



"Enseñar la explotación de la
tierra, no la del hombre"

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA ÁGRICOLA

INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE LA ROYA DEL TALLO
(*Puccinia graminis* f. sp. *avenae* Eriks y Henn) EN 28
VARIEDADES DE AVENA (*Avena sativa* L.)
SEMBRADAS EN TEMPORAL.

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL



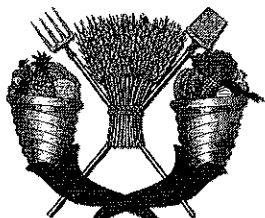
DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

JIMÉNEZ VÁSQUEZ MANUEL

Chapingo, México, Diciembre de 2009.





"Enseñar la explotación de la
tierra, no la del hombre"

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA ÁGRICOLA

**INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE LA ROYA DEL TALLO
(*Puccinia graminis* f. sp. *avenae* Eriks y Henn) EN 28
VARIEDADES DE AVENA (*Avena sativa* L.)
SEMBRADAS EN TEMPORAL.**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

PRESENTA:

JIMÉNEZ VÁSQUEZ MANUEL

Chapingo, México, Diciembre de 2009.

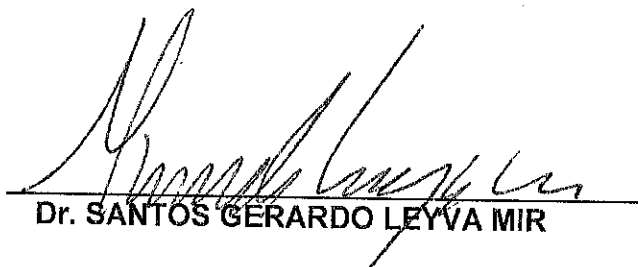


INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE LA ROYA DEL TALLO (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae* Erriks y Henn) EN 28 VARIEDADES DE AVENA (*Avena sativa* L.) SEMBRADAS EN TEMPORAL.

Tesis realizada por el C. Ing. **Manuel Jiménez Vásquez**, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

DIRECTOR



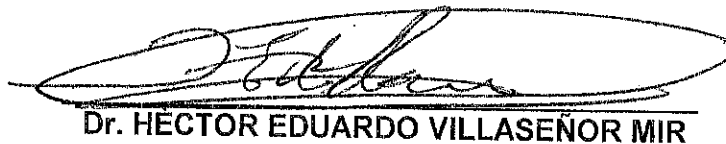
Dr. SANTOS GERARDO LEYVA MIR

ASESOR



Dr. JULIO HUERTA ESPINO

ASESOR



Dr. HÉCTOR EDUARDO VILLASEÑOR MIR

Chapingo, México, Diciembre de 2009

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de la Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo económico otorgado durante la realización de mis estudios de maestría.

A la **Universidad Autónoma Chapingo**, y al **Programa de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal del Departamento de Parasitología Agrícola** por darme la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado.

Al **Dr. Santos Gerardo Leyva Mir** por su valiosa dirección y apoyo constante en el desarrollo de la presente investigación. Mi respeto y admiración.

Al **Dr. Julio Huerta Espino** por compartir sus conocimientos y experiencias, y por su paciencia en la dirección de la presente investigación. Mi respeto y gratitud.

Al **Dr. Héctor Eduardo Villaseñor Mir** por sus valiosos consejos, comentarios, observaciones y sugerencias en la dirección de esta investigación. Gracias por su tiempo y apoyo brindado.

Al campo experimental Valle de México (INIFAP-CEVAMEX), por los materiales y espacio proporcionados para realizar esta investigación.

A los profesores del Programa en Protección Vegetal por su contribución para la realización de mis estudios de posgrado y conocimientos brindados.

Al Sr. Carlos y José por su tiempo y ayuda brindada para establecer el experimento en campo.

A mis compañeros y amigos de la maestría (Vicente, Reyes, Lupita, Elvia Quezada, José Luis, Ismael David, Ulises, Adán) por su apoyo y amistad durante mi estancia en el posgrado. Y a todas las personas que de una u otra forma intervinieron en la realización de este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A Dios por darme salud y fortaleza en la vida y por permitirme alcanzar las metas que me he propuesto hasta el día de hoy.

A mis padres

Herminia Vázquez Pérez y Trinidad Jiménez López por ser personas que no se rinden ante las adversidades de la vida, los Amo y gracias por apoyarme en mi formación profesional ya que sin sus esfuerzos no lo hubiera logrado.

A mis hermanos

Rosa, Jorge, José, Laura y Martha por el apoyo brindado en todo momento y por el amor fraternal que siempre hemos tenido como familia y por ser personas que luchan por ser cada día mejores en la sociedad.

A Mariana Palma

Por ser una persona maravillosa que llego a mi vida, por todos los momentos felices que hemos pasado juntos y por el apoyo incondicional, cuando más lo necesito. Gracias te Amo.

A la familia Palma Tenango, por todo el cariño y amistad brindada.

BIOGRAFIA DEL AUTOR

Manuel Jiménez Vásquez, nació el 22 de diciembre de 1977 en la colonia francisco j. Mujica municipio de Comitán Chiapas, cursando sus estudios de bachillerato en la Universidad Autónoma Chapingo de 1997 a 2000.

En el año 2000 ingreso al departamento de fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, donde curso la carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia. Realizo su estancia pre-profesional en la empresa Coxflor en Villa Guerrero Estado de México y culminando sus estudios de licenciatura en el año 2005.

En enero de 2007 ingreso a la Maestría en Ciencias en Protección Vegetal del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad autónoma Chapingo, terminando en el año 2008, presentando el trabajo de investigación "Incidencia y severidad de la roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae* Eriks y Henn) en 28 variedades de avena (*Avena sativa* L.) sembradas en temporal" en el Campo Experimenta del Valle de México (CEVAMEX) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

CONTENIDO

INDICE DE CUADROS.....	i
INDICE DE FIGURAS.....	iii
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	v
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.2. Objetivos especificos.....	3
1.1.3. Hipótesis.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Avena.....	4
2.1.1. Origen.....	4
2.1.2. Características botánicas y morfológicas.....	4
2.1.3. Importancia mundial.....	6
2.1.4. Importancia nacional.....	7
2.1.5. Valor nutricional.....	8
2.1.6. Usos.....	9
2.2. Royas.....	10
2.2.1. Desarrollo de las epifitias naturales.....	14
2.2.2. Roya del tallo.....	15
2.2.2.1. Importancia y distribución.....	17
2.2.2.2. Características morfológicas.....	17
2.2.2.3. Ciclo biológico.....	18
2.2.2.4. Condiciones favorables del patógeno.....	22
2.2.2.5. Síntomas.....	22
2.2.2.6. Epidemiología.....	24
2.2.2.7. Pérdidas de rendimiento.....	25
2.2.2.8. Efecto del patógeno sobre las funciones fisiológicas de la planta.....	26
2.2.2.9. Control.....	28
2.2.3. <i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>Avenae</i>	29
2.2.3.1. Especialización patogénica.....	30
2.2.3.2. Evolución de nuevos biotipos.....	31
2.3. Resistencia genética.....	32
2.3.1. Tipos de resistencia genética.....	32
2.3.1.1 Resistencia específica a la raza o resistencia vertical.....	33
2.3.1.1.1. Hipersensibilidad.....	33
2.3.1.2. Resistencia no específica a la raza o resistencia horizontal..	34
2.3.1.3. Resistencia genética en roya del tallo en avena.....	35
2.4. Herencia de la resistencia.....	36
2.5. Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE).....	36
2.6. Variedades de avena.....	38
2.6.1. Texas.....	38
2.6.2. Nodaway.....	38
2.6.3. AB177.....	39

2.6.4. Putnam 61.....	40
2.6.5. Perla.....	41
2.6.6. Ópalo.....	42
2.6.7. Chihuahua.....	43
2.6.8. Cuauhtémoc.....	44
2.6.9. Guelatao.....	45
2.6.10. Tulancingo.....	46
2.6.11. Juchitepec.....	46
2.6.12. Huamantla.....	47
2.6.13. Diamante R-31.....	48
2.6.14. Tarahumara.....	49
2.6.15. Páramo.....	50
2.6.16. Gema.....	51
2.6.17. Babícora.....	52
2.6.18. Cusihiuriachi.....	52
2.6.19. Papigochi.....	53
2.6.20. Rarámuri.....	53
2.6.21. Karma.....	54
2.6.22. Cevamex.....	54
2.6.23. Menonita.....	55
2.6.24. Bachiniva.....	56
2.6.25. Obsidiana.....	57
2.6.26. Turquesa.....	58
2.6.27. Pampas.....	58
2.6.28. Teporaca.....	59
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	61
3.1. Localización del sitio experimental.....	61
3.2. Preparación de la semilla.....	61
3.3. Preparación del terreno.....	62
3.4. Siembra.....	63
3.5. Presencia del patógeno.....	63
3.6. Diseño experimental.....	63
3.7. Material utilizado.....	64
3.8. Variables evaluadas.....	65
3.8.1. Incidencia y severidad de la roya del tallo.....	65
3.8.2. Días a floración.....	65
3.8.3. Días a madurez comercial.....	66
3.8.4. Pérdida de rendimiento de grano.....	66
3.9. Análisis estadístico.....	66
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	67
4.1. Análisis de varianza.....	67
4.1.1. Primera fecha de siembra.....	67
4.1.2. Segunda fecha de siembra.....	69
4.1.3. Tercera fecha de siembra.....	71
4.1.4. Cuarta fecha de siembra.....	73

4.1.5. Quinta fecha de siembra.....	75
4.2. Análisis de varianza combinado.....	77
4.3. Mejor fecha de siembra para cada una de las 28 variedades.....	82
4.4. Porcentaje de daño de la última evaluación.....	83
4.5. Peso de 100 semillas.....	84
4.6. Días a floración.....	86
4.7. Días a madurez.....	88
5. CONCLUSIONES.....	90
6. LITERATURA CITADA.....	91
7. ANEXO.....	97

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Superficie histórica sembrada de avena. De 1980-2008 (hectáreas).....	8
Cuadro 2. Componentes de la avena en 100 g de sustancia.....	9
Cuadro 3. Principales usos de la avena (<i>Avena sativa</i> L.).....	10
Cuadro 4. Variedades comerciales de avena cultivadas y evaluadas en el ciclo PV/2008.....	64
Cuadro 5. Comparaciones de medias del Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE) en 28 variedades de avena para la fecha 1, Chapingo, México. P-V/2008.....	67
Cuadro 6. Comparaciones de medias del ABCPE en 28 variedades de avena para la fecha 2, Chapingo, México. P-V/2008.....	70
Cuadro 7. Comparaciones de medias del ABCPE en 28 variedades de avena para la fecha 3, Chapingo, México. P-V/2008.....	72
Cuadro 8. Comparaciones de medias del ABCPE en 28 variedades de avena para la fecha 4, Chapingo, México. P-V/2008.....	74
Cuadro 9. Comparaciones de medias del ABCPE en 28 variedades de avena para la fecha 5, Chapingo, México. P-V/2008.....	76

Cuadro 10. Comparaciones de medias del ABCPE para cada una de las 5 fechas de siembra, Chapingo, México. P-V/2008.....	78
Cuadro 11. Comparaciones de medias del ABCPE en 28 variedades de avena en las 5 fechas, Chapingo, México. P-V/2008.....	78
Cuadro 12. Valores de Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) en cada una de las variedades en las 5 fechas de siembra.....	82
Cuadro 13. Porcentaje de severidad de la última evaluación en cada una de las 28 variedades en las 5 fechas de siembra, Chapingo, México. P-V/2008.....	84
Cuadro 14. Promedio del peso de 100 semillas en las 5 fechas de siembra de cada una de las 28 variedades sin fungicida comparadas con una fecha que se aplico fungicida, Chapingo, México. P-V/2008.....	86

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo biológico de la roya del tallo en avena.....	21
Figura 2. Sobres con 50 gramos de semilla de avena de cada variedad.....	61
Figura 3. Terreno preparado para la siembra de avena.....	62
Figura 4. Trazo de las unidades experimentales.....	62
Figura 5. Variedades sembradas por parcela en 4 surcos de 5 metros de largo..	64
Figura 6. Avena al 50% de floración.....	65
Figura 7. Porcentaje de severidad de roya del tallo en la fecha 1.....	69
Figura 8. Porcentaje de severidad de roya del tallo en la fecha 2.....	71
Figura 9. Porcentaje de severidad de roya del tallo en la fecha 3.....	73
Figura 10. Porcentaje de severidad de roya del tallo en la fecha 4.....	75
Figura 11. Porcentaje de severidad de roya del tallo en la fecha 5.....	77

Figura 12. Variedades más susceptibles y resistentes en las cinco fechas de siembra.....	79
Figura 13. Variedad Guelatao susceptible.....	81
Figura 14. Variedad Diamante R-31 resistente.....	81
Figura 15. Días a floración en 28 variedades de avena sembradas en temporal.	87
Figura 16. Días a madurez de 28 variedades de avena sembradas en temporal	89

INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE LA ROYA DEL TALLO (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae* Eriks y Henn) EN 28 VARIEDADES DE AVENA (*Avena sativa* L.) SEMBRADAS EN TEMPORAL.

INCIDENCE AND SEVERITY OF STEM RUST (*Puccinia graminis* f. sp. *Avenae* ERIKS and HENN) IN 28 VARIETIES OF OAT (*Avena sativa* L.) SOWN IN TEMPORARY.

Jiménez-Vásquez, M.¹; Leyva-Mir, S. G.²; Huerta-Espino J.³

RESUMEN

La avena (*Avena sativa* L.) es un cereal importante en la dieta humana y animal; la roya del tallo es una enfermedad que reduce la producción. Para determinar el efecto de la incidencia y severidad de la roya del tallo en 28 variedades de avena sembradas en temporal, se realizaron evaluaciones en cinco fechas de siembra; las cuales consistieron en mediciones del porcentaje de severidad de la enfermedad en cada una de las variedades y en cada fecha de siembra. En la evaluación se utilizó la escala modificada de Cobb (Peterson *et al.*, 1948); la que consiste en tomar valores de severidad del 1 al 100%. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones en arreglo de parcelas divididas; evaluando a la parcela grande a las cinco fechas y la parcela chica a las variedades. Las variables medidas fueron incidencia, severidad, días a floración, días a madurez, rendimiento de 100 granos con y sin fungicida para determinar el efecto de la roya en el rendimiento. De acuerdo al análisis de varianza y comparaciones de medias en el análisis por cada fecha y la combinación de fechas, las variedades más susceptibles fueron Guelatao, Tulancingo y Ópalo y la más resistente la variedad Diamante R-31, y las mejores fechas de siembra fueron la fecha 1 y 2 (23 de junio y 30 de junio), la variedad con mayor porcentaje de pérdida de rendimiento fue Ópalo (52%) y la que obtuvo menor pérdida fue la variedad Diamante R-31 (5%), seguido de Cusihiuriachi y Babicora (7 y 8 %); las variedades con menor días a floración fueron las variedades Diamante R-31 y Paramo (51 días) y la más larga fue Ópalo y perla (66 y 65 días); la variedad menos precoz fue la variedad Tulancingo seguida de Guelatao y Pampas (97, 99 y 100 días); la variedad más tardía fue Gema (116 días).

Palabras clave: Avena, roya del tallo, pérdidas, variedades resistentes y susceptibles.

ABSTRACT

Oats (*Avena sativa* L.) is important cereal in human and animal diet; the stem rust is a disease that reduces the production. To determine the effect of the stem rust in 28 varieties of oats sown under high rainfall; the percentage and severity of the disease in each one of the varieties and in all planting dates. Disease was measured using the modified Cobb scale (Peterson *et al.*, 1948), which uses severity values from 1 to 100%. The experimental design used was a completely randomized block, with three repetitions and blocks arranged in a split plot design; the big plot were the planting dates and the small plot to varieties. The variables measured were incidence, severity, days to flowering, days to maturity, 100 grains weight with and without fungicide to determine the effect of the rust in the yield. According to the analysis of variance and comparisons of means in the analysis by date and the combination of dates, the more susceptible varieties were Guelatao, Tulancingo and Opalo and the more resistant was the variety DiamanteR-31, and the best sowing dates were the date 1 and 2 (June 23 and June 30), the variety with the highest percentage of loss was Opalo (52%) and the one with less loss was DiamanteR-31 (5%), followed by Cusihiuriachi and Babicora (7 and 8 %); the varieties with less days to flowering were varieties Diamante R-31 and Paramo (51 days) and the longest was Opalo and Perla (66 and 65 days); the variety with longer cycle was the variety Tulancingo followed by Guelatao and Pampas (97, 99 and 100 days respectively); Gema was the variety with longer cycle (116 days).

Key words: Oats, stem rust, losses, varieties resistant and susceptible.

¹Tesista del Programa de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal

²Profesor-Investigador del Depto. de Parasitología Agrícola. UACH.

³Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

1. INTRODUCCIÓN

La avena es uno de los cereales más importantes del mundo, ocupa el sexto lugar en la producción de grano, después del trigo, maíz, arroz, cebada y sorgo (Murphy y Hoffman, 1992). La avena es un cereal rico en, proteínas y de alto valor biológico, ya que contiene seis de los ocho aminoácidos imprescindibles para la síntesis correcta de proteínas; contiene una gran cantidad de grasa vegetal, el 65% son ácidos grasos insaturados y 35% de ácido linoleico; carbohidratos de absorción lenta y fácil asimilación; gran número de vitaminas (principalmente del complejo "B"), minerales, oligoelementos y fibra. Por estas cualidades tiene múltiples aplicaciones en la alimentación humana y animal (Flores, 2006).

A nivel mundial, se tiene una producción de 22,401, 879 toneladas; dentro de los grandes productores de este cereal destacan Rusia, Canadá, Estados Unidos, Finlandia y Australia; México ocupa el lugar número 22 con una producción de 90,000 toneladas (Infoagro, 2009).

En el 2007 en México se cultivaron hasta 838,319 hectáreas de avena (grano-forraje), riego y temporal, con una producción de 10, 406,059 toneladas (SIACON, 2009). El norte centro de México es la principal región productora de avena forrajera, mientras que en la región de los Valles Altos de México (Estado de México, Puebla, Tlaxcala, D. F. e Hidalgo), cada vez se difunde más su siembra, ya que se ha convertido en un cultivo emergente en el ciclo de verano, cuando los cultivos tradicionales se siniestran.

El 90% de la superficie con avena se siembra bajo condiciones de temporal durante el verano, lo que favorece el desarrollo de la roya o chahuixtle (Moreno, 1968). La roya de tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*) disminuye el rendimiento

de grano hasta en 70% (Epstein *et al.*, 1988; Archila y Hernández, 2002) y el forraje cosechado es de bajo valor nutrimental (Espitia *et al.*, 2002).

La avena al igual que otros cereales como el trigo y cebada, está expuesta a los daños que ocasionan los hongos, siendo la roya del tallo y la roya de la corona, las enfermedades más ampliamente conocidas y destructivas de este cereal. Los hongos del género *Puccinia* son en su mayoría, parásitos obligados con ciclos de vida muy complejos. Pueden infectar cualquier parte de la planta que se encuentre sobre la superficie del suelo, desde la etapa de plántula hasta la madurez (Zillinsky, 1984).

Dickson (1963), menciona que la roya de la avena se presenta en casi todas las áreas del mundo donde se cultiva y esta enfermedad reduce significativamente el valor del forraje y el rendimiento de grano. La roya del tallo de la avena puede causar reducciones significativas en la producción y calidad del grano, presentándose particularmente en todas las áreas donde se siembra este cereal en México (Villaseñor *et al.*, 2007).

1.1. OBJETIVOS E HIPOTESIS

1.1.1 Objetivo general

- ◆ Evaluar la reacción a la roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*) de 28 variedades de avena (*Avena sativa*) en cinco fechas de siembra.

1.1.2. Objetivos particulares

- Evaluar la incidencia y severidad de la roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*) en 28 variedades de avena sembradas en cinco fechas de siembra en temporal.
- Seleccionar las variedades más resistentes a la roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*) en cada una de las cinco fechas.
- Identificar la fecha de siembra en la que sean menos dañadas las 28 variedades de avena durante el ciclo del cultivo por la roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*).

1.1.3. Hipótesis

- El efecto de la roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*) disminuye el rendimiento en las 28 variedades de avena (*Avena sativa*) sembradas en cinco fechas de siembra.
- Al menos una de las 28 variedades de avena (*Avena sativa*) será resistente al ataque de la roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Avena

2.1.1. Origen

Según Díaz, 1953, la avena es originaria de la Europa Oriental, asegurándose que su cuna está en la región de Galitzia, al norte de los Cárpatos, pues en la zona del mediterráneo se conoció hasta la caída del Imperio Romano. No obstante en las cuevas habitadas en la antigüedad se ha encontrado en mezcla con otros cereales, pudiendo proceder de la provincia de Vasconia, en los Pirineos, donde aparecen con profusión avenas silvestres.

La avena se ha extendido en todo el mundo, sobre todo en los países del norte. En México fue introducida por los españoles (Díaz, 1953).

2.1.2. Características botánicas y morfológicas

La avena cultivada es un cereal que pertenece a la familia Poaceae; de la tribu *Avenae*; género *Avena*. Dentro de éste se encuentran 30 especies, de las cuales dos son cultivadas: la avena común (*Avena sativa*) y avena roja (*A. bizantina*) (Coffman, 1961).

Posee un sistema radicular potente, con raíces más abundantes y profundas que las de los demás cereales. Los tallos son rectos, estriados, de menor altura que los del trigo, y también de menor diámetro y rigidez, formados por varios entrenudos que terminan en gruesos nudos. En cada entrenudo hay una hoja formada por tres partes: vaina, limbo y lígula (Aguado *et al.*, 1978).

La vaina se inicia en el nudo inferior del entrenudo correspondiente y no abraza completamente el tallo; en su parte superior termina en una pequeña prolongación membranosa llamada lígula. La lígula tiene forma oval y color

blanquecino; su borde es dentado. El limbo de la hoja es estrecho y largo, de color verde más o menos oscuro, con tonos rojizos, sobre todo en el comienzo del desarrollo de la planta; es áspero al tacto y en la base lleva numerosos pelos. Los nervios de las hojas son paralelos y bastante marcados (Aguado *et al.*, 1978).

Las flores son hermafroditas autóгамas, o sea que el polen de cada una de ellas fecunda al órgano femenino que la acompaña; tiene tres estambres, con las anteras en forma de X y un ovario ligeramente alargado y puntiagudo con dos estigmas plumosos. Los órganos reproductores están envueltos por dos glumelas. La inferior o lema es la más desarrollada; es aquilada y termina en punta. Las variedades aristadas llevan una arista dorsal, que arranca de la mitad de la glumela; en la base está enrollada sobre sí misma y con frecuencia es acodada. La superior o palea es más estrecha y menos rígida, con dos quillas vellosas (Aguado *et al.*, 1978).

Las flores se agrupan formando espiguillas. Cada una de éstas está formada por dos o más flores. En este último caso suelen abortar algunas de ellas y únicamente se obtienen dos granos por cada espiguilla. Las flores van dispuestas sobre un pequeño raquis o raquilla, en cuya base hay dos glumas. Las glumas son membranosas, de color variable según las variedades, que pueden ser blancas, amarillas, rojizas, grises o negras; terminan en punta y tienen de tres a seis nervios y una raquilla muy poco pronunciada; son anchas y más largas que las flores (Aguado *et al.*, 1978).

Las espiguillas van dispuestas en panícula, o sea, un eje principal con ramitos laterales, que son más cortos hacia la parte superior, cada uno de los cuales se ramifica a la vez en la misma forma, y en el extremo de estas ramificaciones van las espiguillas. Los pedúnculos de las espiguillas son muy

delgados. El grano es estrecho y alargado, terminando en punta, recubierto de los pelos en algunas variedades y glabro en otras. Las variedades de grano vestido tienen este último envuelto por las glumelas; los bordes de la glumela inferior se sueldan a las quillas de la superior, quedando el grano encerrado así entre ambas (Aguado *et al.*, 1978).

2.1.3. Importancia mundial

En la producción mundial de cereales la avena ocupa el sexto lugar, siendo el cereal de invierno de mayor importancia en los climas fríos del hemisferio norte. En los últimos años el cultivo de avena se ha reducido paulatinamente, en 1975 se registraron poco mas de 47 millones de toneladas producidas en todo el mundo, en 1999, 26 millones de toneladas, mientras que para el año 2001 apenas 22 millones de toneladas (Infoagro, 2009). Esta reducción se debe en parte a la sustitución de la avena con otros cultivos con rendimientos unitarios mayores como el maíz o trigo. Sin embargo, parece que la producción de avena se ha estabilizado, inclusive hay regiones en el mundo donde la avena está retomando importancia. El renovado interés por la avena se debe a sus variadas oportunidades de uso, ya que se puede utilizar como forraje verde, achicalado para ensilaje en la alimentación de bovinos y equinos, el grano además de alimentación animal, cada día se utiliza en mayor proporción para alimentación humana, en la industria jabonera y en la elaboración de shampoo. En el mercado de granos la avena tiene interés muy limitado, ya que únicamente un 5% de la producción es industrializado.

Recientemente la avena ha tomado importancia en la industria Nutraceutica; son reconocidas sus propiedades para la reducción del colesterol,

fuelle de antioxidantes, adhesivos, en la síntesis del furfural y propiedades cosméticas. Actualmente los principales países productores son Rusia, Canadá, Estados Unidos, Finlandia, Australia y Alemania. En algunos países el cultivo de la avena se ha incrementado en el presente siglo; como en el caso de Argentina y Uruguay, pues en el primero a fines del siglo pasado estaban dedicadas al cultivo únicamente 22,000 ha, mientras que 30 años más tarde destinaban 1,500,000 ha. En Uruguay, este incremento ha sido más marcado debido a los mayores volúmenes de forraje demandado para la alimentación del ganado (Infoagro, 2009).

2.1.4. Importancia nacional

El cultivo de la avena destaca en México como una fuente importante de alimento para la industria pecuaria; se destina cerca del 80% de la producción nacional para su consumo como forraje verde, forraje henificado, grano y alimentos balanceados. Como forraje, la avena tiene alta digestibilidad, proporciona alta cantidad de energía metabolizable y su fibra presenta mejores cualidades que otros cereales de grano pequeño; mientras que el grano, entre sus cualidades, presenta alta cantidad y calidad de proteínas, carbohidratos, minerales, grasas y contenido de vitamina B (Villaseñor *et al.*, 1997).

La avena presenta mayor tolerancia al frío que otros cereales, por lo que también es mejor opción para la producción de forraje en partes altas y frías durante el verano bajo condiciones de temporal; mientras que durante el invierno, época en la que se tiene mayor escasez de forraje fresco, la avena es mejor alternativa que otros cultivos en siembras bajo riego (Villaseñor *et al.*, 1997).

La superficie sembrada de avena (temporal + riego) destinada para grano-forraje, en general ha sufrido una ligera disminución para el año 2005 con respecto al año 2007, pero con respecto a años anteriores se ha incrementado, tal como se muestra en el Cuadro 1. Destacan por superficie sembrada para grano-forraje, Durango, Zacatecas, Edo. México, Coahuila, Guanajuato, Michoacán e Hidalgo (Cuadro 1). Otros estados productores con menor superficie son; Distrito Federal, Chihuahua, Puebla, Jalisco, Oaxaca, Tamaulipas, Baja California, Nayarit, entre otros con un total de 469,525 hectáreas (SIACON, 2009).

Cuadro 1. Superficie histórica sembrada de avena. De 1980-2008 (hectáreas).

Avena/Año	1980	1984	1988	1992	1996	2000	2004	2008
Forraje	260,375	338,028	291,864	347,766	321,495	551,102	684,806	730,671
Grano	44,740	118,677	82,642	40,337	64,370	76,426	87,482	104,519
Total	305,115	456,705	374,506	388,103	385,865	627,529	772,289	835,190

Fuente: Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON, 2008).

2.1.5. Valor nutricional

El valor nutricional del grano de avena es superior al de otros cereales, al ser la avena más rica en aminoácidos esenciales, especialmente en lisina. El contenido en proteínas digeribles del grano de avena es mayor que el de maíz, y también tiene una mayor riqueza en materia grasa que la cebada y el trigo (INFOAGRO, 2009). Además de su valor nutritivo excepcional, la avena posee propiedades medicinales muy notables. En la medicina de los antiguos chinos ya se conocía y utilizaba su efecto estimulante. En Europa, infusiones a base de avena verde eran recomendadas para aligerar las afecciones del sistema nervioso

central. Entre las plantas medicinales, este cereal posee la proporción más elevada en zinc siendo un constituyente muy versátil de enzimas biológicamente vitales y es esencial para la vista, para la acción de la insulina, para las funciones sexuales y para todo el sistema inmunológico (Archila y Hernández, 2002). En el cuadro 2 se muestra la composición del grano de avena, la avena verde en época de floración y paja de la avena.

Cuadro 2. Componentes de la avena en 100 g de sustancia.

Grano de avena		Avena verde en época de floración		Paja de avena	
Componente	g	Componente	g	Componente	g
Proteínas	10	Proteínas	1.9	Proteínas	2.5
Materia grasa	4.8	Materia grasa	0.6	Materia	2
Hidratos de carbono	58.2	Hidratos de carbono	10	Hidratos de carbono	35.6
Celulosa	10.3	Celulosa	8	Celulosa	41.2
Materias minerales	3.1	Materias minerales	2.5	Materias minerales	4.4
Agua	13.3	Agua	77	Agua	14.3

Fuente: Kent-Jones, 1956.

El cultivo de esta gramínea ha tomado mucha importancia, por ser un alimento, tanto del hombre como de los animales (Díaz, 1953).

2.1.6. Usos

La avena es una planta forrajera que tiene un papel importante en la alimentación de los animales; en distintas formas constituye el alimento básico para los equinos, como alimento de animales de engorda, (Muñoz, 1990), y en la alimentación humana y animal (Cuadro 3). Se puede utilizar como forraje verde y

como heno, es nutritivo y aceptado también en buen grado por los animales. La producción de grano se orienta hacia la alimentación del hombre y del ganado equino; volúmenes menores se destinan para aves, ganado lechero y cerdos (Muñoz, 1990). Por su calidad forrajera puede consumirse en estado verde o ensilada, constituyendo en cualquier estado un forraje apetecible y digestible para el ganado bovino y equino, y en particular para las vacas lecheras, por la notable cantidad de azúcar que contiene (Ortiz, 1979).

Cuadro 3. Principales usos de la avena (*A. sativa* L.).

Concepto	Formas de consumo
Alimento de humanos	Hojuelas, atoles, galletas, alimentos para niños, sopas, entre otros.
Alimento para animales	Forraje verde, forraje henificado, grano, concentrado (como fuente de proteína).
Industria	Jabones, shampoo, pomadas cremas, etc.

Fuente: De la O, 2002.

La avena al igual que otros cereales como el trigo y cebada, está expuesta a los daños que ocasionan los hongos, siendo la roya del tallo y la roya corona las enfermedades más ampliamente conocidas y destructivas de este cereal (Zillinsky, 1984).

2.2. Royas

Las royas son tal vez las enfermedades más ampliamente conocidas y destructivas de los cultivos cerealícolas. Se presentan en casi todas las áreas del mundo en donde se cultivan. Cualquier parte de la planta que se encuentre sobre

la superficie del suelo puede infectarse, desde la etapa de plántula hasta madurez (Zillinsky, 1984).

Por su complejidad en sus ciclos vitales, las royas han sido desde hace tiempo uno de los grupos de patógenos vegetales que han despertado mayor interés entre los micólogos. Su ciclo vital básico y la distinción fundamental entre royas autoicas y heteroicas (las primeras producen todos los tipos de esporas en un único huésped y las segundas alternan entre dos huéspedes para completar su ciclo) son bien conocidos. Las royas macrocíclicas producen todos los tipos de esporas (espermátidas en espermogonios, eciosporas en ecios, uredosporas en uredias, teliosporas en telios y basidiosporas en basidios); hay otras royas que tienen ciclos más cortos en los que falta alguno de estos tipos de esporas, tal es el caso de las royas endocíclicas, cuyas eciosporas funcionan como teliosporas. Los nombres de los tipos de esporas y de las fructificaciones en que se forman continúan variando mucho entre autores (Smith, 1992).

En los cereales de grano pequeño y en los pastos se desarrollan tres clases de esporas y dos tipos adicionales que se producen en el hospedante alterno (Zillinsky, 1984).

Los hongos del género *Puccinia* son en su mayoría parásitos obligados, fundamentalmente de tejidos foliares. De estos tipos de esporas, las urediosporas son las importantes debido a que permiten repetir ciclos de la enfermedad que se extienden de un campo a otro y que persisten año tras año. Estas esporas varían en color de amarillo naranja a café rojizo. Se producen en pústulas (uredias), las cuales emergen a través de la epidermis exponiendo las masas de esporas de aspecto polvoso (Zillinsky, 1984).

Las eciosporas, o las urediniosporas, germinan sobre la superficie de la hoja dando lugar a tubos germinativos que crecen hacia los estomas y forman un apresorio sobre la apertura estomática; desde él, una hifa de penetración entra hasta la cavidad subestomática donde forma una vesícula subestomatica; en las células vecinas de mesófilo se forman haustorios limitados por una vaina haustorial, y el hongo se extiende en los tejidos de la hoja con un micelio intercelular con haustorios intracelulares, formando una colonia normalmente circular. El micelio da lugar a esporas que irrumpen por la epidermis como pústulas típicas (a menudo en la misma pústula las teliosporas siguen a las urediniosporas); las urediniosporas se dispersan para reinfectar al mismo huésped; las teliosporas que sobreviven sobre restos germinan *in situ*, dando lugar a basidios y basidiosporas, normalmente al principio de la estación vegetativa, que constituyen el inoculo primario para reinfectar al mismo huésped (autoicas) o el huésped alternativo (heteroicas). Los tubos germinativos de las basidiosporas parecen penetrar directamente y en la actualidad se está poniendo interés al estudio del comportamiento de este parásito en el huésped alternativo, en el que el micelio es, al menos al principio, monocariótico (Smith, 1992).

Las teliosporas se desarrollan conforme el cultivo se acerca a su madurez y generalmente permanecen cubiertas por la epidermis de la planta hospedante. Difieren de las urediosporas en color, forma y función. Son café oscuro, bicelulares, poseen paredes gruesas y funcionan como el primer estadio del ciclo sexual del hongo. Después de un período de intemperización o de invernación, germinan y producen basidiosporas que son capaces de infectar al hospedante alterno, pero no a los cereales ni a los pastos. El ciclo sexual de reproducción en hospedantes alternos proporciona al hongo un medio para crear diversificación a

través de la recombinación genética y establece el inóculo primario para el nuevo ciclo de cultivo. El hongo; sin embargo, persiste de un ciclo a otro en forma de urediosporas o como micelio en tejidos del hospedante (Zillinsky, 1984).

Desde el punto de vista de la patológica vegetal, podemos puntualizar que las royas pueden sobrevivir como: i) teliosporas; ii) micelio perenné, especialmente en huéspedes leñosos; y iii) por ciclos repetidos de urediniosporas, especialmente en climas cálidos o en invernaderos donde se dispone durante todo el año de hojas que infectar. La infección del huésped alternativo no se repite y tiene lugar solo una vez al año, mientras que la infección del huésped telial se repite en general una y otra vez por medio de las urediniosporas (como las conidias de los Ascomycetes). Unas pocas royas del tipo microcíclico repiten su ciclo dentro de la estación por la formación sucesiva de teliosporas y basidiosporas (Smith, 1992).

La alternancia entre hospederos es un elemento característico de la epidemiología de las royas y en algunos casos ha tenido implicaciones obvias para su control (principalmente en *Puccinia graminis*); sin embargo, el heteroecismo puede considerarse como una limitación para la multiplicación del patógeno, de forma que muchas royas heteroicas tienen una importancia económica menor que las autoicas; algunas son importantes porque pueden prescindir del huésped alternativo sobreviviendo de otra forma o en regiones más meridionales (Smith, 1992).

En cualquier caso el hábito biotrófico de infección foliar significa que las pérdidas de cosecha debidas a las infecciones de royas son principalmente indirectas y por tanto, aunque hay numerosas especies de uredinales que atacan casi cualquier planta cultivada, las enfermedades causadas tienen a menudo una

importancia más bien secundaria; solo los cereales, árboles forestales y algunos cultivos hortícolas y florales sufren realmente pérdidas importantes debidas a estos patógenos. Por último debe subrayarse que, al igual que otros biotrofos obligados, las royas muestran una tendencia importante a la especialización del huésped a nivel de género, especie y subespecie, en particular a formar patotipos específicos para genes de resistencia, lo que se expresa principalmente en el estadio de uredospora (Smith, 1992).

Por lo menos cinco especies de *Puccinia* spp. atacan a los cereales. Dentro de estas especies se distinguen grupos por su capacidad para parasitar cultivos y pastos. A los diferentes grupos se les da status de forma *specialis* (f. sp.). Por ejemplo, la roya del tallo es causado por *Puccinia graminis*. La forma *specialis* que infecta avena, pero no trigo ni cebada, se le identifica como *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*. Existe todavía una especialización más estrecha como razas fisiológicas que se distinguen entre sí por sus reacciones de virulencia sobre ciertos genotipos del hospedante. La aparición de nuevas razas fisiológicas de royas crea dificultades en el desarrollo y mantenimiento de variedades resistentes (Zillinsky, 1984).

2.2.1. Desarrollo de las epifitias naturales

Las royas se consideran como enfermedades de ciclo múltiple, es decir, que los organismos patógenos pueden propagarse en un cultivo infectado mediante la producción continua de esporas (inoculo secundario). Las infecciones con royas pueden ser causadas por esporas producidas en el lugar o que han sobrevivido en él, o por esporas transportadas por el viento desde lugares muy distantes (Stubbs *et al.*, 1986).

Para la propagación de la enfermedad se consideran cuatro factores que ilustran la interacción entre la virulencia del organismo patógeno, la sensibilidad del huésped, las condiciones favorables del medio y el tiempo (es decir, el periodo durante el cual están en contacto el huésped y el organismo patógeno la sincronización y duración de las condiciones óptimas para la infección y el tiempo que estas requieran, etc.) (Stubbs *et al.*, 1986).

Con humedad libre y temperaturas entre 15° y 25° C, la infección se completa en seis a ocho horas y esporas secundarias se producen en 7 a 10 días. Por ejemplo, si una raza resulta como nueva en un área determinada puede llegar a ser predominante en términos de pocas semanas, se conoce que aproximadamente en cada generación del hongo se produce un incremento de 10,000 veces más de esporas en relación a la generación anterior. Grandes números de esporas viables y una diseminación eficiente de ellas hacen que las royas sean parásitos que prosperen eficientemente (Wiese, 1977).

Las uredosporas pueden sobrevivir un año completo en el hospedero. Estas también sirven como fuente de un inoculo primario en primavera y verano, debido a la habilidad de traslado por el viento a largas distancias (Wiese, 1977).

2.2.2. Roya del tallo

La roya del tallo es una enfermedad muy conocida que ataca a los cultivos de cereales y se presenta en cualquier parte en donde se siembran dichos cultivos. *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* infecta trigo, cebada y triticale. *P. graminis* f. sp. *avenae* infecta avena y *P. graminis* f. sp. *secalis* infecta al centeno. Los síntomas de la enfermedad aparecen más comúnmente en los tallos y las vainas foliares, pero las hojas y las espigas también pueden infectarse. Se desarrollan

tres formas de esporas en los cereales hospedantes, las urediosporas que se producen en pústulas (uredias) rompen la epidermis y se exponen como masas de esporas café rojizas. Las pústulas son más grandes que las que forman las roya de la hoja y la roya lineal, son ovales o alargadas con residuos de tejido epidérmico en sus márgenes. Las pústulas pueden aparecer en el haz o en el envés de las hojas. Las urediosporas de *P. graminis* son estructuras equinuladas café rojizas, de elípticas a ovales y miden 24-32 μm x 18-22 μm . Su producción continúa hasta que las plantas se aproximan a la madurez (Zillinsky, 1984).

Cuando las plantas se aproximan a la madurez cesa la producción de urediosporas y se desarrollan teliosporas, ya sea en la misma uredia o en estructuras diferentes llamadas telias. Las teliosporas son café oscura, bicelulares y su forma es aproximadamente cuneiforme. Las teliosporas conservan una porción de pedicelo o talo, tienen paredes gruesas y miden 40-60 μm x 18-26 μm . la célula apical es redondeada o ligeramente puntiaguda. Frecuentemente, las teliosporas emergen a través de la epidermis, persisten en el tejido de la planta durante el invierno y pueden servir como la primera etapa del ciclo sexual al producir basidiosporas o esporidias. El agracejo común (*Berberis vulgaris* y *Mahonia* sp.) son hospedantes alternos de *P. graminis* (Zillinsky, 1984).

Las urediosporas de la roya del tallo son acarreadas por el viento a largas distancias. Durante el crecimiento activo del cultivo se producen ciclos urediales cada 14 a 21 días, lo cual permite la diseminación rápida de la enfermedad en grandes áreas. Esta enfermedad, junto con la roya de la hoja, han recibido una gran atención de los fitopatólogos, fitomejoradores y de otros científicos. En el pasado, la creación de nuevas razas fisiológicas por medio del ciclo sexual sobre el hospedante alternativo, agracejo, ocasionó serias pérdidas al cultivo y redujo la

efectividad de las variedades resistentes. En América del Norte, la erradicación del agracejo, así como la deliberada creación de variedades resistentes han sido factores importantes en el mejoramiento de la estabilidad de la resistencia a las variedades de trigo a la roya del tallo y en la reducción de la incidencia de epifitias (Zillinsky, 1984).

2.2.2.1. Importancia y distribución

La roya del tallo es una enfermedad muy conocida que ataca a los cultivos de cereales. Los uredinos producen uredosporas de color canela a pardo oscuro que se dispersa por el viento, aparecen en ambas caras de las hojas, especialmente en la inferior, pero son más frecuentes y más evidentes en los tallos (pedúnculos y vainas foliares); también infecta a las inflorescencias. La roya del tallo se encuentra presente en todo el mundo donde se cultivan huéspedes susceptibles, principalmente las gramíneas como *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* que infecta trigo, cebada y triticale. *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* que infecta avena y *Puccinia graminis* f. sp. *secalis* que infecta al centeno (Zillinsky, 1984).

2.2.2.2. Características morfológicas

Las uredias son alargadas y están formadas por grandes masas de esporas de color café rojizo con el tejido de la epidermis expuesto, sobresaliendo de los márgenes. Las pústulas pueden desarrollarse tanto en el haz como en el envés de las hojas, en las espigas y en los tallos. Las uredosporas son de color rojo oscuro, elípticas, equinuladas y miden 24-32 μm x 18-22 μm . Su producción continúa hasta que las plantas se aproximan a la madurez (Zillinsky, 1984).

Los soros teliales se desarrollan subepidérmicamente y por lo general, en las vainas y envés de las hojas; su tamaño es similar al de las uredinas, pero de color negro y no errumpentes. Las teliosporas son bicelulares con el ápice redondeado o aplanado y engrosado (Romero, 1993).

2.2.2.3. Ciclo biológico

En las regiones más frías del norte, el hongo inverna en forma de teliosporas sobre restos infectados ya sea de trigo, cebada, avena o centeno. Estas teliosporas geminan en la primavera, solo después, de que su reposo es interrumpido por las heladas y los deshielos alternos que se producen naturalmente en esas áreas. Las basidiosporas producidas por cada teliospora son expulsadas con fuerza hacia la atmósfera y son llevadas por las corrientes de aire hasta algunos cientos de metros. En caso de que las basidiosporas se depositen en las hojas jóvenes del agracejo, germinan y penetran directamente a nivel intercelular y forman haustorios que penetran en las células del hospedante. Al cabo de 3 a 4 días, las ramificaciones de las hifas forman una masa de micelio que se desarrollan en un espermagonio (Figura 1). La presión hacia fuera que ejerce este último rompe la epidermis, y el ostiolo (abertura) de dicha estructura emerge sobre la superficie del tejido de la planta.

Las hifas receptivas que se originaron en el espermagonio se extienden más allá del ostiolo, y los espermacios embebidos en un líquido pegajoso se exudan a través de esa abertura. Los insectos que frecuentan las hojas infectadas del agracejo, se impregnan con los espermacios del hongo y los llevan hacia otros espermagonios. Dichos espermacios pueden también ser llevados hacia otros espermagonios compatibles por el agua de lluvia o el rocío que escurre sobre la

superficie de la planta. Cuando un espermacio entra en contacto con una hifa receptiva de un espermagonio compatible, se produce la fecundación (Figura 1). El núcleo de espermacio se desplaza hacia el interior de la hifa receptiva, pero no se fusiona con el núcleo que contiene esta. En lugar de ello, se desplaza pasivamente a través del micelio monocariótico dividiéndose conforme va avanzando, hacia las células madres de la ecia. Así se reestablece la condición dicariótica y el micelio y las eciosporas que se formen posteriormente serán dicarióticos. Este micelio crece entonces intercelularmente hacia la superficie del espermagonio que se encuentra sobre los pecíolos y frutos, o a menudo hacia el envés de la hoja que provoca el espermagonio, donde forman masas miceliales densas que se desarrollan en ecias. Al mismo tiempo, las células del hospedante que rodean al micelio son estimuladas para que se alarguen y, en conjunto con el volumen cada vez mayor que ocupa el hongo, dan como resultado un hinchamiento de la zona infectada en la superficie del envés de la hoja (Agrios, 1998).

Las ecias se forman en grupos y se proyectan mucho más allá de la hoja hipertrofiada u otra superficie de tejido del agracejo. Las aeciosporas se forman en cadenas sobre hifas cortas en el interior del aecio y cada espora contiene un par de núcleos. Estas aeciosporas son liberadas a fines de la primavera y son llevadas por el viento hacia las plantas vecinas de trigo, avena, cebada y centeno, sobre las cuales germinan. El tubo germinal penetra en el tallo, hojas o vainas de la planta hospedante a través de los estomas, y después de que el micelio crece intercelularmente, crece entonces más profusamente hacia el tejido del hospedante y forma una masa de micelio inmediatamente por debajo de la epidermis. Del micelio se forman varias hifas cortas y en la punta de cada

una de ellas se forma una uredospora. El crecimiento de los esporóforos y de las uredosporas ejerce presión sobre la epidermis, la cual es presionada hacia fuera y forma una pústula, lo que hace evidente la presencia de la uredia. Finalmente, la epidermis se rompe irregularmente y se repliega mostrando varios cientos de miles de uredosporas rojizas que son separadas con gran facilidad de los esporoforos y le dan una apariencia polvorienta a la uredia (Agrios, 1998).

Las uredosporas son diseminadas con gran facilidad por las corrientes de aire. Los vientos fuertes pueden transportarlas muchos kilómetros, incluso cientos de kilómetros, desde su lugar de origen. Estas uredosporas pueden reinfectar a la avena. Cuando se depositan sobre estas últimas, en presencia de rocío, de una película de agua o de humedades relativas que se aproximan al punto de saturación, germinan y penetran en la planta a través de los estomas. El micelio crece intercelularmente una vez más y envía sus haustorios hacia las células de la planta, y de 8 a 10 días después de haberse producido la inoculación, produce un nuevo uredio y más uredosporas. Estas últimas pueden infectar sucesivamente muchas veces a las plantas de avena en una sola estación de crecimiento, hasta la época en la que la planta llega a su madurez. La mayoría de los daños causados el crecimiento y la producción de avena se deben a las infecciones por dichas uredosporas, las cuales pueden literalmente cubrir, con sus uredias, al tallo, hojas, vainas foliares y las glumas de la planta (Agrios, 1998).

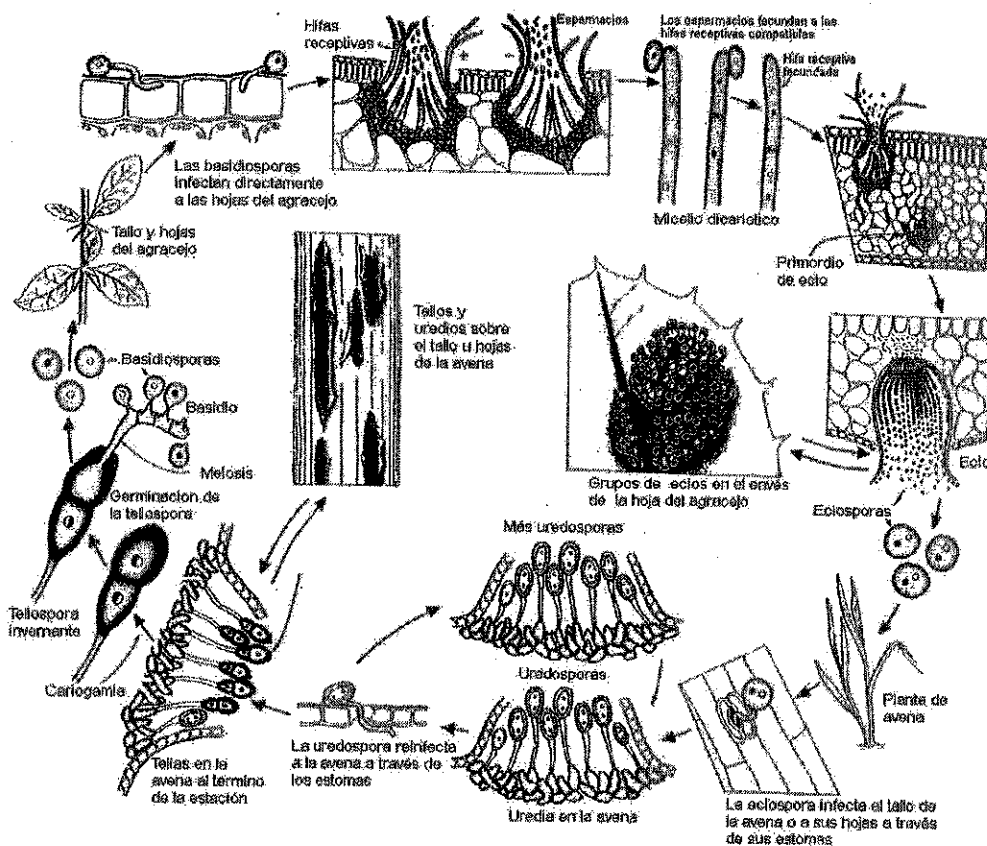


Figura 1. Ciclo biológico de la roya del tallo en avena (Agrios, 1998).

La mayoría de las razas de roya del tallo son parásitos obligados. La roya del tallo tiene un ciclo de vida complicado que involucra un hospedero alternativo y cinco estadios de esporas diferentes. Las uredosporas son producidas en grandes números durante la primavera y verano, siendo las más importantes epidemiológicamente. Son dispersadas por el viento a otras plantas donde generan nuevas infecciones y esporas en intervalos tan cortos como ocho días. Después de la producción de las uredosporas le siguen la producción de teliosporas. Las teliosporas son de color café negruzco y binucleadas y persisten durante el invierno. Su germinación en primavera involucra una fusión nuclear, reducción meiótica y la producción de un basidio con cuatro esporas haploides llamadas basidiosporas no infecta la avena, pero son transportadas por el viento para infectar al hospedero alternante (Wiese, 1977).

Los hospederos alternantes de *Puccinia graminis* son: *Berberis vulgaris*., *Berberis canadiensis* Mill., *Berberis fendleri* A. y ciertas especies de *Mahonia* spp. (Smith, 1992).

2.2.2.4. Condiciones favorables del patógeno

Las condiciones favorables para que se presente la enfermedad son entre 20 y 25 °C, aunque también con temperaturas de 12-16 °C se presentan daños, habiendo una infección rápida entre los 24 y 28 °C. Así mismo, la luz y la temperatura pueden tener un efecto en el proceso de penetración, en donde la germinación de uredosporas ocurre entre 10 y 30°C, para la formación del tubo germinativo y apresorio la temperatura óptima es de 20°C en la oscuridad (Martens, 1985).

2.2.2.5. Síntomas

El patógeno que produce la roya del tallo produce síntomas claramente distintos en dos tipos de plantas hospedantes. Los síntomas más graves y económicamente importantes aparecen en el trigo, cebada, avena y centeno, así como en otros pastos. Sin embargo, aunque dichos síntomas no tengan importancia desde el punto de vista económico, aparecen también en las plantas del agracejo común (*Berberis vulgaris*) y en algunas otras especies silvestres de mahonia y agracejo (Agrios, 1998).

Los síntomas aparecen inicialmente en forma de ampollas largas angostas y elípticas o pústulas dispuestas paralelamente a lo largo del eje del tallo, hoja y vaina foliar. También pueden aparecer en el cuello y glumas de la espiga y al cabo de algunos días, la epidermis que cubre a las pústulas se rompe

irregularmente y se repliega mostrando una masa polvorienta de esporas de color rojo ladrillo, denominadas uredosporas. Dichas pústulas, denominadas uredios, varían en tamaño, van desde muy pequeñas hasta casi 3 mm de ancho por 10 mm de largo. A finales de la estación, conforme las plantas llegan a su madurez, el color rojizo de las pústulas se vuelven negro a medida que el hongo produce teliosporas en lugar de uredosporas, y las uredias se transforman en telias de color negro. En ocasiones dichas telias se desarrollan independientemente de las uredias. Aunque las uredias y telias sean más bien pequeñas, sobre las plantas puede haber cualquier tipo de estructura fructificando en cantidades tan grandes que incluso algunas partes grandes de la planta pueden ser cubiertas, ya sea de uredosporas rojizas o de teliosporas negras, o ambas (Agrios, 1998).

En el agracejo, los síntomas tienen un aspecto de manchas de color amarillento a anaranjado que aparece en las hojas y en ocasiones en los frutos y ramitas jóvenes. En el centro de dichas manchas y por lo general sobre el haz de las hojas, aparecen pocos cuerpos diminutos de color negro denominados espermagonios (o picnios) que a menudo producen una pequeña gota de líquido o néctar. En el envés de la hoja, debajo de los espermagonios y en ocasiones sobre el haz cerca de los espermagonios que hay en las ramitas, frutos, pecíolos y otros órganos, aparecen grupos de estructuras en forma de copa o de asta de color amarillo naranja, denominadas aecias. Es frecuente que los tejidos del hospedante se hipertrofie. La pared del aecio, denominada peridio, a menudo sobresale de la epidermis de la hoja y su color blanquecino y claro contrasta con las esporas de color naranja contenidas en las eciosporas (Agrios, 1998).

2.2.2.6. Epidemiología

De las tres royas (negra, parda y amarilla) la negra es la más termofílica y normalmente aparece tarde en la estación. *Puccinia graminis* puede invernar tanto en fase sexual como asexual; en las gramíneas en maduración forma telios con teliosporas que normalmente solo germinan tras haber sufrido ciclos alternantes de congelación y descongelación y/o mojado y secado; en primavera, aproximadamente a la vez que se desarrollan las nuevas hojas jóvenes de los agracejos, las basidiosporas se dispersan por el aire en condiciones húmedas y cuando llegan a las hojas del agracejo las infectan formando lesiones poco evidentes que producen en el envés de la hoja formándose espermogonios amarillentos de 1 mm, de los que rezuma un mucus cargado de espermatidas (células masculinas haploides); este mucus (néctar o melaza) es transmitido por insectos de espermogonio a espermagonio, fertilizando así a las cepas heterotalicas; el micelio fertilizado desarrolla ecios naranja brillante dispuestos en grupos (grupos de copas) en el envés. Los ecios descargan de forma activa la eciosporas dicarióticas naranjas que infectan a las gramíneas. Las basidiosporas parecen tener una capacidad de dispersión pequeña (<10m) y las eciosporas una capacidad de dispersión mediana (<100m), por lo cual el ciclo sexual es normalmente un problema limitado; sin embargo existen datos de muchas epidemias de roya negra sobre trigo, centeno o cebada que se han originado desde agracejos (Smith, 1992).

También puede invernar en la fase asexual uredínica, pero *P. graminis* es relativamente termofílica y este tipo de hibernación solo se ha señalado pocas veces al norte de los Alpes. En el área mediterránea el problema es la supervivencia a través del verano, donde las diferencias de altitud proveen

condiciones adecuadas para la supervivencia. En las distintas estaciones puede persistir la fase uredinal durante todo el año. La mayoría de la población que sobrevive a las distintas estaciones se asienta en gramíneas, pero las cepas cerealícolas pueden, en condiciones meteorológicas adecuadas, emigrar hacia el norte y causar evidentemente epidemias devastadoras hasta el suroeste de Inglaterra y el sureste de Suecia. En Europa tienen lugar la dispersión a larga distancia de las urediniosporas (con una capacidad de vuelo de cientos de kilómetros) y cuando los cultivos en el área de destino son tardíos la infección resultante puede ser devastadora. La roya aparece en focos de infección pequeños que se extienden gradualmente, o distribuida uniformemente por todo el campo. En Europa no hay evidencia de que haya una emigración anual hacia el sur, como en América del norte (Smith, 1992).

2.2.2.7. Pérdidas de rendimiento

En la planta de avena el hongo perturba las relaciones fisiológicas y funciona como un conducto activo que quita los asimilados a las semillas en desarrollo; al perturbar el hongo la epidermis, la planta puede secarse, de forma que el flujo de savia no alcance la espiga, como resultado la planta madura prematuramente formando menos y más pequeñas semillas. De esto se siguen daños desde leves a graves, incluso pérdidas totales de cosecha. En caso de lesiones densas puede producirse la ruptura de los tallos (Smith, 1992).

Las royas de las plantas, ocasionadas por basidiomicetos del orden uredinales, se encuentran entre las enfermedades más destructivas. Han ocasionado hambre y arruinado la economía de grandes áreas y países enteros.

Se conocen mejor debido a los efectos devastadores que despliegan sobre los cultivos de granos, especialmente trigo, avena y cebada (Agrios, 1998).

Económicamente, las royas han sido un factor importante en la productividad agrícola durante siglos. Las royas del trigo, maíz, cebada, avena y otros cereales en el mundo entero son enfermedades sumamente costosas (Littlefield, 1981).

2.2.2.8. Efecto del patógeno sobre las funciones fisiológicas de la planta

Las infecciones ocasionadas por el hongo pueden inducir numerosas desviaciones en el crecimiento normal de los hospedantes. Los cambios que se pueden observar son achaparramiento de la planta, alteración del crecimiento y malformaciones del tejido infectado. El resultado de la enfermedad en la planta son hojas y frutos pequeños y tallos cortos; esto se debe a que la planta aporta nutrientes al parásito, o bien se alteran las funciones fisiológicas en ella (Littlefield, 1981).

Fotosíntesis. Esta es la función básica de las plantas verdes, la cual permite transformar la energía luminosa en energía química que es utilizada en sus actividades celulares. La fotosíntesis de las plantas enfermas disminuye considerablemente debido a la destrucción, por el hongo, de gran parte del área fotosintética y a la interferencia que ejerce las secreciones del hongo sobre la actividad fotosintética del resto de las áreas verdes de la planta. Por consiguiente, se tiene menor producción de fotosintatos en las plantas. Al parecer interfiere con el desarrollo normal de las raíces y a la absorción de los nutrientes por ellas (Agrios, 1998).

Transpiración. La presencia de numerosas uredias en las plantas de avena hace que estas sufran una pérdida excesiva de agua debido a que se incrementa su transpiración cuando han sido infectadas y además que aumenta la evaporación de agua a través de la epidermis rota. Además de los volúmenes menores de que dispone la planta enferma, el hongo aprovecha gran parte del agua y los nutrientes que normalmente podrían ser utilizados por ella (Agrios, 1998).

Respiración. La alta tasa de respiración es una actividad metabólica intensa en el huésped, inducida por el patógeno; varios estudios han demostrado un aumento significativo de la tasa de respiración. Durante el tiempo de esporulación, el hongo requiere mucha energía e hidratos de carbono para la producción de esporas, por lo general 6-8 días después de la inoculación, la tasa de respiración es a menudo elevada en 100-200% en la planta (Littlefield, 1981).

La respiración de las plantas infectadas aumenta con gran rapidez durante el desarrollo de las uredias, pero algunos días después de que se produce la esporulación del hongo, la respiración cae ligeramente por debajo del nivel normal (Agrios, 1998).

Todos estos efectos hacen que disminuya la cantidad de nutrientes disponibles para la producción de la cantidad y tamaño normales de las semillas en la planta, los cuales son más acentuados por la madurez precoz de la planta inducida por el hongo, dando como resultado un periodo mucho menor para que la semilla se desarrolle adecuadamente. El monto total de los daños depende considerablemente de la etapa de desarrollo por la que pasa la planta de avena en el momento en que la infección por la roya se torna grave. Así las infecciones graves causadas por la roya antes o en la floración, son extremadamente

perjudiciales y pueden ocasionar pérdidas totales en la producción, mientras que si dichas infecciones no se producen si no hasta finales del estado masoso , los daños a la producción son mucho menores (Agrios, 1998).

2.2.2.9. Control

El método más práctico y eficaz para controlar roya del tallo es el uso de variedades de avena resistentes a la infección por este patógeno (Agrios, 1999). Las variedades resistentes a la infección están disminuyendo la importancia de esta enfermedad. Las razas fisiológicas son un peligro potencial para muchas de las variedades resistentes; sin embargo, el control de la roya del tallo por el uso de variedades resistentes, tanto en la avena como el trigo es una batalla continua contra un hongo patógeno biológicamente dinámico (Martens, 1985).

La mejora de la precocidad para escapar a la infección ha tenido mucho éxito, ya que los riesgos se reducen eligiendo el momento adecuado de siembra, de forma más o menos simultanea en áreas relativamente amplias; debe evitarse los cultivos tardíos (Smith, 1992).

La erradicación del agracejo, el hospedante alterno de la roya del tallo, ha disminuido las pérdidas debidas a la roya del tallo al eliminar las infecciones de la avena que se producen a principios de la estación en áreas donde las uredosporas del hongo no pueden invernar y al reducir la posibilidad de que se desarrollen nuevas razas de hongo a través de la recombinación genética en el agracejo, proporcionando así una mayor estabilidad en la población de razas del patógeno y contribuyendo al éxito en la producción de variedades resistentes (Agrios, 1998).

La erradicación de agracejo, contribuye a romper el ciclo del hongo y se evitan las infecciones primarias provocadas por eciosporas (Romero, 1993).

Los fungicidas asperjados al follaje pueden ser usados para proteger eficazmente los cultivos amenazados por nuevas razas patogénicas, pero normalmente son antieconómicos como sistema de control (Zillinsky, 1984).

Se puede aplicar alguno de los siguientes fungicidas al observar los primeros síntomas de roya, tales como azufre, diclone y la mezcla del ion zinc con el maneb, que controlan eficazmente la roya de la avena, algunos otros fungicidas usados son: diniconazol (63-88 g i.a/ha), flutriafol, propiconazol, tebuconazol y triadimenol (125 g i.a/ha) (Latorre, 1999).

Sin embargo, en la mayoría de los casos se requieren de 4 a 10 aplicaciones por estación para lograr el control total de la roya y debido a la baja rentabilidad por hectárea de avena, dicho programa de control no es económicamente práctico (Agrios, 1998).

2.2.3. Roya del tallo en avena

La roya del tallo en avena (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*) es conocida desde hace 2400 años por los griegos y los romanos. Theophrastus menciona que los cereales son más afectados por las royas que las legumbres. Sin embargo, una investigación detallada de las royas se hizo hasta 18 siglos más tarde, cuando los italianos Tozzetti y Fontana la descubrieron independientemente en 1767. Casi un siglo después, Pearson nombró al organismo como *Puccinia graminis* en 1797, considerándola como una sola especie capaz de atacar a todos los cereales. Fue hasta 1984 que Eriksson en Suecia lo reconoció como una raza fisiológica distinta y la nombró como *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*. Más tarde

Stakman en 1923 registró por primera vez la especialización *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* (Martens, 1985). Esta forma especial se diferencia principalmente por su habilidad para parasitar todas las variedades de avena y algunos pastos, pero no ataca cebada y trigo (Coffman, 1961).

La roya del tallo en avena es causado por el hongo basidiomiceto *Puccinia graminis* f. sp. *Avenae* Erickss. El hongo de la roya del tallo comprende numerosas líneas patogénicas que son diferenciadas primeramente con base en sus habilidades para parasitar todas las especies de avenas y algunos pastos, pero no trigo y cebada. Estas líneas están a su vez subdivididas en sub-líneas, llamadas razas, las cuales, son diferenciadas por ciertas reacciones diferentes que ellas inducen en ciertas variedades de avena (Simons y Murphy, 1961).

2.2.3.1. Especialización patogénica

Los patógenos considerados dentro de la forma especial en roya del tallo se pueden dividir en razas fisiológicas y/o biotipos. Se define como biotipo una población de individuos con genotipos idénticos, y como raza fisiológica, un grupo de biotipos similares en morfología pero con diferentes características fisiológicas, bioquímicas, y patológicas entre otras (Stubbs *et al.*, 1986). Johnson *et al* reportaron 13 razas de royas de avena en Canadá.

La sub-raza 7A ataca a las variedades que tengan resistencia procedente de Canadá. La sub-raza 13A es particularmente dañina debido a que parasita a todas las fuentes de resistencia (Simons y Murphy, 1961) de avenas hexaploides. La variedad diploide Saia que había permanecido resistente a todas las razas de roya se comporto como susceptible a la raza 3A en Sudamérica y a la raza 5 en los Estados Unidos.

Las razas de royas en México han sido periódicamente identificadas mediante colectas realizadas por el personal del laboratorio de royas en la Universidad de Minnesota en Estados Unidos. Así, según Murphy (1960) las razas más virulentas 6, 6A, 7A y 13A no estuvieron presentes.

Moore (1981) hizo 31 colectas de material de avena infectado con royas en siete diferentes regiones de México. Moore (1981) después de analizarlas en el laboratorio encontró que de las 31 colectas, en todas ellas se localizó la raza NA-27 y solamente en dos colectas una sobre la variedad Burt (Texas) en Chapingo, México, se localizó la raza NA-16 y otra sobre la variedad Tulancingo en Cd. Cuauhtémoc, Chih., se encontró la raza NA-5. Las regiones sobre las cuales se realizó el trabajo fueron: Chapingo, Edo. de México. Juchitepec y Calpulanpan, Tlaxcala; Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua; y Durango, Allende y Nuevo Ideal, Durango.

2.2.3.2. Evolución de nuevos biotipos

Cuando las plantas de avena casi han llegado a su madurez, o cuando no lo logran debido a una fuerte infección, las uredias del hongo producen teliosporas en vez de uredosporas o bien pueden formarse nuevas telias a partir de las infecciones recientes por las uredosporas. Las teliosporas no germinan inmediatamente ni infectan a la avena, sin que constituyan la fase invernante del hongo. Estas teliosporas representan también la fase en la que se efectúa la fusión de los núcleos y la meiosis (Figura 1), lo cual da como resultado la producción de nuevas combinaciones de caracteres genéticos del hongo a través de la recombinación genética. Hasta la fecha se conocen varios cientos de razas de la roya del tallo y cada año aparecen otras nuevas (Agrios, 1998).

La infección de hospedantes alternos producen las aeciosporas que infectan a la avena cerrándose el ciclo. El hecho más importante del hongo sobre el hospedero alternante es que ahí se realiza el entrecruzamiento, originándose la descendencia de genotipos más virulentos que los progenitores. Sin embargo, en muchas partes del mundo no se da el ciclo sexual completo. Las mutaciones son otro mecanismo que puede provocar la variabilidad patógena. Otros mecanismos que se reconocen como causantes de variación en royas es la heterocariosis y la hibridación somática (parasexualidad) (Stubbs *et al*, 1986).

2.3. Resistencia genética

2.3.1. Tipos de resistencia genética

La resistencia vertical o de especificidad a la raza implica la resistencia a algún aislamiento del patógeno y no a otros y es relativamente fácil de que se herede. La resistencia no específica u horizontal implica la resistencia a un mayor número de aislamientos del patógeno y es con frecuencia determinada poligenéticamente. La resistencia específica también ha sido definida como resistencia a la infección o hipersensibilidad, mientras que la horizontal o no específica permite la infección pero reduce la colonización y/o la programación de la enfermedad. La resistencia específica a la raza está condicionada por la integración de genes específicos en el hospedante con los del patógeno (Dyck y Kerber, 1985).

2.3.1.1 Resistencia específica a la raza o resistencia vertical

La resistencia específica a la raza está condicionada por la interacción entre los genes específicos del hospedero con aquellos en el patógeno. Los principios genéticos fundamentales de esta interacción genética fueron establecidos por Flor (1956), quien, trabajando con lino y su roya, demostró que si un cultivar es resistente o susceptible a una raza fisiológica del patógeno, esta reacción depende del genotipo para resistencia o susceptibilidad del hospedero y el genotipo para virulencia o avirulencia de la raza del patógeno. Un sistema similar se ha demostrado que existe en muchos cereales cultivados y sus patógenos de roya. Tal sistema gen por gen parece una consecuencia lógica de la coevolución de un hospedante y su parasito obligado en la naturaleza, y también en la evolución guiada por el hombre, que ha visto al patógeno adaptarse repetidamente para superar la resistencia de los nuevos cultivares (Dyck y Kerber, 1985).

Clásicamente la resistencia específica a la raza es expresada en una forma de respuesta de hipersensibilidad a la raza o razas contra las cuales la resistencia es efectiva. Esta es una resistencia contra el establecimiento de un sitio de infección exitoso. Genéticamente, la resistencia específica a la raza usualmente se comporta como un rasgo de un solo gen (Nelson, 1973).

2.3.1.1.1. Hipersensibilidad

Probablemente el mecanismo más común de la resistencia específica que ha sido usado en los programas de mejoramiento es la hipersensibilidad. Está caracterizado por lesiones microscópicas en los sitios de infección. El colapso temprano y la muerte de las células del hospedante en esos sitios previenen al

posible crecimiento de las hifas del hongo. La definición implica "un mecanismo de resistencia activa en la que, la rápida muerte de las células del hospedante alrededor del punto de infección previene la colonización". Sin embargo, esto ha sugerido que la respuesta a la hipersensibilidad necrótica no determina la reacción incompatible sino que esto es solo un síntoma de estrés incidental causado por la enfermedad (Dyck y Kerber, 1985).

2.3.1.2. Resistencia no específica a la raza o resistencia horizontal

La resistencia horizontal tiene como principal característica la falta de especificidad ante una serie de razas. Su expresión es cuantitativa. En un análisis de varianza, puede haber diferencias significativas entre razas o entre cultivares, pero no para la interacción entre ambos (Cornide *et al.*, 1993).

Supongamos que el mecanismo por el cual se expresa la resistencia horizontal es la resistencia ante la penetración de las esporas del patógeno. Esta resistencia puede ser contrarrestada por las razas del patógeno mediante una capacidad mayor de germinación de sus esporas. Si entonces ordenamos las razas del patógeno por su agresividad y las variedades por su resistencia horizontal, encontraríamos independencia entre ambos ordenamientos. De este modo, cuando una nueva raza del patógeno ha aumentado de agresividad en una variedad, también lo ha hecho en todas las demás variedades; la nueva raza del patógeno es más agresiva, tanto en variedades resistentes como en las susceptibles (Cornide *et al.*, 1993).

La resistencia horizontal abarca muchos mecanismos de resistencia, y puede ser activa o pasiva. Su herencia es genéticamente poligénica, aunque existen casos de control oligogénico. La resistencia horizontal retrasa el desarrollo

de una epidemia al reducir la intensidad de la infección de tipo *r* (Cornide *et al.*, 1993).

Según varios autores, existen argumentos para pensar que la resistencia horizontal esta universalmente presente en las plantas. El hecho de que es agronómicamente inadecuada, no implica que esté ausente. Sin embargo, su difícil manipulación con fines de mejoramiento ha determinado un uso más limitado de ésta (Cornide *et al.*, 1993).

2.3.1.3. Resistencia genética en roya del tallo en avena

Uno de los problemas que reducen la producción de avena, en temporal y riego en México, son las royas del tallo y de la corona (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*). Las variedades 'Chihuahua' y 'Cuauhtémoc' liberadas desde 1967 (Salmerón *et al.*, 2003) son susceptibles a las royas, y a pesar de ello ocupan la mayor superficie de riego con los riesgos que con lleva.

La resistencia genética es la mejor defensa para evitar el daño de la roya del tallo (Villaseñor, *et al.*, 2001). Las regiones productoras de avena con pocas variedades en las siembras comerciales son ideales para el desarrollo de nuevas razas fisiológicas de roya, por lo que en ocasiones se presentan epifitias (Singh *et al.*, 2004); esta situación ha prevalecido en México durante los últimos años, lo que ha propiciado la pérdida de resistencia de las variedades. Ante una amplia gama de razas fisiológicas del patógeno, es necesario implementar estrategias de mejoramiento genético orientadas al desarrollo de variedades con resistencia horizontal o duradera (Huerta y Singh, 2000); para lo cual se deben identificar genotipos de avena que posean genes con efectos de resistencia.

Hasta la fecha no se ha logrado obtener variedades con resistencia amplia y duradera contra la roya de tallo, debido, entre otras causas, al desconocimiento de los genes que confieren la resistencia a la avena. Sin embargo, la selección recurrente se dificulta, ya que este método requiere la presencia del patógeno y las condiciones ambientales adecuadas para que se desarrolle la enfermedad, lo cual no siempre sucede.

2.4. Herencia de la resistencia

La generación de variedades resistentes en los inicios del mejoramiento en México, fue encaminada a usar genes de resistencia específica que facilitaba la selección al cruzar un genotipo resistente por uno susceptible o resistente por uno resistente. Estos factores de resistencia se heredan en forma mendeliana (Huerta y Singh, 2000). Las variedades por lo general poseen un gen dominante de resistencia que produce una respuesta de hipersensibilidad. Esta resistencia puede durar muy poco, dado que se pierde cuando el patógeno evoluciona hacia nuevas formas de virulencia (Singh y Dubin, 1997).

Bechere *et al.* (1994) mencionan que en Etiopia algunas variedades de trigo desarrolladas mediante el mejoramiento genético han permanecido resistentes a la roya de la hoja y roya del tallo por un periodo de 12 a 18 años. En México en promedio de este tipo de resistencia es de 3-5 años. (Singh y Dubin, 1997).

2.5. Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE)

La curva del progreso de la enfermedad es la representación grafica del progreso de una enfermedad obtenida mediante la graficación de mediciones de

la intensidad de una enfermedad, contra el tiempo y el ABCPE es la integración numérica del área del área bajo la curva (Mora, 1996).

Todas las epidemias comparten un factor común de incremento dinámico; sin embargo, la escala de tiempo puede variar desde algunas semanas hasta muchos años. La curva idealizada de desarrollo de la enfermedad es sigmoide, similar a la curva clásica del crecimiento biológico que describe el crecimiento de un individuo o la multiplicación de un cultivo bacteriano. Pueden distinguirse tres fases de la curva: un retraso inicial, una fase de incremento y una decadencia final (Dickinson y Lucas, 1987).

La fase de retraso inicial se debe principalmente a la pequeña cantidad de inóculo presente al inicio de la epidemia. Al principio, pueden haber muy pocas plantas hospederas afectadas en la población; una gran proporción de estos focos de enfermedad pasan a través del periodo latente comprendido entre la infección del hospedero y la producción de nuevos propágulos infecciosos por el patógeno. Sin embargo, una vez que la cantidad de inóculo ha aumentado la epidemia pasa por la fase exponencial. La disponibilidad de inóculo deja de ser limitante y quedan todavía numerosos hospederos libres de enfermedad dentro del cultivo. En esta fase, la tasa de incremento de la enfermedad comienza a disminuir y decae la epidemia. Esto puede tener varias razones, incluyendo el número limitado de hospederos disponibles para la infección y la llegada de condiciones ambientales desfavorables (Dickinson y Lucas, 1987).

El cálculo del ABCPE se efectúa mediante la ecuación $ABCPE = \sum [(Y_i + Y_{i+1})/2] (t_{i+1} - t_i)$, donde Y_i es la intensidad de la enfermedad y t es el periodo de evaluación en días, de manera que las unidades serán %-días. La ecuación no es más que una integración de los rectángulos formados por el punto medio de la

intensidad de la enfermedad alcanzada entre dos tiempos de evaluación (Pedroza, 1995).

2.6. Variedades de avena

2.6.1. Texas

La variedad Texas fue introducida de E.U.A. por los menonitas en 1992 a la región de Cuauhtémoc, Chihuahua. Es de hábito de crecimiento semierecto y su ciclo es precoz, de 90 a 95 días en Cuauhtémoc, Chihuahua y bajo condiciones de temporal. El amacollamiento es escaso, con una altura de 75 a 120 cm en temporal y hasta 140 cm o más bajo riego. La hoja es angosta a mediana, de 1.5 cm o menos con lígula y glabras, el color es verde claro, los tallos son delgado es de textura fina y muy frágil con un color amarillo de cuatro a cinco nudos, la posición de la panícula es equilateral y larga de 15 a 35 cm con cinco nudos con un raquis ondulado, con 37 a 56 espiguillas con dos granos por espiguilla con una separación de semiabsición, las glumas miden de 20 x 4 mm, con nueve a diez venas. El grano está cubierto con la lema o cáscara de 1.5 cm de longitud, amarillo-claro largo y delgado, con vellos largos pero escasos, contiene aristas frágiles en la mayoría de granos primarios, con una moderada pubescencia. Es susceptible a la roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*), susceptible a acame y es moderadamente resistente al desgrane, su uso es principalmente para grano y forraje (Jiménez, 1992).

2.6.2. Nodaway

Es una variedad que fue introducida por el Programa de Avena del INIA en 1960. Tiene el hábito de crecimiento semierecto y su ciclo es intermedio con más de 120 días a la madurez bajo temporal en Valles Altos, el amacollamiento es

regular, con altura de 90 a 130 cm en las regiones temporaleras de Chihuahua y Valles Altos y hasta 150 cm bajo riego. La hoja es mediana de 1.5 a 2.5 cm, glabras y con lígula, el color es verde claro. El tallo es mediano a grueso con textura media y medio fuerte con color amarillo de seis a siete nudos. La posición de la panícula es equilateral y el tamaño es largo de 23.3 a 30 cm con seis nudos, el raquis es ondulado, tiene de 55 a 65 espiguillas con dos granos por espiguilla y la separación es de fractura, las glumas miden 20 x 4 mm con 9 a 10 venas. El grano está cubierto de lema o cáscara de 1.5 cm de longitud de color amarillo o café claro, el tamaño es mediano y su grosor es medio grueso, con vellos cortos pero escasos y la mayoría sin arista. Es susceptible a la roya del tallo (Jiménez, 1992).

Es una variedad tardía, susceptible a las enfermedades, con problemas en el grano para uso industrial por presentar alto porcentaje de grano doble y de cáscara (Jiménez, 1992).

Para forraje verde es una buena variedad, principalmente durante el invierno ya que prácticamente no tiene problemas de enfermedades, aunque tiende a acamarse (Jiménez, 1992).

Llega a rendir más de 2,000 kg ha⁻¹ de grano en condiciones favorables de temporal sin presencia de enfermedades y para forraje en verde bajo riego puede superar las 20 ton ha⁻¹ (Valles Altos) (Jiménez, 1992).

2.6.3. AB177

Es una variedad con buena altura, de ciclo intermedio. El rendimiento en condiciones de buen temporal fluctúa entre 1,500 y 2,000 kg ha⁻¹ de grano. Es una buena variedad para forraje verde (Jiménez, 1992).

El hábito de crecimiento es semierecto, de ciclo intermedio que va de los 115 a 130 días a la madurez en temporal, con buen amacollamiento, la altura es muy similar a la variedad Putnam61 que varía de 75 a 120 cm en las regiones temporaleras de Chihuahua y Valles Altos y alcanza hasta 145 cm bajo riego, el tamaño de sus hojas es de medianas a anchas de 2.5 cm glabras y con lígula de color verde oscuro, los tallos son medianos de textura media y medio fuertes de color amarillo, tiene entre siete y ocho nudos. La panícula tiene una posición equilateral de tamaño medio de 17 a 21 cm con seis nudos y un raquis ondulado, de 15 a 37 espiguillas con dos granos por espiguilla, ocasionalmente tres, la separación es de fractura, el tamaño de las glumas va desde 18 x 4 cm con nueve a once venas. El grano tiene lema o cáscara de 1.4 cm de longitud de color café, es grueso sin vellosidad, sus aristas medianamente frágiles en grano primario, es susceptible a la roya del tallo, moderadamente resistente al acame, resistente al desgrane y su uso es principalmente para forraje (Jiménez, 1992).

2.6.4. Putnam 61

Es una variedad de ciclo intermedio, de altura regular y con buen macollo. Es buen para forraje en verde ya que tiene gran cantidad de hojas y su paja es gruesa. Su rendimiento en condiciones de temporal varía de 1,200 a 2,000 kg ha⁻¹ de grano (Valles Altos) y bajo condiciones de riego llega a rendir más de 3,000 kg ha⁻¹ (Jiménez, 1992).

Su hábito de crecimiento es semierecto y su ciclo es intermedio, alrededor de 120 días a la madurez en temporal, el amacollamiento es regular y su altura va de los 75 a 115 cm bajo condiciones de temporal en Chihuahua y Valles Altos alcanzando hasta 140 cm bajo riego. Su hoja es mediana, de 2.3 cm, glabras y

con lígula el color es verde oscuro. El tallo es mediano a grueso con textura media y medio fuertes con seis a siete nudos y un raquis ondulado, tiene de 30 a 53 espiguillas con dos granos por espiguilla y la separación es de fractura, la gluma mide de 20 x 4 mm, con 8 a 10 venas. El grano está envuelto de lema o cáscara que mide de 1.3 cm de longitud, de color amarillo con un tamaño mediano, con vellos cortos y escasos, las aristas en grano primario son fuertes y media a largos. Es susceptible a la roya del tallo, moderadamente susceptible al acame, resistente al acame y su principal uso es para forraje (Jiménez, 1992).

2.6.5. Perla

Es una variedad que llegó como línea en el vivero internacional de roya (IORN) en 1965. Seleccionada en Chapingo, México y evaluada en el Campo Experimental Bajío en Guanajuato (Jiménez, 1992).

Es buena forrajera, bajo condiciones de temporal en Valles Altos alcanza rendimientos similares a Ópalo, sin embargo, su forraje es más fibroso. (Jiménez, 1992).

El hábito de crecimiento es semierecto y su ciclo es intermedio entre los 115 y 130 días a la madurez en temporal, tiene un regular amacollamiento, su altura va de los 70 a 110 cm bajo condiciones de temporal en Chihuahua y Valles Altos y alcanza hasta 135 cm bajo condiciones de riego. Al ancho de sus hojas es 1.5 a 2.5 cm, glabras y lígula de color verde cenizo. El diámetro del tallo es medio grueso, textura media y medio fuerte de color amarillo, tiene de seis a siete nudos. La panícula tiene una posición equilátera y el tamaño es mediano de 16 a 39 cm, el raquis es recto, tiene de 31 a 39 espiguillas con dos granos por espiguilla, la separación de las espiguillas es de semiabsición y las glumas miden

23 x 5 mm con nueve venas. El grano está cubierto por la lema o cáscara de 1 cm de longitud de color amarillo, de tamaño delgado y grosor mediano, vellos cortos y escasos, las aristas en grano primario son fuertes y media a largas. Es susceptible a la roya del tallo, moderadamente susceptible al acame, resistente al desgrane y su principal uso es para forraje (Jiménez, 1992).

2.6.6. Ópalo

El grano es delgado y no muy pesado, por lo cual no es bueno para la industrialización. Su rendimiento en condiciones de temporal varia de 1,000 a 1,800 kg ha⁻¹ de grano, y bajo riego puede rendir hasta 3,800 kg ha⁻¹. Es una buena variedad forrajera (Jiménez, 1992).

Su hábito de crecimiento es semierecto y su ciclo es intermedio que va entre 115 a 130 días a la madurez en temporal, el amacollamiento es regular y la altura va de los 75 a 115 cm bajo condiciones de temporal en Chihuahua y Valles Altos y alcanza hasta 160 cm bajo condiciones de riego. Tiene hojas medianas que miden entre 1.5 a 2.5 cm, glabras y con lígula de color verde claro. El diámetro del tallo es delgado de textura media y frágil de color amarillo, tiene entre seis y ocho nudos. La panícula tiene una posición equilateral, de tamaño mediano entre 19.8 a 26.4 cm y su raquis es recto, tiene entre 55 a 73 espiguillas con dos granos por espiguilla y la separación es de forma de fractura, las glumas miden 20 x 4 mm con siete a nueve venas. El grano está cubierto por la lema o cáscara que mide 1.4 cm de longitud de color amarillo, es angosta y larga con muchos vellos largos, sin aristas. Es susceptible a la roya del tallo, susceptible al acame, resistente al desgrane y su principal uso es para forraje (Jiménez, 1992).

2.6.7. Chihuahua

Esta variedad se derivó de una cruce entre AB-177 y Putnam 61. Se considera junto con Cuauhtémoc como una de las variedades surgidas de las primeras cruces realizadas en México (Jiménez, 1992).

Es una variedad hermana de Cuauhtémoc, con diez a quince días más de precocidad. El rendimiento de esta variedad en condiciones de temporal varia de 1,200 a 3,000 kg ha⁻¹ de grano cuando no hay problemas de enfermedades, y bajo riego puede alcanzar hasta 4,000 kg ha⁻¹. Es buena productora de forraje (Jiménez, 1992).

Su hábito de crecimiento es semierecto y su ciclo es intermedio que va de los 115 a 130 días de la siembra a la madurez en áreas de temporal, el amacollamiento es bueno, alcanza una altura entre los 70 a 110 cm en regiones temporales y hasta 140 cm bajo riego, la anchura de sus hojas en mediana que van de 1.5 a 2.5 cm, glabras y con lígula, de color verde oscuro. El diámetro del tallo es medio grueso, de textura media y medio fuertes, de color amarillo con cinco a seis nudos. La posición de la panícula es equilátera, de tamaño medio de 22 a 29 cm con seis nudos y raquis recto, tiene de 50 a 70 espiguillas con tres granos por espiguilla, la tercera con mucha frecuencia es estéril y la separación es de semiabsición, las glumas miden de 18 x 5 mm con nueve a diez venas. El grano está cubierto de lema o cáscara que miden de 1.3 cm de longitud y son de color amarillo, es mediana y delgada con mucha vellosoidad corta en los callos, la arista en grano primario es fuerte y media larga. Es susceptible a la roya del tallo, moderadamente resistente al acame, resistente al desgrane y su uso es principalmente para grano y forraje (Jiménez, 1992).

2.6.8. Cuauhtémoc

Es una variedad con buena respuesta cuando no hay limitaciones de humedad en el suelo, temperatura y royas. El grano de esta variedad se puede distinguir del de la variedad Chihuahua cuando al romper la arista queda un punto negro (Jiménez, 1992).

El rendimiento en condiciones de temporal varia de 1,500 a 3,500 kg ha⁻¹ de grano y bajo riego puede superar los 4,000 kg ha⁻¹. Su producción de forraje es excelente principalmente en invierno bajo riego (Jiménez, 1992).

Su hábito de crecimiento es semierecto y su ciclo es intermedio que va de los 115 a 130 días de la siembra a la madurez bajo condiciones de temporal, tiene un amacollamiento de regular a bueno, su altura varía de los 80 a 115 cm en temporal. Bajo condiciones de riego alcanza hasta 150 cm. El ancho de las hojas es de 1.5 y 2.5 cm, glabras y lígula, el color es verde oscuro. El tallo tiene un diámetro medio grueso, textura media y medio fuertes de color amarillo con cinco nudos. La panícula tiene una posición equilateral, su tamaño es mediano que va de los 20 a 25 cm con cinco nudos y un raquis ondulado, de 22 a 54 espiguillas con tres granos por espiguilla, la tercera muchas veces es estéril y una separación de semiabsición. El grano esta cubierto de lema o cáscara de 1.7 cm de longitud de color crema o amarrillo, es grueso y mediano, con vellos ortos, las aristas en grano primario son fuertes y medias largas. Es susceptible a la roya del tallo, moderadamente resistente al acame, resistente al desgrane y su uso es principalmente para grano y forraje (Jiménez, 1992).

2.6.9. Guelatao

Esta variedad se originó de una cruz hecha entre 1964 y 1965, en Roque Guanajuato y seleccionada como línea en Toluca, México (Jiménez, 1992).

Esta variedad tiene como principales ventajas, para las zonas temporeras, su precocidad y altura; aunque también tiene grano aceptable para uso industrial, es susceptible a las royas y al acame. El rendimiento en condiciones de temporal varía de 1,200 a 1,400 kg ha⁻¹ de grano y bajo riego suele alcanzar los 3,500 kg ha⁻¹. Para forraje henificado o forraje seco es deseable por la textura de su tallo (Jiménez, 1992).

Esta variedad tiene hábito de crecimiento semierecto y con un ciclo precoz, lo cual requiere de 80 a 110 días a la madurez en condiciones de temporal, tiene buen amacollamiento, la altura va de los 80 a 120 cm en temporal y alcanza una altura de 160 cm bajo riego. El ancho de la hoja es mediana, de 1.5 a 2.5 cm, glabras y con lígula, el color es verde claro. El diámetro del tallo es delgado a mediano con textura media y frágil de color amarillo con cuatro o cinco nudos. La posición de la panícula es equilateral de mediano en tamaño de 21.4 a 28.3 cm con siete nudos y su raquis ondulado, tiene de 43 a 85 espiguillas con dos granos por espiguilla y la gluma mide 18 a 6 mm, con nueve venas. El grano está cubierto con lema o cáscara que miden de 1.3 cm de longitud y es de color amarillo claro o crema, es mediano y delgado sin vellosidad y sin aristas. Es susceptible a la roya del tallo, moderadamente susceptible al acame, moderadamente susceptible al desgrane y su uso es principalmente grano y forraje (Jiménez, 1992).

2.6.10. Tulancingo

Es una variedad muy parecida a Diamante R-31, pero en rendimiento la supera en más de 400 kg ha⁻¹ de grano, es precoz, de altura aceptable, resistente a la roya del tallo y de grano ligeramente más pequeño que Diamante R-31; sin embargo, tiene bajo porcentaje de cáscara. Resulta ideal para la industria (Jiménez, 1992).

Su hábito de crecimiento juvenil es semierecto con un ciclo precoz que requiere de 90 a 112 días a la madurez en condiciones de temporal, tiene un amacollamiento regular, su altura va de los 75 a 110 cm en condiciones de temporal y hasta 135 cm bajo riego. La anchura de su hojas es mediana, de 1.5 cm, glabras y con lígula, de color verde claro. El diámetro del tallo es delgado con textura fina y medianamente fuerte, de color amarillo, tiene de cuatro a cinco nudos. La posición de la panícula es equilátera de un tamaño mediano, de 18.3 a 24 cm, con seis nudos y un raquis recto, tiene de 37 a 68 espiguillas con dos granos por espiguilla y una separación de semiabsición y la gluma mide de 20 x 7 mm con nueve venas. El grano está cubierto por lema o cáscara de 1.3 cm de longitud, de color amarillo claro, el tamaño es delgado y el grosor es mediano, vellosidad en callos con escasa vellos y cortos, presencia de arista en grano primario, fuerte y medianamente larga. Es moderadamente resistente a la roya del tallo, moderadamente resistente al acame, resistente al desgrane y su principal uso es para grano (Jiménez, 1992).

2.6.11. Juchitepec

Es una de las variedades más recientes a las enfermedades y rendidora en grano. Florece de los 50 a 55 días y madura de los 90 a 95 días (con 1120

unidades calor). La planta alcanza una altura de 85 a 140 cm, el tallo es fuerte y con hojas medianas. El grano tiene una cáscara amarilla oscura y fuertemente adherida al grano. El grano principal posee una barba larga, un reducido porcentaje de cáscara y contenido medio de proteínas. Su rendimiento en los últimos años ha sido satisfactorio en Chihuahua y en el Valle de México (Salmerón y Suderman, 1993).

2.6.12. Huamantla

Esta es una buena variedad por su altura y tolerancia a la roya del tallo; sin embargo, tiene la desventaja de que se desgrana fácilmente sino se cosecha tan pronto como haya madurado. Tiene buen grano y su rendimiento varía de 1,200 a 3,000 kg ha⁻¹ en temporal y alcanza 4,500 kg ha⁻¹ de grano bajo riego (Jiménez, 1992).

Su hábito de crecimiento juvenil es recto y su ciclo es precoz que requiere de 90 a 115 días a la madurez en condiciones de temporal, el amacollamiento es de regular a bueno su altura comprende entre 80 a 120 cm en temporal y en riego alcanza hasta los 145 cm. El ancho de sus hojas es de angosta a mediana, de 1.5 cm con glabras y con lígula, de color verde claro. El diámetro del tallo es delgado a mediano, de textura media y frágil, de color amarillo y con cuatro nudos. La posición de la panícula es equilátera y el tamaño es mediano, de 17 a 24 cm con cinco nudos con un raquis recto y contiene de 40 a 72 espiguillas, con dos granos por espiguilla y la separación de la espiguilla de abscisión, la gluma mide de 10 x 4 mm con nueve venas. El grano está cubierto por la lema o cáscara de 1.1 cm de longitud, de color amarillo, el tamaño y grosor es mediano con muchos vellos cortos en el callo, tiene aristas en grano primario medianamente largas con poca

pubescencia. Es medianamente susceptible a la roya del tallo, moderadamente susceptible al acame, susceptible al desgrane y su principal uso es para grano (Jiménez, 1992).

2.6.13. Diamante R-31

Esta variedad es la más resistente a la raza de la roya del tallo. Es una variedad muy estable en su rendimiento, bajo condiciones de temporal se puede obtener de 1,200 a 2,800 kg ha⁻¹ de grano y hasta 4,000 kg ha⁻¹ bajo riego. Esta variedad es ideal para regiones donde la roya del tallo causa problemas, también es precoz, de altura aceptable y con buen grano. No se recomienda para forraje en verde (Jiménez, 1992).

Su hábito de crecimiento es semierecto, su ciclo es precoz que requiere de 90 a 112 días a la madurez en condiciones de temporal, tiene un amacollamiento regular y su altura varía de 75 a 110 cm en condiciones de temporal y alcanza hasta 135 cm bajo riego. El ancho de sus hojas es de mediano a angosto de 1.5 cm, con glabras y con glumas presentes, de color verde claro. El diámetro del tallo es delgado, de textura fina y frágil de color amarillo con cuatro o cinco nudos. La posición de la panícula es equilátera, el tamaño es corto, de 11.2 a 23.5 cm, con seis nudos con un raquis recto, tiene de 44 a 75 espiguillas con dos granos por espiguilla, la separación de la espiguilla es de fractura con glumas de 16 x 6 mm con siete a nueve venas. El grano está cubierto de lema o cáscara de 1.2 cm de longitud, de color gris o amarillo manchado, el tamaño es corto y de grosor mediano con vellos cortos escasos, la mayoría de los granos sin aristas, algunos granos primarios con arista mediana. Es moderadamente resistente a la roya del

tallo, moderadamente resistente al acame, moderadamente resistente al desgrane y su principal uso es para grano (Jiménez, 1992).

2.6.14. Tarahumara

En condiciones favorables de humedad en el suelo y si el ataque de roya no es severo, resulta una buena variedad. Su rendimiento varía de 1,000 a 2,800 kg ha⁻¹ en condiciones de temporal y llega a 4,000 kg ha⁻¹ en riego (Jiménez, 1992).

Su hábito de crecimiento juvenil es semierecto y su ciclo es precoz que requiere de 90 a 110 días a la madurez en condiciones de temporal, el amacollamiento es de regular a malo con alturas entre los 70 a 100 cm en temporal y hasta 1125 cm en riego. La anchura de la hoja es de angosta a mediana, de 1.5 cm, glabras y con lígula, el color es de cenizo a azulado. El diámetro del tallo es mediano con textura media y fuerte de color amarillo y con cuatro nudos. La posición de la panícula es equilátera compacta de tamaño medio, de 18 a 25 cm con siete nudos y con un raquis recto y de 50 a 79 espiguillas con dos granos por espiguilla, la separación de la espiguilla es de semiabsición y la gluma de 16 x 6 mm con siete a nueve venas. El grano está cubierto de lema o cáscara de 1.2 cm de longitud, de color amarillo claro o "crema". Esta variedad es la que tiene el color de grano más claro, el tamaño del grano es corto y el grosor es mediano con escasos vellos y estos son largos y sin aristas. Es moderadamente susceptible a la roya del tallo, resistente al acame, resistente al desgrane y su principal uso es para grano (Jiménez, 1992).

2.6.15. Páramo

Esta variedad es de las mas rendidoras de grano en temporal cuando el ataque de las royas no llega a ser muy severo; su rendimiento varia de 1,500 a 3,800 kg ha⁻¹ en condiciones de temporal; bajo riego es de 4,500 kg ha⁻¹; su grano es de mayor tamaño y es bien aceptado para industrialización a pesar de tener cáscara gruesa (Jiménez, 1992).

Parece que el tamaño del grano le ayuda a germinar más fácilmente que las otras variedades en terrenos mal preparados. Es una variedad que tolera el acame y presenta mayor resistencia al desgrane, lo cual es importante en el norte del país, donde son frecuentes las granizadas cuando las variedades están en plena madurez. No es recomendable para forraje pues la superan en rendimiento otras variedades (Jiménez, 1992).

Su hábito de crecimiento es semierecto y con un ciclo precoz que va de los 85 a 115 días a la madurez en condiciones de temporal, tiene buen amacollamiento, la altura va de 80 a 115 cm en temporal y hasta 145 cm bajo riego. La anchura de la hoja es de mediana a ancha, de 2.5 cm, glabras y con lígula de color verde intenso. El diámetro del tallo es mediano a grueso, de textura mediana y fuerte, de color amarillo y con cinco nudos. La posición de la panícula es equilateral, de tamaño mediana a larga de 23.8 a 29 cm con seis nudos y un raquis ondulado y entre 50 a 78 espiguillas con tres granos por espiguilla, la tercera por lo general es estéril, la separación es de semiabsición, las glumas miden de 20 x 6 mm con ocho a 11 venas. El grano está cubierto por la lema o cáscara de 1.5 cm de longitud, de color café y de tamaño grande y grosor mediano, con muchos vellos cortos, tiene aristas en grano primario, fuertes y largas. Es moderadamente resistente a la roya del tallo, moderadamente

resistente al acame, resistente al desgrane y su uso es principalmente para grano (Jiménez, 1992).

2.6.16. Gema

Esta es una de las mejores variedades para producción de forraje verde. Para producción de grano es tardía y susceptible a royas; además, presenta alto porcentaje de cáscara por lo que no es bueno para la industria. Su rendimiento en forraje verde bajo condiciones de riego, puede superar las 25 kg ha⁻¹, al cortarse en estado lechoso-masoso del grano, el rendimiento de grano varía de 1,000 a 2,000 kg ha⁻¹ en temporal. Su hábito de crecimiento es semierecto y su ciclo es intermedio, y madura alrededor de los 125 días en condiciones de temporal, su amacollamiento es de regular a bueno, su altura varía de los 125 a 160 cm bajo condiciones de temporal y hasta 170 bajo condiciones de riego. La anchura de la hoja es de mediana a ancha, de 2.5 cm, glabras y con lígula, de color verde claro. El diámetro del tallo es grueso, de textura media y medianamente fuerte de color amarillo con cuatro a cinco nudos. La posición de la panícula es equilateral, de tamaño mediano a largo, de 19.5 a 27 cm con seis nudos con un raquis recto, tiene de 44 a 65 espiguillas con dos granos por espiguilla y la separación de la espiguilla es de semiabsición y la gluma de 25 x 10 mm con nueve a diez venas. El grano está cubierto de la lema o cáscara de 1.7 cm de longitud, el grano es de color amarillo claro de tamaño largo y grosor mediano y con escasos vellos y cortos, las aristas en grano primario son fuertes y medianamente largas. Es moderadamente susceptible a la roya del tallo, moderadamente resistente al acame, resistente al desgrane y su principal uso es para forraje (Jiménez, 1992).

2.6.17. Babícora

Es una variedad de doble propósito, ha tenido buena aceptación por el buen rendimiento de grano y forraje. Babícora es de ciclo intermedio y rinde mejor en fechas tempranas, en temporal florece de los 51 a 56 días y tiene madurez comprendida entre los 99 a 104 días (bajo 1127 unidades calor). La planta es de porte alto y llega a medir hasta 135 cm, el tallo es fuerte y las hojas medianas. El grano es uno de los más grandes de todas las variedades señaladas, en ésta, la cubierta del grano es de color amarillo oscuro, tiene una barba larga y reforcida en la parte inferior y en la superior es ligeramente doblada. El porcentaje de proteínas en el grano es alto y un contenido medio de grasa. Posee moderada resistencia a la roya del tallo y es moderadamente susceptible a la roya de la hoja (Salmerón y Suderman, 1993).

2.6.18. Cusihuiachi

Es la variedad más precoz y resistente a enfermedades y con buen potencial de rendimiento. Con 45 a 50 días a la floración y de 82 a 89 a la madurez (bajo 1099 unidades de calor). El porte de la planta es bajo de 70 a 120 cm. Tiene tallos y hojas delgadas pero abundantes por lo que produce un forraje palatable. Cusihuiachi tiene el grano más delgado de las variedades recién liberadas, pero de alto peso específico. La cubierta del grano es de color amarillo claro, tiene una arista corta y recta que al quebrarse solo mantiene la base de la misma, tiene un porcentaje medio de proteína y bajo en grasa. Es tolerante a la roya del tallo dado su ciclo precoz logra evitar los daños de esta enfermedad (Salmerón y Suderman, 1993).

2.6.19. Papigochi

Es una variedad forrajera de porte alto y de ciclo tardío. Florea a los 59 a 63 días y madura de los 92 a 100 días (bajo 1172 unidades calor). Papigochi es de porte alto, llega alcanzar hasta 140 cm de altura, es un cultivar que tienen tallos fuertes y hojas anchas y resistencia al acame. El grano es de color amarillo oscuro y el grano principal porta una barba larga y retorcida en la base. Papigochi posee uno de los granos más grandes, tiene un bajo porcentaje de proteína y contenido medio de grasa. Es moderadamente resistente a la roya del tallo y moderadamente susceptible a la roya de la hoja (Salmerón y Suderman, 1993).

2.6.20. Rarámuri

Es una variedad de doble propósito, bien aceptada por los productores temporaleros, tiene un ciclo similar a Páramo florece de los 50 a los 52 días y madura de los 85 a 99 días (con 2204 unidades calor). La planta alcanza una altura de 75 a 137 cm, sus tallos y hojas son suaves, al existir excesos de humedad y altas poblaciones de plantas suele acamarse. El grano tiene una cáscara amarilla, su forma es delgada y larga con alto peso específico. Tiene alto porcentaje de proteínas y contenido medio de grasa. Su rendimiento en grano es de los más altos y estables de las variedades más recientes. Cuando se presenta la roya del tallo, esta se desarrolla lentamente, tiene una reacción de moderada resistencia a la roya del tallo y es moderadamente susceptible a la roya de la hoja (Salmerón y Suderman, 1993).

2.6.21. Karma

Es una variedad liberada por el INIFAP. Por su alto rendimiento tiene mayores cualidades para la producción de grano; sin embargo, también es adecuada para la producción de forraje en verde y forraje henificado bajo condiciones de temporal y para forraje en verde en siembras de riego durante el invierno; es de ciclo intermedio (116 a 135 días a madurez fisiológica), la planta es de porte medio (de 100 a 126 cm) y con buena capacidad de amacollamiento y buena cantidad de hojas (Espitia *et al.*, 2002).

Los tallos son medio delgados y moderadamente resistentes al acame; su paja es de color amarillo claro, su panícula es de tamaño grande con alta cantidad de grano que es de color amarillo y de tamaño mediano; es resistente a la roya de la hoja, al desgrane y a la enfermedad conocida como hoja roja y es moderadamente resistente a la roya del tallo y al acame (Espitia *et al.*, 2002).

Se recomienda sembrar Karma durante el temporal en fechas tempranas a intermedias, del 20 de mayo al 30 de junio; su tipo agronómico permite un manejo medio intensivo del cultivo, su potencial de rendimiento es alto, puede producir hasta 5.1 ton/ha de grano y es adecuada para siembras en ambientes críticos a favorables y bajo condiciones de riego en invierno; se sugiere sembrar del 15 de octubre al 15 de noviembre bajo riego. El rendimiento potencial en forraje henificado en siembras de temporal es alrededor de 8.7 kg ha⁻¹ (Espitia *et al.*, 2002).

2.6.22. Cevamex

Es una variedad liberada por el INIFAP; es adecuada para la producción de grano, forraje verde y forraje henificado bajo condiciones de temporal y para

forraje en verde en siembras de riego durante el invierno; es de ciclo tardío (de 120 a 140 días a madurez fisiológica), la planta es de porte alto (de 109 a 145 cm) y con buena capacidad de amacollamiento (Espitia *et al.*, 2002).

Los tallos son gruesos y moderadamente susceptibles al acame; su paja es de color amarillo medio, su panícula es de tamaño grande y con regular cantidad de grano que es de color café claro y de tamaño grande; es resistente a roya del tallo y a la enfermedad conocida como hoja roja, y moderadamente susceptible al acame (Espitia *et al.*, 2002).

Esa variedad se puede sembrar en temporal en fechas de siembra tempranas a intermedias, del 20 de mayo al 25 de junio; su tipo agronómico no permite un manejo medio intensivo del cultivo, su potencial de rendimiento es moderado, puede producir hasta 6.2 kg ha⁻¹ de grano y es adecuada para siembras en ambientes críticos a favorables y bajo condiciones de riego en invierno, ciclo en que se sugiere sembrar del 15 de octubre hasta el 15 de noviembre. El rendimiento es alrededor de 11 kg ha⁻¹ (Espitia *et al.*, 2002).

2.6.23. Menonita

Es de hábito de crecimiento erecto; vellosidades muy leves o ausentes en las vainas, en los bordes de las hojas y muy abundantes en el nudo superior del tallo; las ramificaciones de la panícula tienen una orientación equilátera y su posición es caída; las de la parte superior son colgantes; las glumas y lemas no tienen vellosidades o son muy tenues; la mayoría de los granos primarios tienen una arista delgada y recta que se desprende fácilmente durante la cosecha; el grano no tiene vellosidades en la base y la cáscara es de color amarillo claro.

En cuanto a características agronómicas, la variedad Menonita es muy similar a Babícora respecto a días a floración que son de 52 a 54 días y su madurez se presenta entre los 92 a 94 días después de la siembra, dos días más precoz que Babícora (Salmerón y Suderman, 1993), por lo tanto, es de ciclo intermedio; el porte de la planta es de altura intermedia, ya que fluctúa entre 102 a 125 cm; la paja es suave, característica aceptable para su uso forrajero; es resistente a la raza de roya de la avena NA-5 y NA-22 presentes en México (Salmerón, 2002).

La calidad del forraje de la variedad Menonita está representada por 8.16% de proteína en estado lechoso-masoso del grano y una digestibilidad *in vitro* de 50.87%. El porcentaje de almendra en esta variedad es de 71.42 %. Menonita bajo condiciones satisfactorias de humedad (>350 mm de precipitación) tiene un peso específico del grano de 460 g L⁻¹, en temporal medio (media de 300 mm) es de 468 L⁻¹; el tamaño del grano reflejado por el peso de mil gramos fue de 30 gramos, ligeramente inferior que Babícora que tiene 33 gramos; el grano tiene 16.46% de proteína (Salmerón, 2002).

2.6.24. Bachiniva

Bachiniva tiene un crecimiento erecto; vellosidades muy leves o ausentes en las vainas, en los bordes de las hojas y muy abundantes en el nudo superior del tallo; la orientación de las ramificaciones de la panícula es de forma equilátera, su posición es caída y las de la parte superior son colgantes; las glumas y lemas no tienen vellosidades o son muy tenues; La mayoría de los granos primarios no tienen arista, el grano es grande y uniforme, características que la hacen de alto

rendimiento para uso industrial; la cáscara del grano es de color café y no tiene vellosidades en la base (Salmerón, 2002).

Florece a los 46 días después de la siembra; en cuanto a madurez es similar a las variedades Cusihuiriachi y Páramo, que son las más precoces; tienen de 85 a 88 días a la madurez; la planta tienen una altura intermedia que fluctúa entre 100 y 115 cm; es moderadamente resistente a las razas de roya existentes en la actualidad (Salmerón, 2002).

En cuanto a su calidad industrial el porcentaje de almendra en esta variedad es de 70%; bajo condiciones satisfactorias de humedad (> 350 mm de precipitación) tiene un peso específico del grano de 475 g L⁻¹, en condiciones de temporal medio (aproximadamente 300 mm) es 460 g L⁻¹; el tamaño del grano, reflejado por el peso de mil granos, es 33 g, similar a Babícora; el grano 11.36% de proteína (Salmerón, 2002).

2.6.25. Obsidiana

Es una variedad liberada por el INIFAP, es adecuada para la producción de grano, forraje verde y forraje henificado bajo condiciones de temporal y para forraje verde en siembras de riego durante el invierno; es de ciclo tardío (de 125 a 145 días a madurez fisiológica), la planta es de porte alto (de 105 a 140 cm) y con buena capacidad de amacollamiento (Espitia *et al*, 2002).

Los tallos son gruesos y moderadamente susceptibles al acame; su paja es de color amarillo medio, su panícula es de tamaño grande y con una gran cantidad de grano, los cuales son de color café claro y de tamaño mediano; es moderadamente resistente a roya del tallo y a la enfermedad conocida como hoja roja, y moderadamente susceptible al acame (Espitia *et al*, 2002).

Esta variedad se puede sembrar en temporal en fechas de siembra tempranas a intermedias, del 20 de mayo al 25 de junio; su tipo agronómico no permite un manejo medio intensivo del cultivo, su potencial de rendimiento de grano es alto, puede producir hasta 4.2 kg ha^{-1} de grano y es adecuada para siembras en ambientes críticos a favorables y bajo condiciones de riego en el invierno, ciclo en que se sugiere sembrar del 15 de octubre hasta el 15 de noviembre. El rendimiento potencial en forraje henificado en siembras de temporal es alrededor de 10 kg ha^{-1} (Espitia *et al*, 2002).

2.6.26. Turquesa

La variedad turquesa es de hábito de primavera, de ciclo intermedio (107 días a madurez fisiológica en promedio), de altura media (97 cm en promedio), tolerante al acame, moderadamente resistente a la roya del tallo (40 MR) y responde favorablemente en cualquier tipo de ambiente de producción bajo temporal. Esta variedad se generó en el Programa de Mejoramiento Genético del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) por recombinación genética y selección. La variedad se obtuvo a través de una cruce simple y por medio del método de selección masivo y de las familias derivadas (Villaseñor, *et al*, 2007).

2.6.27. Pampas

Es una variedad de doble propósito, sobrepasa en rendimiento a Páramo, florece a los 54 días y madura a los 90 días después de la siembra (con 1127 unidades de calor). El grano es de color amarillo oscuro, tiene una barba ligeramente retorcida en la base, el grano es grande semejante a Papigochi y Páramo, tiene un alto porcentaje de proteínas en el grano y un nivel medio de

grasa. Respecto a las enfermedades es resistente a la roya del tallo y moderadamente susceptible a la roya de la hoja (Salmerón y Suderman, 1993).

2.6.28. Teporaca

Es de crecimiento semierecto; vellosidad leve o ausente en las vainas, en los bordes de las hojas y muy abundante en el nudo superior del tallo; aunque la emergencia de la panícula es en etapas, la maduración es uniforme; la orientación de las ramificaciones es equilátera, la posición de sus ramas es caída y colgantes en la parte terminal; en las glumas y lemas no hay vellosidades o son muy tenues; el grano primario tienen una arista recta y delgada que se desprende fácilmente; el grano es grande, similar a las variedades Babicora y Papigochi (Salmerón y Suderman, 1993), el color de la cáscara es crema y no tiene vellosidades en la base (Salmerón, 2001).

Florece entre los 54 a 56 días y madura de 94 a 98 días, dos días más tarde que la variedad Babicora. De acuerdo a estos datos se puede catalogar como una variedad de madurez tardía, similar a la variedad Papigochi; la altura de planta varía de 102 a 130 cm, por lo que se considera de altura intermedia; la consistencia del tallo al ser intermedia, puede acamarse en regiones de alta precipitación (>700 mm). Es resistente a las razas de roya de la avena prevalecientes en el estado de Chihuahua (Salmerón, 2001).

Respecto a su calidad industrial, el forraje de esta variedad tiene 11.84% de proteína en estado lechoso-masoso del grano y una digestibilidad *in vitro* de 42.35%. la calidad del grano está relacionado con el potencial climático para obtener un buen desarrollo de la planta; el porcentaje de almendra en esta variedad es de 66.67%; bajo condiciones satisfactorias de humedad (> 350 mm

de precipitación) el grano tiene un peso específico de 470 g L^{-1} , en condiciones de temporal medio (media de 300 mm) tiene un peso de 458 g L^{-1} el tamaño del grano reflejado por el peso del mil granos fue de 37 gramos, superior a Babícora que tiene 33 gramos, el grano tiene 16.67% de proteína (Salmerón, 2001).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El experimento se llevó a cabo en el ciclo Otoño-Invierno del 2008, en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Chapingo, México, localizado a los 19° 29' latitud norte y 99° 53' longitud oeste a una altitud de 2250 msnm, con una precipitación promedio anual de 640 mm y 15 °C de temperatura media anual, con una oscilación de 6 °C, el clima varía de templado húmedo a subhúmedo con lluvias en verano (García, 1981).

3.2. Preparación de la semilla

Se utilizaron 50 gramos de semilla de cada variedad para las 4 repeticiones. Las cuales se colocaron en sobres debidamente etiquetados por cada fecha de siembra tal como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Sobres con 50 gramos de semilla de cada variedad.

3.3. Preparación del terreno

La preparación del terreno consistió en un barbecho y posteriormente un paso de rastra, con la finalidad de que el terreno quedara bien mullido, para obtener la germinación lo más uniformemente posible (Figura 3).



Figura 3. Terreno preparado para la siembra.

Se trazaron las unidades experimentales (Figura 4), las cuales fueron de 4 surcos de 5 metros de largo x 0.30 metros de ancho, con 4 repeticiones por unidad experimental.



Figura 4. Trazo de las unidades experimentales

3.4. Siembra

La siembra se realizó de manera manual, a una densidad de 60 kg ha⁻¹ de semilla; se realizaron 5 fechas de siembra, la primera fue el 23 de junio del 2008, la segunda el 30 de junio, la tercera el 7 de julio, la cuarta el 14 de julio y la quinta se efectuó el 21 de julio del 2008.

3.5. Presencia del patógeno

La presencia del patógeno ocurrió de manera natural, debido a que se trato de un ciclo de cultivo bajo temporal, en donde las condiciones ambientales fueron favorables para la incidencia de la enfermedad. La enfermedad se presentó a inicios de septiembre, tiempo cuando se observaron las primeras pustulas en hojas y tallos en las variedades susceptibles. En la primera fecha se observaron los primeros signos de la enfermedad con esporulación abundante y de esta se diseminó a las otras fechas. Los datos de incidencia y severidad fueron tomados en todas las variedades hasta finalizar el ciclo; las evaluaciones fueron cada 8 días en las 5 fechas y en todas las variedades.

3.6. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, y un arreglo de tratamientos en parcelas divididas, siendo la parcela grande las 5 fechas de siembra y la parcela chica las 28 variedades. La parcela experimental fue de cuatro surcos de 5 m de largo y espaciados a 30 cm (Figura 5); la parcela útil fue de dos surcos centrales, en los cuales se tomó el porcentaje de daño de todas las variedades de avena, desde que se presentó la enfermedad hasta el término del ciclo del cultivo. Cabe mencionar que cuando se analizaron

los datos solamente para una fecha el diseño experimental fue completamente al azar y cuando se analizaron en conjunto todas las fechas, fue un diseño en parcelas divididas (Montgomery, 2003).



Figura 5. Variedades sembradas por parcela en 4 surcos de 5 metros de largo.

3.7. Material utilizado

Las 28 variedades de avena utilizadas (Cuadro 4), fueron de la colección que se tiene en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX).

Cuadro 4. Variedades comerciales de avena cultivadas y evaluadas en el ciclo P-V/2008.

Número	Variedad	Número	Variedades
1	TEXAS	15	PÁRAMO
2	NODAWAY	16	GEMA
3	AB-177	17	BABÍCORÁ
4	PUTNAM 61	18	CUSIHUIRIACHI
5	PERLA	19	PAPIGOCHI
6	ÓPALO	20	RARÁMURI
7	CHIHUAHUA	21	KARMA
8	CUAHUCTÉMOC	22	CEVAMEX
9	GUÉLATAO	23	MENONITA
10	TULANCINGO	24	BACHINIVA
11	JUCHITEPEC	25	OBSIDIANA
12	HUAMANTLA	26	TURQUESA
13	DIAMANTE R-31	27	PAMPAS
14	TARAHUMARA	28	TEPORACA

3.8. Variables evaluadas

3.8.1. Incidencia y severidad de la roya del tallo

La enfermedad se presentó a inicios de septiembre del 2008; a partir de esta fecha se inicio con la toma de datos, la cual consistió en evaluar el porcentaje de tejido afectado por la enfermedad en cada una de las variedades y en cada fecha de siembra; se utilizó la escala modificada de Cobb (Peterson *et al.*, 1948), la cual consiste en tomar valores de severidad del 1 a 100%. Las evaluaciones se realizaron de manera visual cada 8 días hasta la madurez comercial del cultivo.

2.8.2. Días a floración

Este dato se obtuvo contando los días transcurridos desde la siembra, hasta el momento en que el 50% de las espiguillas de cada variedad llegaron a floración (Figura 6).



Figura 6. Avena al 50% de floración.

3.8.3. Días a madurez comercial.

Se obtuvo contando los días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que el pedúnculo de la panícula se torno de color amarillo.

3.8.4. Pérdida de rendimiento de grano

Para poder contabilizar esta variable, una vez terminado el ciclo del cultivo se cosecharon 10 tallos al ras de suelo por cada variedad en cada una de las 5 fechas de siembra y se depositaron en bolsas de papel, posteriormente se trillaron para obtener el rendimiento de grano, con la ayuda de una báscula analítica, y de esta manera se pudo comparar las diferencias de rendimiento de grano de cada una de las variedades en cada fecha y entre fechas, además de que se pudo comparar el peso de 100 semillas de estas mismas contra el peso de 100 semillas de las mismas variedades pero tratadas con fungicida durante todo el ciclo del cultivo.

3.9. Análisis estadístico

La información obtenida del porcentaje de severidad de todos los muestreos, en la diferentes fechas de siembra y en todas las variedades durante todo el ciclo del cultivo, fue transformada por medio de la fórmula del área bajo la curva, para obtener el progreso de la enfermedad en el tiempo y espacio; posteriormente se realizó un análisis de varianza y comparaciones de medias empleando la prueba de DMS con un $\alpha = 0.05$, por fecha (completamente al azar) y un análisis de varianza y comparaciones de medias entre fechas (parcelas divididas), con el objetivo de observar las diferencias significativas (Rebolledo 2002).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de varianza

4.1.1. Primer fecha de siembra

De acuerdo al análisis de varianza (programa estadístico SAS, 2009) en la fecha uno ($\alpha=0.05$), hubo diferencias significativas (Anexo1). La comparación de medias con DMS (Cuadro 5) demostró que las variedades que tuvieron estadísticamente la menor Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) en la primera fecha de siembra (23 de Junio, 2008), son Diamante R-31 y Turquesa. Para el caso de la variedad Diamante R-31 se coincide con Jiménez (1992), quien describe esta variedad como una de las más resistentes a la roya del tallo por poseer genes de resistencia a diversas razas de roya del tallo.

Cuadro 5. Comparaciones de medias del Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE) en 28 variedades de avena en la fecha 1, Chapingo, México. P-V/2008.

VARIETADES	MEDIA (ABCPE)	AGRUPAMIENTO (DSM) (1)
TULANCINGO	2397.5	A
GUELATAO	2390.5	A
OPALO	2327.5	A
PAMPAS	2100	B
CUAUTEMOC	1976.33	C
PARAMO	1935.5	CD
CEVAMEX	1918	CDE
HUAMANTLA	1890	CDE
PERLA	1855	DE
CHIHUAHUA	1830.5	E
GEMA	1697.5	F
TEXAS	1629.83	F
OBSIDIANA	1620.5	F
TARAHUMARA	1423.33	G
CUSHUIRIACHI	1298.5	H
BABICORA	1260	H
PUTNAM 61	1225	HI
BACHINIVA	1165.5	I
RARÁMURI	1155	I
PAPIGOCHI	1018.5	J
TEPORACA	1018.5	J
MENONITA	1008.00	J
JUCHITEPEC	990.50	J
AB177	791	K
KARMA	686	L
NODAWAY	598.5	L
TURQUESA	465.5	M
DIAMANTE R-31	413	M

(1) Variedades con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí con DMS

Para el caso de Turquesa se coincide con Villaseñor *et al.* (2007) quienes la reportan como una variedad moderadamente resistente a la roya del tallo, la cual coincide en esta investigación.

Las variedades que resultaron más susceptibles estadísticamente con mayor ABCPE fueron Tulancingo, Guelatao y Ópalo (Cuadro 7).

En el caso de la variedad Tulancingo se difiere con Jiménez (1992), quien la considera moderadamente resistente a la roya del tallo, pero en la presente investigación para la fecha 23 de junio de 2008, resultó como una de las variedades más susceptibles, obteniendo mayor ABCPE con respecto a las demás variedades, esto se debe a que la resistencia de una variedad puede durar muy poco, dado que se pierde cuando el patógeno evoluciona hacia nuevas formas de virulencia, tal como lo mencionan Singh y Dubin (1997). Para la variedad Guelatao se coincide con Jiménez (1992), ya que la reporta como una variedad susceptible a la roya del tallo, lo cual se comprueba en esta investigación. Para el caso de la variedad Ópalo se coincide con Jiménez (1992), la cual la describe como una variedad susceptible a la roya del tallo y en dicha investigación fue una de las variedades más susceptibles.

En la Figura 7 se puede apreciar claramente las variedades con mayor porcentaje de severidad, las cuales son Tulancingo y Guelatao, y las más resistentes son Turquesa y Diamante R-31, tal como se mostró en el Cuadro 5.

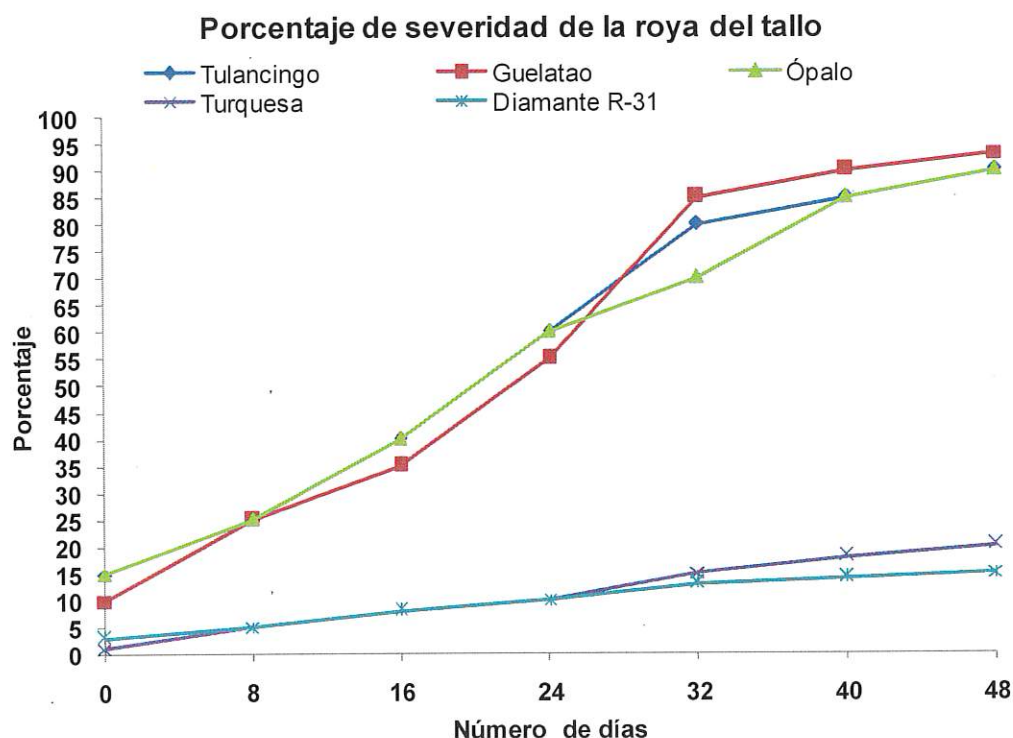


Figura 7. Variedades más susceptibles y resistentes de la fecha 1.

4.1.2. Segunda fecha se siembra

De las 28 variedades sembradas el 30 de junio del 2008, hubo diferencias significativas entre las variedades, esto mediante el análisis de varianza (Anexo 2) (Programa estadístico SAS, 2009); sin embargo, las variedades que tuvieron menor ABCPE según la comparación de medias con DMS fueron Diamante R-31 y Turquesa (Cuadro 6), lo anterior coincide con Jiménez (1992), quien considera que la variedad Diamante R-31 es una de las variedades con mayor resistencia a la roya del tallo por poseer genes de resistencia a diversas razas y para la variedad Turquesa se coincide con Villaseñor *et al.* (2007), quienes recomiendan esta variedad por ser moderadamente resistente a la roya de tallo, además de tener tolerancia al complejo de enfermedades foliares, y por ser una de las variedades liberadas más recientemente con resistencia mostrado en campo a diversas razas.

Cuadro 6. Comparaciones de medias del ABCPE en 28 variedades de avena para la fecha 2, Chapingo, Mexico. P-V/2008

VARIETADES	MEDIA (ABCPE)	AGRUPAMIENTO (DMS) (1)
TULANCINGO	2671.7	A
GUELATAO	2600.5	AB
OPALO	2460.5	B
GEMA	2173.5	C
CEVAMEX	2172.3	C
TEXAS	2117.5	C
PAMAPAS	2000.8	CD
PERLA	1853.8	DE
CUAHUCTEMOC	1814.2	DE
RARAMURI	1655.5	EF
HUAMANTLA	1556.3	FG
PARAMO	1505.0	FGH
PUTNAM 61	1451.3	FGHI
PAPIGOCHI	1387.2	GHIJ
CHIHUAHUA	1369.7	GHIJ
BACHINIVA	1334.7	HIJK
TARAHUMARA	1305.5	HIJK
BABICORA	1258.8	IJK
OBSIDIANA	1235.5	JK
MENONITA	1194.7	JKL
CUSIHURIACHI	1159.7	KL
JUCHITEPEC	990.5	LM
TEPORACA	808.5	MN
NODAWAY	780.5	N
AB177	779.3	N
KARMA	686	N
TURQUESA	472.5	O
DIAMANTE R-31	402.5	O

(1) Variedades con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí con DMS

Las variedades más susceptibles estadísticamente a la roya del tallo para la fecha dos por tener mayor ABCPE, fueron la variedad Tulancingo y Guelatao (Cuadro 6). En el caso de la variedad Tulancingo se difiere con Jiménez (1992), quien la considera como moderadamente resistente a la roya del tallo, ya que en la presente investigación resultó como la variedad más susceptible. Para la variedad Guelatao se coincide con Jiménez (1992), ya que la reporta como una variedad susceptible a la roya del tallo lo cual se comprueba en esta investigación.

En la Figura 8 se presentan las variedades más resistentes y susceptibles para la fecha de siembra correspondiente al 30 de junio de 2008, en donde se puede ver que las variedades Tulancingo y Guelatao tuvieron una mayor severidad en los primeros 16 días por tener las mejores condiciones ambientales

para su esporulación, tal como lo menciona Roeslfs *et al.* (1992), quienes reportan que el hongo requiere períodos de rocío de tres horas o menos a temperaturas de alrededor de 20°C para causar infección, pero provoca mayor número de infecciones cuando el período de rocío es más prolongado.

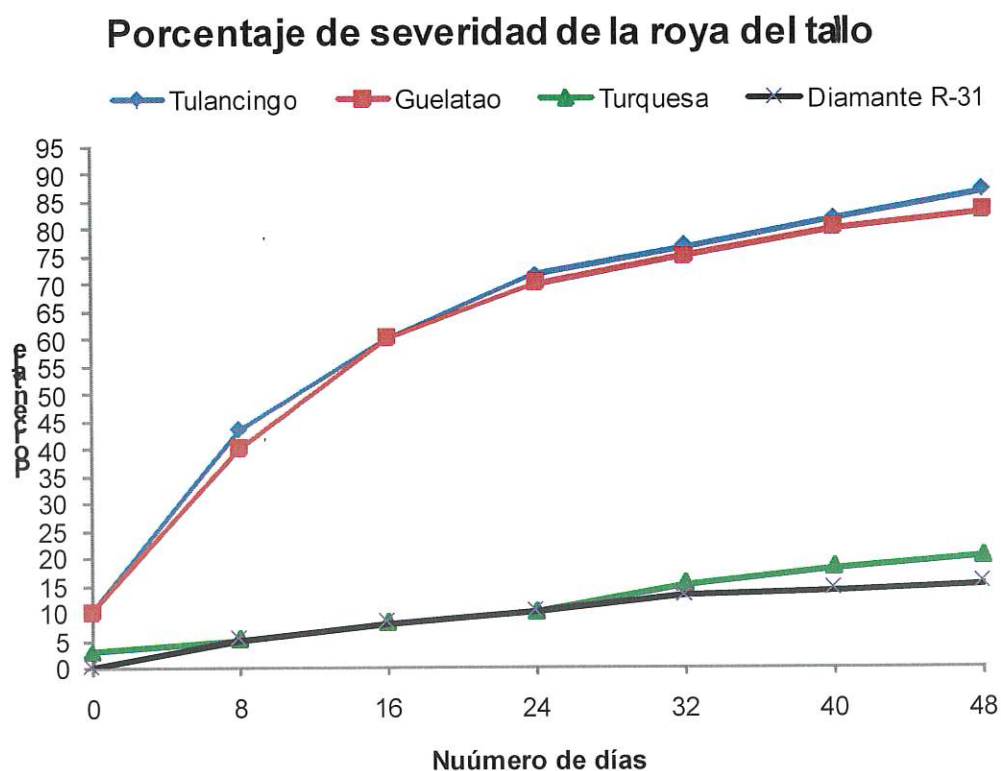


Figura 8. Variedades más susceptibles y resistentes de la fecha 2.

4.1.3. Tercera fecha de siembra

De acuerdo al análisis de varianza (SAS, 2009) en la fecha tres ($\alpha=0.05$), hubo diferencias significativas (Anexo 3), así como en la comparación de medias (Cuadro 7). Se observó que la variedad que obtuvo la menor ABCPE en la fecha de siembra tres (07 de Julio, 2008) fue Diamante R-31 (Cuadro 7), la cual también se coincide con Jiménez (1992), quien describe esta variedad como resistente a la roya del tallo por poseer genes de resistencia a diversas razas. La variedad más susceptible a la roya del tallo en esta fecha fue Guelatao, lo cual

coincide con Jiménez (1992), ya que la reporta como una variedad susceptible a la roya del tallo.

Cuadro 7. Comparaciones de medias del ABCPE en 28 variedades de avena para la fecha 3, Chapingo, México. P-V/2008.

VARIETADES	MEDIA (ABCPE)	AGRUPAMIENTO (DMS) (1)
GUELATAO	2776.67	A
TULANCINGO	2473.33	B
OPALO	2444.17	BC
TEXAS	2437.17	BC
CUAUTEMOC	2279.67	CD
PERLA	2251.67	D
CHIHUAHUA	2123.33	DE
HUAMANTLA	1953.00	EF
PAMPAS	1925.00	FG
CEVAMEX	1919.17	FG
GEMA	1895.83	FG
TARAHUMARA	1806.00	FGH
PARAMO	1761.67	GH
PUTNAM61	1761.67	GH
OBSIDIANA	1685.83	HI
RARAMURI	1674.17	HI
BABICORA	1545.83	I
BACHINIVA	1510.83	I
JUCHITEPEC	1281.00	J
CUSIHURIACHI	1265.83	J
PAPIGOCHI	1036.00	K
MENONITA	1012.67	KL
KARMA	980.00	KLM
TEPORACA	850.50	LMN
AB177	826.00	MN
NODAWAY	784.00	NO
TURQUESA	640.5	O
DIAMANTE R-31	434.00	P

(1) Variedades con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí con DMS

En la Figura 9 se puede apreciar el porcentaje de daño en la variedad Guelatao que fue una de las variedades más susceptible y la variedad Diamante R-31 que fue de las más resistentes.

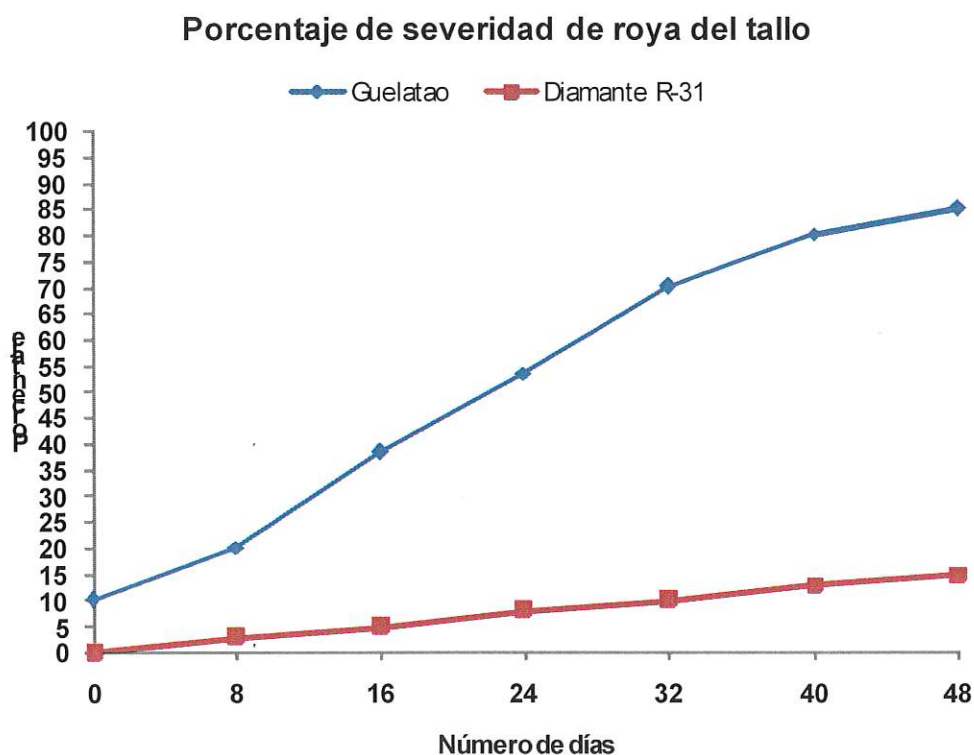


Figura 9. Variedades más susceptibles y resistentes de la fecha 3.

4.1.3. Cuarta fecha de siembra

En la fecha cuatro ($\alpha=0.05$) hubo diferencias significativas (Anexo 4); la comparación de medias (Cuadro 8) mostró que la variedad que tuvo la menor ABCPE en la cuarta fecha de siembra (14 de julio del 2008), fue Diamante R-31.

Para esta fecha de siembra, las variedades más susceptibles estadísticamente a la roya del tallo por tener mayor ABCPE fueron Tulancingo y Guelatao (Cuadro 8). En el caso de la variedad Tulancingo se difiere con Jiménez (1992), quien la considera como moderadamente resistente a la roya del tallo, ya que en la presente investigación y en esta fecha resultó como la variedad más susceptible. Para la variedad Guelatao los resultados coinciden con Jiménez (1992), ya que la reporta como una variedad susceptible a la roya del tallo.

Cuadro 8. Comparaciones de medias del ABCPE en 28 variedades de avena para la fecha 4, Chapingo, México. P-V/2008.

VARIETADES	MEDIA (ABCPE)	AGRUPAMIENTO (DMS) (1)
GUELATAO	2758.00	A
TULANCINGO	2676.33	A
OPALO	2438.33	B
TEXAS	2362.50	BC
CUAUTEMOC	2310.00	BC
HUAMANTLA	2191.00	CD
PAMPAS	2024.17	DE
PARAMO	2013.67	E
PERLA	1894.67	E
CEVAMEX	1890.00	E
BABICORA	1890.00	E
RARAMURI	1715.00	F
OBSIDIANA	1709.17	FG
TARAHUMRA	1627.50	FGH
GEMA	1575.00	FGH
JUCHITEPEC	1556.33	FGHI
PAPIGOCHI	1540.00	GHI
CHIHUAHUA	1534.17	HI
CUSIHUIRIACHI	1388.33	IJ
PUTNAM 61	1295.00	JK
BACHINIVA	1295.00	JK
TEPORACA	1193.50	KL
MENONITA	1061.67	LM
AB177	1057.00	LM
KARMA	980	M
NODAWAY	955.50	M
TURQUESA	640.5	N
DIAMANTE R-31	434.00	O

(1) Variedades con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí con DMS

Las variedades más susceptibles y resistentes se pueden apreciar gráficamente en la Figura 10, donde las variedades más dañadas fueron Tulancingo y Guelatao y la más resistente Diamante R-31.

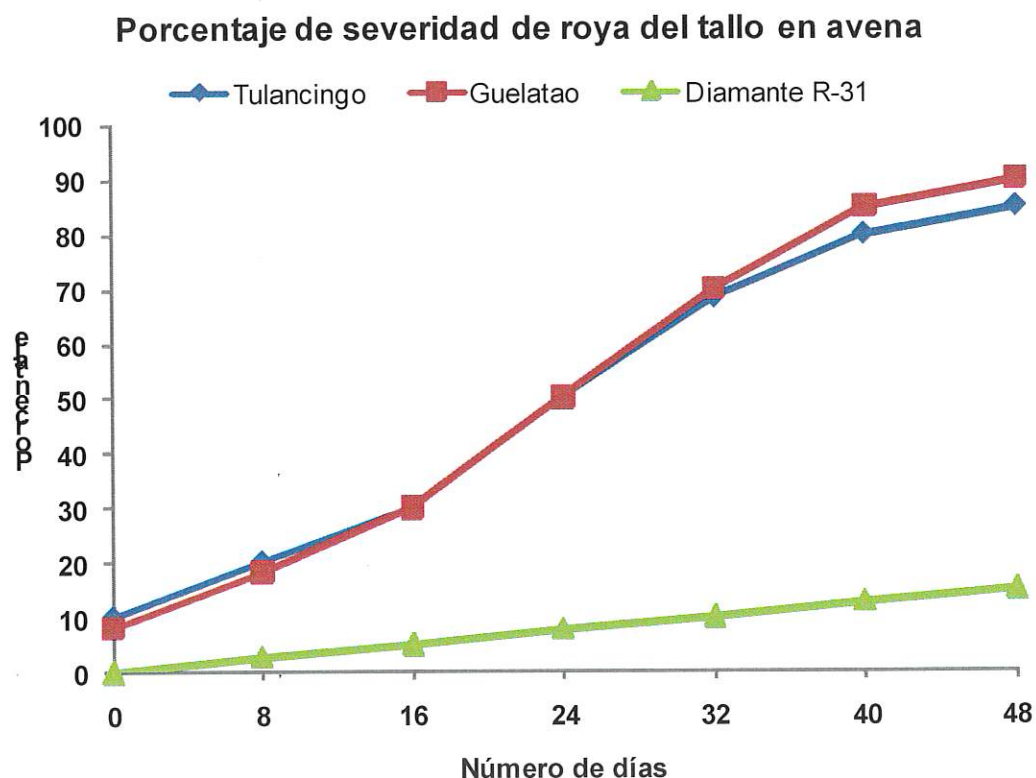


Figura 10. Variedades más susceptibles y resistentes de la fecha 4.

4.1.4. Quinta fecha de siembra

En la fecha cinco ($\alpha=0.05$) hubo diferencias significativas al realizar el análisis de varianza (Anexo 5); en la comparación de medias con DMS (Cuadro 9) se observó que la variedad que tuvo la menor ABCPE en la quinta fecha de siembra (21 de julio del 2008), también fue Diamante R-31.

Las variedades más susceptibles estadísticamente fueron Tulancingo, Guelatao, Ópalo y Cuauhtémoc. En el caso de la variedad Tulancingo se difiere con Jiménez (1992), quien la considera como moderadamente resistente a la roya del tallo, y que en la presente investigación resultó como una variedad susceptible. Para las variedades Guelatao y Ópalo, al igual que lo reportado por Jiménez (1992), son susceptibles a la roya del tallo.

Cuadro 9. Comparaciones de medias del ABCPE en 28 variedades de avena para la fecha 5, Chapingo, México. P-V/2008.

VARIETADES	MEDIA (ABCPE)	AGRUPAMIENTO (DMS) (1)
TULANCINGO	2467.50	A
GUELATAO	2450.00	A
OPALO	2397.50	AB
CUAUTEMOC	2390.50	ABC
PAMPAS	2310.00	BC
BABICORA	2286.67	C
PERLA	2135.00	D
CHIHUAHUA	2088.33	D
CEVAMEX	2047.50	D
HUAMANTLA	1888.83	E
BACHINIVA	1884.17	E
CUSIHURIACHI	1872.50	E
OBSIDIANA	1843.33	E
TEXAS	1820.00	EF
PARAMO	1731.33	FG
PAPIGOCHI	1709.17	GH
MENONITA	1610.00	H
TARAHUMARA	1468.83	I
GEMA	1417.50	I
PUTNAM61	1242.50	J
JUCHITEPEC	1136.33	JK
RARAMURI	1120.00	K
TEPORACA	1060.50	KL
AB177	980.00	LM
KARMA	948.5	M
NODAWAY	940.33	M
TURQUESA	742	N
DIAMANTE R-31	423.50	O

(1) Variedades con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí con .DMS

Para el caso de la variedad Cuauhtémoc estadísticamente fue una de las variedades más susceptibles para esta fecha, tal como lo menciona Villaseñor *et al.* (2007), quienes la reportan como una variedad susceptible a la roya del tallo y que puede disminuir su rendimiento hasta en un 50%.

En la Figura 11 se puede observar el comportamiento de la severidad de las variedades más susceptibles y resistentes en la fecha 5.

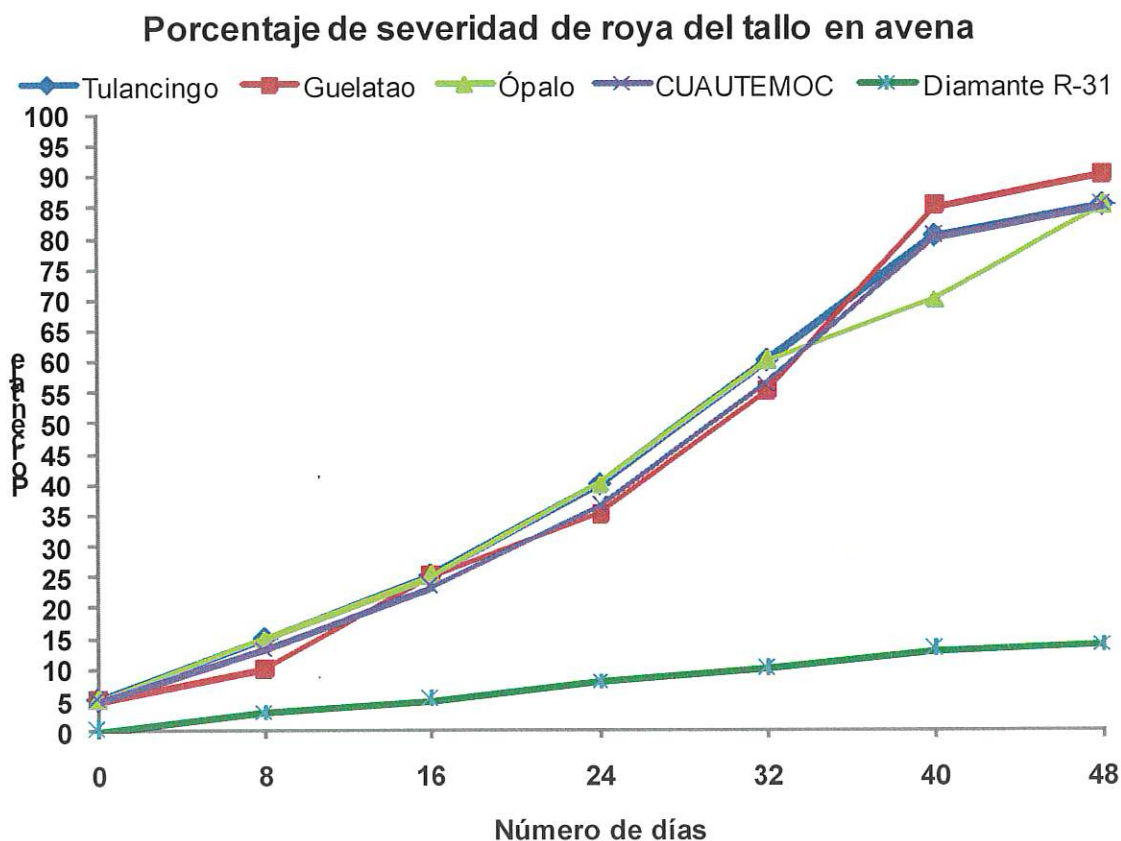


Figura 11. Variedades más susceptibles y resistentes de la fecha 5.

4.2. Análisis de varianza combinado

De acuerdo al análisis de varianza (Programa estadístico SAS, 2009), en las cinco fechas de siembra hubo diferencias altamente significativas (Anexo 6); la comparación de medias (Cuadro 10); mostró que de las 5 fechas de siembra, las mejores fueron la fecha 1 y 2, ya que en éstas fue donde se obtuvieron la menor ABCPE en las 28 variedades. Esto coincide con Tovar (1974), quien asegura que sí existe efecto en diferentes fechas de siembra sobre el rendimiento ante el ataque de la roya del tallo en variedades de avena; por otra parte Smith (1992), menciona que los riesgos por roya del tallo se reducen eligiendo el momento adecuado de siembra y evitar utilizar variedades tardías.

Cuadro 10. Comparaciones de medias del ABCPE para cada una de las 5 fechas de siembra, Chapingo, México. P-V/2008

Fechas de siembra	ABCPE	AGRUPAMIENTO(DMS) (1)
Fecha 5	1657.58	A
Fecha 4	1643.08	A
Fecha 3	1619.13	A
Fecha 2	1471.38	B
Fecha 1	1431.63	B

(1) Variedades con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí con DMS

La comparación de medias para las 28 variedades en las cinco fechas de siembra, mostró que las mejores variedades fueron Diamante R-3 y Turquesa (Cuadro 11), lo cual se comprobó en cada una de las fechas cuando se analizaron individualmente.

Cuadro 11. Comparaciones de medias del ABCPE en 28 variedades de avena en las 5 fechas, Chapingo, México. P-V/2008

VARIEDADES	MEDIA (ABCPE)	AGRUPAMIENTO (DMS) (1)
GUELATAO	2595.13	A
TULANCINGO	2537.27	A
ÓPALO	2413.60	B
CUAUTEMOC	2154.13	C
TEXAS	2073.40	D
PAMPAS	2072.00	D
PERLA	1998.03	E
CEVAMEX	1989.40	E
HUAMANTLA	1895.83	F
PARAMO	1789.43	G
CHIHUAHUA	1789.20	G
GEMA	1751.87	G
BABICORA	1648.27	H
OBSIDIANA	1618.87	H
TARAHUMARA	1526.23	I
RARAMURI	1463.93	IJ
BACHINIVA	1438.03	JK
CUSIHURIACHI	1396.97	KL
PUTNAM 61	1395.10	KL
PAPIGOCHI	1338.17	L
JUCHITÉPEC	1190.93	M
MENONITA	1177.40	M
TEPORACA	986.30	N
AB177	886.67	O
KARMA	856.10	OP
NODAWAY	811.77	P
TURQUESA	592.20	Q
DIAMANTE R-31	421.40	R

(1) Variedades con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí con DMS

Las peores variedades en las cinco fechas de siembra por poseer la más alta ABCPE fueron Guelatao, Tulancingo y Ópalo. Para la variedad Guelatao y Ópalo se coincide con Jiménez (1992), quien las reporta como variedades susceptibles a la roya del tallo, lo cual se comprueba en esta investigación. En el caso de la variedad Tulancingo se difieren con Jiménez (1992), quien la considera como moderadamente resistente a la roya del tallo, y para esta investigación resultó como una de las variedades más susceptible, tal como se observa en la Figura 12.

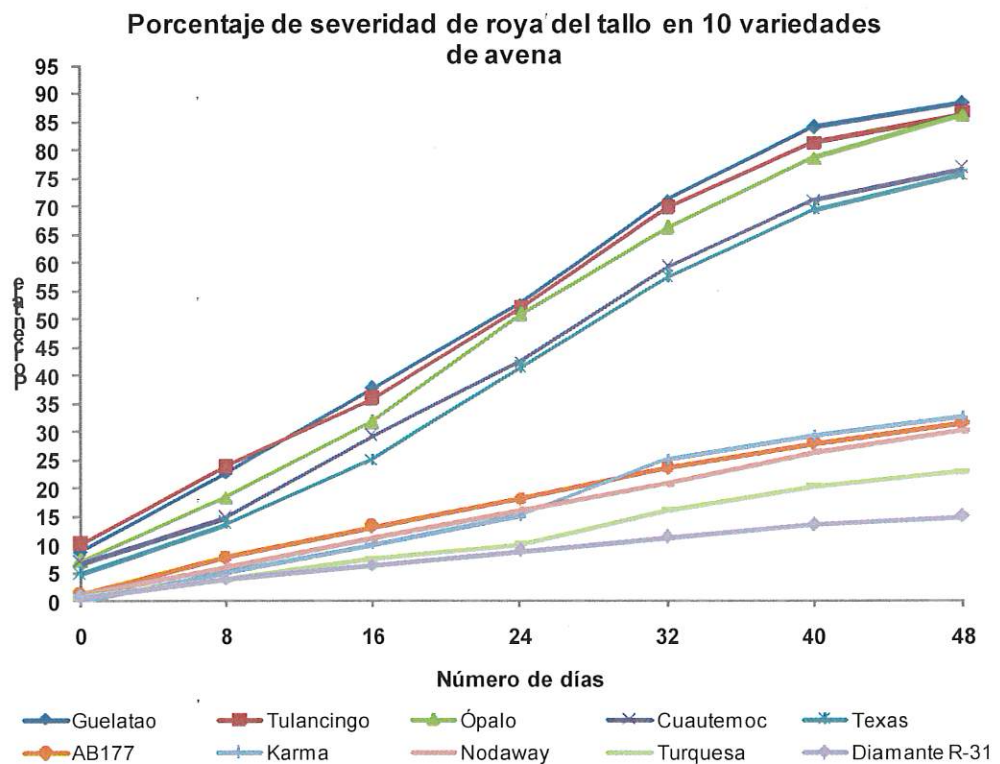


Figura 12. Variedades más susceptibles y resistentes en las cinco fechas de siembra.

En la Figura 12 se pueden observar el porcentaje de severidad de la roya del tallo en función del tiempo en las variedades más susceptibles y resistentes promedio de las cinco fechas de siembra. Estadísticamente todas son diferentes a excepción de Tulancingo y Guelatao que son iguales, pero que se pueden ver

claramente la separación tan grande que existe entre las variedades más susceptibles y las más resistentes. Aunque no se sabe a ciencia cierta, pero cada una de estas variedades contienen ciertos genes que le están confiriendo resistencia a la roya del tallo y que solo se pueden lograr detectar por medio de técnicas moleculares como son los marcadores genéticos que permiten realizar un inventario de los genes de resistencia presentes en determinada variedad de avena y nos permite saber a ciencia cierta cuántos y cuáles son esos genes que están interviniendo en la resistencia, tal como menciona Torres *et al.* (2007), y a través de estos estudios determinar si dicha variedad presenta resistencia de tipo vertical u horizontal, tal como mencionan Dyck y Kerber (1985), quienes mencionan que cuando una variedad presenta algún gen de resistencia tipo vertical es cuando interviene uno o dos genes y cuando se habla de resistencia horizontal es la intervención de algunos genes que le confieren resistencia a la variedad, tal como lo mencionan Cornide *et al* (1993), quienes mencionan que la resistencia horizontal es genéticamente poligénica y la resistencia vertical es monogénica.

La resistencia horizontal en el mejoramiento genético es muy importante ante la amplia gama de razas fisiológicas de roya del tallo, por lo cual es necesario implementar estrategias de mejoramiento orientadas al desarrollo de variedades con resistencia duradera, tal como lo indican Huerta y Singh (2000), para lo cual se deben identificar genotipos de avena que posean genes con efectos de resistencia; en la presente investigación se pueden observar que hay variedades que pueden tener este tipo de resistencia Figura 12, las cuales podrían ser Diamante R-31, Turquesa, Nodaway, Karma y AB177, ya que estas variedades son las menos susceptibles al daño por roya del tallo.

Tal como se puede observar en la Figura 14 y en todas las fechas de siembra, la variedad Diamante R-31 es una de las variedades más resistentes al ataque de la roya del tallo y la variedad Guelatao (Figura 13) es una de las variedades más susceptibles. Esto se pudo comprobar en el análisis de varianza y comparaciones de medias en cada una de las 5 fechas y en la combinación de todas las fechas de siembra.



Figura 13. Variedad Guelatao Susceptible



Figura 14. Variedad Diamante R-31 Resistente

4.3. Mejor fecha de siembra para cada una de las 28 variedades.

Cuadro 12. Valores de ABCPE en cada una de las variedades en las 5 fechas de siembra.

variedades	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4	Fecha 5
Texas	1629 E	2117 C	2437 A	2362 B	1820 D
Nodaway	598 E	780 D	784 C	955 A	940 B
AB177	779 E	791 D	826 C	1057 A	980 B
Putnam61	1225 E	1451 B	1761 A	1295 C	1242 D
Perla	1855 D	1853 E	2251 A	1894 C	2135 B
Ópalo	2327 E	2460 A	2444 B	2438 C	2397 D
Chihuahua	1830 C	1369 E	2123 A	1534 D	2088 B
Cuauhtémoc	1976 D	1814 E	2279 C	2310 B	2390 A
Guelatao	2390 E	2600 C	2776 A	2758 B	2450 D
Tulancingo	2397 E	2671 B	2473 C	2676 A	2467 D
Juchitepec	990 E	990 D	1281 A	1556 B	1136 C
Huamantla	1890 C	1556 E	1953 B	2191 A	1888 D
Diamante R-31	413 C	402 D	434 A	434 A	423 B
Tarahumara	1423 D	1305 E	1806 A	1627 B	1468 C
Paramo	1935 B	1505 E	1761 C	2013 A	1731 D
Gema	1417 E	1575 D	1697 C	1890 B	2173 A
Babicora	1260 D	1258 E	1545 C	1890 B	2286 A
Cusihuiriachi	1298 C	1159 E	1265 D	1388 B	1872 A
Papigochi	1018 E	1387 C	1036 D	1540 B	1709 A
Raramuri	1120 E	1155 D	1655 C	1674 B	1715 A
Karma	686 D	686 C	980 A	980 A	948 B
Cevamex	1918 E	1919 D	2015 C	2047 B	2172 A
Menonita	1008 E	1194 B	1012 D	1061 C	1610 A
Bachiniva	1165 E	1334 C	1510 B	1295 D	1884 A
Obsidiana	1620 D	1235 E	1685 C	1709 B	1843 A
Turquesa	465 E	472 D	640 C	640 B	742 A
Pampas	1925 E	2000 D	2024 C	2100 B	2310 A
Teporaca	1018 C	808 E	850 D	1193 A	1060 B

En base a las interacciones en cada una de las variedades y en todas las fechas de siembra, se observa (Cuadro 12) que todas las variedades de avena obtuvieron la menor ABCPE en la fecha 1 y 2, lo que confirma que en fechas más tempranas el daño por roya del tallo es menor en comparación cuando éstas se realiza en fechas tardías, lo cual coincide con lo que menciona Smith (1992), quien señala que los riesgos se reducen eligiendo el momento adecuado de siembra.

Estos resultados permiten tomar una mejor decisión para el momento de realizar la siembra para obtener mayor éxito en el rendimiento de estas 28 variedades de avena cuando se deseen sembrar bajo condiciones de temporal.

4.4. Porcentaje de daño de la última evaluación

En fechas de siembra más tempranas, las variedades de avena pueden llegar a escapar al ataque en menor porcentaje de daño, tal como se demuestra en el Cuadro 13. De la primera a la quinta fecha la severidad en cada una de las variedades se incremento, por tal motivo en la presente investigación se demuestra que en fechas más tempranas la roya del tallo causa menor porcentaje de daño en comparación con fechas más tardías. Smith (1992) indico que uno de los mejores métodos de control de la roya del tallo en avena es la mejora de la precocidad para escapar a la infección de esta enfermedad, ya que los riesgos se reducen eligiendo el momento adecuado de siembra y evitando las variedades tardías, lo que coincide con lo indicado por Huerta y Singh (2000).

En el cuadro 13 se puede observar que el porcentaje de daño cambia de una variedad a otra, lo que demuestra que cada variedad contiene genes que le confieren resistencia ante el ataque a la roya del tallo, tal como reporta Torres *et al*, (2007), quienes a través de marcadores genéticos comprobaron que en cada una de las variedades de avena contienen diferentes genes que le confieren resistencia a la roya del tallo.

En la presente investigación se puede demostrar (Cuadro 13) que las variedades Texas, Perla, Ópalo, Cuauhtémoc, Guelatao, Tulancingo, Cevamex y Pampas son las más susceptibles a la roya del tallo y las variedades menos susceptible son Diamante R-31, Turquesa Nodaway, AB177 y Karma, ya que son las variedades que obtuvieron mayor y menor porcentaje de daño durante todo el ciclo de cultivo en cada una de las fechas evaluadas respectivamente.

Cuadro 13. Porcentaje de severidad de la última evaluación en cada una de las 28 variedades en las 5 fechas de siembra.

variedades	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4	Fecha 5	Promedio de las 5 fechas
Texas	61	77	88	90	77	79
Nodaway	25	29	28	40	38	32
AB177	30	28	30	38	40	33
Putnam61	65	55	80	67	56	65
Perla	70	65	85	83	85	78
Ópalo	90	85	90	92	90	89
Chihuahua	66	50	78	63	80	67
Cuauhtémoc	71	67	83	85	88	79
Guelatao	93	83	90	93	95	91
Tulancingo	90	87	90	88	90	89
Juchitepec	40	38	45	60	45	46
Huamantla	75	56	66	78	68	69
Diamante R-31	15	15	16	16	15	15
Tarahumara	53	48	55	72	51	56
Paramo	75	55	65	74	61	66
Gema	80	70	85	80	65	76
Babicora	55	51	65	75	85	66
Cusihiuriachi	45	46	55	68	82	59
Papigochi	37	51	40	70	65	53
Raramuri	55	58	70	80	50	63
Karma	30	30	40	40	35	35
Cevamex	78	76	73	85	88	80
Menonita	43	46	40	50	70	50
Bachiniva	48	53	58	67	77	61
Obsidiana	63	48	68	82	77	68
Turquesa	20	20	25	25	30	24
Pampas	75	73	77	80	85	78
Teporaca	35	30	33	40	43	36

4.5. Peso de 100 semillas tratadas con fungicida y sin fungicida

En el Cuadro 14 se puede observar el peso de 100 semillas de las 28 variedades de avena en la fecha 3 sin fungicida, comparada con una sexta fecha donde se aplicó fungicida foliar. Esta sexta fecha correspondió a una siembra semejante a la tercera fecha (7 de julio); en el Cuadro 14 se puede apreciar claramente que el peso de grano en presencia de la roya en todas las variedades tiende a disminuir, esto se debe que el hongo perturba las relaciones normales de fuente demanda de la planta succionando los asimilados que van a las semillas en desarrollo, tal y como lo menciona Smith (1992). De la misma forma Littlefield (1981), menciona que las royas económicamente han sido un factor importante en la productividad agrícola durante siglos y en el mundo entero son enfermedades sumamente costosas que afectan seriamente el rendimiento.

Cabe mencionar que el porcentaje de pérdida de rendimiento en algunas variedades de avena no coincide con el porcentaje de susceptibilidad o daño de la roya del tallo, tal es caso de la variedad Guelatao que fue una de las variedades más susceptible tal como se muestra en el Cuadro 14 no fue la que mas pérdida de rendimiento mostró, lo cual coincide con Archila y Hernández (2004) y Ledesma (2006), quienes mencionan que existen genotipos de alto potencial de rendimiento que aunque sean susceptibles a la roya del tallo logran obtener un rendimiento aceptable, seguramente, por ser una variedad precoz logra escapar al ataque de la roya como un mecanismo de defensa (Smih, 1992).

En el Cuadro 14 se observan que las variedades con menor porcentaje de pérdida de peso de los 100 granos fueron Diamante R-31 (9%), Turquesa (9%), Karma (12%), Nodaway (13 %), AB177 y Teporaca (15%), y la variedad con mayor porcentaje de pérdida de peso en las 100 semillas cuando no se aplicó fungicida fue Ópalo con 52%. Lo que se concluye que esta variedad es una de las variedades que no se recomienda sembrar en lugares donde se presente la roya de tallo por ser altamente susceptible y por tener un ciclo vegetativo muy tardío.

Cuadro 14. Peso de 100 semillas de la fecha 3 sin fungicida, comparada con la fecha 6 tratada con fungicida de cada una de las 28 variedades

Variedades	Sexta fecha con fungicida	Tercera fecha sin fungicida	% de pérdida
TEXAS	3.3	2.2	33
NODAWAY	4.5	3.9	13
AB-177	4.7	4	15
PUTNAM 61	4.2	3.2	24
PERLA	3.4	2.4	29
OPALO	3.1	1.5	52
CHIHUAHUA	4	3	25
CUAHUCTEMOC	4	3	25
GUELATAO	3.5	2.7	23
TULANCINGO	3.2	2.6	19
JUCHITEPEC	4	3.4	15
HUAMANTLA	3	2.4	20
DIAMANTE R-31	3.5	3.2	9
TARAHUMARA	3.2	2.7	25
PARAMO	5	3.8	24
GEMA	4	2.9	28
BABICORA	3.4	2.8	18
CUSIHUIRIACHI	4.1	3.4	17
PAPIGOCHE	4.4	3.8	14
RARAMURI	4.4	3.2	27
KARMA	4.1	3.6	12
CEVAMEX	4.8	3.4	29
MENONITA	3.7	3	19
BACHINIVA	4.4	3.1	30
OBSIDIANA	4.1	3.2	22
TURQUESA	4.4	4	9
PAMPAS	4.3	3.1	28
TEPORACA	4.1	3.5	15

4.6. Días a floración

Tal como se puede observar en la Figura 15, las variedades con menos días a floración son Diamante R-31 y Páramo. En el caso de Diamante R-31 que es más resistente a la roya del tallo, tal como se demostró en los resultados de análisis de varianza y comparaciones de medias en cada una de las fechas y en la combinación de las 5 fechas de siembra debe considerarse de gran utilidad para el mejoramiento genético, ya que se mejoraría la precocidad para escapar al ataque de la roya que ha tenido mucho éxito, ya que los riesgos se reducen

eligiendo el momento adecuado de siembra, tal como mencionan Smiht (1992), Huerta (2000) y Villaseñor (2007), quienes proponen evitar los cultivos tardíos y utilizar variedades precoces para escapar al ataque de la roya del tallo. Por tal motivo la variedad Diamante R-31 puede ser una alternativa si se desea realizar alguna cruza con alguna variedad rendidora pero susceptible a la roya.

La variedad ópalo es una de las variedades más tardías en días a floración y es una de las variedades más susceptibles a la roya del tallo, lo cual este tipo de variedades son más difíciles de poder librarlas del ataque de esta enfermedad a pesar de adelantar las fechas de siembra. Los días a floración nos van a permitir poder elegir las variedades más precoces o deseadas cuando la finalidad de la producción de dichas variedades sea para forraje, pero cuando se requieren para grano se necesita saber los días a madurez y así calcular la fecha de siembra en la cual pueda escapar al ataque de la roya del tallo.

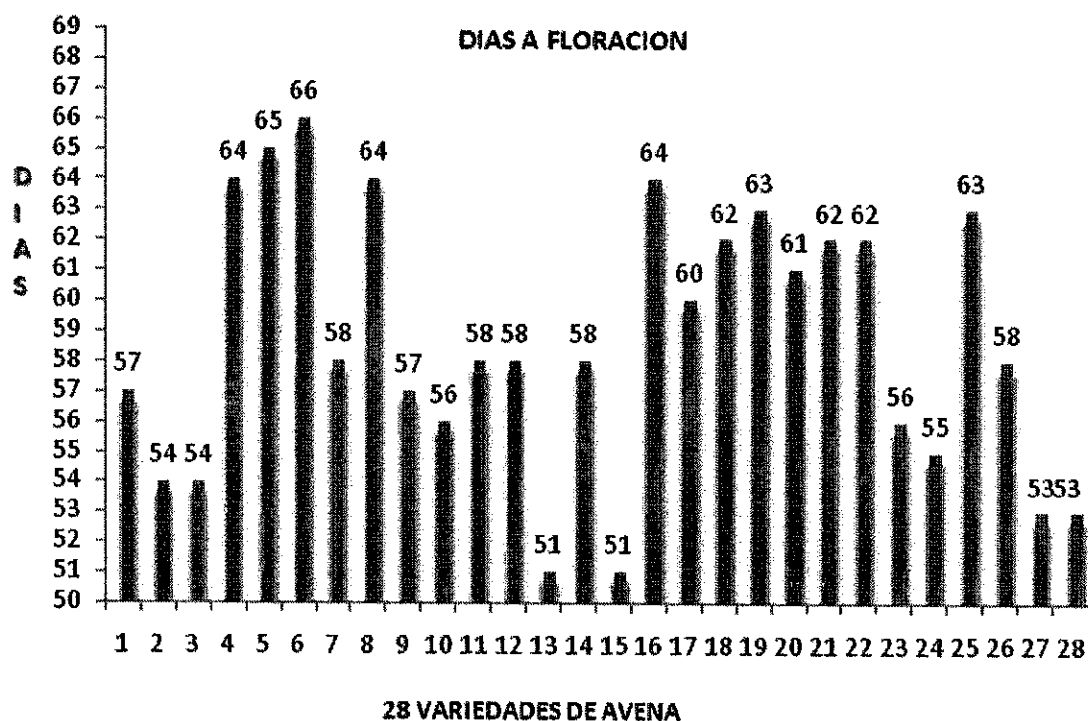


Figura 15. Días a floración de 28 variedades de avena sembradas en temporal.

4.7. Días a madurez

En la Figura 16 podemos observar que las variedades que resultaron más susceptibles a la roya del tallo son las variedades con menos días en su ciclo de vida, lo que nos indica que las variedades susceptibles aunque sean de ciclo más corto necesariamente necesitan ciertos genes que le confieran resistencia, ya que aunque sean variedades precoces pero si el intervalo de tiempo en el que se cultivan se presenta la roya del tallo, esta será atacada y por consecuente disminuirá el rendimiento.

Por otra parte podemos observar que la variedad Diamante R-31 fue una de las variedades más resistentes a la roya del tallo, aunque su ciclo es un poco más tardío en comparación a las variedades más precoces que fueron susceptibles, lo que nos indica que la mejor forma de controlar esta enfermedad es generando variedades de avena que tengan resistencia vertical o preferentemente horizontal y de esta manera poder controlar esta enfermedad, tal como menciona Cornide *et al.*, 1993, que la resistencia horizontal es genéticamente poligénica y tiene como principal característica la falta de especificidad ante una serie de razas, motivo por el cual retrasa el desarrollo de una epidemia y la aparición nuevas razas fisiológicas de royas.

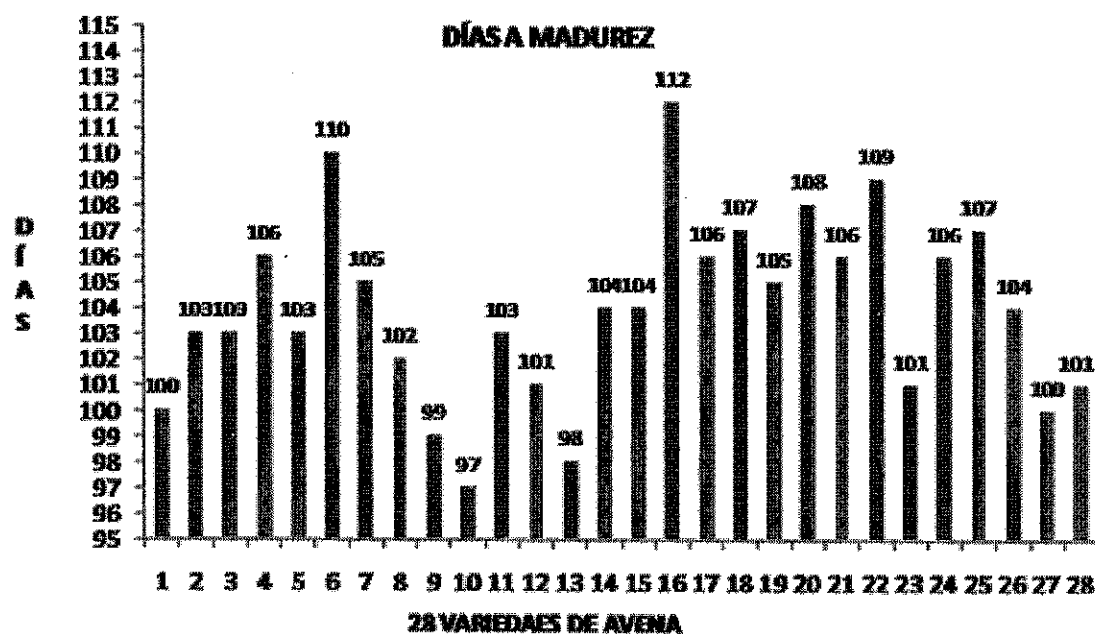


Figura 16. Días a madurez de 28 variedades de avena sembradas en temporal.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- Las mejores fechas de siembra de avena bajo temporal fueron la fecha uno y dos, ya que son las fechas con menor Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) causadas por la roya del tallo (*Puccini graminis* f. sp. *avenae*).
- La variedad de avena (*avena sativa* L.) más resistente a la roya del tallo en todas las 5 fechas de siembra fue Diamante R-31, que además es precoz, por lo que se infiere que puede poseer genes menores de resistencia durable.
- Las variedades más susceptible a la roya del tallo en las 5 fechas de siembra fueron las variedades Tulancingo, Guelatao y Ópalo.
- El rendimiento de avena en presencia de la roya del tallo sin ser controladas con algún fungicida disminuye severamente el rendimiento de grano.
- La incidencia de la roya del tallo se presentó en todas las variedades de avena evaluadas bajo temporal en las 5 fechas de siembra, por lo que se determina que bajo condiciones de evaluación, no existe inmunidad.
- La severidad de la roya del tallo es diferente en cada una de las 28 variedades de avena evaluadas bajo condiciones de temporal, debido a que cada variedad presenta genes que le confieren cierta resistencia a dicha enfermedad.

6. LITERATURA CITADA

- Agrios, G. N. 1998. Plant Pathology. Fourth Edition. Academy Press. University of Florida. 615 p.
- Aguado, M. M., M. Alonso, y F. Besnier. 1978. Diez Temas sobre cereales. Graficas Macaypa. Madrid, España. pp: 103-116.
- Archila, M. A. B., y M. Hernández. 2002. Efecto de la roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae* Eriks. Y Henn.) Sobre el rendimiento y sus componentes en avena (*Avena sativa* L.). Tesis de Licenciatura. Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 50 p.
- Bechere, E., T. Tessema., M. Hulluka and Andrenow. 1994. Breeding durum wheat for resistance to leaf and stem rusts in Etiopía. Breeding for resistance with emphasis on durability. Proceeding of regional workshop for eastern, central and southern Africa; held at Njuro, Kenya, October 2-4 1994. Pp: 125-132.
- Coffman, F. A. 1961. Oats and oat improvement. American Society of Agronomy. E.U.A. 650 p.
- Cornide, M. T., H. Lima, y J. Surli. 1993. La resistencia genética de las plantas cultivadas. Primera Edición. Editorial Científico-Técnica. La habana Cuba. 194 p.
- De la O, O. M. 2002. Determinación del momento optimo de corte y comparación de variedades de avena forrajera (*A. sativa* L.) Tesis profesional, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. PP.: 1-25.
- Díaz del pino, A. 1953. Cereales de primavera. Salvat Editores, S. A. Barcelona, España. pp: 239-240.
- Dickinson, C. H. y Lucas J. A. 1987. Patología Vegetal y patógenos de plantas, Ed. Limusa. México, D.F. pp. 115-148.
- Dickson, J. G. 1963. Enfermedades de las plantas de gran cultivo. SALVAT. Barcelona, España. 584 p.
- Dyck, P. L., and E. R. Kerber. 1985. Resistance of the Race-Specific Type. In: The Cereal Rust. Vol. II: Diseases, Distribution, Epidemiology and Control. W. R. Bushnell and A. P. Roelfs. Eds. Academic Press. Orlando, FL. 606 p.

- Epstein, A. H., M. D. Simons, K. J. Frey, and P. G. Rothman. 1988. Field resistance of oats to *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* measured by yield and seed weight reduction. *Plant Dis.* 72:154-1546.
- Espitia R. E., M. H. E. Villaseñor, and G. C. Márquez. 2001. Registration of "Karma" oat. *Crop Science.* 41(1): 266.
- Espitia, R. E., M. H. E. Villaseñor, M. R. Tovar, H. P. Pérez, y O. A. Limón. 2002. Momento óptimo de corte y comparación de genotipos de avena forrajera. *In: Memoria del XIX Congreso Nacional de Fitogenética.* Saltillo, Coahuila, México. 282 p.
- Espitia, R. E., M. H. E., Villaseñor, O. A., Limón, E. J. Huerta, y R. C. Rivera. 2002. Tecnología para la producción de avena grano-forraje para siembras de temporal en la mesa central. INIFAP. Centro de Investigaciones de la Región Centro. Campo experimental valle de México, Chapingo, México. 9 p. (folleto técnico No 1).
- Flor, H. H. 1956. The complementary gene systems in Flax and Flax rust. *Adv. Genet.* 8: 29-54.
- Flores, B. O. 2006. La avena: obsequio de la naturaleza. WWW.aldeaeductiva.com/aldea/articulo.asp?which1=2804 (consulta en septiembre del 2006).
- García, M. E. 1981. Modificaciones del Sistema de Clasificación Climática de Köpen (Adaptada a condiciones de la Republica Mexica). 3ª ed. México, D.F. 149 p.
- Huerta, E. J. y R. P. Singh. 2000. Las royas del trigo. *In: El trigo de temporal en México.* Villaseñor- Mir, H. E. y Espitia-Rangel, E. (Eds.) Secretaría de Agricultura (SAGAR), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación de la Región Centro, Campo Experimental Valle de México. México. p. 231-251.
- Infoagro. Cultivo de avena. Información agronómica. www.infoagro.com/herbaceos/cereales/avena.asp. (Consulta en agosto 2009).
- Jiménez, G. C. A. 1992. Descripción de variedades de avena cultivadas en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH),

- Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Centro de Investigaciones Agrícolas de la Mesa Central, Campo Agrícola Experimental Valle de México. Chapingo, Estado de México, México. 69 p. (Folleto Técnico No. 3).
- Kent-Jones, D. W. 1956. Química moderna de los cereales. Londres, Inglaterra. 115 p.
- Latorre, G. B. 1999. Enfermedades de las plantas cultivadas. Alfaomega, México, D.F. 646 p.
- Leyva, M. G., R. E. Espitia., M. H. E. Villaseñor, y E. J. Huerta. 2004. Pérdidas ocasionadas por *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* Eriks. y Henn., causante de la roya del tallo en seis cultivares de avena (*Avena sativa* L.) en los Valles Altos de México. Rev. Mex. Fitopatología. 22(2):166-171.
- Littlefield, L. J. 1981. Biology of the plant rusts. An introduction. Ed. The Iowa state University Press. 103 p.
- Martens, J. W. 1985. Oat stem rusts. In: A. P. Roelfs and W. R. Bushnell. The Cereal Rusts. Vol. II, eds. Academic Press, New York. Pp. 103-129.
- Montgomery, D. C. 2003. Diseños y análisis de experimentos. Ed. Limusa Wiley. Balderas 95, México, D. F. 686 p.
- Moore, M. B. 1981. Evaluation of Oat Crown Rust Disease Parameters and Yield in Moderately Resistant Cultivars. Phytopathology: 538-540.
- Mora, A. G. Epidemiología. Montecillos, México. pp 2-1 3-3.
- Moreno, G. R. 1968. Aspectos del mejoramiento de los cereales en México. In: Memoria del Tercer Congreso Nacional de Fitogenética. Chapingo, Estado de México, México. 16 p.
- Muñoz, C. O. 1990. Evaluación de la producción de un cultivo de avena forrajera (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc y variedad Chihuahua bajo diferentes dosis de fertilización en la zona de Marín, Nuevo León. Tesis Profesional, Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México. 55p.
- Murphy, H. C. 1960. Registration of Oat Varieties, XXII Agronomy, Journal, 1960. Vol. 52: 663-665.

- Murphy, J. P., and L. A. Hoffman. 1992. The origin, history and production of oat. In: Marshall, M. G. and M. E. Sorells, (eds). Oat Science and Technology. American Society of Agronomy Inc. and Science Society of American Inc. Madison, WI. pp: 1-128.
- Nelson, R. R. 1973. Breeding plants for disease resistance: concepts and applications. Penn. State. Univ. Press, University Park, Pennsylvania. 324 p.
- Ortiz, C. J. 1979. Cultivos de carbohidratos. Biblioteca de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Marín. Nuevo León, México pp: 5-15.
- Pedroza, S. A. 1995. Epidemiología: Principios y aplicaciones. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango. 104 p.
- Peterson, R. F., A. B. Campbell, and A. E. Hanna. 1948. A diagramatic scale for estimating rust intensity of leaves and stems of cereals. Can. J. Res. Sect. 26:496-500.
- Rebolledo, R. H. H. 2002. Manual SAS por computadora: Análisis estadístico de datos experimentales. Primera edición, Ed. Trillas, México, 208 p.
- Roelfs, A. P., R. P. Singh, y E. E. Saari. 1992. Las Royas de Trigo: Conceptos y Métodos para el Manejo de Enfermedades. México, D. F. CIMMYT. 81 p.
- Romero, C. S. 1993. Hongos fitopatógenos. UACH. Chapingo, México. 347 p.
- Salmerón, Z. J. J., y P. D. Suderman. 1993. Variedades mexicanas de avena. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Sierra de Chihuahua. 29 p. (Folleto Técnico No. 1).
- Salmerón, Z. J. J. 2001. Teporaca: nueva variedad de avena para temporal, resistente a royas y grano de alto peso específico. Agricultura Técnica en México, Julio-diciembre, año/vol. 27, numero 002. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Texcoco México, pp: 175-176.
- Salmerón, Z. J. J. 2002. Bachiniva: nueva variedad de avena para temporal con grano de alta calidad industrial. Agricultura Técnica en México, enero-junio, año/vol. 28, número 001. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Texcoco México. pp. 85-86.

- Salmerón, Z. J. J. 2002. Menonita: nueva variedad de avena de temporal para grano y forraje. Agricultura Técnica en México, Nereo-junio, año/vol. 28, numero 001. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Texcoco México. pp. 87-88.
- Salmerón, Z. J. J., F. J. Meda, y J. R. Bárcena. 2003. Variedades de Avena y Calidad Nutricional del Forraje. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC. Campo Experimental Sierra de Chihuahua. Folleto Técnico No 17. 43 p.
- SIACON, 2009. Sistema de Información Agroalimentaria de consulta. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. SAGARPA. México. www.siap.sagarpa.gob.mx/ (Consulta en junio de 2009).
- SIAP (2003) Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera.
- SIAP. 2009. Servicio de información agroalimentaria y pesca. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. SAGARPA. México. www.siap.sagarpa.gob.mx/ (Consulta en junio 2009).
- Simons, M. D., and H. C. Murphy. 1961. Oat diseases. En Coffman, F. A. (ed). Oats and oat improvement. Amer. Soc. Agron. Madison WI., E. U. A. pp.330-339.
- Singh, R. P., and H. J. Dubin. 1997. Sustainable control of wheat diseases México. In: Primer simposio internacional de trigo Memorias. 7-8 de abril de 1997. Cd. Obregón, Sonora pp: 93-102.
- Singh, R. P., E. J. Huerta, W. Pfeiffer and, L. P. Figueroa. 2004. Occurrence and impact of a new leaf rust race of durum wheat in the northwestern Mexico during 2001-2203. Plant Dis. 88:703-708.
- Smith, I. M. 1992. Manual de enfermedades de las plantas. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 536-550.
- Stubbs, R. W., J. M. Prescott, E. E. Saria, and H. J. Dubin, 1986. Manual de metodología sobre las enfermedades de los cereales. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México.
- Torres, P. I.; González, C. M. M.; Villaseñor M. H. E.; Huerta E. J.; Villordo, P. E.; Espitia R. E.; Guevara G. R. y Guevara, O. L. 2007. Marcadores genéticos de resistencia a roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*) en avena (avena sativa L.). Agricultura Técnica en México, Vol 33:221-230.

- Villaseñor, M. H. E., G. C. Márquez, A. L. Castro, H. S. Solano, y M. I. Rojas. 1997. Variedades de avena para la producción de forraje y grano en el Estado de Tlaxcala. Centro de Investigación Región centro. Campo Experimental Valle de México. (Folleto técnico No 10).
- Villaseñor, M. H. E., O. A. Limón, y E. J. Huerta. 2007. Turquesa: nueva variedad de avena para siembras de temporal en México. Memoria Técnica No 8, septiembre 2007. Centro de Investigación Regional del Centro, INIFAP. Chapingo México. pp.: 79-80.
- Villaseñor, M. H. E., R. E. Espitia, and G. C. Márquez. 2001. Registration of "Cevamex" oat. Crop Sci. 41:266-267.
- Villaseñor, M. H. E., R. E. Espitia, y E. J. Huerta. 2003. El Campo Experimental Valle de México, estratégico en la producción nacional de avena: Historia y aportaciones. En: 60 años de investigación en el Campo Experimental Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación de la Región Centro, Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Estado de México, México. p. 17-30. (Publicación Especial No. 1).
- Wiese, M. V. 1977. Compendium of Wheat Diseases. St. Paul Minnesota, E. U.A: Sociedad Norteamérica de Fitopatología.
- Zillinsky, F. J. 1984. Guía para la identificación de enfermedades en cereales de grano pequeño. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. CIMMYT. México, D.F. pp:11-18.

7. ANEXO

Anexo1

Análisis de varianza de la fecha de siembra 1.

FUENTE	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO DE LA MEDIA	F-VALOR	PR>F
Var	27	27501187.44	1018562.50	347.17	<.0001
Error	56	164297	2933.88		
total	83	27665484.44			

R-cuadrado	Coeficiente de variación	Raíz MSE	Media ABCPE
0.994061	3.783481	54.16526	1431.625

Anexo 2

Análisis de varianza de la fecha de siembra 2

FUENTE	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO DE LA MEDIA	F-VALOR	PR>F
Var	27	31213988.60	1156073.65	71.47	<.0001
Error	56	905830.33	16175.54		
total	83	32119818.94			

R-cuadrado	Coeficiente de variación	Raíz MSE	Media ABCPE
0.971798	8.643827	127.1831	1471.375

Anexo 3**Análisis de varianza de la fecha de siembra 3**

FUENTE	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO DE LA MEDIA	F-VALOR	PR>F
Var	27	31850449.60	1179646.28	92.29	<.0001
Error	56	715808.33	12782.29		
total	83	32566257.94			

R-cuadrado	Coeficiente de variación	Raíz MSE	Área bajo la curva
0.978020	6.982710	113.0588	1619.125

Anexo 4**Análisis de varianza de la fecha de siembra 4.**

FUENTE	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO DE LA MEDIA	F-VALOR	PR>F
Var	27	27864684.75	1032025.36	92.47	<.0001
Error	56	625027.67	11161.21		
total	83	28489712.42			

R-cuadrado	Coeficiente de variación	Raíz MSE	Media ABCPE
0.978061	6.429779	105.6466	1643.083

Anexo 5**Análisis de varianza de la fecha de siembra 5.**

FUENTE	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO DE LA MEDIA	F-VALOR	PR>F
Var	27	26994217.25	999785.82	235.56	<.0001
Error	56	237682.67	4244.33		
total	83	27231899.92			

R-cuadrado	Coefficiente de variación	Raíz MSE	Media ABCPE
0.991272	3.930333	65.14855	1657.583

Anexo 6**Análisis de varianza del análisis combinado de las 5 fechas de siembra**

FUENTE	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO DE LA MEDIA	F-VALOR	PR>F
Fecha	4	3708747.175	927186.794	29.96	<.0001
Rep*fecha	8	309487.2	30948.7	3.57	<.0001
Var	27	131359614.3	4865170.9	561.57	<.0001
Fecha*var	108	14064913.4	130230.7	15.03	<.0001
Error	270	2437807.2	8663.6		
Total	419	2339158.8			

R-cuadrado	Coefficiente de variación	Raíz MSE	Media ABCPE
0.984589	5.949168	93.07820	1564.558