El primero es de maduración tardía, su

fruto es atractivo y presenta un buen potencial de almacenamiento, mientras que el segundo produce un fruto rojo de buen tamaño y tiene un buen rendimiento (Mendoza y Martínez, 2008); b) Los poco susceptibles (crecimiento moderado del hongo, 3.5 a 40 mm² de lesión), 'Delicious', '429', 'Rosada', '468', 'Golden Delicious', 'Agua Nueva' y 'Anna'. Korban y Riemer (1990) consideran a 'Delicious' y a 'Golden Delicious' como moderadamente resistente y susceptible a cenicilla, respectivamente; c) Los moderadamente susceptibles (crecimiento importante de cenicilla, 41 a 80 mm²), 'Joya' y 'Rayada'; d) Los materiales más susceptibles (colonización masiva que puede cubrir el área foliar, ≥ 81 mm²), '424', 'Royal Gala' y '428', los cuales podrían ser utilizados como fuente de inóculo en evaluaciones de la sensibilidad a cenicilla de nuevos materiales genéticos, ya sea a nivel de invernadero o *in vitro*, pero las recomendaciones para el establecimiento de éstos en la región deberá tomar en cuenta la implementación de programas fitosanitarios, debido a su susceptibilidad a cenicilla.

4.1.1.4.3. Correlación entre incidencia, severidad y número de conidios

a) Entre incidencias y entre severidades

Todos los coeficientes de correlación entre las incidencias (1er cuadrante) y las severidades del hongo (4° cuadrante) en las dos fechas consideradas resultaron altamente significativos ($r \geq 0.751^{**}$), lo que confirma que la expresión de la sensibilidad de los genotipos al patógeno en invernadero es consistente a través del tiempo.

b) Incidencias vs. Severidades

Asimismo, los coeficientes de correlación entre las incidencias y las severidades del hongo (3er cuadrante) resultaron significativos en la mayoría de los casos, a excepción de la incidencia registrada en octubre vs. la severidad de agosto en donde fue de 0.525^{NS} (Tabla 4.9).

Tabla 4.9. Coeficientes de correlación y significancia de incidencia, severidad y número de conidios de *Podospaera leucotricha* en hojas de manzanos establecidos en invernadero

Variables	%lp agosto	%lp octubre	%lp en el tiempo	Sp agosto	Sp octubre	Sp en el tiempo	(1x10 ⁴) nc/cm ²	(1x10 ⁴) nc/hoja
%lp agosto	1.000							
%lp octubre	0.778**	1.000						
%lp en el tiempo	0.946**	0.939**	1.000					
Sp agosto	0.791**	0.525 ^{NS}	0.702**	1.000				
Sp octubre	0.680**	0.679*	0.721**	0.751**	1.000			
Sp en el tiempo	0.787**	0.643*	0.760**	0.936**	0.935**	1.000		
(1x10 ⁴) nc/cm ²	0.270 ^{NS}	0.392 ^{NS}	0.349 ^{NS}	0.149 ^{NS}	0.433 ^{NS}	0.310 ^{NS}	1.000	
(1x10 ⁴) nc/hoja	0.551*	0.554*	0.586*	0.509*	0.847**	0.724**	0.625*	1.000

Porcentaje promedio de incidencia (%lp) y Severidad promedio (Sp) de cenicilla en hojas de manzanos establecidos en condiciones de invernadero. El análisis se realizó con los 14 genotipos evaluados. nc/cm²= Número de conidios por centímetro cuadrado de área foliar. *, ** Correlación significativa a $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente. NS = No significativo.

c) Número de conidios vs. Incidencia o severidad

Por el contrario, a diferencia de lo ocurrido en Cadereyta, pero de manera similar al efecto en Amealco, no se observa una correlación significativa del nc/cm² con la incidencia o la severidad en ninguno de los tiempos, sin embargo, el nc/hoja se correlaciona con ambas variables en todos los tiempos (cuadrantes 5 y 6). El nc/cm² ha sido usado para estimar la susceptibilidad a cenicilla en cereza, vid (Sholberg y Boulé, 2009) y manzana (Sholberg *et al.*, 2001) y a roña en manzana (Dewdney *et al.*, 2003). Esta variable se ve afectada por el tamaño de la hoja, mientras que nc/hoja considera la totalidad de los conidios producidos, sin tomar en cuenta el área foliar.

4.1.1.5. Correlación de la susceptibilidad a cenicilla entre sitios

a) “El Suspiro” vs. invernadero

No se observan correlaciones significativas entre la susceptibilidad a cenicilla de los genotipos obtenida bajo condiciones de campo con la de invernadero bajo ninguna de las tres variables consideradas (Tabla 4.10), lo que coincide con Jeger *et al.* (1986), quienes encontraron que la severidad de este hongo varió en ‘Discovery’, ‘Bramley’s Seedling’ y ‘Suntan’ siendo mayor en invernadero que en campo. Sholberg *et al.* (2001) señalan que el rango de susceptibilidad de materiales genéticos suele cambiar por factores abióticos particulares del sitio experimental y del año en que éstos se encuentran expuestos. Otros autores, como Moore y Janick (1998), Jones y Aldwinckle (2002) y Biggs *et al.* (2009) también reportan una ausencia de correspondencia del comportamiento de los genotipos ante cenicilla cuando éstos son expuestos a distintas condiciones ecológicas.

Tabla 4.10. Coeficientes de correlación y significancia de incidencia, severidad y número de conidios de *Podosphaera leucotricha* en hojas de manzanos establecidos en el campo en Cadereyta, Qro. vs. Invernadero

Variable	%Ip en el tiempo invernadero	Sp en el tiempo invernadero	(1x10 ⁴) nc/cm ² invernadero
%Ip en el tiempo Cadereyta	0.372 ^{NS}	-0.013 ^{NS}	-0.133 ^{NS}
Sp en el tiempo Cadereyta	0.243 ^{NS}	-0.066 ^{NS}	-0.282 ^{NS}
(1x10 ⁴) nc/cm ² Cadereyta	0.298 ^{NS}	-0.124 ^{NS}	-0.279 ^{NS}

Porcentaje promedio de incidencia (%Ip) y Severidad promedio (Sp) de cenicilla en hojas de manzanos establecidos en condiciones de campo, municipio de Cadereyta, Qro. e invernadero. El análisis se realizó exclusivamente con los nueve genotipos que se evaluaron en ambas condiciones. nc= Número de conidios. *, ** Correlación significativa a una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente. NS = No significativo.

El mayor coeficiente de correlación se obtiene entre la incidencia promedio en el municipio de Cadereyta y en el invernadero ($r = 0.372^{NS}$). El análisis de regresión correspondiente se observa en la Figura 4.2, donde ‘Lourdes’, ‘436’, ‘468’, ‘Delicious’ y ‘Golden Delicious’ se mostraron más o menos tolerantes al patógeno en ambos ambientes; el caso opuesto lo ilustra ‘Rayada’,

susceptible en ambos casos. Sin embargo, '428' y '424' y, en menor medida '429-b', manifestaron poca o nula presencia del patógeno en el campo, contrastando con el comportamiento que exhiben en invernadero, lo que explica la ausencia de correlación.

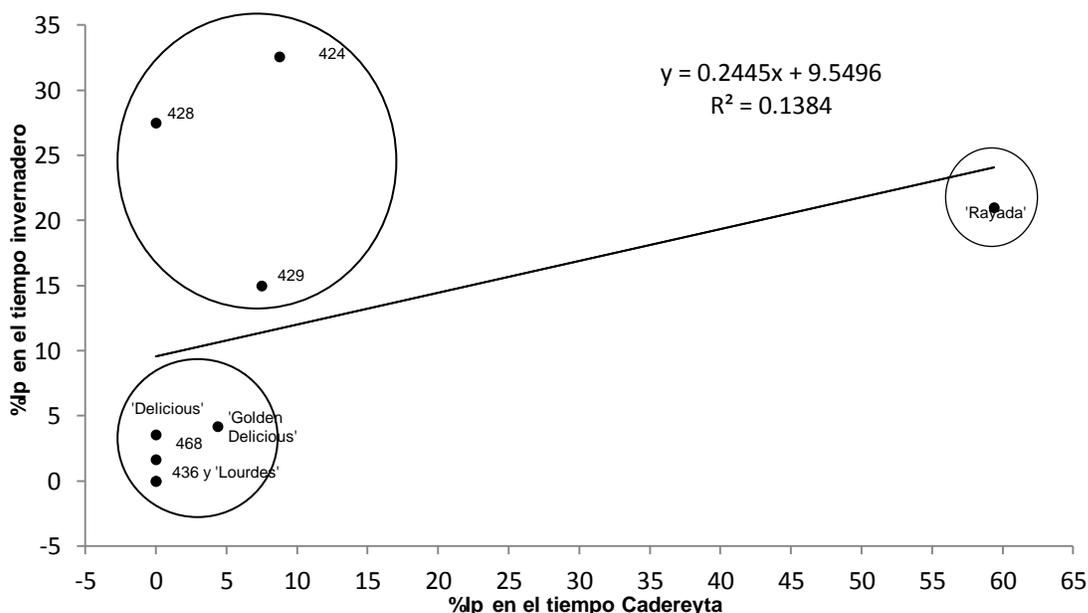


Figura 4.2. Regresión lineal de la incidencia de cenicilla en manzanos de Cadereyta e invernadero

b) Amealco e invernadero

En este caso, el análisis de correlación se llevó a cabo con 11 genotipos comunes en ambos sitios. Las correlaciones entre la susceptibilidad a oídio de los genotipos obtenidas bajo condiciones de Amealco y de invernadero resultaron significativas tanto en porcentajes de incidencia (0.807**), como en severidad (0.645*). Por otro lado también al comparar la incidencia vs. la severidad ambos en el tiempo (0.630*); lo que nos indica que Amealco presentó las condiciones favorables para el desarrollo del hongo (Tabla 4.11).

Esta respuesta, contrasta con lo obtenido en el inciso anterior (ensayo en "El Suspiro" vs. Invernadero). El mayor coeficiente de correlación se obtiene entre la incidencia en Amealco y en el invernadero ($r = 0.807^{**}$). Hay que recordar que

una las principales diferencias entre los árboles de “El Suspiro” y los de Amealco es la edad, y respecto a ello Blažek (2004) señala que la susceptibilidad de materiales genéticos de menos de dos años de edad suele ser extrema, debido a que se trata de plantas jóvenes fisiológicamente, por lo que en el primer año de evaluación, la susceptibilidad a oídio en invernadero suele corresponder con las observaciones en campo. El análisis de regresión correspondiente se observa en la Figura 4.3, donde nuevamente los genotipos prometedores ‘436’ y ‘467’, así como ‘Delicious’ se mostraron más o menos tolerantes al patógeno en ambos ambientes; el caso opuesto lo muestra ‘424’, ‘Royal Gala’, ‘Joya’, ‘428’ y ‘Rayada’, siendo susceptibles en ambos casos. Sin embargo, ‘Golden Delicious’ y ‘Aguanueva’ y, en menor medida ‘429-b’, manifestaron poca presencia del patógeno en Amealco, coincidiendo con el comportamiento que exhiben en invernadero, lo que explica la significancia en la correlación. Finalmente ese ensayo corrobora que Amealco (campo) presentó condiciones más favorables para el desarrollo del hongo y por lo tanto una correlación alta con el ambiente bajo inóculo elevado (invernadero), los que indican que los resultados obtenidos en Amealco son más representativos.

Tabla 4.11. Coeficientes de correlación y significancia de incidencia, severidad y número de conidios de *Podosphaera leucotricha* en hojas de manzanos establecidos en Amealco vs. Invernadero

Variable	%Ip en el tiempo Invernadero	Sp en el tiempo Invernadero	(1x10 ⁴) nc.cm ⁻² Invernadero
%Ip en el tiempo Amealco	0.807**	0.630*	0.101 ^{NS}
Sp en el tiempo Amealco	0.590 ^{NS}	0.645*	0.024 ^{NS}
(1x10 ⁴) nc.cm ⁻² Amealco	0.280 ^{NS}	-0.024 ^{NS}	-0.120 ^{NS}

Porcentaje promedio de incidencia (%Ip) y Severidad promedio (Sp) de cenicilla en hojas de manzanos establecidos en condiciones de campo, municipio de Amealco, Qro. e invernadero. El análisis se realizó exclusivamente con los nueve genotipos que se evaluaron en ambas condiciones. nc= Número de conidios. *, ** Correlación significativa a una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente. NS = No significativo.

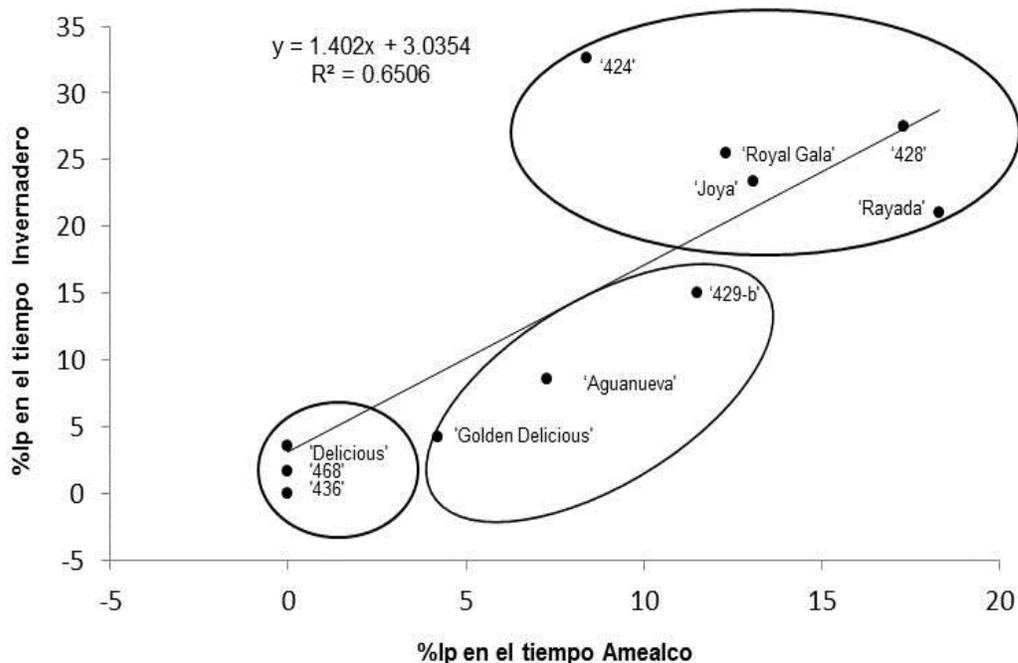


Figura 4.3. Regresión lineal de la incidencia de oídio en manzanos de Amealco e invernadero

4.1.1.6. Evaluación de la resistencia a cenicilla en el laboratorio

4.1.1.6.1. Establecimiento de las condiciones *in vitro* con hojas desprendidas

Durante las primeras evaluaciones con las hojas sanitizadas de manzano desprendidas y en incubación, se observó desarrollo de la micobiota nativa, siendo *Alternaria* sp. y *Phytium* sp. (c) los más comunes encontrados, obsérvese hoja de 'Joya' sobre agar suplementado con desarrollo de hongos (a), hoja de '424' con presencia de necrosis y desarrollo de hongos (b), crecimiento de micobiota nativa, de las hojas sanitizadas, sobre medio de cultivo en caja Petri (d) (Figura. 4.4), lo que disminuyó en algunos tratamientos de sanitización, el tiempo de conservación de las hojas. Los resultados que se obtuvieron para los diferentes métodos de cultivo *in vitro*, se describen a continuación (Tabla 4.12).

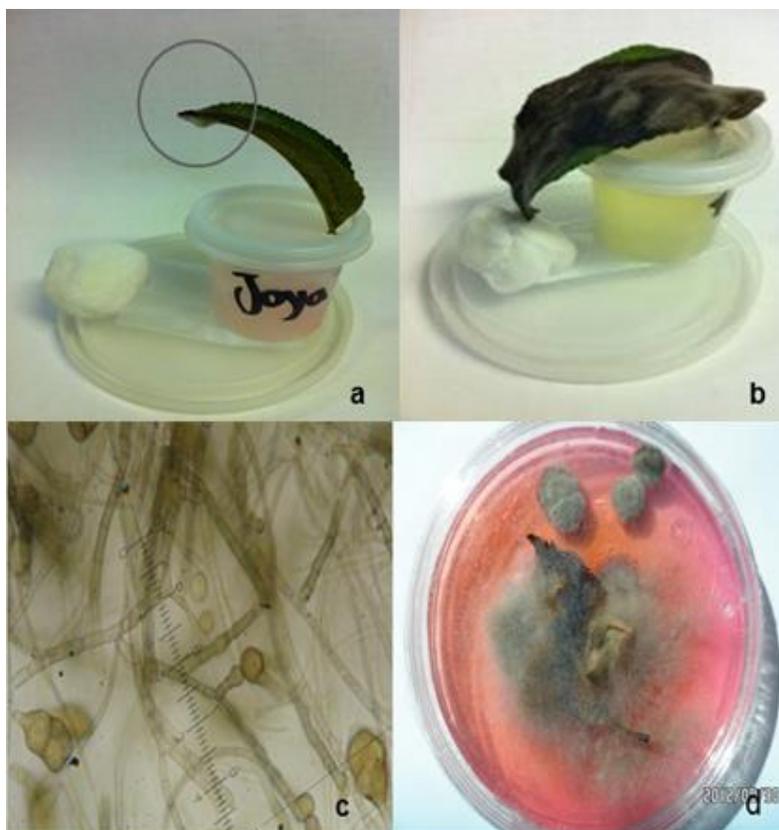


Figura. 4.4 Hojas de manzano sanitizadas en diferentes bioensayos *in vitro* con presencia de micobiota nativa

Tabla 4.12. Porcentaje promedio de sobrevivencia de hojas de 'Golden Delicious' desinfectadas con cuatro tratamientos en función del periodo de incubación

Bioensayo	% Promedio de sobrevivencia					
	1 día	15 días	30 días	45 días	60 días	75 días
1	100 a	100 a	62.5 b	0 b	0 a	0 a
2	100 a	0 c	0 c	0 b	0 a	0 a
3	100 a	81.3 b	0 c	0 b	0 a	0 a
4	100 a	100 a	100 a	93.8 a	25 a	0 a
Testigo	100 a	6.3 c	0 c	0	0	0
Promedio	100	57.5	32.5	18.8	5	0
Valor de F	-	86.8**	53.2**	121**	2.5 ^{NS}	-
DMS	0	20.7	25.0	14.6	28.0	0
C.V. (%)	-	18.6	39.2	40.7	285.4	-

Medias seguidas de letras distintas denotan diferencias estadísticas (Tukey, 0.05). Porcentaje promedio de sobrevivencia, obtenido de 20 datos individuales (cuatro repeticiones con cuatro hojas cada una). Datos transformados a grados angulares ($\arcseno \sqrt{\%X/100}$) para su análisis y expresados en la tabla en términos de la variable original. C.V.= Coeficiente de variación. DMS= Diferencia mínima significativa. ** Diferencias significativas para una $P \leq 0.01$. NS= no significativo a $P \leq 0.05$.

Para evaluar el daño de cenicilla en hojas de manzano en el laboratorio, se trabajó con hojas sanas de 'Golden Delicious'. Durante los bioensayos preliminares se observó el desarrollo de flora nativa de las hojas, lo que causó la disminución del tiempo de conservación. Las hojas testigo, las cuales se mantuvieron viables durante cinco días máximo, mientras que las hojas con un tratamiento de desinfección respondieron de la siguiente manera: a) en el bioensayo uno, donde se realizó la desinfección secuencial con NaClO a 0.5, 1 y 1.5 %, se observó 50 % de viabilidad de la hoja durante 30 días; hubo una elevada condensación al interior de las cajas Petri, sobre todo durante los periodos de luz, lo cual favoreció la expresión de hongos endógenos (Figura. 4.4 d). b) En el bioensayo dos, en el que se usó etanol al 70 % e NaClO a 0.5 % y 1 %, secuencialmente, con tiempos de 1 y 10 minutos, respectivamente, se registró nula viabilidad de las hojas a partir de cinco días, observando que el etanol causó severa necrosis en el tejido foliar; probablemente el etanol causó fuerte deshidratación, generando un estrés osmótico en la epidermis de las hojas, como lo mencionan Pearsall *et al.* (1983). c) El tercer bioensayo permitió que la hoja, permaneciera hidratada por más tiempo y que tuviera menos contacto con superficies húmedas y una humedad relativa favorable, por lo que los daños del tejido, como la necrosis, se observa después de 15 días, sin embargo hubo desarrollo de hongos en el medio de cultivo, favoreciendo la colonización posteriori en las hojas (Figura 4a y b). d) Finalmente el tratamiento de desinfección usado en el bioensayo cuatro permitió mantener 75 % de hojas viables por más de 45 días. Sin embargo es importante mencionar que la plata coloidal también causó daño de oxidación pero hasta los 60 días, por lo que en este bioensayo fue el más importante para mantener la viabilidad.

El desarrollo de los hongos fue la principal causa que no permitió continuar con las evaluaciones *in vitro*. Cabe destacar que en evaluaciones en vivero se ha observado un tiempo de hasta 90 días como mínimo para observar la colonización de las hojas de manzano por cenicilla, por lo que podría ser factible alargar lo más posible los tiempos de viabilidad con el bioensayo cuatro de cultivo asociado a hoja.

4.1.2. Roña (*Venturia inaequalis*)

4.1.2.1. Evaluación en las hojas

El desarrollo de roña en manzanos localizados en el huerto “El Suspiro”, Cadereyta en el 2012, se muestra en la Figura 4.5, así como la identificación de las estructuras infectivas, como conidios y conidióforos típicos del hongo.

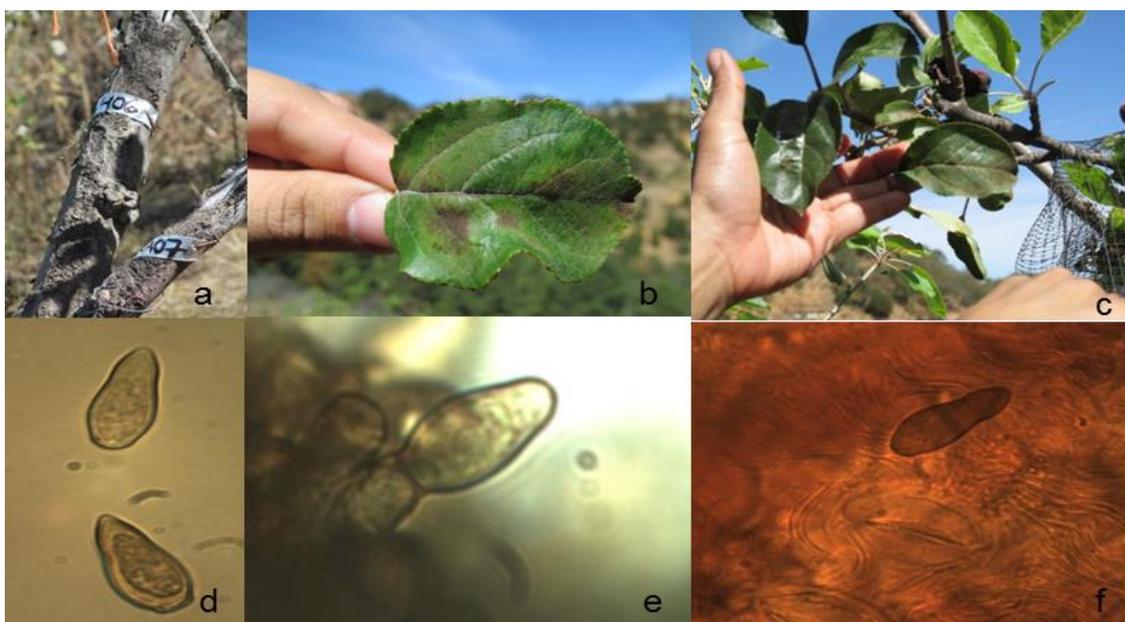


Figura 4.5. Desarrollo de roña en árboles de manzano establecido en el huerto de “El Suspiro” **a.** Genotipos ‘406’ y ‘407’ injertados sobre el mismo árbol **b.** hoja de ‘407’ infectada de *V. inaequalis* **c.** Brote de ‘406’ con hojas infectadas de *V. inaequalis*. **d.** Conidios de *V. inaequalis* al microscopio óptico (100x) **e.** Conidio conectado a conidióforo, sobre la superficie de hoja de manzano al microscopio óptico (100x) **f.** Conidio de *V. inaequalis* cerca de estomas en hoja de manzano visto al microscopio óptico (100x)

a) Incidencia

Los genotipos ‘406’ y ‘407’, ambos provenientes de la cruce de ‘Anna’ x ‘Coop 30’ fueron los que mostraron el mayor porcentaje de incidencia en las hojas con 52.7 y 29.1 %, respectivamente (Tabla 4.13). ‘Coop 30’ es conocido comercialmente como ‘Enterprise’ y fue obtenido por el Programa de resistencia a enfermedades de la Universidad de Illinois, y se caracteriza por tener el gen *vf* de resistencia a moteado (Korban *et al.*,1990). Llama la atención la sensibilidad

mostrada por estos genotipos a pesar de su progenitor supuestamente resistente. Sin embargo es importante destacar que en el Norte de Europa, desde hace 20 años, se perdió la resistencia codificada por el gen *Vf*. Todo empezó cuando en 1988 en Ahrensburg, Alemania, selecciones resistentes, entre las que se encontraban individuos de la familia Coop enfermaron frente a lo que sería denominada la raza 6 de *V. inaequalis* (Parisi *et al.*, 1993), es decir que materiales considerados como resistentes, se presentaron como vulnerables hacia esta cepa de *V. inaequalis*, y desde entonces se han continuado con los programas de mejoramiento para recuperar los genes de resistencia que durante la domesticación del manzano se han perdido, entre las estrategias esta la inserción piramidal de antiguos genes de resistencia como *Rvi2*, *Rvi4*, *Rvi10*, *Rvi12*, *Rvi13*, *Rvi15*, *Vh2*, *VH4*, *Vm*, *Va*, *VBJ*, *Vb*, *Vd* y *Vr2*, por el momento se sigue trabajando en ello para variedades comerciales (Patocchi *et al.*, 2009). Por otro lado es conocido que ‘Anna’ se muestra susceptible al hongo (Sherman y Sharpe, 1979), lo que podría explicar parcialmente la susceptibilidad de ‘406’ y ‘407’.

Tabla 4.13. Porcentaje de incidencia de *V. inaequalis* en hojas, cinco de un total de 33 genotipos de manzano que manifestaron daño, evaluada en tres fechas y considerando éstas como repeticiones en el tiempo, bajo inóculo natural en Cadereyta, Qro.

Genotipo	18 de mayo		27 de junio		%Ip ± EE En el tiempo	
	%Ip ± EE		%Ip ± EE			
‘406’	8.0 (±4.1)	a	97.5 (±2.5)	a	52.7 (± 44.8)	a
‘407’	3.3 (±2.2)	b	55.0 (± 6.5)	b	29.1 (± 25.9)	a
‘403’	1.3 (±2.5)	c	17.5 (± 2.5)	bc	9.4 (± 8.1)	a
‘411’	0.8 (±2.5)	c	17.5 (±2.5)	bc	9.1 (± 8.4)	a
‘429-b’	0.0 (±0)	d	15.0 (±15)	c	7.5 (± 7.5)	a
Promedio	2.6		40.5		17.9	
Valor de “F”	80.2**		20.4**		0.7 ^{NS}	
DMS Tukey	11.8		28.0		104.7	
C.V.(%)	20.4		32.8		109.1	

Medias seguidas de letras distintas denotan diferencias estadísticas (Tukey, 0.05). %Ip= Porcentaje promedio de incidencia, obtenido de 40 datos individuales (cuatro repeticiones con 10 hojas cada una). Datos transformados a grados angulares (arcoseno $\sqrt{\%I/100}$) para su análisis y expresados en la tabla en términos de la variable original. EE= Error estándar. C.V.= Coeficiente de variación. DMS= Diferencia mínima significativa. ND= No significativo. ** Diferencias significativas para una $P \leq 0.01$. NS= no significativo.

Por el contrario, '411' ('Anna' x 'Gala'), '403' ('Tropical Beauty' x 'Princess') y '429-b' ('Anna' x 'CLR9T10') mostraron grados de incidencia menores a 9.4% (Tabla 4.13), aunque existe una alta susceptibilidad de genotipos del grupo de las 'Gala' (Faize *et al.*, 2003), el resto de los genotipos no manifestaron la enfermedad, esto podría deberse a que el inóculo presente en el huerto no se encontraba distribuido homogéneamente o quizás a una concentración insuficiente. Es por ello que antes de atribuir estos resultados a un comportamiento genético debería de exponerse a los materiales a una presión de inóculo conocido y a condiciones relativamente controladas como en un invernadero.

b) Severidad

Nuevamente '406' resultó la variedad más sensible, habiendo mostrado la mayor severidad con 65.9 mm², seguido de '403', '411' y '407' con 21.3, 17.4, y 12.8 mm², respectivamente. Contrastando con '429-b' quien presentó baja severidad del hongo con 9.6 mm² (Tabla 4.14).

Tabla 4.14. Severidad (mm²) de *V. inaequalis* en hojas de cinco genotipos de manzano, evaluada en tres periodos y considerando éstos como repeticiones en el tiempo bajo condiciones de inóculo natural en Cadereyta, Qro.

Genotipo	18 de mayo Sp ± EE		27 de junio Sp ± EE		Sp ± EE En el tiempo	
'406'	58.2 (±16.4)	a	73.7 (±22.5)	a	65.9 (± 7.7)	a
'403'	19.4 (±6.5)	bc	23.2 (± 6.9)	a	21.3 (±1.9)	ab
'411'	11.8 (±6.9)	bc	23.0 (±7.7)	a	17.4 (± 5.6)	ab
'407'	12.4 (±0.5)	b	13.3 (±0.9)	a	12.8 (± 0.4)	ab
'429-b'	0.0 (±0)	c	19.2 (± 19.2)	a	9.6 (± 9.6)	b
Promedio	20.4		30.5		21.2	
Valor de "F"	8.9*		2.2 ^{NS}		5.7*	
DMS Tukey	3.1		5.1		4.9	
C.V. (%)	34.9		47.7		26	

La más baja severidad del patógeno, considerando el promedio de los cinco genotipos con síntomas visibles de la enfermedad, se presentó el 18 de mayo ($\bar{X} = 20.4\%$), en que la precipitación fue inferior a la del otro muestreo (0.3 mm) (Tabla 3.6), condición desfavorable para el desarrollo de cepas de *Venturia inaequalis*.

Entre los 28 genotipos que no mostraron daños visibles por roña en hojas durante el periodo de evaluación se encuentra 'Golden Delicious' considerado como susceptible y 'Delicious' y 'Rayada', como moderadamente susceptibles (Ramírez-Legarreta *et al.*, 2007), *Malus micromalus*, y las variedades prometedoras 'Lourdes' (de maduración tardía), '428' (roja temprana) y '436' (intermedia), como se observó para la evaluación de oídio. Es poco probable que la ausencia de síntomas de roña en este grupo sea de origen genético, pudiendo atribuirse a una deficiente inoculación natural de las plantas establecidas en el huerto y/o a una deficiente dispersión de los conidios por falta de lluvias abundantes en el periodo de evaluación. El insuficiente nivel de inóculo o su ciclo infectivo variante en un periodo de años determinado pueden ser propiciados cuando los factores ecológicos son desfavorables, por lo que suele observarse poca incidencia del hongo (Moore y Janick, 1998).

La temperatura media de los meses comprendidos en el periodo de evaluación fue de 15.1 °C, la humedad relativa de 49.7 % y la precipitación mensual promedio de sólo 5.4 mm (Tabla 3.6), mientras que este hongo desarrolla óptimamente a temperaturas de 20 a 5 °C y con seis a 18 horas como periodo de humedecimiento foliar a 20 y 6 °C, respectivamente, mientras que su diseminación se ve limitada en épocas de poca lluvia (Ramírez-Legarreta *et al.*, 2007).

4.1.2.2. Evaluación en el fruto

Respecto a la susceptibilidad en los frutos, pudimos observar daños severo y moderado causado por la cepa de *Venturia inaequalis* sobre diferentes genotipos como los que se observan en la Figura 4.6 en '424'.

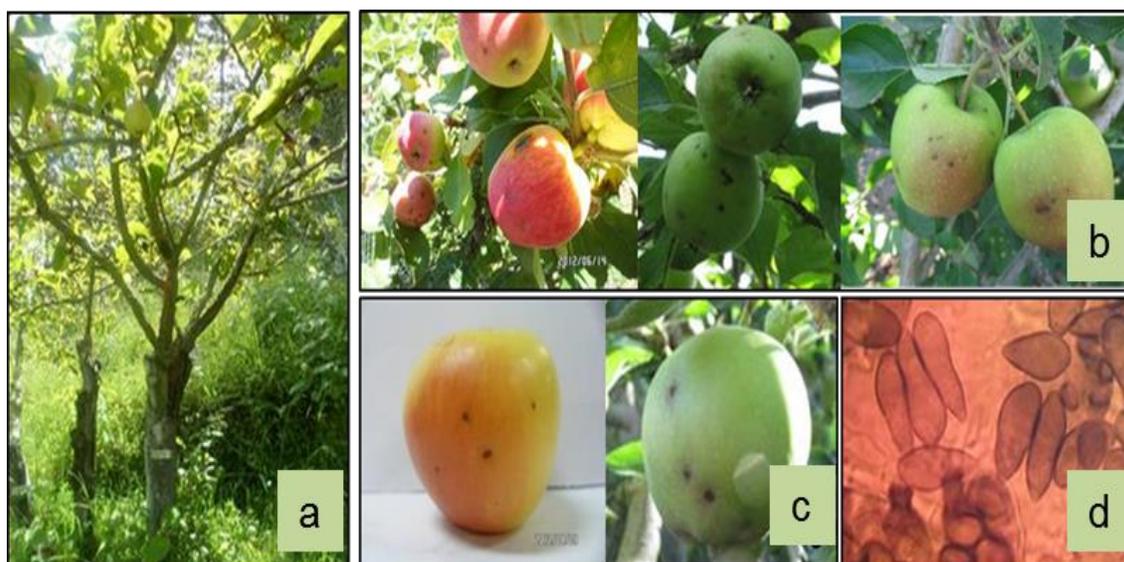


Figura. 4.6 a. Genotipo '424' injertado sobre 'MM 106' b. Daño severo de *V. inaequalis* y c. Daño moderado de *V. inaequalis*. d. Conidios *V. inaequalis* al microscopio óptico (100x) aislados de fruto con lesión.

a) Incidencia

Recordemos que esta variable fue obtenida como el porcentaje de 25 frutos con síntomas del hongo. Si observamos el daño considerando cada una de las fechas de registro, observamos que éste fue en aumento desde la evaluación en junio hasta la cosecha (27 de julio, 8 y 20 de agosto y 9 de octubre), '419' y 'Rayada' los más afectados al momento de la cosecha con 6.5 y 6.0 % de incidencia respectivamente seguidos de 'SMC' y *Malus micromalus* con 5.8 % en ambos casos.

Las variedades comerciales 'Golden Delicious' y 'Delicious', mostraron incidencia en fruto con 3.8 y 3.0 % respectivamente lo que coincide con Ramírez y Legarreta en 2007. Por otro lado 'Lourdes' fue la variedad que presentó menos incidencia con 1.0 % de daño, lo que la sigue colocando como un genotipo prometedor por su baja susceptibilidad a cenicilla y a roña, principales enfermedades fúngicas del manzano. Recordemos que se trata de una variedad de maduración tardía.

Tabla 4.15. Incidencia de *V. inaequalis* en frutos de 28 genotipos de manzano evaluada en tres fechas y considerando éstas como repeticiones en el tiempo, bajo condiciones de inóculo natural en Cadereyta, Qro.

Genotipo	27 Junio		4 Julio		Cosecha		Ip ± EE en el tiempo	
	Ip ± EE		Ip ± EE		Ip ± EE			
'411'	5.0 (±0.4)	a	5.3 (±0.3)	abc	5.3 (±0.3)	abcd	5.2 (±0.1)	a
'SM6'	3.8 (±0.3)	ab	5.5 (±0.3)	abc	5.5 (±0.3)	abc	4.9 (±0.6)	a
'Rayada'	0.8 (±0.8)	cd	6.0 (±0.5)	ab	6.0 (±0.4)	a	4.3 (±1.8)	a
'419'	0.3 (±0.3)	cd	6.3 (±0.3)	a	6.5 (±0.3)	a	4.3 (±2)	a
'SMC'	0.8 (±0.8)	cd	5.0 (±0.6)	abcde	5.8 (±0.3)	ab	3.8 (±1.6)	a
'SME'	0.3 (±0.3)	cd	5.5 (±0.3)	abc	5.5 (±0.3)	abcde	3.8 (±1.8)	a
<i>Malus micromalus</i>	0.3 (±0.3)	cd	5.3 (±0.4)	abcd	5.8 (±0.3)	ab	3.4 (±1.8)	a
'442'	3.3 (±0.3)	ab	3.3 (±0.3)	cdefg	3.5 (±0.3)	defgh	3.3 (±0)	a
'436'	0.0 (±0)	d	4.8 (±0.3)	abcde	4.8 (±0.3)	abcde	3.2 (±1.6)	a
'SMG'	0.0 (±0)	d	4.8 (±0.3)	abcde	4.8 (±0.3)	abcde	3.2 (±1.6)	a
'441'	0.0 (±0)	d	4.3 (±0.3)	abcdef	4.3 (±0.3)	abcdefg	3.2 (±1.6)	a
'449'	0.8 (±0.3)	bcd	4.3 (±0.3)	abcdef	4.3 (±0.3)	abcdefg	3.1 (±1.2)	a
'424'	0.3 (±0.3)	cd	4.5 (±0.3)	abcde	4.5 (±0.3)	abcdef	3.1 (±1.4)	a
'403'	0.0 (±0)	d	5.5 (±0.3)	abc	5.5 (±0.3)	abc	3.1 (±1.4)	a
'SM3'	0.3 (±0.4)	abc	3.5 (±0.3)	abcefg	3.5 (±0.3)	cdefgh	3.0 (±0.5)	a
'Golden Delicious'	1.3 (±0.9)	bcd	3.8 (±0.3)	abcdef	3.8 (±0.3)	bcdefg	2.9 (±0.8)	a
'467'	0.3 (±0.3)	cd	3.8 (±0.3)	abcdef	3.6 (±0.3)	bcdefg	2.6 (±1.2)	a
'Delicious'	0.3 (±0.3)	cd	3.0 (±0.6)	cdefgh	3.0 (±0.6)	efgh	2.1 (±0.9)	a
'428'	0.0 (±0)	d	3.0 (±0.6)	cdefgh	3.0 (±0.4)	efgh	2.0 (±1)	a
'438'	0.3 (±0.3)	cd	2.8 (±0.3)	defghi	2.8 (±0.3)	fghi	1.9 (±0.8)	a
'SMA'	0.0 (±0)	d	2.5 (±0.3)	efghi	2.5 (±0.3)	ghij	1.7 (±0.8)	a
'443'	1.5 (±0.3)	abcd	1.5 (±0.3)	ghij	1.5 (±0.3)	ijk	1.5 (±0)	a
'429-b'	0.3 (±0.3)	cd	2.0 (±0.4)	fghij	2.0 (±0.4)	hijk	1.4 (±0.6)	a
'418'	0.3 (±0.3)	cd	4.5 (±0.3)	fghij	2.0 (±0.4)	abcdef	1.4 (±0.6)	a
'421'	1.3 (±0.3)	abcd	1.3 (±0.3)	hij	1.3 (±0.3)	jk	1.3 (±0)	a
'SMB'	0.3 (±0.3)	cd	1.5 (±0.5)	hij	2.0 (±0.4)	hijk	1.3 (±0.5)	a
'SMD'	0.3 (±0.3)	cd	1.0 (±0.4)	j	1.3 (±0.3)	jk	0.8 (±0.3)	a
'Lourdes'	0.3 (±0.3)	cd	1.0 (±0)	j	1.0 (±0)	k	0.8 (±0.3)	a
Promedio	0.8		3.7		3.7		2.7	
Valor de "F"	7.5**		15.1**		25.0**		0.67 ^{NS}	
DMS Tukey	1.3		0.7		0.5		2.5	
C.V. (%)	85.7		13.5		9.6		53.8	

b) Severidad

Si consideramos las fechas de muestreo como repeticiones en el tiempo, '418' y '421' resultaron los más susceptibles al obtener los mayores valores de severidad (3.9 y 3.7 de daño, respectivamente), siendo iguales a '403', '429', '468', '438', *Malus micromalus*, 'Delicious', 'Rayada' (maduración temprana), '436'

(intermedia), '428' (roja temprana), 'Lourdes' (tardía), estas cuatro últimas consideradas como variedades prometedoras, y 'Golden Delicious', entre otros genotipos (3.5, 2.8, 2.6, 1.4, 1.4, 1.1, 1.1, 1.1, 0.9, 0.7 y 0.5 de daño, respectivamente), pero superiores al resto de las variedades.

Tabla 4.16. Severidad de *V. inaequalis* en frutos de 28 genotipos de manzano, evaluada en tres periodos y considerando éstos como repeticiones en el tiempo bajo inóculo natural en Cadereyta, Qro.

Genotipo	27 Junio		4 Julio		Cosecha		Sp ± EE en el tiempo	
	Sp ± EE		Sp ± EE		Sp ± EE			
'418'	1.6 (±0.6)	abcd	4.7 (±2.1)	ab	5.3 (±2.3)	ab	3.9 (±1.1)	a
'421'	3.0 (±1.3)	a	3.9 (±1.6)	ab	4.2 (±1.6)	ab	3.7 (±0.4)	a
'403'	0.0 (±0)	d	5.1 (±1.0)	a	5.4 (±0.9)	a	3.5 (±0.1)	ab
'429-b'	1.6 (±0.7)	abcd	3.1 (±1.0)	abc	3.5 (±0.5)	ab	2.8 (±0.6)	ab
'SM6'	2.3 (±0.3)	ab	2.7 (±0.3)	abc	3.1 (±0.2)	abc	2.7 (±0.2)	ab
'468'	2.2 (±0.8)	abc	2.6 (±1.0)	abc	3.0 (±1.3)	abc	2.6 (±0.3)	ab
'449'	0.8 (±0.2)	abcd	3.2 (±1.4)	abc	3.5 (±1.3)	abc	2.5 (±0.9)	ab
'SMD'	1.7 (±0.9)	abcd	1.9 (±0.8)	abc	2.6 (±0.4)	abc	2.1 (±0.3)	ab
'SME'	1.5 (±1.0)	abcd	2.3 (±1.0)	abc	2.6 (±0.4)	abc	2.1 (±0.3)	ab
'SMG'	0.5 (±0)	abcd	2.2 (±0.3)	abc	2.7 (±0.4)	abc	1.8 (±0.7)	ab
'424'	1.1 (±0.9)	abcd	1.8 (±1.5)	abc	1.9 (±1.5)	abc	1.6 (±0.2)	ab
'438'	1.0 (±0.4)	abcd	1.4 (±0.4)	abc	1.8 (±0.5)	abc	1.4 (±0.2)	ab
<i>Malus micromalus</i>	1.1 (±0.2)	abcd	1.4 (±0.4)	abc	1.8 (±0.4)	abc	1.4 (±0.2)	ab
'411'	1.0 (±0.1)	abcd	1.3 (±0.1)	abc	1.5 (±0.1)	abc	1.3 (±0.2)	ab
'Delicious'	0.8 (±0.3)	abcd	1.2 (±0.4)	abc	1.5 (±0.5)	abc	1.1 (±0.2)	ab
'Rayada'	0.7 (±0.2)	abcd	1.1 (±0.5)	abc	1.4 (±0.4)	abc	1.1 (±0.2)	ab
'442'	0.3 (±0.2)	abcd	1.4 (±0.6)	abc	1.7 (±0.7)	abc	1.1 (±0.4)	ab
'419'	0.9 (±0.5)	abcd	1.0 (±0.4)	abc	1.4 (±0.3)	abc	1.1 (±0.2)	ab
'443'	0.9 (±0.8)	abcd	1.1 (±0.8)	abc	1.1 (±0.7)	abc	1.0 (±0.1)	ab
'436'	0.0 (±0)	d	1.2 (±0.9)	abc	1.8 (±0.2)	abc	1.0 (±0.5)	ab
'SMC'	0.6 (±0.2)	abcd	0.8 (±0.3)	abc	1.2 (±0.4)	abc	0.9 (±0.2)	ab
'428'	0.0 (±0)	d	1.0 (±0.8)	abc	1.5 (±0.7)	abc	0.9 (±0.5)	ab
'Lourdes'	0.3 (±0.3)	bcd	0.7 (±0.4)	bc	1.1 (±0.6)	abc	0.7 (±0.2)	ab
'Golden Delicious'	0.3 (±0.1)	abcd	0.6 (±0.1)	bc	0.7 (±0.1)	bc	0.5 (±0.1)	ab
'441'	0.0 (±0)	d	0.6 (±0.6)	bc	0.9 (±1.3)	abc	0.5 (±0.3)	b
'SM3'	0.3 (±0.3)	cd	0.4 (±0.2)	bc	0.6 (±0.3)	bc	0.4 (±0.1)	ab
'SMA'	0.0 (±0)	d	0.3 (±0.2)	c	0.8 (±0.4)	bc	0.4 (±0.2)	b
'SMB'	0.3 (±0.2)	bcd	0.3 (±0.2)	c	0.3 (±0.2)	c	0.3 (±0)	b
Promedio	0.9		1.8		2.1		1.6	
Valor de "F"	4.5**		3**		2.8**		3.0**	
DMS Tukey	1.2		1.5		1.4		1.3	
C.V. (%)	62.3		46.4		40.6		35.8	

La severidad de las lesiones causadas por el patógeno se incrementó de 0.9 a 2.1 de severidad entre junio y septiembre, lo cual probablemente se debió a que en junio la HR fue de sólo 58.0% y la precipitación de 5.1 mm, mientras en septiembre los valores respectivos fueron de 74.6% y 96.3 mm, condiciones favorables para el desarrollo del hongo (Tabla 3.6).

c) Correlaciones

Los coeficientes de correlación obtenidos entre las incidencias observadas en los distintos periodos (1er cuadrante), a excepción de los registrados en junio, fueron superiores a 0.5**, lo cual muestra que la sensibilidad de los genotipos al patógeno es en general consistente a través del tiempo. En el caso de la severidad (4° cuadrante), también se obtuvieron correlaciones significativas ($\geq 0.5^{**}$), lo cual pudo deberse al ambiente favorable que se presentó sobre todo en los meses de julio y en la cosecha (Tabla 4.17).

Tabla 4.17. Coeficientes de correlación y significancia estadística de incidencia y severidad de *V. inaequalis* en fruto de manzanos establecidos en Cadereyta, Qro.

Variable	Ip 27 Junio	Ip 4 Julio	Ip Cosecha	Ip en el tiempo	Sp 27 Junio	Sp 4 Julio	Sp Cosecha	Sp en el tiempo
Ip 24 Junio	1.0							
Ip 4 Julio	0.2 ^{NS}	1.0						
Ip Cosecha	0.1 ^{NS}	1.0**	1.0					
Ip en el tiempo	0.5**	0.8**	0.8**	1.0				
Sp 27 Junio	0.2 ^{NS}	-0.1 ^{NS}	-0.1 ^{NS}	-0.1 ^{NS}	1.0			
Sp 4 Julio	-0.1 ^{NS}	0.01 ^{NS}	-0.01 ^{NS}	-0.04 ^{NS}	0.5**	1.0 ⁴		
Sp Cosecha	-0.1 ^{NS}	0.01 ^{NS}	-0.01 ^{NS}	-0.04 ^{NS}	0.5**	1.0**	1.0	
Sp en el tiempo	-0.01 ^{NS}	-0.02 ^{NS}	-0.04 ^{NS}	-0.1 ^{NS}	0.7**	1.0**	1.0**	1.0

Porcentaje promedio de incidencia (%Ip) y Severidad promedio (Sp) de *V. inaequalis* de frutos de manzanos establecidos en condiciones de campo, el huerto de "El Suspiro". El análisis se realizó exclusivamente con los nueve genotipos que se evaluaron en ambas condiciones. nc= Número de conidios. *, ** Correlación significativa a una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente. NS = No significativo.

Asimismo, se obtuvieron valores de $r \leq 0.2^{NS}$ entre las incidencias y las severidades del fitopatógeno (3er cuadrante), lo que indica una falta de correspondencia entre las dos variables evaluadas.

4.1.2.3. Correlación de la susceptibilidad a roña en fruto y hoja

Fue posible observar presencia del hongo en ambos órganos, sin embargo, no se observan correlaciones significativas entre la susceptibilidad de los genotipos a roña en hoja y fruto bajo ninguna de las dos variables consideradas (Tabla 4.18).

Tabla 4.18. Coeficientes de correlación y significancia de incidencia y severidad de *V. inaequalis* en hojas y frutos de manzanos establecidos en Cadereyta, Qro.

Variable	Sp en el tiempo FRUTO	%lp en el tiempo HOJA	Sp en el tiempo HOJA
Sp en el tiempo FRUTO	1.000		
%lp en el tiempo HOJA	-0.043 ^{NS}	1.000	
Sp en el tiempo HOJA	0.423 ^{NS}	0.887^{NS}	1.000

El mayor coeficiente de correlación se obtiene entre la severidad promedio en hoja y fruto ($r = 0.423^{NS}$). El análisis de regresión correspondiente se observa en la Figura 4.7, donde '429-b' se mostró más o menos tolerante al patógeno en ambos ambientes; el caso opuesto lo ilustran '403' y '411' susceptibles en ambos casos.

Estos resultados coinciden con Carise *et al.*, (2009) quien observó una pobre correlación de la incidencia en hojas y la severidad en frutos de la variedad 'McIntosh' causados por *Venturia inaequalis*, en las evaluaciones realizadas a principios de la temporada lluvias. La evaluación en hoja se realizó durante el mes de mayo y junio, meses que se registraron precipitaciones bajas (0.3 y 5.1mm respectivamente) (Tabla 3.6).

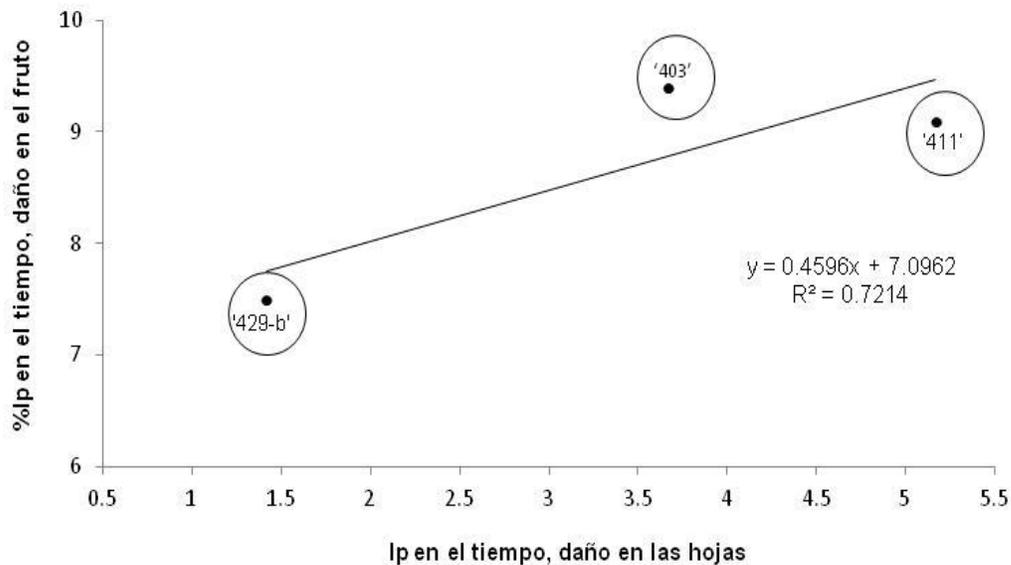


Figura 4.7. Regresión lineal de la incidencia de roña en hoja y fruto de manzanos establecidos en Cadereyta

4.2. Estudios fenológicos

4.2.1. Evaluación de diversos genotipos en Amealco

4.2.1.1. Determinación de la época de brotación

- Evaluación de 2012

El 6 de febrero de 2012 se observó que '424' y 'Joya' contaban con el mayor número de yemas brotadas (22.3 y 21.0, respectivamente); lo que corresponde a un bajo requerimiento de horas frío (HF) de éstos (alrededor de 400 HF acumuladas para estas fechas, Cuadro 1), y que a la vez los hace sensibles a las heladas tardías que se presentan eventualmente en Amealco durante los meses de enero y febrero. 'Joya' se presume originario de un cruzamiento de 'Anna' x 'Gala', mientras '424' lo es de 'Anna' x 'Princess', lo que podría explicar su brotación temprana, ya que su progenitor común, 'Anna', variedad ampliamente cultivada en zonas tropicales, requiere, de acuerdo a Havagge y Cummins (1991) de 218 ± 113 horas frío (HF) y, de acuerdo a Andersen y Crocker (2009), de 300 HF. Estos genotipos fueron seguidos por un grupo integrado por 'Royal Gala', 'Aguanueva' y 428 ('Anna' x 'Gala') (15.4, 9.2 y 7.5 yemas brotadas, respectivamente al 6 de febrero) (Figura 1). Se sabe que

'Royal Gala' requiere de 600 a 700 HF (Jackson, 2003), mientras que 'Aguanueva' (mutante de 'Golden Delicious') requiere de 500 HF) (Ramírez y Mata, 1986). Otros materiales como 436, 468, 'Rayada' y *Malus micromalus* iniciaron su brotación entre el 18 febrero y el 2 de marzo. Resulta interesante subrayar la brotación tardía, con la consecuente reducción del riesgo de heladas de 'Rayada', criollo de la región norte del estado, de maduración temprana, muy prometedor para el estado, y que produce un fruto rojo de una calidad aceptable, especialmente cuando el árbol es raleado (Mendoza *et al.*, 2006). Finalmente, 429-b, 429-a, 'Golden Delicious' y 'Delicious' brotaron después del 3 de marzo, llegando estas dos últimas el 10 de marzo a alrededor de apenas 10 yemas brotadas (Figura 4.8), lo cual podría deberse a que no completan su requerimiento de frío, el cual se estima entre 800 a 850 HF (Carvajal-Millán *et al.*, 2000). Este resultado coincide con González *et al.* (2005), quienes señalan una deficiente brotación de ambas en "El Suspiro", Cadereyta, Qro. El total de HF acumuladas en Amealco en el invierno 2011-2012 fue de 533 HF (Tabla 3.2).

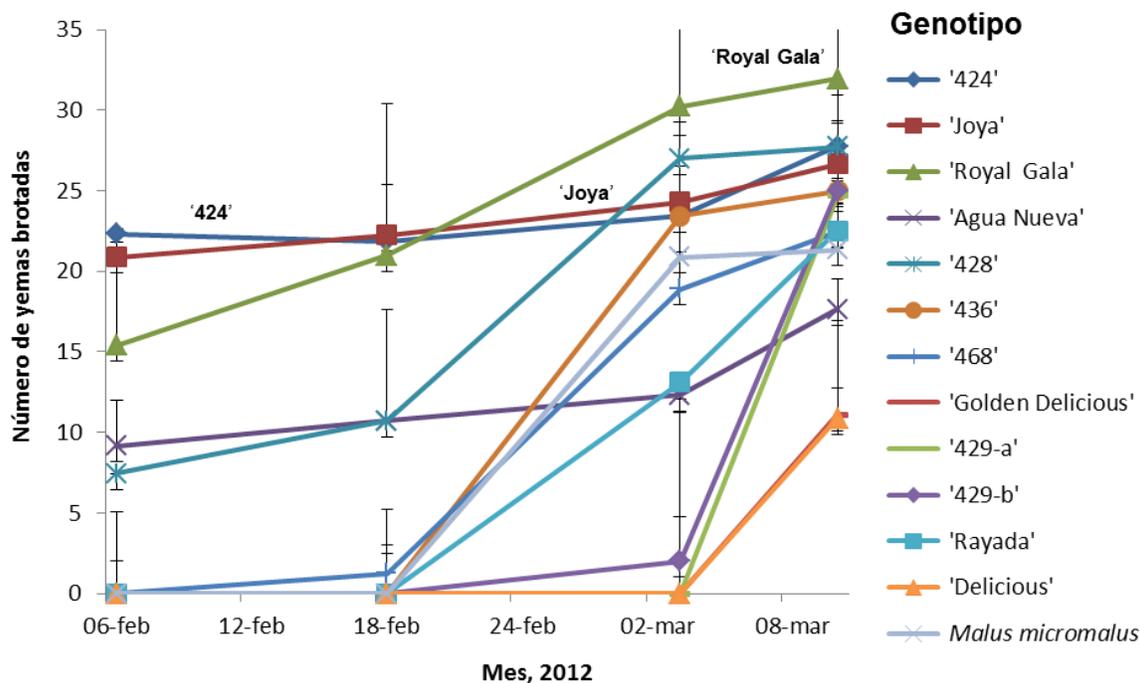


Figura 4.8 Número promedio por planta de yemas brotadas en manzanos establecidos en Amealco, Querétaro durante el invierno de 2012. Datos provenientes de cuatro repeticiones

Por lo que respecta a la floración (Figura 4.9), 'Joya' y '424' destacaron nuevamente con 6.6 y 6.4 yemas florales brotadas por planta, respectivamente, el 6 de febrero de 2012, llegando el 10 de marzo a 9.8 y 9.4 yemas, respectivamente, lo que muestra la precocidad de entrada en producción de estos materiales. Otros genotipos que habían iniciado su floración el 6 de febrero, aunque con menos de dos flores por planta, fueron 'Aguanueva', '428' y 'Royal Gala', llegando el 10 de marzo a 4.5, 8.4 y 8.8 yemas, respectivamente. El resto de los materiales evaluados iniciaron su floración después del 18 de marzo, siendo '429-a', '429-b', 'Golden Delicious' y 'Delicious', los que presentaron el menor número de flores.

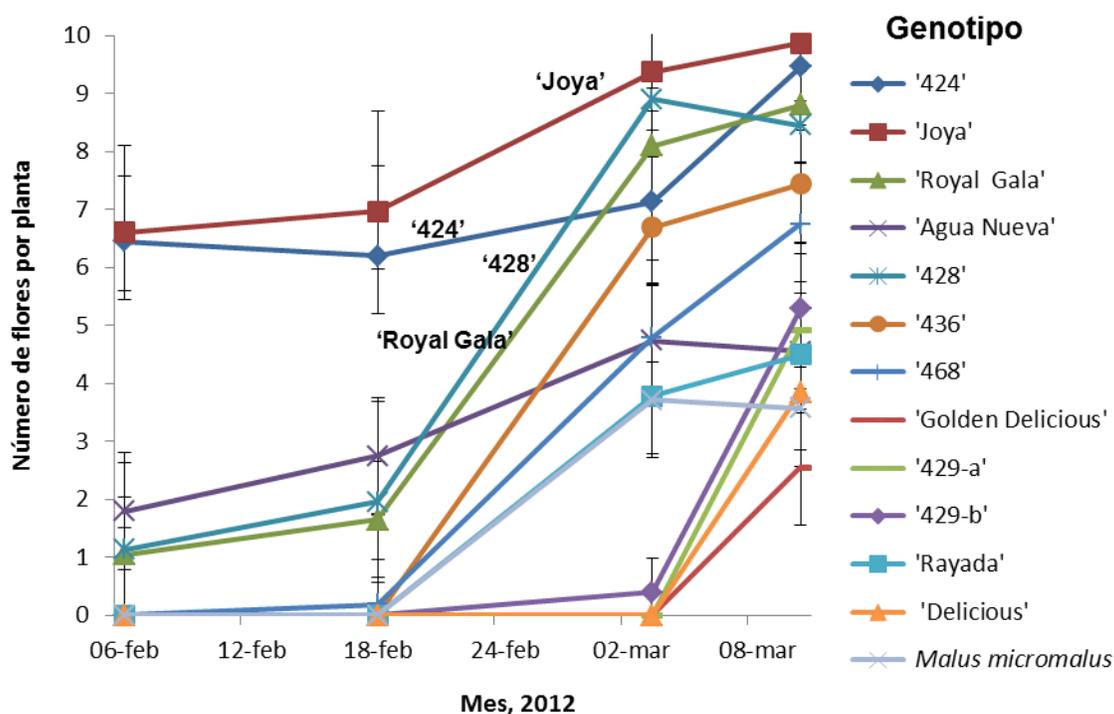


Figura 4.9. Número promedio por planta de yemas florales brotadas en manzanos establecidos en Amealco, Querétaro, evaluados durante el invierno de 2012. Datos provenientes de cuatro repeticiones

La evolución de las tasas de brotación a través del tiempo de los distintos genotipos resultó similar tanto para yemas totales como para florales, lo cual coincide con Mohamed (2008), quien señala que el requerimiento de frío de yemas vegetativas y yemas florales en manzano es similar, al menos en el cv. 'Anna'. En

abril del mismo año se observó que sólo 'Joya', '428' y 'Aguanueva' presentaron algunos frutos cuajados, lo que puede considerarse como un indicador de precocidad en la entrada en producción.

Evaluación de 2013

Nuevamente 'Joya' y '424' obtuvieron el mayor número de yemas vegetativas brotadas a partir del 15 de febrero (20.1 y 19.1, respectivamente), seguidas de '428' (14.3) y 'Aguanueva' (9.2). Únicamente 'Golden Delicious' y 'Delicious' iniciaron su brotación después del 15 de febrero, lo que confirma la deficiencia de HF en la región para estos cultivares. También se aprecia un grupo de siete genotipos (incluidos estos dos últimos) que para el último muestreo (17 de marzo) tenían un número de yemas brotadas inferior a ocho (Figura 4.10), resultado que contrasta con la brotación obtenida en 2012, en que para el 10 de marzo se tiene un mayor número de yemas brotadas en la generalidad de los genotipos (Figura 4.8).

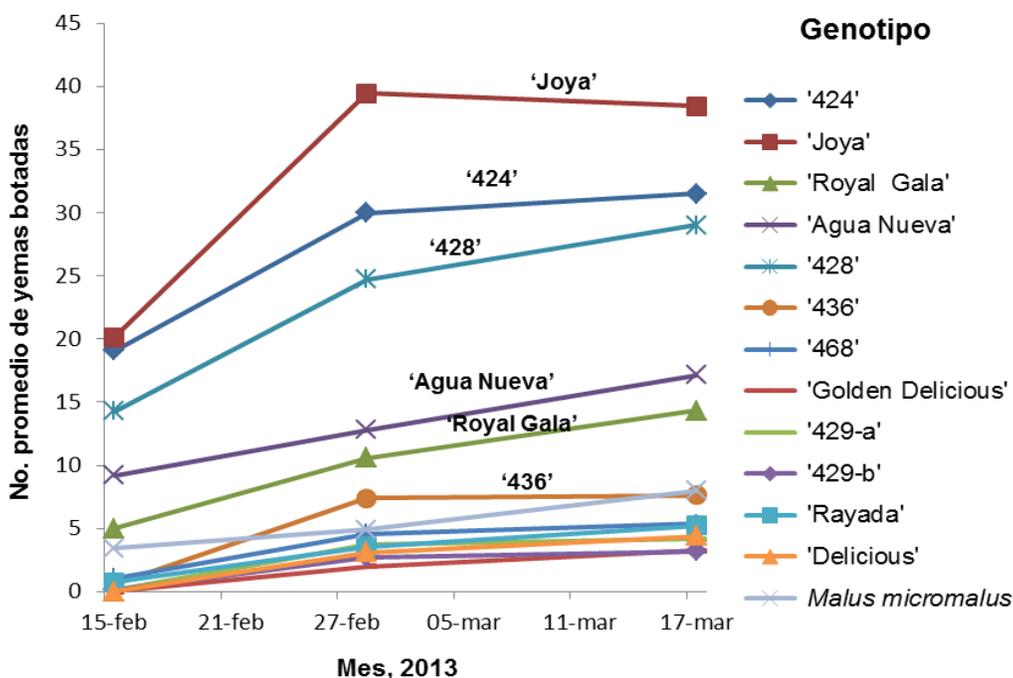


Figura. 4.10 Número de yemas brotadas por planta en manzanos establecidos en Amealco, Querétaro, evaluados en 2013. Datos obtenidos de cuatro repeticiones

Estas diferencias probablemente se deben a que en 2013 hubo una menor acumulación de horas frío (477.1 HF en 2012-2013 vs. 533.1 HF en 2011-2012, Tabla 3.2).

En cuanto a las yemas florales, se observó que 'Joya' obtuvo la mayor brotación durante el periodo de muestreo, con 1.4, 6.9 y 5.3 flores por planta, el 18 de febrero, 27 de febrero y 17 de marzo, respectivamente, lo que confirma su precocidad para entrar en producción mostrada el año anterior. El descenso en el número de flores entre las dos últimas fechas se explica por la caída natural en ese lapso. Sin embargo, llama la atención que este segundo año '468', '424' y 'Rayada', a diferencia de 2012, obtuvieron menos de una yema floral brotada por planta el 17 de marzo. El resto de los materiales presentó valores inferiores a los cuatro genotipos mencionados (Figura 4.11).

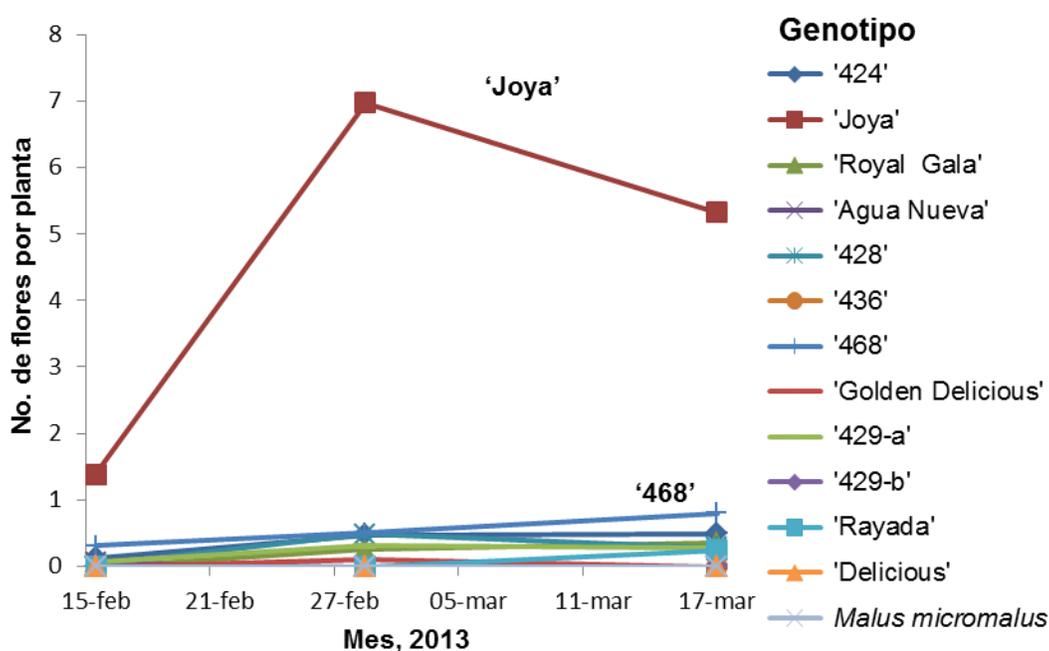


Figura 4.11 Número de flores por planta, en manzanos establecidos en Amealco, Querétaro evaluados en 2013. Datos obtenidos de cuatro repeticiones

La deficiente brotación floral registrada en el 2013 podría deberse a la baja acumulación de frío invernal (Tabla 3.2), provocando un retraso e irregularidad en la apertura de yemas (Agustí, 2011), aunada a la presencia de

una helada el 14 de marzo, además de una granizada con lluvia abundante el 16 de marzo.

Además de 'Joya', los únicos materiales que mostraron unos cuantos frutos cuajados en abril de 2013 fueron '468', '424' y '428'. La abundante floración y manifiesta fructificación presentes en 'Joya' en los dos años posteriores a su establecimiento muestra que es capaz de diferenciar yemas florales en un mismo año. Esta variedad corresponde por tanto al tipo de fructificación IV descrito por Trillot *et al.* (1993), que se caracteriza porque la mayoría de las yemas florales se sitúan sobre ramas jóvenes de uno a dos años, y presentan una rápida entrada en producción; ya que el ciclo fisiológico de fructificación del manzano dura normalmente dos años consecutivos y se desarrolla en alrededor de 15 a 16 meses (Lalatta, 1999), éste implica la inducción de la diferenciación en el mes de julio, los cambios histológicos que inician entre septiembre y octubre y la transformación morfológica en el siguiente año (Koutinas *et al.*, 2010). Esta notable precocidad de 'Joya' resulta de gran interés desde el punto de vista comercial en la zona, pero puede conducir a un agotamiento prematuro del árbol (Parra *et al.*, 2007), por lo que será necesario efectuar ensayos de eliminación total o parcial de frutos en los primeros años después de su establecimiento (Schneider y Scarborough, 1984).

4.2.1.2. Número y longitud de brotes, diámetro del tronco y peso de la madera

Los genotipos '424' y 'Joya' produjeron el mayor número de brotes por planta (9.4 y 9.0, respectivamente), lo que podría relacionarse con bajo requerimiento de HF (Ferree y Warrington, 2003); por el contrario, 'Agua Nueva', *M. micromalus* y 'Golden Delicious' obtuvieron una brotación deficiente (5.1, 4.3 y 3.9 brotes, respectivamente) (Tabla 4.19), síntoma de insuficiente acumulación de frío. Un problema de los manzanos desarrollados en condiciones benignas de invierno es la baja acumulación de HF por temperaturas diurnas elevadas. Los árboles exhiben alteraciones fisiológicas como retraso de brotación, flores pequeñas, un período de floración prolongado, bajo rendimiento y frutos de

calidad deficiente (González y Valencia, 2001). Llama la atención el elevado número de brotes obtenido en ‘Delicious’ (8.7 brotes) y la relativamente pobre brotación de ‘Aguanueva’. En la franja tropical mundial los periodos estacionales no son tan diferenciados y la altitud tiene una alta relación con las temperaturas y, dada la fisiología del árbol de manzano, la acumulación de HF y las condiciones externas favorables son requisito para la brotación. Los requerimientos de frío son propios de cada especie y variedad en particular, existiendo variedades de alto requerimiento de frío y otras de poca exigencia, que se comportan bien y brotan normalmente (Calderón, 1987). Asimismo, se obtuvo una correlación no significativa entre el número de brotes y el número de yemas brotadas el 10 de marzo ($r = 0.519$), lo que pudo deberse a la dispersión de los datos debido a los factores ecológicos del sitio.

Tabla 4.19. Número, longitud y peso de la madera del crecimiento obtenido en 2012, así como diámetro promedio de brotes de diferentes genotipos de manzano establecidos en Amealco, Qro.

Genotipo	No. de brotes	Longitud del brote (cm)	Peso de la madera de la poda por planta (g)	Diámetro de tronco principal (mm) ♦
‘424’	9.4 a	82.6 abc	48.0 b	17.5
‘Joya’	9.0 a	123.9 a	131.3 a	21.2
‘428’	8.7 ab	56.5 c	28.5 b	17.3
‘Delicious’	8.0 ab	95.4 abc	50.8 b	18.4
‘Royal Gala’	7.4 abc	104.4 ab	70.4 ab	19.3
‘468’	7.3 abc	78.0 abc	34.7 b	17.6
‘436’	7.2 abc	59.4 bc	47.9 b	17.3
‘429-a’	6.3 abc	81.7 abc	62.3 ab	19.6
‘429-b’	6.3 abc	78.9 abc	61.0 ab	17.7
‘Rayada’	6.3 abc	71.4 bc	21.6 b	18.1
‘Aguanueva’	5.1 bc	74.1 bc	39.1 b	17.6
<i>M. micromalus</i>	4.3 c	67.6 bc	4.9 b	16.2
‘Golden Delicious’	3.9 c	94.1 abc	54.1 b	18.6
Valor de F	5.1**	5.7**	10.7**	
C.V. (%)	24.4	21.7	61.5	
DMS, Tukey	0.7	47.1	74.6	

Medias seguidas de letras distintas denotan diferencias estadísticas (Tukey, 0.05). C.V.= Coeficiente de variación. El número de brotes se transformó a \sqrt{x} , y en el Cuadro se expresa en términos de la variable original. DMS = Diferencia mínima significativa. ** Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). El número y la longitud de brotes se evaluaron el 7 septiembre de 2012; el diámetro se registró el 17 de marzo de 2013; el peso de la madera se evaluó el 25 enero 2013. ♦ Sin análisis estadístico.

Finalmente, la reducción en el número de brotes respecto al número de yemas brotadas, seguramente se debe a que de las yemas brotadas ya fueran vegetativas o florales, solo una porción elongaron formando más madera, y la otra gran mayoría solo géneró o bien las flores o unas cuantas hojas que posteriormente cayeron.

En cuanto a longitud del brote, 'Joya' obtuvo el mayor valor (123.9 cm), seguida de 'Royal Gala' (104.4 cm), cultivar considerado más vigoroso que 'Golden Delicious', y de rápida entrada en producción (Miranda y Royo, 2004). Éstas contrastan con un grupo de cinco genotipos encabezados por '428' (56.5 cm) (Tabla 4.19). El elevado vigor presente en una variedad está relacionado con su tolerancia a sequía (Zegbe, 1995), por lo cual las variedades vigorosas resultan de gran interés, no sólo para Amealco, sino para la mayoría de las zonas productoras del centro de México en donde el cultivo del manzano se desarrolla bajo temporal (González *et al.*, 2005). Fuchigami y Nee (1987) también reportan que la velocidad de la brotación y la elongación del brote están en función de la cantidad de frío acumulado. Un crecimiento vigoroso de las ramas primarias del árbol irá siempre acompañado de un adelanto en la formación de la planta, sobre todo cuando hablamos de sistemas de conducción libres (copa, pirámide modificada, etc.).

En cuanto al peso de la madera producida, 'Joya' nuevamente registró el mayor valor (131.3 g planta⁻¹), seguida de 'Royal Gala' (70.4 g.planta⁻¹), siendo superior a 'Rayada', 428 y *M. micromalus* (21.6, 28.5 y 4.9 g.planta⁻¹, respectivamente). Es interesante subrayar la correlación significativa entre el peso de la madera y la longitud del brote ($r = 0.826^{**}$).

Con relación al diámetro del tronco, aunque no se realizaron análisis estadísticos, se observó que 'Joya' mostró otra vez el mayor valor (21.2 mm), contrastando con *M. micromalus* (16.2 mm) (Tabla 4.19). Recordemos que éste es un híbrido natural de dos especies del género *Malus*, que presenta un fruto muy pequeño color rojo liso, aunque se sabe que el árbol adulto alcanza 4 a 5 m de altura (Flint, 1997). Como era de esperarse, se observó una correlación significativa entre el diámetro del tronco con la longitud promedio de brotes

($r = 0.840^{**}$), así como con el peso de la madera ($r = 0.890^{**}$). Sin embargo, no hay una correlación entre estas tres variables y el número de brotes ($r \leq 0.414^{NS}$).

Finalmente, es interesante resaltar el comportamiento general de 429 a y 429 b, dos ejemplares que se encuentran en el banco de germoplasma establecido en Cadereyta, Qro, y que están injertados sobre árboles vecinos, mostrando características morfológicas muy similares, tanto en los órganos vegetativos como en el fruto (Mendoza *et al.*, 2008). A la luz de los resultados obtenidos, y de la observación de las características morfológicas de las hojas, lo más probable es que se trate de la misma variedad.

4.2.2. Efecto de distintos portainjertos clonales sobre el desarrollo inicial del cv. 'Rayada'

Como se recordará, se recibió un total de 126 plantas del "Vivero Sacramento" de Chihuahua el 2 de marzo de 2012. De éstas, 21 se plantaron como referencia en un terreno en el municipio de Querétaro y el resto se estableció en un predio ubicado en la Comunidad de Senegal de las Palomas, San Juan del Río, Qro. Los distintos portainjertos, el número de plantas por portainjerto establecidas en cada comunidad, así como el número de plantas por bloque establecidas en el experimento definitivo, se consignan en la Tabla 4.17.

4.2.2.1. Área transversal, número y longitud de brotes

Si consideramos las tres fechas de muestreo como repeticiones en el tiempo se observa que no hay diferencia entre las áreas transversales de la variedad 'Rayada' en función al portainjerto, los valores obtenidos en los distintos tratamientos van desde 153.6 mm^2 hasta 207.7 mm^2 . A pesar de lo anterior, se observa diferencias al 2 de marzo, G.202 el que indujo el mayor vigor (145.8 mm^2), seguido de G.30, M.25 y MM.106 (145.4 , 134.4 y 133.9 mm^2 respectivamente), contrastando con M.7 (88.4 mm^2) (Tabla. 4.20).

Tabla 4.20. Área transversal del tronco principal de plantas del cv. ‘Rayada’ injertadas sobre siete portainjertos de manzano, tomados en tres fechas durante su primer año de establecimiento en San Juan del Rio, Qro.

Portainjerto	2 de marzo mm ²	23 de junio mm ²	6 de septiembre mm ²	Considerando repeticiones en el tiempo mm ²
MM.106	133.9 abc	216.2 a	273.1 a	207.7 a
G.202	145.8 a	203.1 a	273.8 a	207.6 a
G.30	145.4 a	205.6 a	264.7 a	205.2 a
M.25	134.4 ab	193.1 a	274.0 a	200.5 a
MM.111	101.1 bc	167.3 a	217.4 a	161.9 b
B.9	106.2 abc	147.0 a	208.4 a	153.9 b
M.7	88.4 c	158.7 a	213.7 a	153.6 b
Promedio	118.5	184.4	246.5	184.3
Valor de “F”	5.47	0.9	1.6	27.8
DMS	1.98	5.5	2.6	2.1
C.V.	38.3	32.2	34.7	28.1

Medias seguidas de letras distintas denotan diferencias estadísticas (Tukey, 0.05). C.V.= Coeficiente de variación. DMS = Diferencia mínima significativa. NS= Sin diferencias significativas.

La ausencia de diferencias en el calibre de las plantas en función del portainjerto coincide con Parra y Guerrero (1994), quienes reportan sólo fuertes diferencias en el diámetro de la variedad en función al portainjerto hasta después de nueve años de su establecimiento. Para los portainjertos no vigorosos en manzana se estima un período de entre siete y ocho años para mostrar diferencias en diámetro de la variedad injertada (Wertheim, 1987). Bonany *et al.* (2004) reportan diferencias después de siete años de evaluación en el diámetro de la variedad ‘Golden Reinders’ injertada sobre 14 diferentes portainjertos, habiéndose detectado incluso efectos entre patrones de la serie M.9, como M.9 EMLA quien mostró mayor diámetro de tronco que M.9 T337 NAKB, destacando también el elevado vigor de MM.106 en comparación a M.9.

En contraste, para otros frutales como el peral se puede observar, en menor tiempo, una clara influencia del portainjerto a partir del 5^{to} año de evaluación (Iglesias *et al.*, 2004). Para el caso del melocotón se observan diferencias en el diámetro de la variedad en función al portainjerto después de cinco años de estudio sobre la variedad ‘Elegant Lady[®] (Merdame)’ (Iglesias *et al.*, 2004). Por otro lado, para obtener información sobre el rendimiento de la variedad

sobre portainjertos vigorosos en manzano son necesarios, hasta quince años (Wertheim, 1998).

Por lo que respecta al número de brotes por planta en función del portainjerto, tomado en dos fechas distintas (23 de junio y 26 de noviembre), tampoco se presentaron diferencias, encontrándose valores en la última fecha que oscilan desde 4.4 hasta 6.4, con un promedio de 5.3 (Tabla 4.21).

Tabla 4.21. Número promedio de brotes del cv. 'Rayada' por portainjerto de manzano establecidos en San Juan del Rio, Qro. en dos muestreos sucesivos y considerando éstos como repeticiones en el tiempo

Portainjerto	Número de brotes 23 de junio		Número de brotes 26 de noviembre		Número de brotes en el tiempo	
G.202	3.0	a	6.4	a	4.7	a
M.25	2.6	a	5.9	a	4.3	a
G.30	2.7	a	5.4	a	4.1	a
MM.111	2.6	a	5.6	a	4.1	a
B.9	2.6	a	4.4	a	3.5	a
M.7	2.3	a	4.6	a	3.5	a
MM.106	2.8	a	5.1	a	2.7	a
Promedio	2.7		5.3		3.8	a
Valor de "F"	0.61 ^{NS}		0.49 ^{NS}		0.21 ^{NS}	
DMS	-		-		-	
C.V.(%)	7.1		19.3		11.2	

Medias seguidas de letras distintas denotan diferencias estadísticas (Tukey, 0.05). Los datos se transformaron a \sqrt{x} y expresados en la tabla en términos de la variable original. C.V.= Coeficiente de variación. DMS = Diferencia mínima significativa. NS= Sin diferencias significativas.

Por lo que respecta a la longitud de los brotes MM.106 mostró la mayor longitud a lo largo del tiempo con 38.2cm, seguido de M.7 y M.25 con 37.1 y 36.8 (Tabla 4.22), mientras en el otro extremo se encontró B.9 con 25.1 cm. El diámetro del tronco de M.7 muestra correspondencia con la alta longitud de sus brotes, de acuerdo a reportes, Se sabe que el mayor crecimiento de brotes se presenta en portainjertos de vigor medio alto siendo la nueva formación de madera de cada ciclo un parámetro de referencia para la producción en los siguientes años (Ferre y Carlson, 1987; Parra y Guerrero, 1994).

Tabla 4.22. Longitud promedio de brotes del cv. 'Rayada' injertada sobre siete portainjertos distintos establecidos en San Juan del Rio, Querétaro., evaluada en dos fechas y considerando éstas como repeticiones en el tiempo

Portainjerto	23 de Junio		6 de Septiembre		en el tiempo	
MM.106	38.1	a	38.4	a	38.2	a
M.7	36.9	ab	37.2	a	37.1	a
M.25	35.8	ab	37.8	a	36.8	a
G.202	30.4	abc	33.7	ab	32.1	ab
G.30	29.3	bc	32.2	ab	30.7	ab
MM.111	25.8	c	32.8	ab	29.3	ab
B.9	24.3	c	25.8	b	25.1	b
Promedio	31.5		34.0		32.8	
Valor F	10.85**		6.62*		8.79*	
DMS	0.26		0.86		2.4	
C.V.(%)	28.5		34.2		15.1	

Medias seguidas de letras distintas denotan diferencias estadísticas (Tukey, 0.05). C.V.= Coeficiente de variación. DMS = Diferencia mínima significativa. NS= Sin diferencias significativas.

El relativamente elevado efecto vigorizante de MM.106 y M.25 concuerda con los reportes previos, los cuales señalan que B.9 es enanizante, pero contrastan con los resultados para MM.111 que en este estudio ha manifestado hasta el momento un relativamente bajo vigor (161.9 mm²), cuando la literatura lo ubica como de vigor medio a alto.

4.2.2.2. Correlación entre diámetro y longitud en el tiempo

En el análisis de correlación por pares no se observó una correlación significativa entre el grosor del tronco y la longitud de los brotes ($r = 0.5695^{NS}$). Este resultado aparentemente contradictorio pudiera deberse a que se sabe que el primer año de establecimiento del frutal, es básicamente de adaptación, habiendo que tener especial cuidado con los riegos en la primavera y verano, así como en las poda de formación; estos factores pueden influenciar en estas dos medidas sobre todo en los primeros años de evaluación.

V. CONCLUSIONES

Sensibilidad de los genotipos a cenicilla

Cenicilla campo y vivero

- 'Rayada', '411' y '428' mostraron la mayor sensibilidad a cenicilla en el ensayo realizado en el campo, en el cual la mayor parte de los genotipos no mostró daños visibles por el hongo.
- 'Lourdes', '436' y '468' resultaron los genotipos más resistentes a cenicilla en el invernadero, bajo condiciones de fuerte presión de incóculo, lo que los hace recomendables para ser establecidos en ambientes húmedos, y/o de poco manejo agronómico. Éstos contrastan con '424', 'Royal Gala' y '428', los cuales, dadas sus bondades, podrían ser establecidos bajo un programa de control fitosanitario estricto, o bien, ser usados como fuente de inóculo.
- No existió una correlación de la susceptibilidad de los genotipos evaluada en condiciones de huerto comercial en Cadereyta con la del invernadero. Sin embargo, se encontraron correlaciones positivas (0.630*) entre las incidencias y las severidades encontradas en la evaluación en Amealco y en el invernadero, lo que pudo deberse a que las plantas mostraban edades comparables en ambos casos.

Sensibilidad a roña

- Se obtuvo una baja incidencia de *Venturia inaequalis* en las hojas de los distintos genotipos en el campo, habiéndose detectado presencia del hongo en sólo cinco de 33 genotipos, no en algunos cultivares conocidos como 'Golden Delicious' 'Delicious', 'Rayada' y en *Malus x micromalus*.
- En el caso del fruto, *Venturia inaequalis* se manifestó con distintos grados de incidencia en 28 de los genotipos estudiados. Sin embargo, al momento de la cosecha, la mayor incidencia se obtuvo en '419' y 'Rayada' contrastando con 'SMD' y 'Lourdes', donde no se observó presencia del hongo.

Época de brotación, vigor y precocidad de distintos genotipos

- Los genotipos que presentaron la brotación de yemas vegetativas más anticipada, signo de bajo requerimiento de frío, y el mayor número de yemas brotadas fueron '424' y 'Joya', contrastando con '429 a', 'Delicious' y 'Golden Delicious'. 'Joya' produjo la mayor cantidad de flores y frutos durante los dos años de estudio, mientras que '424' y '428' mostraron abundante floración en 2012, mas no en 2013. El mayor vigor de las plantas fue obtenido por 'Joya' y 'Royal Gala', lo que las hace prometedoras para ser cultivadas bajo condiciones de temporal, o en que se presenten periodos de déficit hídrico, como en Amealco, Querétaro. Existe una correlación significativa entre la longitud de los brotes, el diámetro del tronco y el peso de la madera de la poda.

Ensayo de portainjertos

- Se detectaron diferencias en el comportamiento de 'Rayada' con relación a su vigor al momento de establecimiento, posteriormente no y tampoco en la brotación en función del portainjerto, lo cual pudiera estar ligado a la edad de la planta o variaciones no precisadas al interior del huerto.

Para futuros trabajos de investigación relacionados con el tema se recomienda:

En cuanto a las enfermedades es recomendable monitorear la concentración de conidios de ambos hongos, durante los siguientes años, para con ellos implementar un programa de control fitosanitario adecuado.

Proseguir la evaluación fenológica de los materiales establecidos en Amealco para confirmar su época de brotación, precocidad, vigor, tolerancia a enfermedades y, más adelante, rendimiento y calidad de los frutos.

Por lo que respecta al ensayo de portainjertos, es necesario realizar evaluaciones durante los próximos años que permitan determinar el efecto de éstos sobre el vigor de 'Rayada' y otros cultivares sobresalientes como 'Joya', '424', '428' y 'Royal Gala', así como sobre el rendimiento, la época de maduración y la calidad de la fruta producida.

IV. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Adams, W. D. 2006. Variedades de frutas y nueces recomendadas para el condado de Harris y la vecindad. Texas cooperative Extension; The Texas A&M University System. Houston. USA. 16 p.
- Agrios, G.N. 2005. Plant Pathology. 5ª Ed. Academic Press INC. Nueva York. USA. 921 p.
- Agustí, M. 2011. Fruticultura. 2ª Ed. Mundi-Prensa. Valencia. España. p.507.
- Álvarez, R. S. 1988. El Manzano. 5ª Ed. Aedos S. A. Madrid, España. 431 p.
- Andersen, P., Crocker, T. 2009. Low Chill Apple Cultivars for North Florida and North Central Florida. University of Florida, IFAS Extension. Horticultural Sciences Department, documento No. HS674. Florida, EE.UU. 10 pp.
- Aristizábal, L M., Villegas, E.B. y Gonzáles, O.H. 1995. Efectos del Aceite agrícola y el dormex (Cianamida Hidrogenada) sobre la brotación de yemas en manzano (*Malus domestica* Borkh.) c.v. Anna. Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Memorias, II Simposium Internacional sobre el Manzano. Ed. Artes Gráficas Tizan, Manizales. Colombia. pp:131-140.
- BAYER. 2008. Internet: <http://www.bayercropscience.com.pe>. Origen del manzano. Fecha de consulta: 12 de Marzo del 2012.
- Biggs, A. R., Yoder, K. S., and Rosenberger, D. A. 2009. Relative susceptibility of selected apple cultivars to powdery mildew caused by *Podosphaera leucotricha*. Online. Plant Health Progress. doi:10.1094/PHP-2009-1119-01-RS.
- Blažek, J. 2004. Pre-selection of apple seedlings for partial powdery mildew (*Podosphaera leucotricha* Ell. et Ev. /Salm./) resistance. *Plant Soil Environmental*. 50(2): 65–69.

- Bogantes-Arias, A. y E. Mora-Newcomer. 2010. Evaluación de cuatro patrones para injertos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Agronomía Mesoamericana*. 21(1):103-111.
- Bonany, J., Carbó, J., Casals, M., Iglesias, I. and Montserrat R. 2004. Performance of some clonal Apple rootstocks in Girona and Lleida (Catalonia, NE-Spain) with special referencie to fruit Quality. Proceedings of the first international conference on rootstocks for Deciduous fruit tree species. Eds. M.Á. Moreno Sánchez y A.D. Webster. Zaragoza, España. *Acta Horticulturae*. 658 (1) 333-339.
- Borlaug, N.E. y Dowswell, C.R. 2002. Perspectivas de la agricultura mundial para el siglo XXI. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, 65: 4-20.
- Bultitude, J. 1983. Apples. University of Washington Press, Seattle, USA. 323pp.
- Calderón, A.E. 1987. Fruticultura general. El esfuerzo del hombre. 3ª Ed. Limusa. México. p. 647-763.
- Calenge, F. and Durel, E.C. 2006. Both stable and unstable QTLs for resistance to powdery mildew are detected in apple after four years of field assessments. *Molecular Breeding*, 17(4): 329-339.
- Caltzontzin, F.K. 2003. Evaluación de fungicidas y antagonicos naturales para el control de enfermedades fungosas del fruto de manzano (*Malus domestica*) en huertos establecidos en los municipios de San Joaquín y Cadereyta, Qro. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México. 73 p.
- Carvajal-Millán E., F. Goycoolea, V. Guerrero, J. Llamas, A. Rascón, J. Orozco, C. Rivera y A.A. Gardea. 2000. Caracterización calorimétrica de la brotación de yemas florales de manzano. *Agrociencia*. 34: 543-551
- Carisse, O.; Pillion, V.; Rolland, D. and Bernier, J. 1999. Effect of fall application of fungal antagonists on spring ascospore production of the apple scab pathogen, *Venturia inaequalis*. *Phytopathology*. 90(1) .31-37.

- Carise, O.; Meloche, C.; Boivin, G. and Jobin, T. 2009. Action thresholds for summer fungicide sprays and sequential classification of apple scab incidence. *Plant Disease*. 93(5) .490-498.
- Castaño, T.E. y Domínguez, D.J. 2010. Diseño de Experimentos: Estrategias y análisis en Ciencia y Tecnología. Ed. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. 418 p.
- CEA. 2005. Reporte de la temperatura y precipitación media mensual y heladas de 2005 a 2006. Comisión Nacional del Agua. Dirección Local de Querétaro. Subdirección de asistencia técnica operativa. Estación Amealco, Querétaro, México.
- CEA. 2012. Reporte de la temperatura y precipitación mensual (1927-2011). Comisión Estatal del Agua. Dirección local de Querétaro. Subdirección de asistencia técnica operativa. Estación El Doctor, Cadereyta, Qro. Clave de la estación, 22005. Querétaro, México.
- CEA. 2012. Reporte de la temperatura, humedad y precipitación mensual. Comisión Estatal del Agua, Dirección local de Querétaro. Subdirección de asistencia técnica operativa, estación San Joaquín. Resumen mensual del historial de ICADEREY2. San Joaquín, Querétaro, Qro., México.
- CEA. 2013. Reporte de la temperatura y precipitación media mensual y heladas de 2010 a 2011. Comisión Nacional del Agua. Dirección Local de Querétaro. Subdirección de asistencia técnica operativa. Estación Amealco, Querétaro, México.
- Crocker, T.E., Sherman, W.B. y Williamson, J.G. 2005. La manzana en Florida. Universidad de Florida. Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas. Gainesville. EE.UU. pp.3.
- Cummins, J.N, and Aldwinckle, H.S. 1973. Fire blight susceptibility of fruiting trees of some apple rootstocks clones. *HortScience*. 8:176-178.
- Da Mota, F.S. 1957. Os insetos de pelotas, RS, em relacao as exigencia das arvores frutiferas de folhas caducas. Rio Grande do Sul. Bol. Tec. Inst. Agr. Sul.

- Dapena, E. y M.D. Blázquez. 2002. Producción y variedades, conservación, evaluación y mejora de los recursos fitogenéticos del banco de germoplasma del SERIDA. *Fruticultura profesional*. 128: 65-72
- Dapena, F.E, Blázquez N.D. y Fernández, R.M. 2006. Recursos filogenéticos del banco de germoplasma del manzano de SERIDA. *Boletín informativo Tecnología Agroalimentaria*. 3: 34-39.
- Dapena, E., Miñarro, M., Fernández-Ceballos, A. y Raigón, M.D. 2006. Efectos multitróficos de diferentes estrategias de manejo de una plantación de manzano. Avances de resultados. VII Congreso SEAE (No. 108). Zaragoza. España. 12 p.
- Dapena, E.; Alegre S.; G. Alins; L. Batllori; M. D. Blazquez; J. Corbó; A. Escudero; I. Iglesias, M. Miñarro; P. Vilardell y M. Vilajeliou. 2008. Propuestas Técnicas para el cultivo ecológico de manzana. *Agroecología* 3: 67-76
- Dayton, D.F. 1977. Genetic immunity to Apple mildew incited by *Podosphaera leucotricha*. *HortScience* 12: 225-226.
- De Ravel, G. 1970. Variedades americanas de manzana. Nueva enciclopedia de agricultura. Ed. Acribia. Barcelona, España. pp: 18- 75.
- Dewdney, M., Charest, J., Paulitz, T. and Carisse, O. 2003. Multivariate analysis of apple cultivar susceptibility to *Venturia inaequalis* under greenhouse conditions. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 25(4): 387-400.
- Droby, S.E., Wilson, C.L., and Winiewski, M.E. 1989. Characterization of the biocontrol activity of *Debaryomyces hansenii* in the control of *Penicillium digitatum* on grape. *Canadian Journal of Microbiology*, 35 (8): 794-800.
- Ellis. M. A. 2008. Apple Powdery Mildew. Fact Sheet Agriculture and Natural Resources. Department of Plant Pathology. The Ohio State University. Ohio. USA. 2 p.
- Faize. M., Malnoy. M., Dupuis. F., Chevalier. M., Parisi. L. and Chevreau. E. 2003. Chitinases of *trichoderma atroviride* induce scab resistance and some

- metabolic changes in two cultivars of apple. *Phytopathology*. 93(12): 1496-1504.
- FAO, 2010. FAOSTAT, Producción anual del manzano. <http://faostat.fao.org>. Fecha de consulta 12 de abril de 2012.
- Felipe, A.J. 1989. Patrones para frutales de pepita y hueso. Ediciones Técnicas Europeas, S.A. Barcelona. España. 181 p.
- Fernández, R. y Parra, R. 2006. Rehabilitación de huertos de manzano en las serranías. Desplegable para productores Núm.6. Ed. INIFAP Chihuahua, Chihuahua. 2 p.
- Ferre, D.C. and Carlson R.F. 1987. Apple rootstocks. In: Rootstocks for fruit crops. Eds. R.C. Rom & R.F. Carlson. John Wiley & Sons. New York, NY. USA. 494 p.
- Ferree, D., y I. Warrington. 2003. Apples: Botany, Production and Uses. CAB International. Cambridge, EE. UU. 661 p.
- Filonow, A.B., Vishniac, H.S., Anderson, J A. and Janisiewicz, W.J. 1996. Biological control of *Botrytis cinerea* in apple by yeast from various habitats and their putative mechanisms of Antagonism. *Biological Control*. 7(2): 212-220.
- French, E.R. y Hebert, T.T. 1980. Métodos de investigación fitopatológica. 1ª Ed. Instituto interamericano de ciencias agrícolas, San José, Costa Rica. 289 p.
- Flint, H. 1997. Landscape plants for Eastern North America. John Wiley and Sons. Nueva York, EE.UU. 842 p.
- Fuchigami, L.H. and C.C. Nee. 1987. Degree growth stage model and rest-breaking mechanisms in temperate woody perennials. *HortScience* 22: 836-845.
- García, C.M. 2013. Determinación del desarrollo y la época de maduración de genotipos de manzana establecidos en la sierra de Querétaro. Tesis para obtener el título de Químico Agrícola. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro. México. 94 pp.

- González, P. M.; Valencia, G. L. 2001. Respuesta del manzano Delicious a la aplicación de tres estimuladores de brotación en condiciones de bajo frío invernal. IX Congreso Nacional de Horticultura. Oaxtepec, Morelos, México.
- González, A.; M. Fernández; A. Rumayor; E. Castaño y R. Martínez. 2005. Diversidad genética en poblaciones de manzano en Querétaro, México, revelada por marcadores RAPD. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(1): 83-91
- González P.M., G.N. Rocha, J. Simpson, R.G. Rodríguez, J.A. Gallegos, E. Delgado y K. Gil. 2008. Determinación de algunos atributos de calidad de manzana 'Starking' y 'Golden Delicious' en comparación con sus mutantes y su relación con las unidades frío. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 6(1): 27-32.
- González, P. M. y Valencia, G. L. 2001. Respuesta del manzano Delicious a la aplicación de tres estimuladores de brotación en condiciones de bajo frío invernal. IX Congreso Nacional de Horticultura. Oaxtepec, Morelos, México.
- Hanelt, P. 2001. Mansfeld's Encyclopedia of Agricultural and Horticultural Crops. Rosaceae. Eds. Springer. Heidelberg. Alemania. 3645 pp.
- Havagge, R., and J. N. Cummins. 1991. Phenotypic variation of length of bud dormancy in apple cultivars and related *Malus species*. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 116: 100-106
- Hernández, C.F.D. 1975. La roña del manzano *Venturia inaequalis* (Cke) Wint. Ed. Departamento de Parasitología Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila. México. 13 p.
- Hernández, S.E., Soto, H.M., Rodríguez, A.J. y Colinas, L.T. 2002. Contenido de fenoles y actividad enzimática asociados con el daño provocado por cenicilla en hojas de durazno. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25(2): 153-159.
- Iglesias, I., Asín, L., Montserrat, R., Vilardell, P., Carbó, J. y Bonany, J. 2004. Performance of Some Pear rootstocks in Lleida and Girona (Catalonia, NE-Spain). Proceedings of the first international conference on rootstocks for Deciduous fruit tree species. Eds. M.Á. Moreno Sánchez y A.D. Webster. Zaragoza, España. *Acta Horticulturae*. 658 (1) 159-165.

- Iglesias, I., Montserrat. R., J., Carbó, Bonany J. y Casals, M. 2004. Evaluation of agronomical performance of several peach rootstocks in Lleida and Girona (Catalonia, NE-Spain). Proceedings of the first international conference on rootstocks for Deciduous fruit tree species. Eds. M.Á. Moreno Sánchez y A.D. Webster. Zaragoza, España. *Acta Horticulturae*. 658 (1) 341-348.
- INEGI, 2010. Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. pp: 53, 54, 56, 63.
- Jackson, J.E. 2003. The Biology of Apples and Pears. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. 489 p.
- James, N. Moore y Jules Janick., 1998. Métodos genotécnicos en frutales. 1ra Ed. AGT editor, D.F. México. 606 p.
- Janick, J., Cummins, J.N., Brown, S.K. y Hemmat, M. 1996. Apples. *In*: J. Janick and J.N. Moore eds. Fruit breeding tree and tropical fruits. Wiley, Ed. John Wiley & Sons .New York. USA. 1: 1-77.
- Janisiewicz , W.J. and Korsten, L. 2002. Biological control of postharvest diseases of fruits. *Journal of Phytopatology*. 40: 411-441.
- Janisiewicz, W.J., Yourman, L., Roitman, J. and Mahoney, N. 1991. Postharvest control of blue-mold and gray-mold of apples and pears by treatment whit pyrrolnitrin, a metabolite of *Pseudomonas cepacia*. *Plant Disease*, 75: 490-494.
- Janse, J.J., Verhaegh y Den Nijs, A.P.M. 1994. Early selection of partial resistance to powdery mildew, *Podosphaera leucotricha* (Ell.et Ev.) Salm. In apple progenies. *Euphytica*. 77 (1):7-9.
- Jeger, M. J., Butt, D. J. and Swait, A. A. 1986. Components of resistance of apple to powdery mildew (*Podosphaera leucotricha*). *Plant Pathology*. 35: 477–490.
- Jones, A.L. and Aldwinckle, H.S. 2002. Compendium of Apple and Pear Diseases. The American Phytopathological Society; Plagas y enfermedades del manzano y del peral. 2a Ed. Mundi-Prensa. Madrid. España. 121 p.

- Koutinas, N., G. Pepeliankov y V. Lichev. 2010. Flower induction and flower bud development in apple and sweet cherry. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*. 24(1):1549-1558.
- Korban, S.S and Riemer, S.E. 1990. Genetics and histology of powdery mildew resistance in apple. *Euphytica*. 48(3): 261-267.
- Lalatta, P. 1999. Guide complet de la culture des Pommes. Eds. De Vecchi. París, Francia. 111 p.
- Latorre, B.1999. Enfermedades de las plantas cultivadas. 5^a ed. Aldaomega grupo editor, D.F., México. 646 p.
- Legarreta, R.R., Cuellar, J.L., Zacatenco, G.M.G y Parra, Q.A.R. 2007. Susceptibilidad de tres cultivares de manzano (*Malus sylvestris*) L. Mill. Var *Domestica* (Borkh.) y manejo de la roña del manzano. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 25: 143-151.
- Leith, H. 1974. Phenology and seasonality modelling. Ed. Chapman and Hall, Londres, Reino Unido. 444 p.
- LoGiudice, N., Aldwinckle. H.S. and Robinson, T.L. 2006. The Nature of resistance of the 'B.9' apple rootstock to fire blight. *Acta Horticulturae*. 704: 515-520.
- Mariscal, L.A. y Santos, G.L. y Huerta, J. 2007. Genética de la Resistencia a roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.) en líneas elite de trigo duro. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30 (1): 33-38.
- Martínez, O. 1993. Algunas características de los portainjertos de Manzano. Ed. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 7 p.
- Masseron, A. 1989. Les porte-greffe pommier, poirier et nashi. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes. Ed. CTIFL. Paris, France. 297 p.

- McLaughlin, R.J., Wisniewski, M.E., Wilson, C.L. and Chalutz, E. 1990. Effect of inoculum concentration and salt solutions on biological control of postharvest diseases of apple with *Candida sp.* *Phytopathology*, 80: 456-461.
- Melgarejo, P y Salazar, D. 2003. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas (Vol. II): Algarrobo, granado y jinjolero. Eds. AMV y Mundi-Prensa, Madrid, España. 430 p.
- Mendoza-López, A.; Kushad, M.; Zavala, I.; Martínez-Peniche, R. 2006. Efecto del número de frutos por racimo y fechas de corte en la calidad de manzana 'rayada'. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 29 (Número especial 2): 45 – 50.
- Mendoza, A. y R. Á. Martínez. 2008. Época de maduración y calidad del fruto de genotipos de manzana en Cadereyta, Qro. *Revista Chapingo. Serie horticultura* 14(1): 71-78.
- Miñarro, M. and E. Dapena. 2007. Resistance of apple cultivars to *Dysaphis plantaginea* (Hemiptera: Aphididae): Role of tree phenology in infestation avoidance. *Environmental Entomology* 36(5):1206-1211
- Miranda, J. and Royo, B. 2004. Statistical model estimates potential yields in “Golden Delicious” and “Royal Gala” apples before bloom. *Journal of American Society for Horticultural Sciences*. 129(1): 20-25.
- Mohamed, A. 2008. The effect of chilling, defoliation and hydrogen cyanamide on dormancy release, bud break and fruiting of Anna Apple cultivar. *Scientia Horticulturae*. 118(1): 25-32.
- Mondino, P. 2003. Internet: Enfermedades Fúngicas del Manzano, <http://www.pv.fagro.edu.uy>. Última actualización: 07-02-2003.
- Moore, J. N., y Janick, J. 1998. Métodos genotécnicos en frutales. 1ª Ed. AGT Editor, D.F., México. 606 p.
- Mycobank. 2012. Internet: <http://www.mycobank.org>. Taxonomía de *Venturia inaequalis* (Cooke) G.Winter (1897). Última actualización: 08-06-2012.

- Nigam, N.; Mukerji, K. G. 1988. Biological control. Concepts and practice. *In: Biocontrol of Plant Diseases*. Vol. 1. MUKERJI, K. G.; GARG, K. L. (Eds.). CRC Press Boca Ratón. Florida. EE.UU. pp. 1–13.
- Norelli, J.N., Jones, A.L. and Aldwinckle, H.S. 2003. Fire blight management in the twenty-first century using new technologies that enhance host resistance in apple. *Plant Disease*. 87(7): 756-765.
- Olmstead, J.W. and Lang, A.G. 2000. A Leaf Disk Assay for Screening Sweet Cherry Genotypes for Susceptibility to Powdery Mildew. *HortScience*. 35(2):274–277.
- Parisi, L., Lespinasse, Y., Guillaume`s, J., and Kruger, J. 1993. A new race of *Venturia inaequalis* virulent to apples with resistance due to the *Vf* gene. *Phytopathology*. 83:533–537.
- Parra, Q. R. 1993. Avances de investigación sobre el comportamiento de cultivares y portainjertos para el manzano en Cuauhtémoc, Chi. CESICH, INIFAP Campo experimental Sierra de Chihuahua, Cd. Cuauhtémoc. México. 18 p.
- Parra, R.A. y Guerrero, V. 1994. Influencia de portainjertos clonales para manzano sobre comportamiento, dimensiones y producción del árbol (Folleto científico No. 2). Campo experimental sierra de Chihuahua. Chihuahua, México. 21 p.
- Parra, Q.R, Becerril, R.E y López, C.C. 2002. Transpiración, resistencia estomática y potenciales hídricos en manzano Golden Delicious injertados sobre portainjertos clonales. *Terra*, 20(2): 113-121.
- Parra Q. R., Ramírez L. M., Cuellar. J., Zacatenco G.G. 2007. Desahije o aclareo de fruto en manzano. Centro de investigación Regional Centro INIFAP-Hidalgo. Desplegable para productores, Folleto Núm. 8.
- Patocchi. A., Frei. A., Frey. J.E. and Kellerha. M. 2009. Towards improvement of marker assisted selection of apple scab resistant cultivars: *Venturia inaequalis* virulence surveys and standardization of molecular marker alleles associated with resistance genes. *Molecular Breeding*. 24 (4) 337-347.

- Plan Rector Sistema Nacional Manzana. 2005. SAGARPA, ITESM, INCA. Chihuahua, México. 23 p.
- Ramírez, L. R.; Jacobo, C. L.; Sánchez, C. E. y Soto, P. M. 2002. Curva de epidemia de cenicilla del manzano como indicador en la toma de decisiones para el uso de fungicidas. *Agricultura Técnica en México*. 28(1):15-21.
- Ramírez, H. y Mata I. 1986. Flowering capacity of a 'Golden Delicious' mutants in northeast Mexico. *Acta Horticulturae*. 179: 373-374.
- Ramírez, R.H. y Cepeda, M. 1993. El Manzano. 2ª Ed. Trillas. México, D.F. 160 p.
- Ramírez, R.H., Abbott, D., y Benavides, A.M. 2002. Fisiología y manejo de manzano. 1ª Ed. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México. pp: 44-45.
- Ramírez-Legarreta, M., C.J. Jacobo; A. Gardea y R. Parra. 2008. Modelo de desarrollo floral en manzanos [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var. *domestica* (Borkh) Mansf.] 'Red Delicious' y 'Golden Delicious' como herramienta de toma de decisiones en el manejo integrado de enfermedades. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 56(2):153-163.
- Romero, D., Vicente, A., Rakotoaly, R.H., Dufour, S. E., Veening, J.W., Arrebola E., Cazorla, F. M., Kuipers O.P., Paquot M. and García, A.P. 2006. The iturin and fengycin families of lipopeptides are key factors in antagonism of *Bacillus subtilis* toward *Podosphaera fusca*. Ed. Departamento de Microbiología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga, Costa Alarobo, España. pp:1-11.
- Romero, D., De Vicente, A., Zerriouh, H., Cazorla, F., Fernández-Ortuño, D., Torés, J. A., y Pérez-García, A. 2007. Evaluation of biological control agents for managing cucurbit powdery mildew on greenhouse-grown melon. *Plant Pathology*. 56 (6): 976–986.
- Sadhu, M.K: 1989. Plant propagation. New Age International Publishers, Nueva Delhi, India. 287 p.
- SAS Institute. 2009. JMP User's guide. 2ª ed. SAS Institute Inc. Cary, EE.UU.

- Schneider, G y Scarborough, C. 1984. Cultivo de árboles frutales. Traducción por Celedonio Sevillano Mayo. 17ª Ed. Continental, D.F. México. 445 p
- Sestras, R. 2003. Response of several apple varieties to apple scab (*Venturia inaequalis*) attack in Central Transylvania conditions. *Journal of Central European Agriculture*. 4(4): 365-362.
- Seem R.C. y Gilpatrick, J.D. 1980. Incidence and severity relationships of secondary infections of powdery mildew on apple. *Ecology and Epidemiology*. 70:851-854.
- Sholberg, P.L., Lane, W.D., Haag, P., Bedford, K. and Lashuk, L. 2001. A novel technique for evaluation of apple (*Malus x domestica* Borkh.) cultivars for susceptibility to powdery mildew. *Canadian Journal of Plant Science*. 81: 289-296.
- Sholberg, P. L. and Boulé, J. 2009. Palmolive® detergent controls apple, cherry, and grape powdery mildew. *Canadian Journal of Plant Science*. 89: 1139-1147.
- SIAP. 2010. Internet: <http://www.siap.gob.mx>. Servicio de información agroalimentaria y pesca. Cierre de producción agrícola Querétaro 2010, ciclos-perennes. Manzana de todos los municipios. Fecha de consulta: 25 de enero de 2012.
- SIAP. 2011. Internet: <http://www.siap.gob.mx>. Servicio de información agroalimentaria y pesca. Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional perennes 2011. Riego y temporal. Fecha de consulta: 25 de Enero de 2012.
- SIAP. 2011. Internet: <http://www.siap.gob.mx>. Servicio de información agroalimentaria y pesca. Avance de siembras y cosechas. Querétaro Perennes 2010. Riego y temporal. Fecha de consulta: 25 de Enero de 2012
- SIAP. 2011. Internet: <http://www.siap.gob.mx>. Servicio de información agroalimentaria y pesca. Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional perennes 2011. Riego y temporal. Fecha de consulta: 25 de Enero de 2012.

- SIAP 2013. Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional perennes 2011. Riego y temporal. 18 de febrero de 2013. www.siap.gob.mx
- SIAP 2013. Cierre de producción agrícola Querétaro 2010, ciclos-perennes, manzana, todos los municipios. 18 de febrero de 2013. www.siap.gob.mx
- SMN. 2010. Internet: <http://www.smn.cna.gob.mx>. Sistema Meteorológico Nacional. Registro de precipitación anual. Fecha de consulta: 15 de Mayo de 2012.
- Sutton, T.B. y Jones, A.L. 1979. Analysis of factors affecting dispersal of *Podosphaera leucotricha* conidia. *Phytopathology*. 69:380-383.
- Trillot, M., Masseron, A., Tronel, C. 1993. Pomme. Les Variétés. Ctifl. París, Francia. 203 p.
- Unión Internacional para la protección de las producciones vegetales. 2005. Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad. Manzana, variedades frutales. 29 de abril de 2013. www.upov.int/edocs/tgdocs/es/tg014.pdf
- Urbanietz, A. and Dunemann, F. 2005. Isolation, identification and molecular characterization of physiological races of apple powdery mildew (*Podosphaera leucotricha*). *Plant Pathology*, 54: 125–133.
- Urribarren, A. R. 2000. Control de plagas y enfermedades en el manzano. Departamento para el desarrollo rural de Gipuzkoa, Gobierno vasco. España. <http://www4.gipuzkoa.net>. Fecha de consulta 14 de abril de 2012.
- USDA. 2010. Internet: <http://usda.mannlib.cornell.edu>. Economic research service. U.S Apple statistics. Table 40. World apple production, including top-producing countries, 1980-2008. Fecha de consulta: 25 de Enero de 2012.
- USDA. 2010. Internet: <http://usda.mannlib.cornell.edu>. Economic research service. U.S Apple statistics. Table 39--World apple acreage. Fecha de consulta: 26 de Enero del 2012.

- Van Der Plank, J.E. 1968. Disease resistance in plants. Ed. Academic Press. New York, USA: 124 p.
- Vázquez, B.M.E., Martínez–Peniche, R., Fernández-Escartín E. 2001. Developmente of toxigenic *Aspergillus flavus* and *A. parasiticus* on kernels of native pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] genotypes under different water activities. Elsevier. *Scientia Horticulturae*. 89(2001): 155-169.
- Vázquez-Cruz, M.A., Luna, R.R., Contreras, M.L., Torres, P.I. and Guevara, G.R. 2012. Estimating the response of tomato (*Solanum lycopersicum*) leaf area to changes in climate and salicylic acid applications by means of artificial neural networks. *Biosystems Engineering*. 12(1) 319-327.
- Velarde. F. y Gil A. 2003. Tratado de arboricultura frutal. Poda de frutales. Ministerio de Agricultura, pesca y Alimentación. Ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. Vol. V, 2.^a Edición. 217 p.
- Wertheim, S.J., 1996. Rootstocks guide, apple, pear, cherry, european plum. Fruit research station wilhelminadorp the Netherlands. Ed. FPO. Wilhelminadorp. Netherlands. 144 p.
- Westwood, N.M. 1993. Temperate-Zone Pomology, 3th Ed. Timber Press. Portland. USA. pp: 65-425.
- Xu X.M., Butt, D.J. and Ridout, U.S. 1995. Temporal patterns of airborne conidia of *Podosphaera leucotricha*, causal agent of apple powdery mildew. *Plant Pathology*, 44: 944-955.
- Zavala, I. 2005. Efecto del raleo y acolchado sobre la calidad de manzanas 'Red Delicious' y 'Golden Delicious' producidas en la Sierra de Querétaro, Qro. México. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencia y tecnología de los alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México 109 p.
- Zavala, I.; Martínez, P. R. and Fernández, R. 2006. Effect of thinning on size of 'Golden Delicious' and 'Red Delicious' apples established in Central Mexico. *Acta Horticulturae*. 727: 451-455.

Zegbe, D.J. 1995. Fenología del duraznero criollo en Jerez, Zacatecas, México: Un modelo y código decimal fenológico. *Agro-Ciencia* 11(2):129-136.

Zucal. 2012. Internet: <http://www.meccanicazucal.com>. Cosecha semi-automática de manzano. Fechas de consulta: 1 de mayo de 2012.

V. ANEXOS

Anexo 1. Producción en México de manzana por estados en 2010

Estado	Sup. Plantada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)	Valor Producción (Miles de Pesos)
AGUASCALIENTES	50.00	50	420	8.4	2,219
BAJA CALIFORNIA	16.00	4	6.2	1.55	41.80
CHIAPAS	1,275.5	1,256.5	3,384.53	2.69	33,660.86
CHIHUAHUA	25,813	23,079	398,155.2	17.25	2,276,814
COAHUILA	7,028	7,018	59,653.78	8.5	357,909.5
DF	62.85	62.85	425.05	6.76	3,374.39
DURANGO	10,951	10,839.75	47,794.72	4.41	296,635.1
GUANAJUATO	31	31	66.9	2.16	331.45
GUERRERO	28.5	28	114.4	4.09	1,044.77
HIDALGO	1,018.2	966	4,308.3	4.46	19,653.34
JALISCO	38.5	27.	141.8	5.25	1,585.30
MEXICO	181.6	173.35	1,281.34	7.39	8,384.56
MICHOACAN	157.4	156	1,158.46	7.43	6,076.46
MORELOS	13	0	0	0	0
NUEVO LEON	1,958.6	1,908.6	6,472.68	3.39	55,455.12
OAXACA	660.2	626	2,109.55	3.37	6,739.70
PUEBLA	8,740.8	8,740.7	39,554.6	4.52	117,460
QUERETARO	763.5	763.50	1,671.5	2.19	4,436.87
SAN LUIS POTOSI	21	20	161.25	8.06	1,138.42
SONORA	213	175	1,080.24	6.17	5,882.16
TLAXCALA	14	14	113.61	8.12	628.02
VERACRUZ	878.00	878	10,755.01	12.25	23,471.45
ZACATECAS	1,305.6	925.63	5,826	6.29	30,123.12
TOTAL	61,219.5	57,742.95	584,655.18	10.13	3,253,065.8

(Fuente: SIAP, 2010)

**Anexo 2. Principales municipios productores de manzana en Querétaro.
Resumen riego y temporal 2010**

Ubicación	Sup. Sembrada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)	Valor Producción (Miles de Pesos)
CADEREYTA DE MONTES PEÑAMILLER	151.5	151.5	363.6	2.4	1,260.69
PINAL DE AMOLES	103	80	254	3.18	885.0
SAN JOAQUIN	445	445	378.25	0.85	1,134.75
TOTAL	704.5	681.5	0.97	19,057.5	3,304.73

(Fuente: SIAP, 2011)