



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE BOTÁNICA

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y FENOLOGÍA DE BIOTIPOS DE *Phalaris minor* RETZ. RESISTENTES Y SUSCEPTIBLE A HERBICIDAS INHIBIDORES DE LA ACCasa

JOSE LUIS GARCIA FRANCO

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2013

La presente tesis, titulada: **Caracterización morfológica y fenología de biotipos de *Phalaris minor* Retz. resistentes y susceptible a herbicidas inhibidores de la ACCasa**, realizada por el alumno: **Jose Luis Garcia Franco**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
BOTÁNICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO : 
DR. EBANDRO USCANGA MORTERA

ASESOR: 
DR. JOSUÉ KOHASHI SHIBATA

ASESORA: 
M.C. PETRA YÁÑEZ JIMÉNEZ

ASESOR: 
M.C. ANTONIO GARCÍA ESTEVA

ASESOR: 
DR. HÉCTOR MANUEL ORTEGA ESCOBAR

Montecillo, Texcoco, México, 05 de marzo de 2013

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y FENOLOGÍA DE BIOTIPOS DE *Phalaris minor* RETZ. RESISTENTES Y SUSCEPTIBLE A HERBICIDAS INHIBIDORES DE LA ACCasa

Jose Luis Garcia Franco, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2012

Phalaris minor Retz. (“alpistillo”) es considerada como una maleza importante en el cultivo de trigo en la región del Bajío Mexicano, que ha desarrollado resistencia a herbicidas inhibidores de la Acetil Coenzima A Carboxilasa (ACCasa). Se ha consignado que más de la mitad de la población de *Phalaris* spp. comúnmente escapa del control manual a causa de la similitud morfológica con el cultivo de trigo. El objetivo de la presente investigación fue determinar si existen diferencias morfológicas y fenológicas entre biotipos resistentes y susceptible de *P. minor* a los herbicidas, y cultivares de trigo. Se realizaron experimentos en Montecillo, México en condición de no competencia. Se emplearon cuatro biotipos de alpistillo resistentes y uno susceptible, además, las variedades de trigo Cortazar y Nana para compararlas con los biotipos de la maleza en la fase vegetativa. Las semillas se pusieron a germinar en cajas Petri en condiciones de laboratorio y se trasplantaron a macetas de 3 L de capacidad que contenían como sustrato una mezcla (1:1) de tierra de monte y arena. Se registraron los atributos morfológicos y fenológicos de las plantas durante su ciclo biológico. Los datos se analizaron independientemente mediante las técnicas de componentes principales y análisis discriminante. Los resultados mostraron que existen diferencias morfológicas entre los biotipos de alpistillo, lo cual sugiere que la resistencia se desarrolló en forma independiente en los biotipos y que no fue una población resistente inicial de la cual ocurriera la dispersión. Se mostró que existe una separación estadística entre los biotipos de alpistillo y las variedades de trigo, por lo que es factible diferenciarlos en estado de plántula. En cuanto a la fenología de alpistillo, existe una separación de biotipos; de los resistentes, tres presentaron un ciclo biológico más corto que el susceptible, por lo que la dispersión de sus semillas podría tener mayor éxito.

Palabras clave: graminicidas, mimetismo, caracterización morfológica, trigo.

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION AND PHENOLOGY OF RESISTANTS
AND SUSCEPTIBLE *Phalaris minor* RETZ. BIOTYPES TO ACCase INHIBITORS

Jose Luis Garcia Franco, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2012

Phalaris minor Retz. ("Little-seed canary grass") is considered an important weed of the wheat crop in the Bajío Mexicano region, which has developed resistance to herbicides inhibitors of acetyl coenzyme A carboxylase (ACCase). Has been recorded that more than half of the population of *Phalaris* spp. commonly escapes to manual control because of the morphological similarity with wheat. The aim of this investigation was to determine whether morphological and phenological differences exist between resistant and susceptible biotypes of *P. minor* to herbicides, and wheat cultivars. Experiments were conducted in Montecillo, Mexico in a not competition condition at a greenhouse. We used four resistant biotypes and a susceptible one, also, the wheat cultivars Cortazar and Nana to compare weed biotypes in the vegetative stage. The seeds were germinated in Petri dishes in laboratory and transplanted into pots of 3 L capacity containing as a substrate a mixture (1:1) of forest soil and sand. Were recorded morphological and physiological attributes of plants during their life cycle. Data was analyzed independently using the techniques of principal components and discriminant analysis. The results showed that there are morphological differences between alpistillo biotypes, this suggests that resistance evolved in an independent way in the biotypes and it was not from an initial resistant population that the dispersal occurred. It showed that there is a statistical separation between alpistillo biotypes and wheat cultivars, making it possible to distinguish them visually at seedling stage. Regarding the phenology of alpistillo biotypes, exist a statistical separation; from resistant, three had a biological cycle shorter than the susceptible, so the seed dispersal may be more successful.

Key words: graminicides, mimicry, morphological characterization, wheat.

Dedico esta tesis:

A mis padres: Catarino y María, que me dieron la dicha de vivir, me educaron con su ejemplo y me enseñan con su amor a ir en el mundo por el camino del bien.

A mis hermanos: Rosaura, Nelso, Matías^(†), Catarino, Severo, Guadalupe, Beatriz y Ana María, que siempre han estado para mí, y son fuente de inspiración.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado la vida, por tu amor y llenarme de grandes bendiciones.

Al Colegio de Postgraduados, por permitirme realizar mis estudios de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado el apoyo económico para estudiar la Maestría.

A los miembros de mi consejo particular: Dr. Ebandro Uscanga Mortera, Dr. Josué Kohashi Shibata, M.C. Petra Yáñez Jiménez, M.C. Antonio García Esteva y Dr. Héctor Manuel Ortega Escobar, por conducirme en la realización de esta tesis. Por sus consejos, dedicación e interés en mi formación académica.

Gracias a los profesores por haber compartido sus conocimientos y experiencia conmigo.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. <i>Phalaris minor</i>	4
2.1.1. Categorías taxonómicas superiores.....	4
2.1.2. Distribución	4
2.1.3. Características botánicas	5
2.1.4. Comparación morfológica de <i>P. minor</i> con otras especies	6
2.1.5. Biología.....	7
2.1.6. Importancia como maleza.....	9
2.1.7. Resistencia a herbicidas de <i>P. Minor</i>	10
2.2. Resistencia a herbicidas	11
2.2.1. Conceptos de resistencia y tolerancia a herbicidas	11
2.2.2. Antecedentes de la resistencia a herbicidas	12
2.2.3. Desarrollo de la resistencia.....	13
2.3. Herbicidas inhibidores de ACCasa	15
2.3.1. Modo de acción de herbicidas inhibidores de la ACCasa	15
2.3.2. Resistencia a los herbicidas inhibidores de la ACCasa	16
2.4. Antecedentes de investigaciones enfocadas a la caracterización morfológica de biotipos de malezas resistentes a herbicidas.....	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. Ubicación del experimento	19
3.2. Material vegetal.....	19
3.3. Establecimiento del experimento	20
3.4. Diseño experimental	21
3.5. Morfología en la fase vegetativa de los biotipos de <i>P. minor</i> susceptible y resistentes, y cultivares de trigo	22
3.6. Caracterización morfológica de biotipos de <i>P. minor</i> susceptible y resistentes.....	23

3.7. Fenología	24
3.8. Acumulación de biomasa	25
3.9. Análisis estadísticos	25
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1. Morfología de <i>P. minor</i>	26
4.1.1. Características vegetativas	26
4.1.2. Características de la inflorescencia	27
4.2. Morfología en fase vegetativa de los biotipos de <i>P. minor</i> susceptible y resistentes, y cultivares de trigo	28
4.2.1. Ciclo de invierno	29
4.2.2. Ciclo de primavera	34
4.3. Caracterización morfológica de los biotipos de <i>P. minor</i> susceptible y resistentes	41
4.3.1. Descripción morfológica de los biotipos	41
4.3.2. Comparación morfológica cuantitativa	45
4.3.2.1. Ciclo de invierno	45
4.3.2.2. Ciclo de primavera	49
4.4. Fenología de los biotipos de <i>P. minor</i> susceptible y resistentes	56
4.4.1. Ciclo de invierno	56
4.4.2. Ciclo de primavera	61
4.5. Acumulación de biomasa	66
4.5.1. Ciclo de invierno	66
4.5.2. Ciclo de primavera	70
5. CONCLUSIONES	72
6. BIBLIOGRAFÍA	73
7. ANEXOS	80

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resistencia a herbicidas de <i>P. minor</i> registradas a nivel mundial....	11
Cuadro 2. Diferencias morfológicas en la fase vegetativa entre trigo y alpistillo.....	29
Cuadro 3. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en invierno.....	30
Cuadro 4. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en invierno.....	31
Cuadro 5. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la distancia de Mahalanobis con la distancia cuadrada resultante del análisis discriminante de las características morfológicas vegetativas de los biotipos y cultivares de trigo desarrollados en invierno.....	34
Cuadro 6. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en primavera.....	35
Cuadro 7. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en primavera.....	36
Cuadro 8. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la distancia de Mahalanobis con la distancia cuadrada resultante del análisis discriminante de las características morfológicas de los biotipos y cultivares de trigo desarrollados en primavera.....	37
Cuadro 9. Valores promedio (mm) de los caracteres morfológicos medidos en los biotipos de <i>P. minor</i> desarrollados en invierno.....	43
Cuadro 10. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.....	46

Cuadro 11. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.....	47
Cuadro 12. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la distancia de Mahalanobis con la distancia cuadrada resultante del análisis discriminante de las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.....	48
Cuadro 13. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.....	50
Cuadro 14. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.....	51
Cuadro 15. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la Distancia de Mahalanobis con la distancia cuadrada resultante del análisis discriminante de las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.....	53
Cuadro 16. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a las etapas fenológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.....	58
Cuadro 17. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a las etapas fenológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.....	58
Cuadro 18. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la Distancia de Mahalanobis con la distancia cuadrada resultante del análisis discriminante de las etapas fenológicas de los biotipos desarrollados en invierno.....	60
Cuadro 19. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a las etapas fenológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.....	62
Cuadro 20. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a las etapas fenológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.....	62

Cuadro 21. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la Distancia de Mahalanobis con la distancia cuadrada resultante del análisis discriminante de las etapas fenológicas de los biotipos desarrollados en primavera.....	64
Cuadro 22. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a la acumulación de biomasa de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.....	66
Cuadro 23. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a la acumulación de biomasa de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.....	67
Cuadro 24. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la Distancia de Mahalanobis con la distancia cuadrada resultante del análisis discriminante de la acumulación de biomasa de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.....	69
Cuadro 25. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a la acumulación de biomasa de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.....	80
Cuadro 26. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a la acumulación de biomasa de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.....	80
Cuadro 27. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la Distancia de Mahalanobis con la distancia cuadrada resultante del análisis discriminante de la acumulación de biomasa de los biotipos desarrollados en primavera.....	81
Cuadro 28. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidas en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en invierno.....	84
Cuadro 29. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidas en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en primavera.....	85
Cuadro 30. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidas en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.....	86

Cuadro 31. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidas en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.....	87
Cuadro 32. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidas en el análisis estadístico aplicado a las etapas fenológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.....	88
Cuadro 33. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidas en el análisis estadístico aplicado a las etapas fenológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.....	88
Cuadro 34. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a la acumulación de biomasa de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.....	89
Cuadro 35. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a la acumulación de biomasa de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructuras de alpistillo. a) hojas, b) Inflorescencia, c) espiguillas y d) fruto.....	6
Figura 2. <i>P. minor</i> afectando al cultivo de trigo (tomado de: CESAVEG, 2007).....	10
Figura 3. Ejemplificación del proceso de desarrollo de la resistencia a herbicidas en malezas (Tomado de: Cynamid).....	14
Figura 4. Esquema de los órganos medidos.....	24
Figura 5. Plantas adultas de <i>P. minor</i>	28
Figura 6. Biotipos de alpistillo a: Colecta 4, b: Guanajuato, c: Jalisco, d: Colecta 7, e: Susceptible, y cultivares de trigo f: Nana, g: Cortazar, en fase vegetativa.....	29
Figura 7. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en invierno.....	32
Figura 8. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en invierno.....	33
Figura 9. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de las características morfológicas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en primavera.....	37
Figura 10. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de las características morfológicas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en primavera.....	38
Figura 11. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno...	46
Figura 12. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno...	49

Figura 13. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de las características morfológicas de los biotipos de alpi­stillo desarrollados en primavera.....	52
Figura 14. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de las características morfológicas de los biotipos de alpi­stillo desarrollados en primavera.....	53
Figura 15. Fenología de biotipos de alpi­stillo desarrollados en invierno.....	57
Figura 16. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de las etapas fenológicas de los biotipos de alpi­stillo desarrollados en invierno.....	59
Figura 17. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de las etapas fenológicas de los biotipos de alpi­stillo desarrollados en invierno.....	60
Figura 18. Fenología de biotipos de alpi­stillo desarrollados en primavera.....	61
Figura 19. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de las etapas fenológicas de los biotipos de alpi­stillo desarrollados en primavera..	63
Figura 20. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de las etapas fenológicas de los biotipos de alpi­stillo desarrollados en primavera..	64
Figura 21. Acumulación de biomasa en etapas fenológicas vegetativas de biotipos de alpi­stillo desarrollados en invierno.....	67
Figura 22. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de la acumulación de biomasa de los biotipos de alpi­stillo desarrollados en invierno.....	68
Figura 23. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de la acumulación de biomasa de los biotipos de alpi­stillo desarrollados en invierno.....	69
Figura 24. Acumulación de biomasa en etapas fenológicas vegetativas de biotipos de alpi­stillo desarrollados en primavera.....	70
Figura 25. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de la acumulación de biomasa de los biotipos de alpi­stillo desarrollados en primavera.....	81
Figura 26. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de la acumulación de biomasa de los biotipos de alpi­stillo desarrollados en primavera.....	82

Figura 27. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de la morfología en la fase vegetativa de alpistillo en primavera.....	83
Figura 28. Temperaturas máximas y mínimas registradas durante el desarrollo de ambas etapas del experimento. Mín inv: temperatura mínima en el ciclo de invierno, máx inv: temperatura máxima en el ciclo de invierno, mín prim: temperatura mínima en el ciclo de primavera y máx prim: temperatura máxima en el ciclo de primavera.....	90
Figura 29. Fotoperiodo durante el desarrollo de ambas etapas del experimento.	90

1. INTRODUCCIÓN

Phalaris minor Retz. (alpistillo) es una especie que pertenece a la familia Poaceae. Es una planta anual, considerada como una maleza que afecta cultivos de invierno en todo el mundo. Las razones de su éxito son la similitud morfológica en la etapa vegetativa con cereales de invierno, su dispersión temprana de semillas y su aptitud para permanecer en el reservorio de semillas del suelo por varios años (Afentouli y Eleftherohorinos, 1999) En India y en México es considerada como la principal maleza en el cultivo de trigo. En México, el trigo es el tercer cultivo en importancia en cuanto a superficie sembrada (SIAP 2010) y se han consignado pérdidas en el del rendimiento hasta del 100% debido a la presencia de *P. minor* (CESAVEG, 2007).

El cultivo y producción de trigo en Guanajuato ha sido afectado por diferentes factores, tales como: la carencia de agua, los precios bajos, el desplazamiento del trigo por la cebada y el efecto nocivo de las malezas. La problemática con malezas se ha acentuado con la aparición de biotipos resistentes debido al uso continuo de herbicidas con el mismo modo de acción. En la región del Bajío se tienen detectadas dos especies de alpistillo, *P. paradoxa* y *P. minor*, con biotipos resistentes a herbicidas que inhiben la actividad de la Acetil Coenzima A Carboxilasa (ACCasa) (García, 2006; CESAVEG, 2007; Heap, 2012). Cada año, biotipos resistentes de alpistillo se han localizado en sitios donde originalmente no existían, con lo cual se acentúan los problemas de producción, situación que pone en riesgo la siembra del trigo (CESAVEG, 2007).

Para una óptima gestión de malezas, se considera necesaria una identificación morfológica correcta. Sin embargo, ciertas malezas poseen grandes similitudes morfológicas con los cultivos; notables ejemplos son *P. minor*, *Avena fatua* L. y *Lolium* spp. con el trigo, y *Echinochloa* spp., *Eragrostis japonica* (Thunb.) Trin. y arroz silvestre (*Oryza* spp.) con el cultivo de arroz. Las malezas gramíneas están relacionadas con el trigo en características taxonómicas, fenológicas y morfológicas, dicha relación tiene origen evolutivo con el resultado de mimetizarse

con el trigo y escapar al control manual (Barrett, 1983; Radosevich *et al.*, 2007). Se ha consignado que más de la mitad de la población de *Phalaris* spp. comúnmente escapa al control manual a causa de la similitud morfológica con el cultivo de trigo (FAO, 1984).

Las similitudes morfológicas que presenta *P. minor* con el trigo en su fase vegetativa, dificultan la aplicación de los diferentes métodos de control. Debido a esto, es importante determinar las características morfológicas que permitan diferenciar dichas especies en estado vegetativo. Además de la similitud con el cultivo, durante el proceso de desarrollo de resistencia en malezas se seleccionan biotipos con características genéticas similares, por lo que las poblaciones resistentes resultantes pueden presentar características morfológicas en común y distintas a las poblaciones iniciales (Barrett, 1983; Vila-Aiub *et al.*, 2009). Algunos estudios muestran la adaptación de biotipos a ambientes específicos como el uso de herbicidas y que algunas de estas adaptaciones son expresadas junto con diferencias morfológicas (Afentouli y Eleftherohorinos, 1999).

Es posible que, durante el desarrollo de la resistencia, los biotipos de alpijillo se hayan diferenciado morfológicamente. Esto como consecuencia de que la población resistente se originó a partir de pocos individuos con esta capacidad. Aun la presencia de diferencias morfológicas entre los biotipos puede ser un indicador de que los resistentes se desarrollaron en forma independiente.

Trabajos previos realizados con biotipos de *P. minor* resistentes y susceptibles colectados en la región del Bajío han demostrado que, los biotipos resistentes presentan diferencias en su aptitud competitiva frente a los susceptibles (Torres, 2012). Por lo tanto, es necesario continuar con el estudio de esta maleza para dilucidar que otras características son diferentes en aquellos biotipos resistentes.

Los objetivos de este trabajo fueron:

- Determinar las diferencias morfológicas en la fase vegetativa del biotipo de *P. minor* susceptible y los resistentes a herbicidas inhibidores de la ACCasa con cultivares de trigo.
- Determinar si existen diferencias morfológicas entre un biotipo de *P. minor* susceptible y cuatro resistentes a herbicidas inhibidores de la ACCasa.
- Determinar si existen diferencias en el tiempo requerido para el inicio de las etapas fenológicas de un biotipo de *P. minor* susceptible y cuatro resistentes a herbicidas inhibidores de la ACCasa.
- Determinar la dinámica de acumulación de biomasa de un biotipo de *P. minor* susceptible y cuatro resistentes a herbicidas inhibidores de la ACCasa y dos variedades de trigo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. *Phalaris minor*

P. minor recibe diferentes nombres comunes alrededor del mundo, algunos de estos son: alpastillo, alpiste silvestre, pasto romano, alfarín, little-seed canary grass, mediterranean canary grass y canary grass (Yadav y Malik, 2005).

El alpastillo es una planta monocotiledónea de la familia Poaceae. Es considerada como una maleza exótica naturalizada; es muy competitiva en cultivos anuales en el norte de México. Además, se encuentra en hábitat ruderal (Vibrans, 2009).

2.1.1. Categorías taxonómicas superiores

Reino: Plantae

Subreino: Traqueobionta

Superdivisión: Spermatophyta

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Cyperales.

Familia: Poaceae

Género: *Phalaris*

2.1.2. Distribución

El centro de origen de las especies del género *Phalaris* es la región mediterránea de donde fue introducida a otras partes del mundo, por lo que actualmente está ampliamente distribuida en muchos países. En la actualidad, 22 especies del género son reconocidas en el mundo, de las cuales 11 son nativas del Mediterráneo, incluyendo *P. minor*. Yadav y Malik (2005) señalaron que esta

especie se distribuye en las regiones templadas de Asia, África, Oceanía y América. Sin embargo, Singh *et al.* (1999) reportaron que se encuentra en todos los continentes excepto las regiones árticas. En México la distribución conocida es en los estados de Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Sinaloa, Sonora, Durango, Guanajuato, Nayarit, Jalisco, Guerrero, Hidalgo, Puebla, México, Tlaxcala, Michoacán y Oaxaca (Villaseñor y Espinosa, 1998).

2.1.3. Características botánicas

Descripción morfológica basada en Espinosa y Sarukhán (1997), Singh *et al.* (1999) y Yadav y Malik (2005).

Las plántulas presentan coleótilos lanceolados de 5 a 8 mm de largo; de la primera hoja: vaina de 6 a 12 mm de largo, lígula de 1 mm de alto, lámina linear lanceolada de 40 a 58 mm de largo y 1 a 1.5 mm de ancho, ápice agudo acuminado; la segunda hoja similar a la primera, pero con lámina de 45 a 65 mm de largo y 1.5 a 2 mm de ancho.

P. minor es una planta anual, glabra, que forma macollos. Tiene tallos erectos con nudos y entrenudos diferenciados (culmos), los nudos son estrechos y oscuros; en la madurez las plantas pueden alcanzar hasta 1 m de altura. Cada planta produce tres o cuatro culmos en condiciones de competencia y hasta 42 culmos por planta en condiciones de no competencia. Los culmos poseen la característica de ramificación cuando la planta es adulta.

Las hojas son lineales con el ápice agudo; las láminas foliares presentan hasta 30 cm de longitud y 12 mm de anchura; la lígula muy larga, hasta 1 cm, que abraza al culmo; aurículas ausentes (Figura 1a).

La inflorescencia es una panícula compacta, oblonga-aguda de 10 a 12 cm de largo y 1.2 a 2 cm de anchura, compuesta por espiguillas densamente imbricadas (Figura 1b).

Las espiguillas son comprimidas lateralmente, de 4 a 6 mm de largo; glumas iguales, oblongas, de 4 a 6 mm de largo, estrechamente aladas, con dientes; lema estéril en forma de escama, de ± 1.5 mm de largo; lema fértil de ± 3 mm de largo, con tricomas y aguda en el ápice (Figura 1c).

El fruto es un cariósipide que se disemina dentro de las estructuras florales (lema y pálea) endurecidas e indehiscentes. Este tiene contorno oblongo lanceolado de 2.7 a 3.3 mm de largo y 1.2 a 1.5 mm de ancho y la superficie lisa es de color café o café oscuro (Figura 1d). Cada panícula produce de 300 a 450 frutos. Dado que es un fruto monospermo, también se le llama semilla. El peso de 1000 semillas varía de 1.5 a 2.1 g.

La relación entre raíz-parte vegetativa es de 1:9, tiende a tener raíces superficiales.

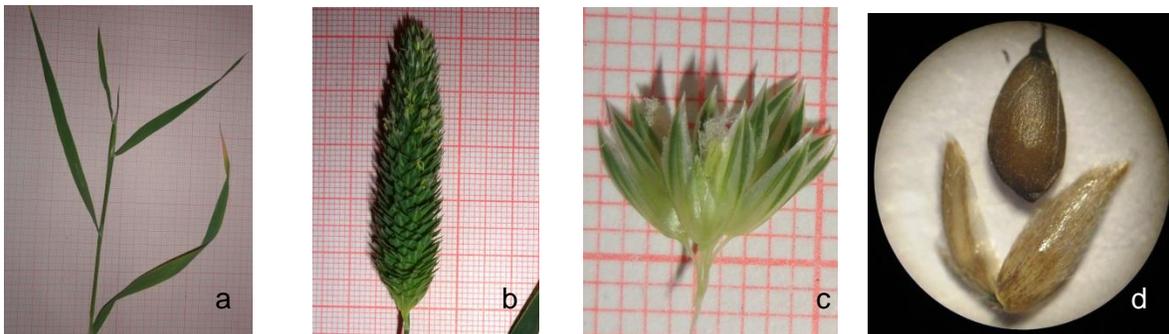


Figura 1. Estructuras de alpistillo. a) hojas, b) inflorescencia, c) espiguilla y d) fruto.

2.1.4. Comparación morfológica de *P. minor* con otras especies

Durante los estadios iniciales de crecimiento, es muy difícil diferenciar *P. minor* de las plantas de trigo, sin embargo, Yadav y Malik (2005) mencionan que al observar

cuidadosamente, las hojas de *P. minor* son de coloración verde claro y la porción basal de las plantas es rosa comparado con las hojas y la porción basal verde oscuro en las plantas de trigo; estas características son mantenidas en todo el ciclo de vida excepto en la madurez. *P. minor* tiene una lígula prominente y aurículas ausentes, a diferencia del trigo que tiene aurículas prominentes y una lígula poco desarrollada. La base de las vainas de las hojas exudan un líquido de color rojo al hacer cortes, posiblemente dicho color sea debido a las antocianinas. Además, en plantas adultas, *P. minor* presenta ramificaciones en los nudos superiores y mayor altura que el trigo.

En México existen de 8 a 10 especies del género *Phalaris*. Además de *P. minor*, las especies *P. brachystachys* Link y *P. paradoxa* L. también han sido encontradas como malezas importantes de trigo en México (CESAVEG, 2007); estas tres especies están estrechamente relacionadas lo que hace difícil el distinguir una de otra. De las tres especies, *P. brachystachys* tiene las espiguillas más pequeñas, mientras que las espiguillas de *P. paradoxa* tiene un pedicelo corto en la base con las espiguillas externas deformadas.

2.1.5. Biología

P. minor presenta solamente reproducción sexual, es autógama, con número cromosómico $2n = 28$ y un sistema fotosintético C3 similar al trigo (Singh *et al.*, 1999).

La maduración de las semillas inicia antes de la cosecha del trigo y no esta sincronizada en toda la inflorescencia. La maduración de la inflorescencia de *P. minor* inicia en la parte distal y progresa hasta la base con una liberación continua de semillas antes de la cosecha del cultivo (Singh *et al.*, 1999). Las semillas maduran de marzo a abril y germinan de noviembre a enero. La maleza es favorecida por inviernos tardíos debido a la rápida emergencia de las plántulas y

porque el crecimiento del trigo en inviernos tardíos es más lento que en temporadas normales (Yadav y Malik, 2005).

La temperatura óptima para la germinación de la semilla de *P. minor* está en el intervalo de 10 a 20 °C (Chhokar y Malik, 1999). La germinación decrece con temperaturas superiores a los 30 °C y no puede emerger de profundidades mayores de 4 a 5 cm, por lo tanto, la disponibilidad de humedad en la capa superficial del suelo es necesaria para la germinación, emergencia y crecimiento de esta maleza.

El mayor número de semillas de *P. minor* está acumulado en los primeros 5 cm del suelo y decrece con el incremento de la profundidad, aun en suelos con labranza convencional (Om *et al.*, 2005, Franke *et al.*, 2007). Una profundidad de 10 a 15 cm puede causar una reducción considerable en el establecimiento de las plántulas, ya que la germinación decrece con un incremento en la profundidad del suelo (Hari *et al.*, 2003). Con esto se puede esperar el incremento en la mortalidad de semillas o extensión de la latencia.

Las semillas de *P. minor* presentan fotoblastismo positivo, dado que semillas incubadas en condiciones de luz presentan mayor porcentaje de germinación que aquellas incubadas en obscuridad (Om *et al.*, 2005). Con un periodo de exposición de hasta 100 s se logra un incremento de 35% en la germinación (Ohadi *et al.*, 2009).

La latencia de las semillas es evidente. Se ha demostrado gran diferencia en el porcentaje de germinación en semillas colectadas directamente de la inflorescencia con relación a las colectadas del suelo o almacenadas durante algún tiempo (Om *et al.*, 2004). La latencia varía desde 8 a 21 meses (Franke *et al.*, 2007). Sin embargo, Hari *et al.* (2003) mencionan que la latencia de las semillas no es mayor a dos meses en condiciones de campo.

Franke *et al.* (2007) encontraron que la longevidad de semillas sometidas a condiciones similares en el suelo, fue menos de un año; pero aquellas enterradas a más de 30 cm de profundidad permanecieron viables por más tiempo. En condiciones de laboratorio las semillas no redujeron su viabilidad durante los dos años de conducción de dicho experimento. Yadav y Malik (2005) encontraron que en condiciones de laboratorio, la viabilidad se mantuvo en un intervalo de 75 a 99% en semillas de *P. minor* resistentes y susceptibles a isoproturon después de cuatro años, pero se redujo drásticamente después del sexto año.

La acumulación de biomasa durante los estadios iniciales de crecimiento es lenta, y es mayor en el tercer periodo del ciclo biológico (Malik y Singh, 1995). *P. minor* se desarrolla mejor en suelos con alta humedad, como en suelos de cultivos irrigados (Alcantara, 2010). La duración del ciclo biológico varía según la época del año y va desde 100 a 135 días.

2.1.6. Importancia como maleza

Tiene gran importancia como maleza, porque compite directamente con el cultivo por disponibilidad de espacio, agua, luz y nutrimentos; además, sirve de hospedera de plagas y enfermedades que posteriormente pueden afectar al cultivo. Aunado a lo anterior, en los últimos 20 años, se han registrado biotipos resistentes en el área triguera del Bajío (Heap, 2012). En el cultivo de trigo es considerada como una de las malezas más perjudiciales (Figura 2).

Yadav y Malik (2005) señalan que la presencia de *P. minor* como maleza en los cultivos es uno de los principales factores que provocan la declinación de la productividad del trigo y el sistema de cultivo trigo-arroz. En el cultivo de trigo disminuye el rendimiento por competencia y la calidad del grano porque al mezclarse las semillas reduce el valor comercial, lo que la hace la maleza más importante en este cultivo (CESAVEG, 2007).



Figura 2. *P. minor* afectando al cultivo de trigo (tomado de: CESAPEG, 2007).

La reducción del rendimiento del cultivo del trigo puede ser hasta del 100% si no se toman medidas oportunas para su control (CESAVEG, 2007). En estudios realizados en Grecia, Afentouli y Eleftherohorinos (1996, 1999) reportan pérdidas de 32% con la presencia de 150 plantas m^{-2} , lo que refleja claramente el efecto directo sobre el rendimiento. Khera *et al.* (1995) encontraron que densidades de 40 y 80 plantas m^{-2} disminuyeron la producción de grano de trigo en 21 y 23% respectivamente. Arevalo (2000) muestra que los daños ocasionados en el rendimiento del trigo en el Bajío pueden llegar a ser de hasta 45% con densidades de 590 plantas m^{-2} , dependiendo del tiempo en que se ejerza la competencia con el cultivo.

2.1.7. Resistencia a herbicidas de *P. minor*

El primer biotipo de *P. minor* resistente a herbicidas fue consignado en India en el año de 1991; dicha resistencia fue a herbicidas del grupo de las ureas y amidas (Malik y Singh, 1995). Actualmente se reportan biotipos resistentes a herbicidas en India, Irán, Israel, Sudáfrica, EU y México (Cuadro 1) (Heap, 2012).

En México, esta maleza fue la primera en desarrollar resistencia al grupo de inhibidores de la ACCasa en 1996 en los estados de México, Guanajuato, Jalisco y Michoacán. Las investigaciones demostraron que este biotipo era resistente particularmente a clodinafop-propargyl (Topik Gold 080 EC), fenoxaprop-P-etil (Puma super) y tralkoxydim (Grasp 25) y pueden tener resistencia cruzada con otros herbicidas del mismo grupo. En 2006 se registró el biotipo de alpistillo con resistencia particular a fluazifop-P-butil (Fusilade), pinoxaden y sethoxydim (Poast) además de los herbicidas reportados en 1996. Se estima que en México el biotipo resistente a ACCasa afecta un área de hasta 40 mil ha distribuidas en la zona del bajío, principalmente en el estado de Guanajuato (Heap, 2012).

Cuadro 1. Resistencia a herbicidas de *P. minor* registrada a nivel mundial.

Resistencia a herbicidas de alpistillo (<i>P. minor</i>)				
País	Año	sitios	Superficie (ha)	Sitio de acción
<u>India</u>	1991	10001-100000	404685-809371	Ureas y amidas (C2/7)
<u>India</u>	2006	11-50	404-4046	Ureas y amidas (C2/7) Inhibidores de ACCasa (A/1)
<u>Irán</u>	2004	6-10	20-40	Inhibidores de ACCasa (A/1)
<u>Israel</u>	1993	1	4-20	Inhibidores de ACCasa (A/1)
<u>México</u>	1996	1001-10000	4046-40468	Inhibidores de ACCasa (A/1)
<u>South África</u>	1999	6-10	desconocido	Inhibidores de ACCasa (A/1) inhibidores ALS (B/2)
<u>USA (California)</u>	2001	2-5	4-20	Inhibidores de ACCasa (A/1)

Tomado de: Heap (2012)

2.2. Resistencia a herbicidas

2.2.1. Conceptos de resistencia y tolerancia a herbicidas

La definición oficial de resistencia, dada por la “Weed Science Society of America (WSSA)” y la “International Survey of Herbicide Resistant Weeds (ISHRW)”, es: “La aptitud heredable de una planta para sobrevivir y reproducirse después de la

exposición a una dosis de herbicida normalmente letal para el tipo silvestre. En una planta, la resistencia puede ser por ocurrencia natural o inducida por técnicas como ingeniería genética o selección de variedades producidas por cultivo de tejidos o mutagénesis” (WSSA, 1998).

Valverde (2003) y Heap (1997) definen la resistencia como: “La capacidad heredable natural de algunos biotipos dentro de una determinada población de maleza para sobrevivir a un tratamiento con un herbicida que, bajo condiciones normales de empleo, controla efectivamente esa población de maleza”.

La definición oficial de tolerancia, dada por la WSSA e ISHRW, es: “La aptitud heredable de una especie para sobrevivir y reproducirse después del tratamiento con un herbicida. Esto implica que no fueron seleccionadas o manipulada genéticamente para hacer a la planta tolerante; esto es tolerancia natural” (WSSA, 1998).

Valverde (2003) define la tolerancia como: “La capacidad hereditaria natural que tienen todas las poblaciones de una maleza para sobrevivir y reproducirse después del tratamiento con un herbicida”.

2.2.2. Antecedentes de la resistencia a herbicidas

A partir de la introducción del 2,4-D en 1946, los herbicidas han revolucionado el control de malezas en el mundo y han sido adoptados rápidamente por los países en vías de desarrollo. El uso de herbicidas es el principal método de control de malezas en los sistemas de cultivo, pero su utilidad está afectándose por la aparición de malezas resistentes a herbicidas. Hilton informó del primer caso de resistencia en 1957 (Hilton citado por Heap, 1997). Sin embargo, el primer biotipo resistente de la maleza *Senecio vulgaris* resistente a triazinas se encontró en 1970 (Heap, 1997).

A nivel mundial, hasta el momento existen 389 biotipos resistentes de malezas registrados en ISHRW, pertenecientes a 211 especies de las cuales 124 son dicotiledóneas y 87 monocotiledóneas. Estas afectan más de 580 mil campos de cultivo (Heap, 2012). En México, hasta el momento se tienen registrados 5 biotipos de malezas, cada uno de diferente especie, con resistencia a herbicidas. La mayoría de ellos están presentes en la región del Bajío.

2.2.3. Desarrollo de la resistencia

Las características de la maleza y del herbicida influyen en la tasa de evolución de la resistencia. En el caso de la maleza, las características más importantes son la frecuencia de genes, el tamaño y la viabilidad del reservorio de semillas del suelo y la adaptabilidad al medio (Jasieniuk, 1996; Valverde, 2003). En el herbicida se deben considerar factores como eficacia, dosis, frecuencia de aplicación y persistencia en el suelo (Valverde *et al.*, 2000).

El factor principal en la evolución de la resistencia es la presión de selección ejercida por el herbicida. En la práctica, la presión de selección depende de la dosis de herbicida utilizada, su eficacia y la frecuencia de aplicación (Neve y Powles, 2005).

Cada especie tiene una constitución genética particular, y se considera que los genes de resistencia están presentes en las poblaciones silvestres (Christoffer *et al.*, 1991), aunque en una proporción muy baja. Al realizar aplicaciones de herbicidas con el mismo modo de acción se eliminan los individuos susceptibles y permanecen aquellos con los genes de resistencia. Si se mantiene la presión de selección, al final se tendrán poblaciones resistentes, originadas de los pocos individuos que tenían los genes de resistencia (Figura 3).

En algunos casos, los individuos resistentes están menos adaptados al medio en ausencia del herbicida que los susceptibles (Menalled y Smith, 2007; Poston *et al.*,

2002). Esta pérdida de adaptabilidad puede percibirse como un descenso en la eficiencia fisiológica de un proceso como la fotosíntesis, menor producción de semillas o disminución de la aptitud competitiva. La mayoría de las malezas resistentes, sin embargo, no son menos aptas que las normales (Valverde *et al.*, 2000). De igual forma, los individuos resistentes pueden presentar modificaciones en la morfología debido al “cuello de botella” que se haya presentado en la población, lo que causa que las nuevas poblaciones resistentes compartan un mismo origen genético.

La mayoría de las malezas se tornan resistentes a los herbicidas debido a cambios en su sitio de acción (Tharayil-Santhakumar, 2003). El segundo mecanismo es el que se basa en el metabolismo acelerado o la rápida degradación del herbicida en la planta. Con menor frecuencia, la resistencia puede atribuirse a absorción y transporte limitados o al “secuestro” del herbicida (Preston y Wakelin, 2008; Vila-Aiub *et al.*, 2012).

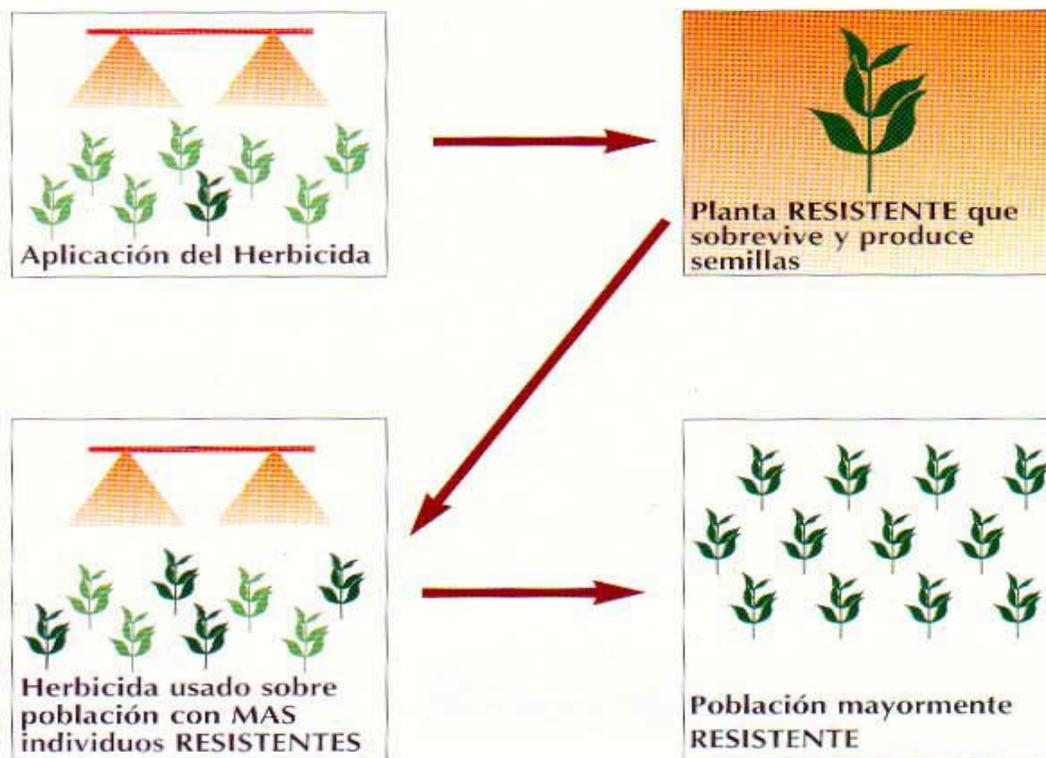


Figura 3. Ejemplificación del proceso de desarrollo de la resistencia a herbicidas en malezas (Tomado de: Cynamid).

2.3. Herbicidas inhibidores de la ACCasa

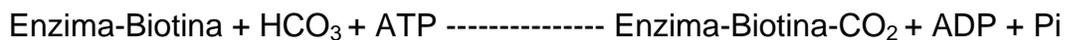
2.3.1. Modo de acción de herbicidas inhibidores de la ACCasa

Dos grupos químicos componen los inhibidores de la ACCasa: los Ariloxifenoxipropanoatos (AFP) y los Ciclohexanodiones (CHD), son conocidos como “fops” y “dims” respectivamente. Los dos ingresaron al mercado a finales de la década de los 70's. Ambos tienen actividad foliar, son sistémicos y se usan para el control de gramíneas anuales y perennes en cultivos de hoja ancha y en ciertos cereales, por lo que son conocidos como graminicidas. Los herbicidas de ambos grupos químicos se aplican en post-emergencia, son absorbidos con facilidad por las raíces y el follaje y se transportan a los meristemos de la planta, donde rápidamente inhiben el crecimiento por la falta de lípidos para la formación de membranas celulares (Gronwald, 1991). Estos herbicidas son considerados de “alto riesgo” en la evolución de la resistencia (Valverde, 2000).

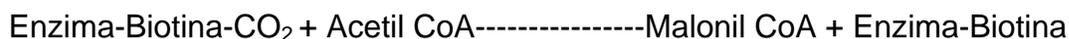
La ACCasa es una enzima multifuncional localizada en el estroma de los plástidos. Esta cataliza la carboxilación dependiente del ATP y la transcarboxilación del grupo carboxilo hacia la acetil CoA para formar malonil CoA (Sasaki y Nagano, 2004). El malonil CoA es el precursor de los ácidos grasos (Tharayil-Santhakumar, 2003). Esta enzima es muy importante en la biosíntesis de los ácidos grasos en las plantas (Délye, 2005).

La ACCasa cataliza dos reacciones parciales que ocurren en dos diferentes sitios como se indica enseguida:

a) Reacción en el sitio de carboxilación



b) Reacción en el sitio de carboxitransferasa



La enzima con el grupo prostético biotina sirve como un transporte carboxilo móvil entre los dos sitios.

La forma plástica multifuncional de ACCasa en gramíneas es el sitio de acción de los herbicidas APP y CHD (Burton *et al.*, 1987). El sitio exacto de unión de los herbicidas APP y CHD a ACCasa no es muy claro, sin embargo, es la transferencia del grupo carboxilo a la acetil-CoA la que es inhibida por los herbicidas más que la carboxilación de la biotina (Burton *et al.*, 1991).

En el caso de dicotiledóneas, la selectividad está basada en la baja sensibilidad del tipo de ACCasa que presentan (Konishi y Sasaki, 1994); y en el caso de cereales, la selectividad puede ser atribuida a una rápida detoxificación del herbicida (Donald y Shimabukuro, 1980). En gramíneas susceptibles, tanto AFP y CHD son inhibidores no competitivos de la ACCasa gramínea. Como resultado, la carboxilación de la acetil CoA es evitada y por lo tanto la síntesis de ácidos grasos es obstaculizada.

2.3.2. Resistencia a los herbicidas inhibidores de la ACCasa

El primer caso de resistencia a los fops y dims reportado fue en *Lolium rigidum* en Australia. La resistencia fue observada en campos donde herbicidas fueron usados por cuatro años consecutivos (Heap y Knight, 1982 citado por Tharayil-Santhakumar, 2003). De todos los biotipos resistentes registrados a nivel mundial, 39 presentan resistencia a herbicidas inhibidores de la ACCasa (Heap, 2012).

2.4. Antecedentes de investigaciones enfocadas a la caracterización morfológica de biotipos de malezas resistentes a herbicidas.

Ruiz-Santaella *et al.* (2003) realizaron la caracterización morfológica de poblaciones del género *Echinochloa* con diferentes grados de susceptibilidad a cianofol butilo, en el que hicieron un análisis de conglomerados y este análisis

formó grupos correlacionados con el grado de susceptibilidad; las características morfológicas utilizadas fueron de espiguillas y plántulas; las poblaciones con grado de susceptibilidad mayor se agruparon y se separaron de aquella población con menor susceptibilidad. También Malik *et al.* (2003) realizaron trabajos con el mismo enfoque pero solo con *E. crus-galli* comparando biotipos susceptibles y resistentes y un cultivar de arroz; el estudio mostró que los biotipos resistentes tenían un hábito de crecimiento diferente al susceptible y que todos los biotipos presentaron claras diferencias con el cultivar de arroz. Tsuji *et al.* (2003) evaluaron similitudes en características morfológicas de 15 colectas resistentes de *E. phyllopogon* comparada con ocho susceptibles; en un análisis de conglomerados las muestras resistentes fueron agrupadas por separado del grupo de las plantas susceptibles; adicionalmente se realizó un análisis con técnicas moleculares para establecer relaciones entre las colectas susceptibles y las resistentes, la técnica utilizada fue “Polimorfismos en la longitud de fragmentos amplificados” (AFLP), y dicho análisis mostró la misma agrupación.

En arroz rojo también se han realizado trabajos de caracterización morfológica de ecotipos, y en algunos se ha considerado solo esta maleza, pero en otros se realizó la comparación con cultivares de arroz y también cruza de la maleza y el cultivo. Ortiz *et al.* (1999) estudiaron el desarrollo y caracterización morfológica de ecotipos de arroz rojo y cultivares de arroz en Venezuela. Por su parte, Esqueda (2003) trabajó con cuatro biotipos de arroz rojo y el cultivar “Milagro Filipino”. En estos trabajos, utilizando estadística simple, se ha logrado establecer características diferenciales para separar el arroz rojo de cultivares de arroz, además de poder relacionar las diferentes poblaciones del arroz maleza entre sí. Montoya *et al.* (2007) realizaron la caracterización morfológica de 13 cultivares de arroz venezolanos. Además, Ortiz *et al.* (2008) trabajaron con la caracterización morfológica de una población F2 obtenida del cruce natural entre un cultivar de arroz y una población de arroz rojo. Estos trabajos mostraron la separación de los diferentes cultivares y en el caso de la cruce del arroz con el arroz maleza el conocimiento de cómo se da la hibridación entre ambos.

Algunos otros trabajos también muestran que con la ayuda de la caracterización morfológica es posible inferir sobre el origen de las poblaciones y poder relacionarlas con ciertos ambientes. Como por ejemplo, el trabajo en que plantas de *Galium aparine* de diferentes regiones noruegas y de otros tres países fueron comparadas con respecto a factores morfológicos y variación genética. En un análisis de conglomerados de características morfológicas, se encontraron diferencias entre las poblaciones relacionadas con su origen, en este estudio también se realizó un análisis de ADN el cual corroboró las diferencias encontradas en morfología (Hübner *et al.*, 2003).

En la mayoría de los trabajos mencionados se utilizaron análisis de conglomerados para determinar la agrupación y separación del material biológico con el que se trabajó. Sin embargo, en investigaciones enfocadas a la caracterización morfológica también se han utilizado las técnicas de componentes principales y análisis discriminante. En *Quercus laeta* Liebm. utilizando análisis discriminante se determinaron caracteres morfológicos importantes en la variación de los individuos de la especie y una separación de los individuos de acuerdo a su origen geográfico (Zúñiga *et al.*, 2009). En *Prosopis* sp. También se utilizaron estas técnicas para la separación del material biológico y se logró la separación de individuos asociados probablemente a las especies localizadas en el área de estudio (Verga *et al.*, 2009).

De acuerdo a esta revisión, no existe información acerca de la caracterización morfológica de los biotipos de *P. minor*. Además, no se ha determinado alguna relación entre la morfología y la susceptibilidad o resistencia de los biotipos de alpistillo; sin embargo, sí se ha visto esta relación en algunos de los trabajos recopilados. A pesar de esto, en observaciones de campo, se han detectado diferencias entre los biotipos resistentes a herbicidas inhibidores de la ACCasa presentes en El Bajío, de aquí la importancia del presente trabajo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

El experimento se realizó en el Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Edo. de México (19° 30' N, 98° 51' O y a una altitud de 2250 m) durante los años 2011 y 2012, en los Invernaderos Generales Dr. Josué Kohashi Shibata, del Campus Montecillo.

3.2. Material vegetal

Para el estudio de la morfología y fenología de los biotipos de alpistillo se utilizaron 4 biotipos de *P. minor* resistentes a herbicidas inhibidores de ACCasa denominados: Colecta 4 (C4), Colecta 7 (C7), Guanajuato (GTO), estos provenientes de colectas realizadas en el municipio de Pénjamo, Guanajuato; Jalisco (JAL), colectado en el estado de Jalisco; y uno susceptible (SUSC) colectado en el estado de Guanajuato.

La resistencia y susceptibilidad de los biotipos utilizados fue previamente determinada por trabajos realizados en la Universidad Autónoma Chapingo (García, 2006). Las semillas fueron proporcionadas por el M. C. Antonio Tafuya Razo, Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Chapingo y por el personal del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato (CESAVEG).

Para la comparación de la morfología en la fase vegetativa de los biotipos de alpistillo y el trigo se emplearon los cultivares de trigo Cortazar y Nana. Estos cultivares son los utilizados en el área productora de Guanajuato y fueron proporcionadas por el Dr. Eduardo Villaseñor Mir, del Programa de Trigo del Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Valle de México.

3.3. Establecimiento del experimento

El trabajo experimental se realizó en dos etapas, la primera se inició en septiembre de 2011 y la segunda en marzo de 2012 (para referencias posteriores se denominarán “ciclo de invierno” y “ciclo de primavera” respectivamente). Esto fue con el objetivo de observar la morfología y desarrollo de las plantas en diferentes condiciones ambientales. En ambas etapas se siguió la misma metodología y se establecieron los siguientes experimentos:

1. Morfología en la fase vegetativa de los biotipos de *P. minor* susceptible y resistentes, y cultivares de trigo
2. Caracterización morfológica de biotipos de *P. minor* susceptible y resistentes
3. Fenología
4. Acumulación de biomasa

Las semillas utilizadas fueron obtenidas en invernadero a partir del establecimiento de los biotipos colectados donde se controló la polinización para evitar la cruza entre ellos. El objetivo fue que las semillas de estos provinieran de plantas desarrolladas en las mismas condiciones ambientales.

A las semillas se les retiraron las estructuras florales lema y palea para eliminar tanto la barrera física como la presencia de inhibidores de la germinación en estas estructuras.

Para asegurar el número de plantas a utilizar, las semillas fueron germinadas antes de la siembra. Se colocaron semillas de cada biotipo de alpistillo y los cultivares de trigo en cajas Petri con discos de papel filtro en el fondo y se les agregó 5 mm de solución de ácido giberélico a 20 ppm para la imbibición de las semillas en el proceso de germinación. El empleo del ácido giberélico fue con el propósito de estimular la germinación. Las cajas con las semillas se mantuvieron dentro del laboratorio para su germinación.

Después de 48 h de iniciada la imbibición, las semillas germinadas se trasplantaron. Las plantas se establecieron en condiciones de no competencia (una planta por maceta) en un invernadero de vidrio, en macetas de 15 cm de diámetro que contenían ± 2 kg de suelo arcilloso como sustrato. La razón del desarrollo en condición de no competencia fue para propiciar el desarrollo en condiciones similares y uniformes. La distancia entre cada planta fue de 30 cm.

Durante el desarrollo del experimento, la humedad del sustrato se mantuvo cercana a capacidad de campo (método gravimétrico). El control de malezas se realizó en forma manual. Las plantas se mantuvieron en invernadero bajo las mismas condiciones hasta su madurez fisiológica.

3.4. Diseño experimental

En todos los experimentos que se establecieron se empleó un diseño completamente al azar.

Para el estudio de la morfología y la fenología, se tuvieron cinco tratamientos y 10 repeticiones. Se consideró a cada biotipo (C4, C7, GTO, JAL y SUSC) un tratamiento y la unidad experimental constó de una planta, por lo que se usaron 50 unidades experimentales.

En el experimento realizado para comparar las etapas vegetativas de los biotipos de alpiñillo con los cultivares de trigo, se tuvieron siete tratamientos: los cuatro biotipos resistentes, el susceptible y los cultivares de trigo Nana y Cortazar. De igual forma se tuvieron 10 repeticiones, lo cual resultó en 70 unidades experimentales.

En el experimento realizado para determinar la acumulación de biomasa en cinco etapas fenológicas, se tuvieron muestreos destructivos. Se consideraron

tratamientos cada biotipo de alpistillo y los cultivares de trigo (siete tratamientos) con 10 repeticiones, por lo que se establecieron 350 unidades experimentales.

3. 5. Morfología en la fase vegetativa de los biotipos de *P. minor* susceptible y resistentes, y cultivares de trigo

Para realizar la caracterización morfológica de los biotipos y los cultivares de trigo en su fase vegetativa, se consideró el registro de diferentes estructuras desde la emergencia hasta la emisión y desarrollo completo de la séptima hoja de las plantas. Las características medidas fueron hasta la séptima hoja debido a que en los cultivares de trigo se produce la hoja bandera y la inflorescencia después de esta. La medición de los diferentes descriptores morfológicos se realizó en cada planta, de forma independiente y cada una fue tomada al momento en que la estructura estaba completamente desarrollada (Figura 4). Los instrumentos de medición utilizados fueron: regla milimétrica, vernier digital y transportador.

Las variables (descriptores morfológicos) registradas fueron:

- Longitud del coleóptilo. Se midió en mm desde el nivel del suelo hasta el ápice.
- Diámetro del coleóptilo. Se midió en mm en la parte media del coleóptilo.
- Longitud de la lámina foliar de la primera, tercera, quinta y séptima hoja. Se midió en mm desde la base hasta el ápice de la lámina.
- Anchura de la lámina foliar de la primera, tercera, quinta y séptima hoja. Se midió en mm de margen a margen, en la parte media de la lámina.
- Longitud de la lígula de la tercera, quinta y séptima hoja. Se midió en mm en la parte media de la lígula en la hoja completamente desarrollada.
- Porte de la lámina foliar de la tercera, quinta y séptima hoja. Se midió el ángulo en grados de la lámina a partir de una línea vertical sobre el culmo.
- Número de culmos al aparecer la tercera, quinta y séptima hoja.

3.6. Caracterización morfológica de biotipos de *P. minor* susceptible y resistentes

Para realizar la caracterización morfológica de los biotipos, se consideró el registro de diferentes estructuras tanto vegetativas como reproductivas (Figura 4). La medición de los diferentes descriptores morfológicos se realizó en cada planta, de forma independiente y fue tomada al momento en que la estructura estaba completamente desarrollada en cada planta, a excepción de las propias de la panícula las cuales se tomaron al momento de la cosecha. Los instrumentos de medición utilizados fueron: regla milimétrica y vernier digital.

Las variables (descriptores morfológicos) registradas fueron:

- Longitud del coleóptilo. Se midió en mm desde el nivel del suelo hasta el ápice.
- Diámetro del coleóptilo. Se midió en mm en la parte media del coleóptilo.
- Longitud de la lámina foliar de la primera, tercera, quinta, séptima y novena hoja. Se midió en mm desde la base hasta el ápice de la lámina.
- Anchura de la lámina foliar de la primera, tercera, quinta, séptima y novena hoja. Se midió en mm de borde a borde, en la parte media de la lámina.
- Longitud de la lígula de la tercera, quinta, séptima y novena hoja. Se midió en mm en la parte media de la lígula en la hoja completamente desarrollada.
- Número de culmos a la novena hoja.
- Altura de la planta. Se midió en mm, desde el suelo hasta el ápice de la hoja más alta.
- Número de hojas del culmo principal hasta la inflorescencia.
- Longitud de la panícula. Se midió en mm desde la base hasta el ápice.
- Anchura de la panícula. Se midió en mm en la parte media de la inflorescencia.
- Longitud del fruto. Se midió en mm.
- Anchura del fruto. Se midió en mm en la parte media del cariósido.

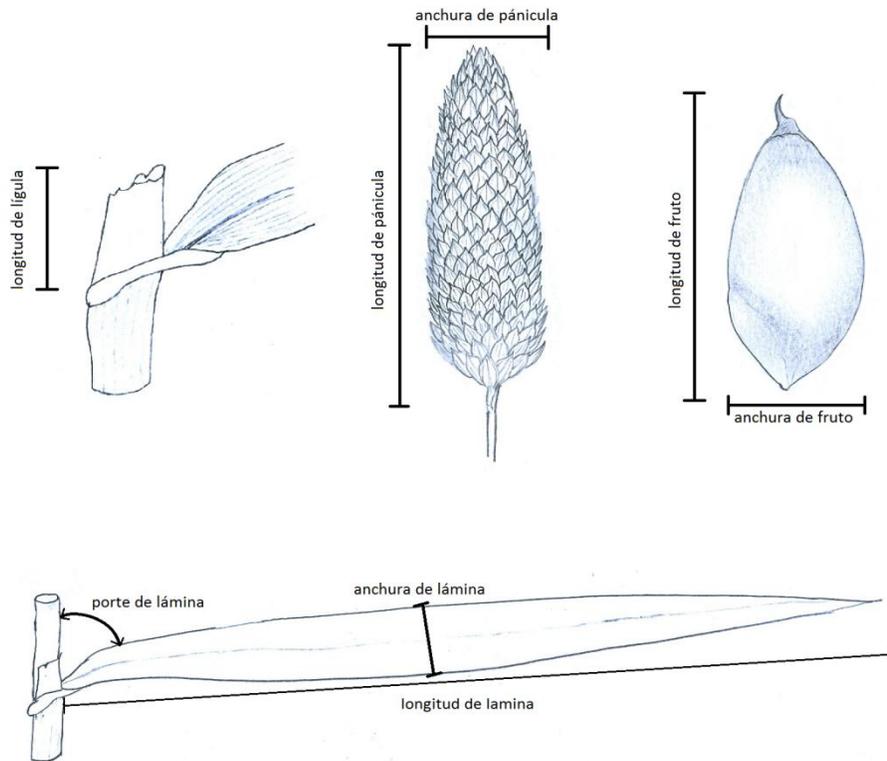


Figura 4. Esquema de los órganos medidos.

3.7. Fenología

Para determinar la duración del desarrollo de los diferentes biotipos y las diferencias presentes entre ellos, se registraron nueve etapas fenológicas durante todo su ciclo. Las etapas fueron elegidas considerando el desarrollo observado en un establecimiento previo de los biotipos.

Durante el desarrollo de cada planta, se registraron el número de días a partir de iniciada la germinación hasta la aparición de las siguientes etapas fenológicas:

- Emergencia
- Primera, tercera, quinta, séptima y novena hoja
- Embuche
- Antesis
- Madurez de frutos

3.8. Acumulación de biomasa

Peso seco de la parte aérea de la planta. Para la obtención del peso seco, se realizaron muestreos destructivos en las etapas fenológicas de primera, tercera quinta, séptima y novena hoja. Para esto se utilizaron 10 plantas de cada tratamiento. El material fue cortado y separado en: lámina y vaina de la hoja presente en la etapa respectiva, y resto de la planta. Cada parte fue colocada en bolsas de papel, etiquetada y secada en una estufa de circulación forzada de aire, durante 72 h a 70 °C hasta alcanzar un peso constante. Después de esto se determinó el peso de la materia seca con una balanza digital.

3.9. Análisis estadísticos

Se determinó la relación entre las diferentes variables y los biotipos mediante análisis multivariado, utilizando la técnica de Componentes Principales para generar un menor número de nuevas variables que explicaran de forma sintetizada el total de la variación. Esta técnica es utilizada para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos y también sirve para hallar las causas de la variabilidad de un conjunto de datos y ordenarlas por importancia.

Además, se realizó un análisis discriminante, el objetivo de este análisis es la clasificación de individuos en grupos e identificar las variables que mejor discriminen entre los grupos y la evaluación del poder discriminante de cada una de ellas. Ambos análisis se realizaron con el paquete Statistical Analysis System 9.1 (SAS, 2002).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Morfología de *P. minor*

4.1.1. Características vegetativas

Forma de crecimiento: planta anual de crecimiento erecto o decumbente, de hasta 1.3 m de altura, glabra. Producción de culmos secundarios abundante, por lo que forma macollos (Figura 5).

Culmos: erectos (de 80 a 130 cm de alto) y delgados (2.5 mm de diámetro); los entrenudos son delgados y de coloración verde; los nudos son de mayor grosor y de una coloración más oscura que los entrenudos. En condiciones de no competencia las plantas llegan a producir hasta 28 culmos en el cuello de la planta; se ramifican durante la fase reproductiva en la parte superior en los 2 o 3 últimos nudos; las ramificaciones en la parte superior producen pocas hojas, de 2 a 3, e inmediatamente se origina una inflorescencia. De ahí que el tallo sea de hábito de crecimiento determinado.

Hojas: *Vainas*: con la nervadura de coloración púrpura, al inicio de la senescencia toda la vaina se torna de color rosa claro. *Lígula*: membranosa, truncada, de hasta 1 cm de longitud, con el borde eroso. *Lámina*: linear, con el ápice agudo; las primeras son angostas y cortas, la primera de aproximadamente 1 mm de ancho y 5 cm de largo, las siguientes gradualmente de mayores dimensiones hasta la quinta hoja; la quinta lámina foliar o superiores de hasta 40 cm de largo y 1.3 cm de ancho. El número de hojas por culmo hasta la producción de la inflorescencia es variable, desde 12 hojas por culmo cuando se desarrolla con temperaturas altas (de 25 °C a 30 °C) y hasta 19 hojas al desarrollarse en temperaturas menores (de 15 °C a 20 °C).

4.1.2. Características de la inflorescencia

Tipo: panícula ovalado-cilíndrica, compacta y densa, con espiguillas densamente imbricadas en ramificaciones cortas; largo de hasta 8 cm y 1.5 cm de ancho. Cada planta puede llegar a producir hasta 28 panículas, las primeras son de mayor tamaño y con la totalidad de las espiguillas bien desarrolladas; aquellas que se producen en la fase final del ciclo de menor tamaño y con las espiguillas de la parte basal de la inflorescencia no bien desarrolladas. El pedúnculo que sostiene la inflorescencia es delgado, de aproximadamente 1 mm y hasta 8 cm de largo. La antesis inicia en el ápice de la inflorescencia conforme esta va saliendo de la hoja bandera.

Espiguillas: bifloras, comprimidas lateralmente, de hasta 6 mm de largo, con el primer flósculo reducido a una lema pequeña y el segundo bien desarrollado. Lema del flósculo fértil de 3 mm de longitud, con 5 nervios, el central denticulado, presenta pubescencia hirsuta con mayor densidad en la parte cercana al nervio central. Pálea de tamaño casi igual que la lema, de 3 mm de longitud, presenta pubescencia escasa y bordes hialinos.

Glumas: las dos iguales, de 6 mm de longitud, con el ala dorsal denticulada, con 3 nervios.

Fruto: cariósipide de forma lanceolada, color café y superficie ligeramente rugosa. Largo de hasta 3 mm y 1.4 mm de ancho. Al momento de la separación de la inflorescencia se desprende con los elementos del flósculo indehiscente, por lo que el fruto no queda desnudo.

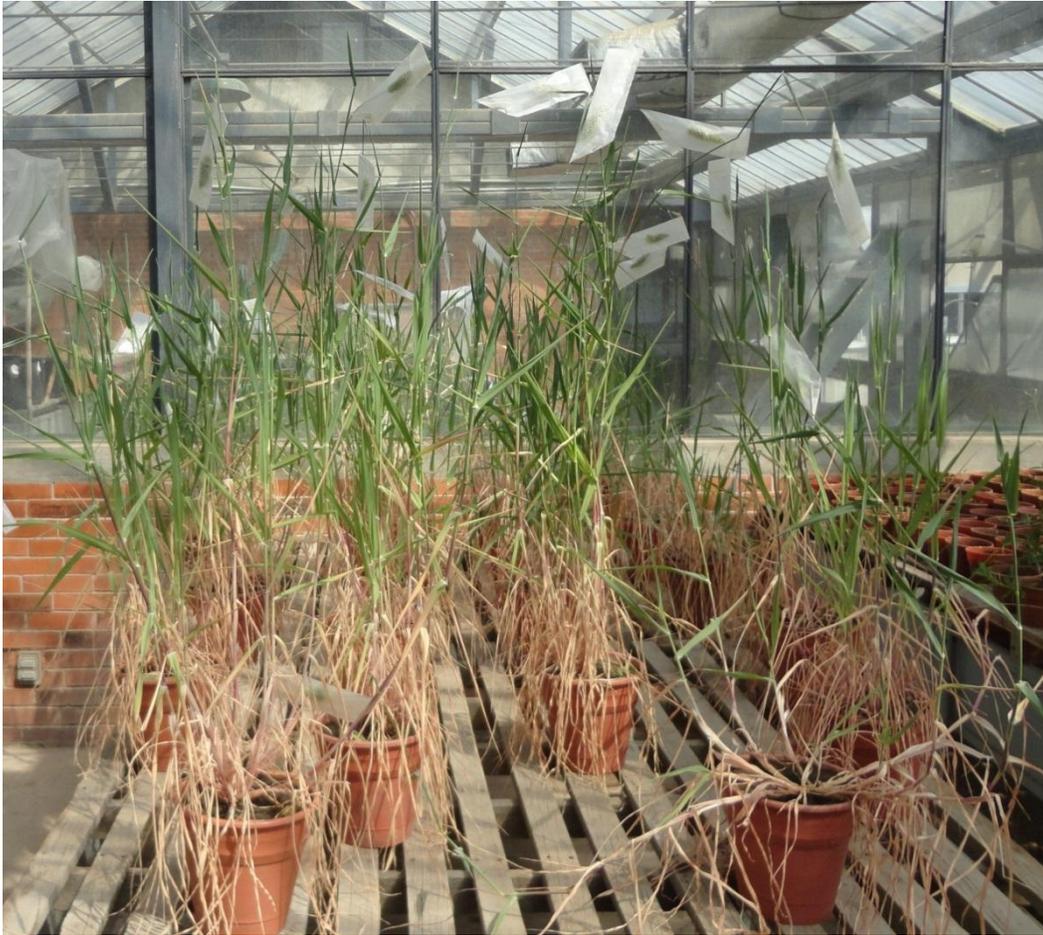


Figura 5. Plantas adultas de *P. minor*.

4.2. Morfología en fase vegetativa de los biotipos de *P. minor* susceptible y resistentes, y cultivares de trigo

Las características morfológicas en la fase vegetativa y sus dimensiones se mantuvieron en las dos etapas del experimento, a pesar de que en el invierno el desarrollo de las plantas fue más lento que en primavera.

Los biotipos de *P. minor*, tanto el susceptible como los resistentes, presentaron claras diferencias respecto a los cultivares de trigo Nana y Cortazar durante la fase vegetativa (Figura 6). Algunas de las características observadas en las que difieren se enlistan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Diferencias morfológicas en la fase vegetativa entre trigo y alpistillo.

Característica	Alpistillo	Trigo
Nervadura de la vaina	Rosa púrpura	Verde
Lígula	Grande, hasta 3 veces más grande que en trigo	Pequeña
Aurícula	Ausente	Presente
Crecimiento inicial (hasta la tercer hoja)	Lento. TC: 1.25 g d ⁻²	Rápido. TC: 6.58 g d ⁻²
Ramificación	En la base y en la parte superior	En la base
Exudado (savia)	Rosa	Transparente

TC: tasa de crecimiento



Figura 6. Biotipos de alpistillo a: Colecta 4 b: Guanajuato, c: Jalisco, d: Colecta 7, e: Susceptible, y cultivares de trigo f: Nana, g: Cortazar, en fase vegetativa.

4.2.1. Ciclo de invierno

En el análisis de componentes principales (CP), los cuatro primeros componentes explicaron el 78% de la variación total (Cuadro 3). De las características

morfológicas evaluadas, los caracteres: diámetro de coleóptilo, longitud y anchura de la primera lámina foliar y la longitud de la tercera lámina foliar fueron las de mayor peso y con valor positivo en el CP 1 (Cuadro 4); las mayores magnitudes en estas características se presentaron en el trigo. Es decir, las plantas de trigo fueron más vigorosas al inicio del crecimiento; al momento de graficar los primeros CP, los cultivares de trigo se ubican en la región positiva del CP 1 (Figura 7).

Otros caracteres importantes dentro del CP 1 fueron: número de culmos, longitud de lígula y porte de la quinta y séptima lámina foliar; estos fueron de mayor magnitud en los biotipos que en los cultivares de trigo, mostrando signo negativo en el Cuadro 4. Los biotipos presentaron lígulas hasta tres veces más grandes que las del trigo, láminas foliares con un porte abierto de hasta 90° y un gran número de culmos secundarios, 13 hasta la séptima hoja expuesta, en comparación con el trigo que produjo de dos a tres culmos por planta.

Dentro del CP 2, los caracteres de mayor peso fueron la longitud de la quinta y séptima hoja. Con estas variables se tienen diferencias entre los biotipos Guanajuato y Susceptible; y la Figura 7 deja ver con este CP una mayor semejanza de esos caracteres entre Susceptible, Colecta 7 y Jalisco principalmente.

Cuadro 3. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en invierno.

Componente principal	Autovalor	Diferencia	Valoración	Acumulada
1	10.9913337	8.7461418	0.5496	0.5496
2	2.2451919	0.9884524	0.1123	0.6618
3	1.2567396	0.1813267	0.0628	0.7247
4	1.0754128	0.1759119	0.0538	0.7784

Cuadro 4. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en invierno.

Variable original	CP1	CP2
Diámetro de coleóptilo	0.284025*	-0.137174
Longitud del coleóptilo	0.216089	-0.102501
Longitud de primera lámina foliar	0.283388*	-0.083707
Anchura de primera lámina foliar	0.285443*	-0.127419
Porte de primera lámina foliar	-0.028136	0.026784
Longitud de tercera lámina foliar	0.282838*	0.092265
Anchura de tercera lámina foliar	0.220141	0.137737
Longitud de lígula de tercera hoja	-0.208599	0.130605
Porte de tercera lámina foliar	-0.022856	0.188944
Número de culmos a tercera hoja	-0.263820*	-0.112278
Longitud de quinta lámina foliar	0.143507	0.513193*
Anchura de quinta lámina foliar	0.215680	0.261009
Longitud de lígula de quinta hoja	-0.248659	0.233995
Porte de quinta lámina foliar	-0.250274*	0.070209
Número de culmos a quinta hoja	-0.246329*	-0.175290
Longitud de séptima lámina foliar	0.038294	0.592115*
Anchura de séptima lámina foliar	0.115627	-0.031206
Longitud de lígula de séptima hoja	-0.264684*	0.196480
Porte de séptima lámina foliar	-0.252484*	0.140346
Número de culmos a séptima hoja	-0.258959*	-0.148634

CP1: componente principal 1, CP2: componente principal 2. *Variables de mayor magnitud asociadas a su componente principal correspondiente.

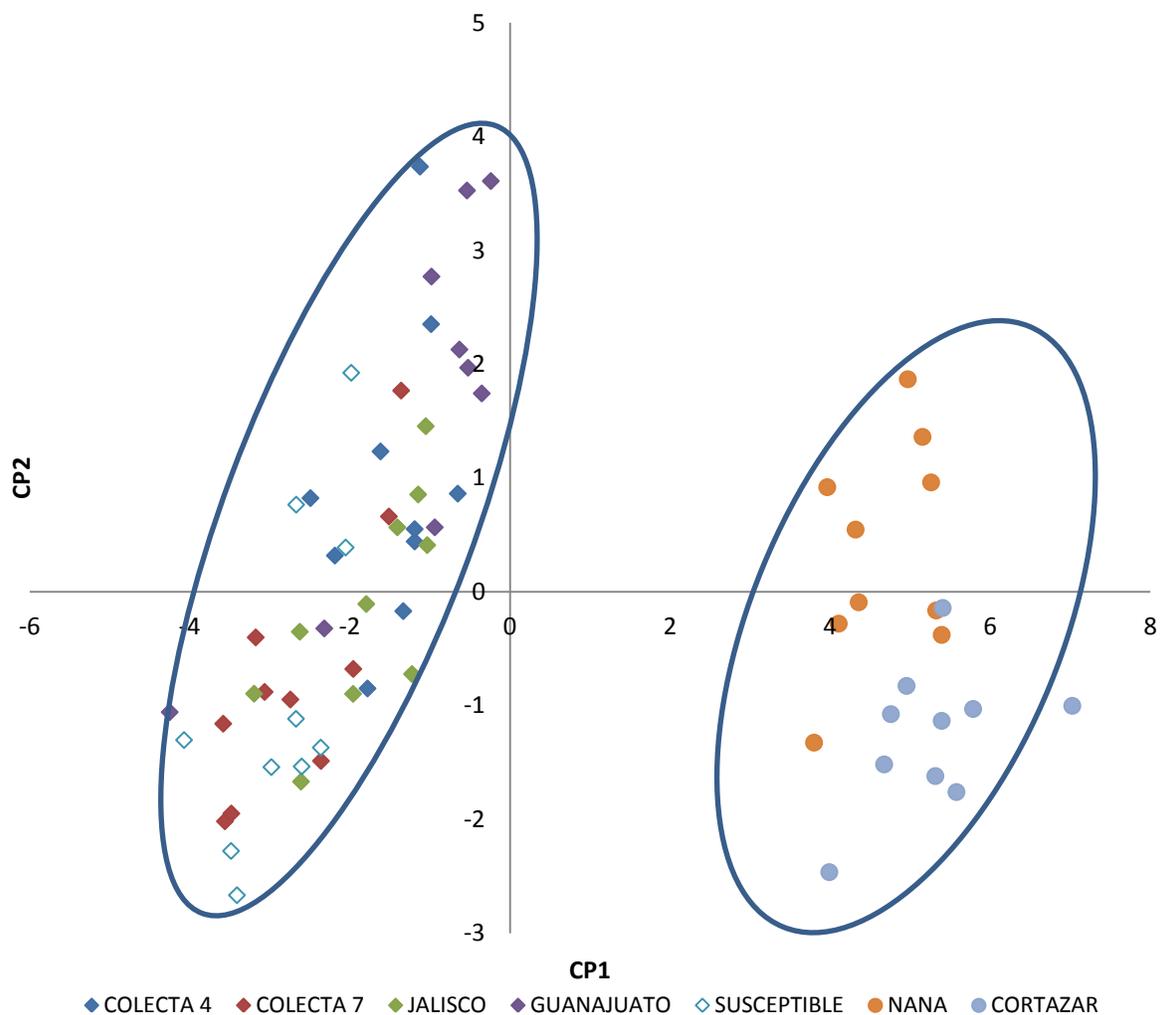


Figura 7. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en invierno.

Con el análisis discriminante, la formación de funciones discriminantes (FD) y el cálculo de distancias de Mahalanobis, se demostró diferencia estadística entre los cultivares y los biotipos de alpistillo y su separación en grupos independientes. Lo anterior debido a las diferencias en dimensiones de los órganos de las plantas medidas. Aun entre algunos biotipos se tuvieron diferencias; la Colecta 7 se separó del resto; la Colecta 4 se separó del Guanajuato; y el Guanajuato del Jalisco (Cuadro 5). La distancia mayor entre los biotipos de alpistillo estuvo dada por la FD 2. Las características morfológicas que mayor peso tuvieron en esta

función fueron: el número de culmos al presentar la séptima hoja expuesta y la longitud de la quinta y la séptima lámina foliar; por lo que la Colecta 7 que se ubica en la región positiva de la FD 2 tuvo la mayor magnitud en estas variables. La separación entre algunos biotipos no es totalmente clara, debido a que existe traslapeo entre las características de ciertos individuos de estos biotipos al momento de graficar las primeras 2 FD (Figura 8).

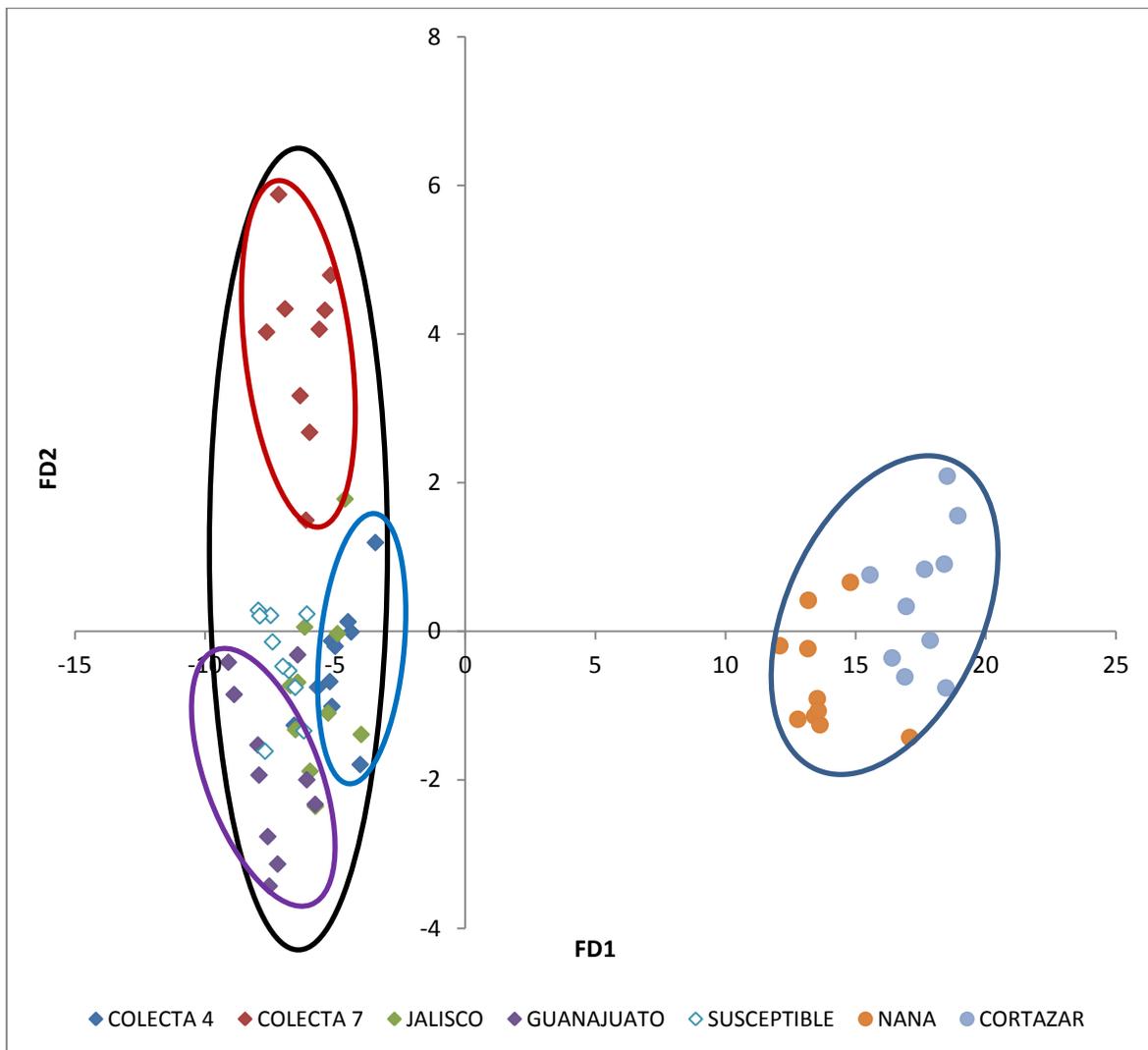


Figura 8. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en invierno.

Cuadro 5. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la distancia de Mahalanobis con la distancia resultante del análisis discriminante de las características morfológicas vegetativas de los biotipos y cultivares de trigo desarrollados en invierno.

Biotipos y cultivares	Biotipos					Cultivares	
	C7	C4	GTO	JAL	SUSC	CORTAZAR	NANA
C7	1.0000	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*
C4		1.0000	0.0010*	0.0075	0.0241	<.0001*	<.0001*
GTO			1.0000	0.0002*	0.0034	<.0001*	<.0001*
JAL				1.0000	0.0918	<.0001*	<.0001*
SUSC					1.0000	<.0001*	<.0001*
CORTAZAR						1.0000	<.0001*
NANA							1.0000

C7: Colecta 7, C4: Colecta 7, GTO: Guanajuato, JAL: Jalisco, SUSC: Susceptible. Valores con * indican diferencia estadística entre los biotipos y cultivares.

4.2.2. Ciclo de primavera

En el análisis de CP, los cuatro primeros CP explicaron el 80% de la variación total (Cuadro 6). De las características morfológicas evaluadas, las de mayor peso en el primer CP fueron: diámetro y longitud de coleóptilo y la anchura y longitud de la primera lámina foliar (Cuadro 7). La magnitud mayor en estas características fue en el trigo y al igual que en el ciclo de invierno, al inicio del crecimiento las plantas de trigo fueron más vigorosas. Esto se observa en la gráfica de los primeros CP, donde los cultivares de trigo se ubican en los cuadrantes negativos del CP 1 (Figura 9), debido a que en la estructura del componente, estas características tienen signo negativo a excepción de la longitud de coleóptilo que es positiva y me mayor magnitud en los biotipos. Otros caracteres importantes en dicho CP fueron: número de culmos, longitud de lígula y porte de la quinta y séptima lámina foliar; estos tuvieron mayor magnitud y de signo positivo en los biotipos que en los cultivares de trigo (Cuadro 7).

En el CP 2 los caracteres de mayor influencia fueron la longitud de la lígula de la tercera hoja y la anchura y longitud de la quinta hoja. Con estas características

morfológicas los biotipos Guanajuato y Colecta 4 presentan mayores magnitudes y se separan del resto de biotipos al momento de graficarlos (Figura 9)

Mediante el análisis discriminante se demostró la diferencia estadística entre los cultivares y los biotipos de alpistillo, estableciendo en un grupo los biotipos y en otro los cultivares. Entre algunos biotipos de alpistillo se tuvieron diferencias; los únicos estadísticamente similares fueron la Colecta 7 y el Guanajuato respecto al Jalisco (Cuadro 8). Los caracteres de mayor peso entre los biotipos fueron la longitud de la lámina de la tercera, quinta y séptima hoja. A pesar de la separación entre los biotipos, al momento de graficar las FD 1 y 2 esta no es totalmente clara, ya que como se puede observar hay traslapo debido a la influencia de los cultivares de trigo (Figura 10). Al realizar este análisis excluyendo a los cultivares de trigo es posible observar una mayor distancia entre los biotipos al momento de graficar (Figura 27: Anexos).

Cuadro 6. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en primavera.

Componente principal	Autovalor	Diferencia	Valoración	Acumulada
1	10.5226519	7.5644850	0.5261	0.5261
2	2.9581669	1.6805047	0.1479	0.6740
3	1.2776622	0.0978458	0.0639	0.7379
4	1.1798165	0.2019920	0.0590	0.7969

Cuadro 7. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpiñillo y cultivares de trigo desarrollados en primavera.

Variable original	CP1	CP2
Diámetro de coleóptilo	-0.288267*	-0.039775
Longitud del coleóptilo	0.279713*	-0.099775
Longitud de primera lámina foliar	-0.268898*	0.052498
Anchura de primera lámina foliar	-0.302614*	0.001445
Porte de primera lámina foliar	0.018353	-0.058102
Longitud de tercera lámina foliar	-0.241098	0.307803
Anchura de tercera lámina foliar	-0.202963	0.292895
Longitud de lígula de tercera hoja	0.133408	0.446687*
Porte de tercera lámina foliar	0.041935	-0.162473
Número de culmos a tercera hoja	0.047161	0.074904
Longitud de quinta lámina foliar	0.001822	0.483214*
Anchura de quinta lámina foliar	-0.220716	0.296680*
Longitud de lígula de quinta hoja	0.251367*	0.282684
Porte de quinta lámina foliar	0.250113*	0.024406
Número de culmos a quinta hoja	0.260997*	0.017754
Longitud de séptima lámina foliar	0.259414	0.158757
Anchura de séptima lámina foliar	-0.171994	0.281493
Longitud de lígula de séptima hoja	0.273286*	0.195916
Porte de séptima lámina foliar	0.264633*	0.091258
Número de culmos a séptima hoja	0.262999*	-0.129508

CP1: componente principal 1, CP2: componente principal 2. *Variables de mayor magnitud asociadas a su componente principal correspondiente.

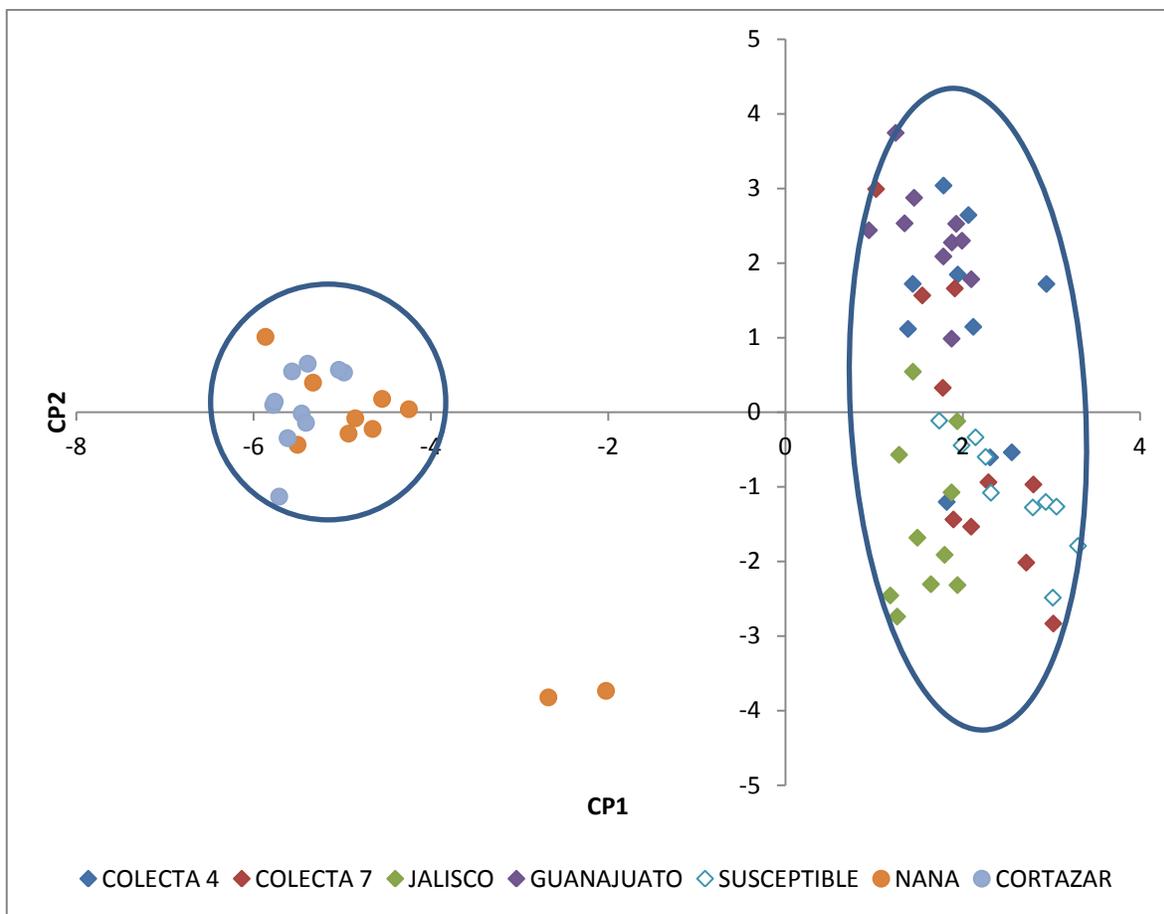


Figura 9. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de las características morfológicas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en primavera.

Cuadro 8. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la distancia de Mahalanobis con la distancia resultante del análisis discriminante de las características morfológicas de los biotipos y cultivares de trigo desarrollados en primavera.

Biotipos y cultivares	Biotipos					Cultivares	
	C7	C4	GTO	JAL	SUSC	CORTAZAR	NANA
C7	1.0000	<.0001*	0.0011*	0.0105	<.0001*	<.0001*	<.0001*
C4		1.0000	0.0011*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*
GTO			1.0000	0.1978	0.0014*	<.0001*	<.0001*
JAL				1.0000	0.0019*	<.0001*	<.0001*
SUSC					1.0000	<.0001*	<.0001*
CORTAZAR						1.0000	<.0001*
NANA							1.0000

C7: Colecta 7, C4: Colecta 7, GTO: Guanajuato, JAL: Jalisco, SUSC: Susceptible. Valores con * indican diferencia estadística entre los biotipos y cultivares.

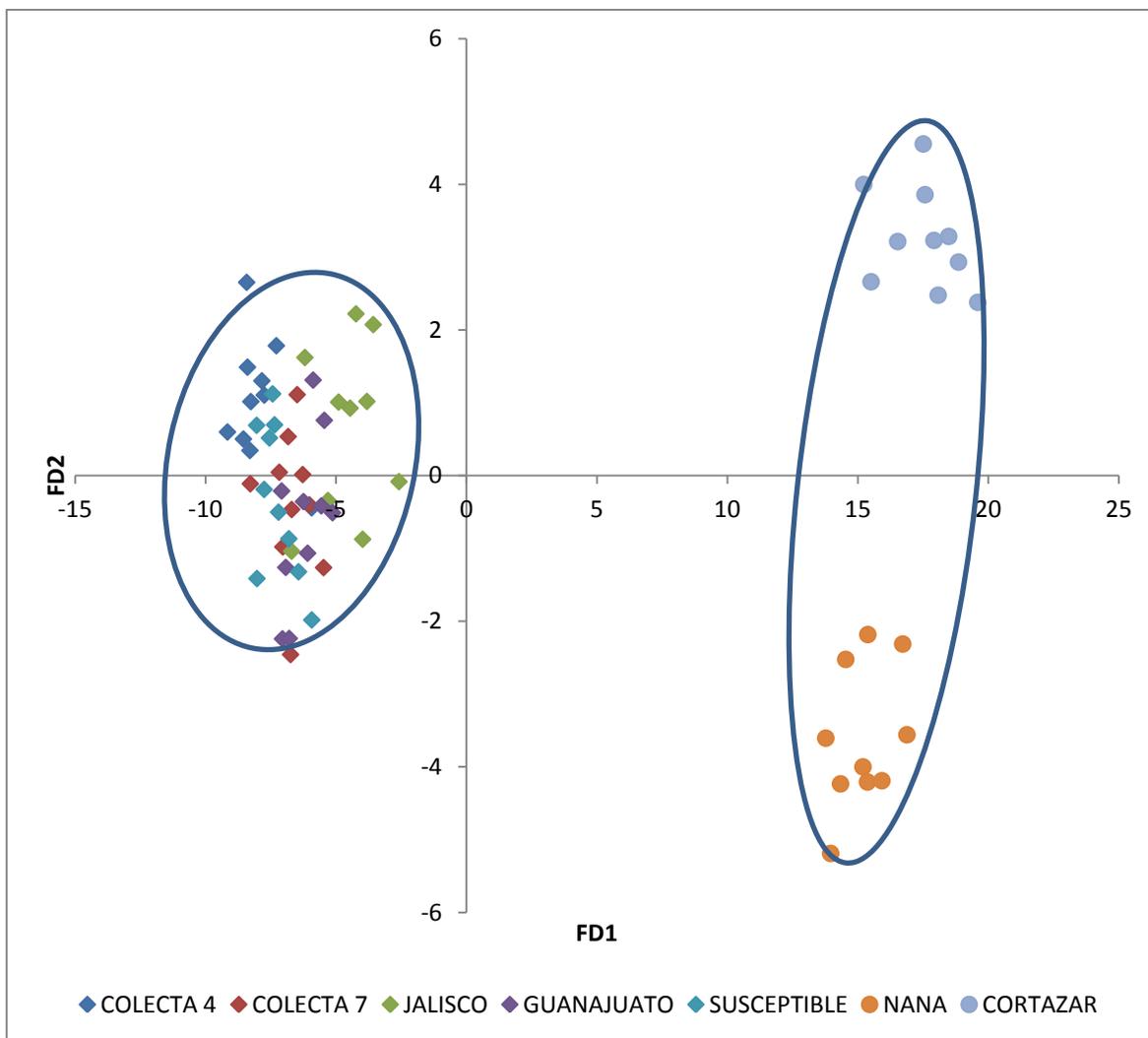


Figura 10. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de las características morfológicas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en primavera.

Al comparar los resultados del análisis de CP, tanto en invierno como en primavera, es posible establecer que en ambos ciclos las mismas características morfológicas tienen el mayor peso en la separación de biotipos y cultivares y entre biotipos.

En el inicio del crecimiento, tanto el ancho y largo del coleóptilo y la primera lámina foliar son de mayores dimensiones en los cultivares de trigo que en alpistillo. Se considera que la tasa de crecimiento está relacionado con el tamaño de la semilla de las especies (Layne-Garsaball *et al.*, 2007; Huerta-Paniagua y Rodríguez-

Trejo, 2011). El trigo tiene una semilla más grande, por lo tanto, el tamaño del embrión y el endospermo es mayor, lo que le da ventaja inicial de crecimiento cuando las condiciones son idóneas para reanudar dicho crecimiento.

Los biotipos de alpistillo produjeron láminas foliares de tamaño similar a las del trigo a partir de la quinta hoja. Por lo que cuando esto sucede, otras características tales como el tamaño de la lígula, el porte de la lámina foliar y la cantidad de culmos por planta, toman relevancia para la separación estadística entre ellos. En la fase vegetativa, los biotipos de alpistillo presentaron hasta 13 culmos por planta, en comparación a los 2 o 3 producidos por el trigo. La longitud de la lígula en los biotipos fue tres veces más grande que la del trigo. El porte de las láminas foliares fue en promedio de 90° en los biotipos mientras que en el trigo que fue de 30°. Características similares para la diferenciación entre la maleza y el cultivo son reportadas por Yavad y Malik (2005) en una extensa revisión de *P. minor*.

Las plantas de alpistillo presentan similitudes morfológicas con el trigo en la fase vegetativa, pero con la observación y el conocimiento de su morfología es posible diferenciarlas en campo. Aunque esto es factible, se considera que en campo muchas veces no son identificadas y escapan a las medidas de control aun de personas experimentadas (FAO, 1984; Tominaga y Yamasue, 2004; Radosevich *et al*, 2007). Dadas estas similitudes, es posible que exista mimetismo del alpistillo con el trigo en la fase vegetativa que le confiere mayores posibilidades de sobrevivencia, principalmente al control manual. El mimetismo, además, puede aumentar las posibilidades de sobrevivencia de la maleza al control químico, debido a que es necesario el hacer la detección de su presencia y para esto se requiere la identificación.

Según Barrett (1983) quien estudió el mimetismo en malezas, cuando se presenta en la fase vegetativa entre los cultivos y la maleza es difícil de evaluar. Sin embargo, algo parecido a esto ocurre con especies de malezas gramíneas asociadas a cultivo de cereales. Lo anterior no siempre se considera mimetismo en sentido estricto, ya que no hay una evolución genética de las poblaciones de maleza, sino que las especies solo son similares en su desarrollo vegetativo.

Existen especies en las cuales se ha estudiado la modificación en su morfología para mimetizarse con el cultivo al cual están asociadas y aunque esto ocurre, en algunos casos ha sido posible establecer características distintivas para la identificación. Uno de los casos más claros es el de *Echinochloa crus-galli* var. oryzicola, la cual presenta mayores similitudes morfológicas con el cultivo de arroz que con otras variedades de su misma especie (Barrett, 1983). Otras especies del género *Echinochloa* han sido estudiadas con el propósito de observar las similitudes morfológicas con el cultivo de arroz (Ruiz-Santaella *et al.*, 2006); los resultados de estas investigaciones separaron estadísticamente las especies. En el caso de los biotipos de *E. crus-galli* se ha relacionado el grado de susceptibilidad a herbicidas con la morfología, además de observar las similitudes con el arroz (Malik *et al.*, 2003).

El arroz rojo es una de las malezas más importantes en el cultivo de arroz debido a las dificultades de su control. Esta maleza ha sido estudiada para realizar su caracterización morfológica y compararla con el cultivo de arroz. Ortiz *et al.* (2002) y Esqueda (2003) estudiaron la morfología de biotipos de arroz rojo y variedades de arroz comercial para determinar diferencias que ayudaran a la identificación y establecer estrategias de control; con esto se determinaron características morfológicas, aun de la fase vegetativa, para diferenciar a la maleza del cultivo. Ortiz *et al.* (2008) y Sánchez *et al.* (2009) mediante la caracterización morfológica de arroz y arroz rojo pudieron estudiar el proceso de hibridación y ello les permitió entender cómo se da el flujo de genes de un cultivo a la maleza o viceversa.

En el alpistillo, la similitud en la morfología con el cultivo de trigo en la fase vegetativa no tiene relación con la resistencia a herbicidas. El parecido es debido a la estrecha relación que tiene esta maleza con los cereales y a su co-evolución (Barrett, 1983). Aun así, con la observación detallada es posible distinguir la maleza del cultivo.

4.3. Caracterización morfológica de biotipos de *P. minor* susceptible y resistentes

4.3.1. Descripción morfológica de los biotipos

Colecta 4. Plantas de porte medio, de 85 a 100 cm de altura. Crecimiento en ocasiones decumbente. En condiciones de no competencia produce en promedio 17 culmos en invierno y siete en primavera. Lámina foliar de hasta 1 cm de ancho y hasta 35 cm de largo. El número de hojas sobre el culmo principal varía, en invierno en promedio 17 y en primavera 11. El número de panículas por planta es bajo, en concordancia con su número de culmos. Las dimensiones de la panícula se mantuvieron constantes en ambos periodos de desarrollo, la longitud es de aproximadamente 5.6 cm. El número de frutos por inflorescencia es de 270 a 280. El tamaño de los frutos es de 2.6 mm de largo y 1.3 mm de ancho. En la mayoría de sus características la Colecta 4 es similar al Guanajuato.

Colecta 7. Plantas de porte bajo, de 79 a 85 cm de altura. Crecimiento en ocasiones decumbente. En condiciones de no competencia produce en promedio 19 culmos en invierno y 11 en primavera. Las láminas foliares son angostas y cortas, de hasta 8 mm de ancho y 29 cm de largo. El número de hojas sobre el culmo principal varía, en invierno en promedio 17 y en primavera 11. El número de panículas por planta es alto, en concordancia con el gran número de culmos. Las dimensiones de la panícula se mantuvieron constantes en ambos periodos de desarrollo, la longitud es de aproximadamente 5.6 cm. El número de frutos por inflorescencia es de 275 a 280. Los frutos tienen un tamaño aproximado de 2.6 mm de largo y 1.3 mm de ancho. En la mayoría de sus características la Colecta 7 es similar al Susceptible.

Guanajuato. Plantas de porte medio, de 87 a 110 cm de altura. Crecimiento en ocasiones decumbente. En condiciones de no competencia produce en promedio 10 culmos en invierno y cinco en primavera. Lámina foliar de hasta 1.1 cm de ancho y hasta 40 cm de largo. El número de hojas sobre el culmo principal varía,

en invierno en promedio 17 y en primavera 12. El número de panículas por planta es bajo. Las dimensiones de la panícula de aproximadamente 6.7 cm. El número de frutos por inflorescencia es de 293. Los frutos son de tamaño medio, de 2.6 mm de largo y 1.3 mm de ancho. En la mayoría de sus características el Guanajuato es similar a la Colecta 4.

Jalisco. Plantas de porte alto, de 87 a 115 cm de altura. Crecimiento erecto. En condiciones de no competencia produce hasta 14 culmos en invierno y seis en primavera. Lámina foliar de hasta 7 mm de ancho y hasta 27 cm de largo), además, las hojas son erectas, pocas veces laxas. El número de hojas sobre el culmo principal varía, en invierno en promedio 21 y en primavera 13. El número de panículas por planta es en promedio 14 por planta. Las dimensiones de la panícula de aproximadamente 5.6 cm de longitud. El número de frutos por inflorescencia es de 270. Los frutos son de tamaño grande, de 2.9 mm de largo y 1.5 mm de ancho.

Susceptible. Plantas de porte bajo, de 82 a 110 cm de altura. Crecimiento en ocasiones decumbente. En condiciones de no competencia produce un número de culmos grande, hasta 21 en invierno y siete en primavera. Las láminas foliares son angostas y cortas, hasta de 8.5 mm de ancho y 30 cm de largo. El número de hojas sobre el culmo principal varía, en invierno en promedio 20 y en primavera 13. El número de panículas por planta es alto, en concordancia con el mayor número de culmos. Panícula de aproximadamente 5.6 cm de longitud. El número de frutos por inflorescencia es de aproximadamente 317. Los frutos son de tamaño medio, de 2.6 mm de largo y 1.3 mm de ancho. En la mayoría de sus características el Susceptible es similar a la Colecta 7.

Cuadro 9. Valores promedio (mm) de los caracteres morfológicos medidos en los biotipos de *P. minor* desarrollados en invierno

Caracteres	Colecta 4	Colecta 7	Jalisco	Guanajuato	Susceptible
dc	0.72	0.6	0.7	0.6	0.5
lc	5.3	6.2	3	4.5	4.4
lph	70.9	65.5	65.4	74	64.1
aph	1.4	1.4	1.1	1.0	0.9
lth	207.6	156.5	184.8	203.3	160.1
ath	4.5	4.5	3.6	4.7	3.4
llth	2.3	2.3	2.4	2.3	2.3
ntth	1.6	2.9	1.7	1.6	2.3
lqh	245.7	210.4	216.5	258.3	202.4
aqh	7.6	6.6	7.1	7.6	6.7
llqh	4.6	3.7	4	4.9	4.3
ntqh	6.4	9.5	6	4.9	7.4
lsh	290.2	282.2	275.5	320.5	246.3
ash	8.5	7.6	7.5	9.1	7.3
llsh	5.1	5.3	5	5.8	5.1
ntsh	11.9	16.8	10.3	8.4	13.3
lnh	332.3	359.9	366.6	407.2	332.2
anh	9.3	9.13	9.1	11.5	8.4
llnh	5.9	6.6	6.0	6.9	6.6
ncnh	16.5	18.7	14.1	10	21.3
nh	17.6	17.4	20.6	17.6	19.9
hp	1008.4	840.8	1058.4	1162.7	1130.4
ni	16.5	18.7	14.1	10	21.3
lp	55.8	51.6	51.8	66.5	53.7
ap	13.8	13.6	13.1	13.4	14.3
nf	275.5	281.2	269.7	293.1	317
af	1.3	1.3	1.4	1.2	1.3
lf	2.6	2.6	2.8	2.5	2.6

dc: Diámetro de coleóptilo, lc: Longitud de coleóptilo, lph: Longitud de primera lámina foliar, aph: anchura de primera lámina foliar, lth: Longitud de tercera lámina foliar, ath: anchura de tercera lámina foliar, llth: Longitud de lígula de tercera hoja, lqh: Longitud de quinta lámina foliar, aqh: anchura de quinta lámina foliar, llqh: Longitud de lígula de quinta hoja, lsh: Longitud de séptima lámina foliar, ash: anchura de séptima lámina foliar, llsh: Longitud de lígula de séptima hoja, lnh: Longitud de novena lámina foliar, anh: Anchura de novena lámina foliar, llnh: Longitud de lígula de novena hoja, ncnh: Número de culmos a la novena hoja, hp: Altura de la planta, nh: Número de hojas por culmo, ni: Número de inflorescencias, lp: Longitud de panícula, ap: Anchura de panícula, af: Anchura del fruto y lf: Longitud del fruto.

El hábito de crecimiento fue diferente en los biotipos; el Jalisco tuvo un crecimiento erecto, los biotipos Guanajuato y Colecta 4 un crecimiento ligeramente decumbente, y el Susceptible y Colecta 7 claramente decumbente. Los biotipos que producen mayor número de culmos fueron el Susceptible y el resto con un número menor (Cuadro 9). Esto se ve reflejado en la acumulación de biomasa y en el número de inflorescencias y por tanto en la cantidad de frutos producidos.

En las dimensiones de las láminas foliares también hubo diferencias. El Guanajuato y la Colecta 4 presentaron láminas de mayores dimensiones, más anchas y largas y con apariencia laxa; a diferencia de estos, el Susceptible y la Colecta 7 tuvieron hojas angostas y más cortas aunque laxas; el Jalisco presentó hojas también angostas y cortas pero no laxas. Estas características dieron a los biotipos Guanajuato y Colecta 4 la apariencia de mayor vigor.

Respecto al número de hojas por culmo principal, el Susceptible y el Jalisco produjeron aproximadamente 20 hojas, mayor que el resto de los biotipos, y al producir mayor cantidad de hojas antes de la diferenciación foliar hace que tenga mayor altura de planta. La mayor altura de los biotipos podría ser una ventaja en la aptitud al momento de establecerse en competencia, ya que aquellos más altos podrán captar mayor luz y provocar sombreado en los menos altos.

En cuanto a las dimensiones de la inflorescencia y los frutos no existieron diferencias marcadas, a excepción del Jalisco que presentó frutos de tamaño grande en comparación con el resto de biotipos.

Al desarrollarse en el ciclo de invierno, todos los biotipos presentaron mayor altura, producción de culmos y hojas. Esto posiblemente se deba a las diferencias en la duración del fotoperiodo y las temperaturas registradas en los dos ciclos. Durante el ciclo de invierno se presentaron temperaturas más bajas y un fotoperiodo más corto, lo que provocó que el ciclo biológico de la especie se extendiera más tiempo antes de la diferenciación floral.

4.3.2. Comparación morfológica cuantitativa

Los biotipos de alpistillo con los que se trabajó, a pesar de provenir de localidades geográficamente cercanas, algunos presentaron características morfológicas distintas que los separaron y otros semejantes que los agruparon. Esto es atribuible posiblemente al origen del desarrollo de la resistencia.

Durante el transcurso de ambas etapas del experimento, invierno y primavera, los biotipos presentaron las mismas tendencias en los valores de las características evaluadas. Sin embargo, es necesario aclarar que durante el desarrollo en invierno todos los biotipos presentaron mayores dimensiones en variables como por ejemplo: altura y número de culmos.

De las características morfológicas evaluadas, solo algunas tuvieron más peso en la variabilidad entre los biotipos, principalmente las relacionadas con dimensiones de lámina foliar, número de culmos y altura de la planta.

4.3.2.1. Ciclo de invierno

Con el análisis de CP, los primeros 8 componentes generados explicaron el 79% de la variación total entre los biotipos (Cuadro 10). En el CP 1, las características morfológicas de mayor peso para la variabilidad fueron la longitud y anchura de lámina foliar de la tercera, quinta y séptima hoja. En el CP 2, la altura de las plantas y número de hojas por culmo y la anchura de la primera lámina foliar fueron importantes (Cuadro 11). Al hacer la representación gráfica de estos dos primeros CP es posible observar un ordenamiento en relación al CP 1 en el que el biotipo Guanajuato presenta mayor longitud y anchura de hojas, seguido de la Colecta 4, y sucesivamente el Jalisco, la Colecta 7 y finalmente el Susceptible; Sin embargo, existe bastante traslapo entre estos biotipos (Figura 11). Este patrón de distribución entre los biotipos posiblemente se deba a las relaciones que existieron en el desarrollo de la resistencia en estos.

Cuadro 10. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

Componente principal	Autovalor	Diferencia	Valoración	Acumulada
1	6.58789351	3.72391645	0.2864	0.2864
2	2.86397706	0.63368259	0.1245	0.4110
3	2.23029448	0.59645988	0.0970	0.5079
4	1.63383460	0.13322009	0.0710	0.5790
5	1.50061451	0.30756626	0.0652	0.6442
6	1.19304825	0.12589902	0.0519	0.6961
7	1.06714922	0.03425358	0.0464	0.7425
8	1.03289564	0.26650205	0.0449	0.7874

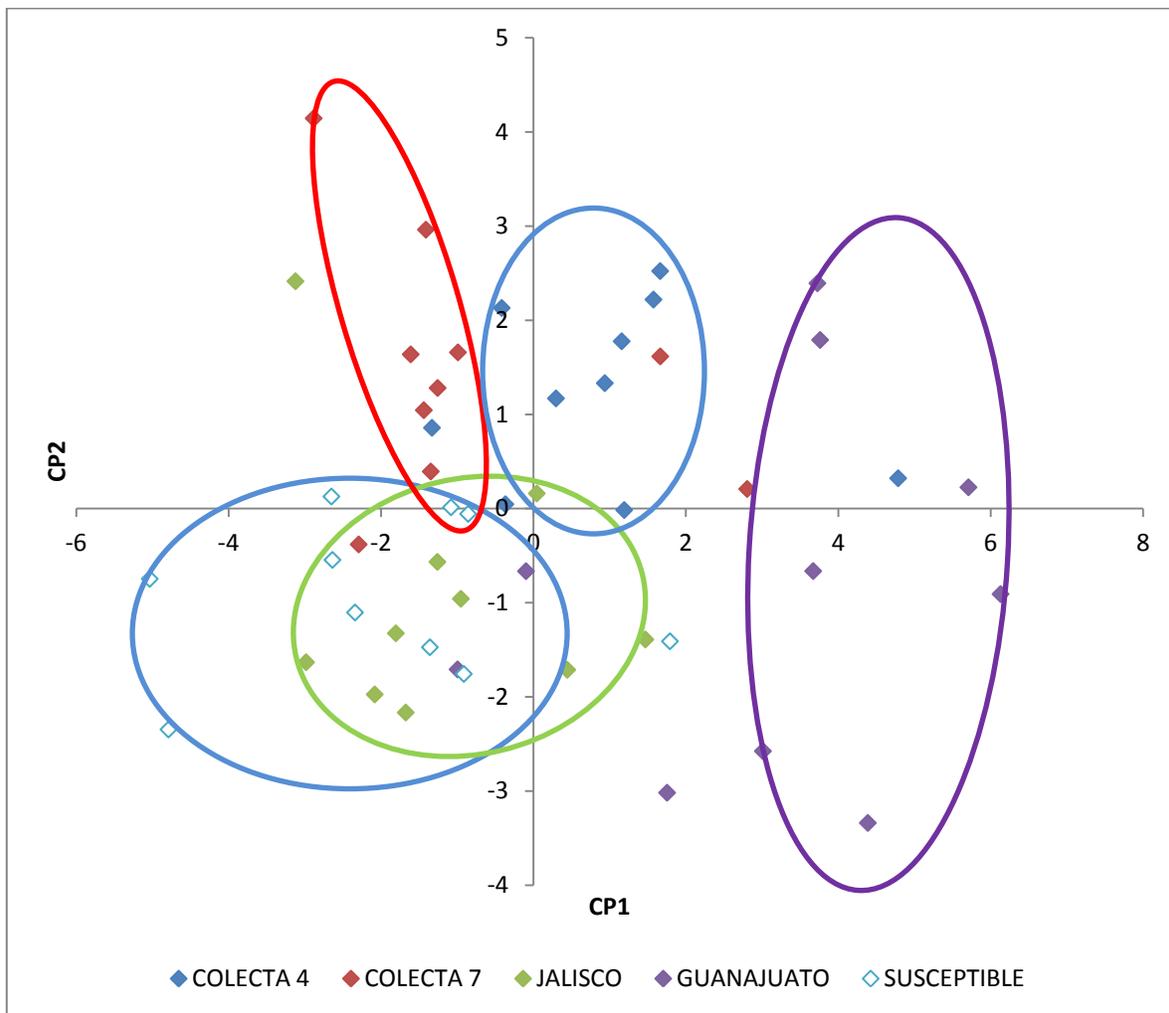


Figura 11. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

Cuadro 11. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

Variable original	CP1	CP2
Diámetro de coleóptilo	0.048362	0.286640
Longitud de coleóptilo	0.057870	0.332225
Longitud de primera lámina foliar	0.211308	0.246562
Anchura de primera lámina foliar	0.068902	0.421434*
Longitud de tercera lámina foliar	0.285478*	0.040417
Anchura de tercera lámina foliar	0.268097	0.289493
Longitud de lígula de tercera hoja	0.014133	0.171895
Longitud de quinta lámina foliar	0.355799*	0.018705
Anchura de quinta lámina foliar	0.285835*	-0.042326
Longitud de lígula de quinta hoja	0.173944	-0.004217
Longitud de séptima lámina foliar	0.331870*	-0.059656
Anchura de séptima lámina foliar	0.337938*	-0.094508
Longitud de lígula de séptima hoja	0.177365	0.090148
Longitud de novena lámina foliar	0.242530	-0.260250
Anchura de novena lámina foliar	0.270356	-0.126651
Longitud de lígula de novena hoja	0.143447	0.032373
Número de culmos a la novena hoja	-0.266563	0.258157
Altura de la planta	0.114668	-0.355713*
Número de hojas por culmo	-0.143689	-0.376089*
Longitud de panícula	0.149016	-0.056540
Anchura de panícula	-0.017237	-0.057058
Anchura del fruto	-0.103775	0.073218
Longitud del fruto	-0.079862	0.007046

CP1: componente principal 1, CP2: componente principal 2. *Variables de mayor magnitud asociadas a su componente principal correspondiente.

Con el análisis discriminante, se determinó que existen diferencias estadísticas entre los biotipos, excepto entre el Jalisco y el susceptible (Cuadro 12). En la representación gráfica de las primeras dos FD en un plano ortogonal, se observa que aunque hubo diferencias estadísticas entre los biotipos, existe poca distancia entre algunos de ellos, lo que indica cierta relación debido a su origen en común. El Guanajuato y la Colecta 4 se encuentran más relacionados entre sí que con el resto de biotipos; de igual forma el Jalisco y el Susceptible presentaron ciertas similitudes que los acercan (Figura 12).

De igual forma que en el análisis de CP, las variables detectadas en el análisis discriminante con mayor peso y por tanto asociadas a la variabilidad entre los biotipos son las mismas. Entre ellas destacan el ancho y largo de la quinta, séptima y novena lámina foliar, altura de la planta y número de hojas por culmo.

Cuadro 12. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la distancia de Mahalanobis con la distancia cuadrada resultante del análisis discriminante de las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

Biotipos	C7	C4	GTO	JAL	SUSC
C7	1.0000	0.0004*	<.0001*	<.0001*	<.0001*
C4		1.0000	0.0012*	0.0022*	<.0001*
GTO			1.0000	0.0001*	0.0002*
JAL				1.0000	0.0273
SUSC					1.0000

C7: Colecta 7, C4: Colecta 7, GTO: Guanajuato, JAL: Jalisco, SUSC: Susceptible. Valores con * indican diferencia estadística entre los biotipos.

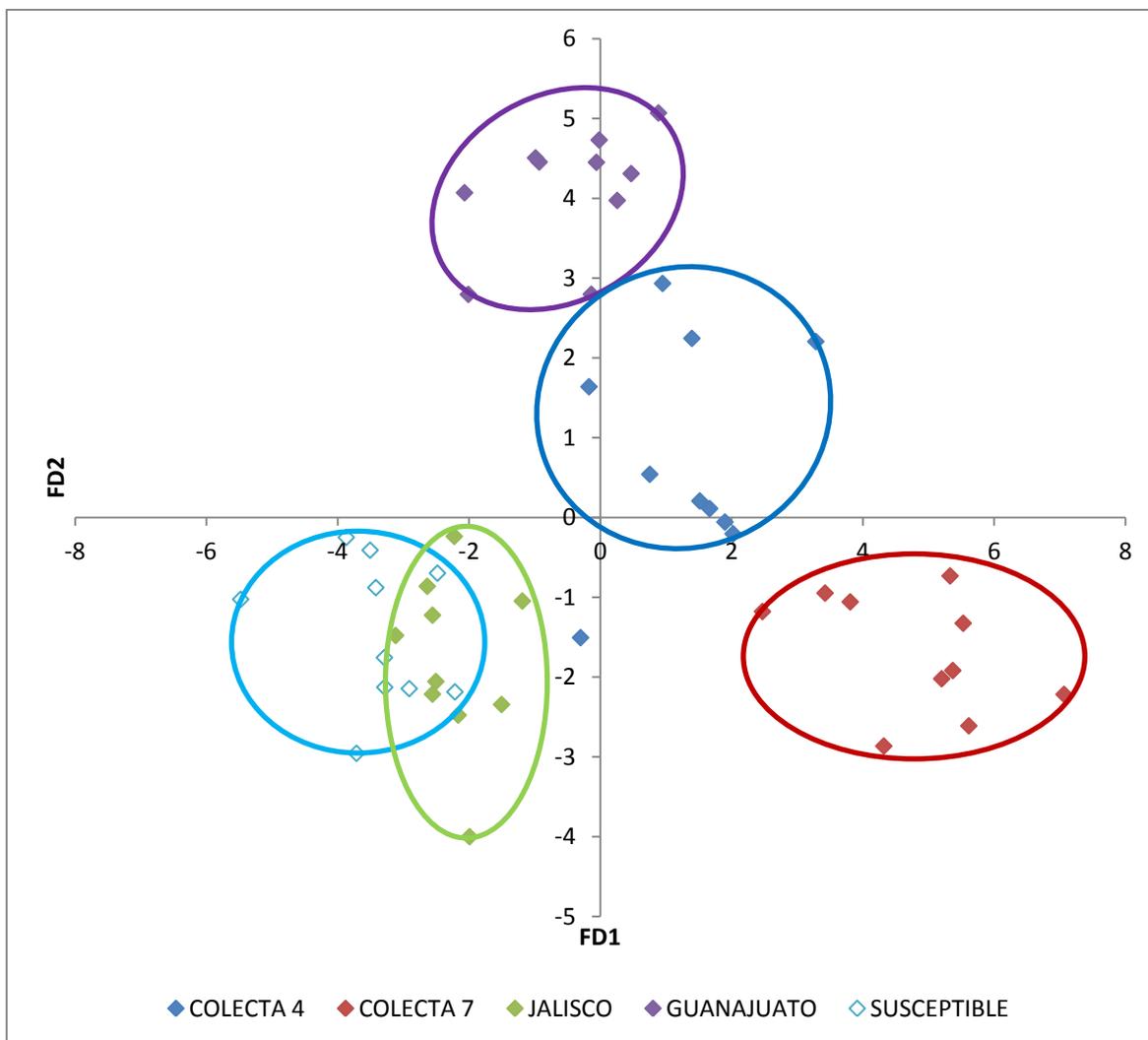


Figura 12. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

4.3.2.2. Ciclo de primavera

Con el análisis de CP, en este caso los primeros seis CP explicaron el 74% de la variación total entre los biotipos (Cuadro 13). De las características morfológicas consideradas, las que tuvieron mayor peso en el CP 1 fueron: longitud de tercera y quinta lámina foliar, longitud de lígula de tercera, quinta y novena hoja, anchura de quinta y séptima lámina foliar y la longitud de panícula; en el CP 2 fueron: longitud y anchura de novena lámina foliar y número de hojas por culmo (Cuadro 14).

Con este análisis se estableció un patrón en las relaciones entre los biotipos, en el que se muestra que el Guanajuato y la Colecta 4 fueron similares en las principales características morfológicas. El Susceptible y la Colecta 7 compartieron principalmente las características de mayor peso en el CP 1, sin embargo existe cierta separación entre ellos por características como el número de hojas. El Jalisco, se ubicó entre estos últimos, pero su similitud con ellos no fue tan clara (Figura 13).

Cuadro 13. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a las características morfológicas de los biotipos de alpiñillo desarrollados en primavera.

Componente principal	Autovalor	Diferencia	Valoración	Acumulada
1	8.30510638	5.10429831	0.3611	0.3611
2	3.20080807	1.54164757	0.1392	0.5003
3	1.65916051	0.18525632	0.0721	0.5724
4	1.47390419	0.20937396	0.0641	0.6365
5	1.26453023	0.19281689	0.0550	0.6915
6	1.07171334	0.11446466	0.0466	0.7381

Cuadro 14. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.

Variable original	CP1	CP2
Diámetro de coleóptilo	0.117653	-0.006675
Longitud de coleóptilo	-0.062885	-0.141032
Longitud de primera lámina foliar	0.099304	-0.141564
Anchura de primera lámina foliar	0.221372	-0.132599
Longitud de tercera lámina foliar	0.312812*	-0.069736
Anchura de tercera lámina foliar	0.247878	-0.140924
Longitud de lígula de tercera hoja	0.295700*	-0.049623
Longitud de quinta lámina foliar	0.310921*	0.019916
Anchura de quinta lámina foliar	0.278185*	0.078468
Longitud de lígula de quinta hoja	0.282905*	0.068572
Longitud de séptima lámina foliar	0.199603	0.357436
Anchura de séptima lámina foliar	0.257279*	0.204429
Longitud de lígula de séptima hoja	0.220244	0.032839
Longitud de novena lámina foliar	-0.102009	0.488650*
Anchura de novena lámina foliar	-0.044199	0.505349*
Longitud de lígula de novena hoja	0.254647*	0.119394
Número de culmos a la novena hoja	-0.218972	-0.078790
Altura de la planta	0.046845	0.197578
Número de hojas por culmo	-0.094504	0.406411*
Longitud de panícula	0.241484*	-0.076020
Anchura de panícula	-0.218897	0.050773
Anchura del fruto	0.003063	-0.032837
Longitud del fruto	-0.159530	-0.071491

CP1: componente principal 1, CP2: componente principal 2. *Variables de mayor magnitud asociadas a su componente principal correspondiente.

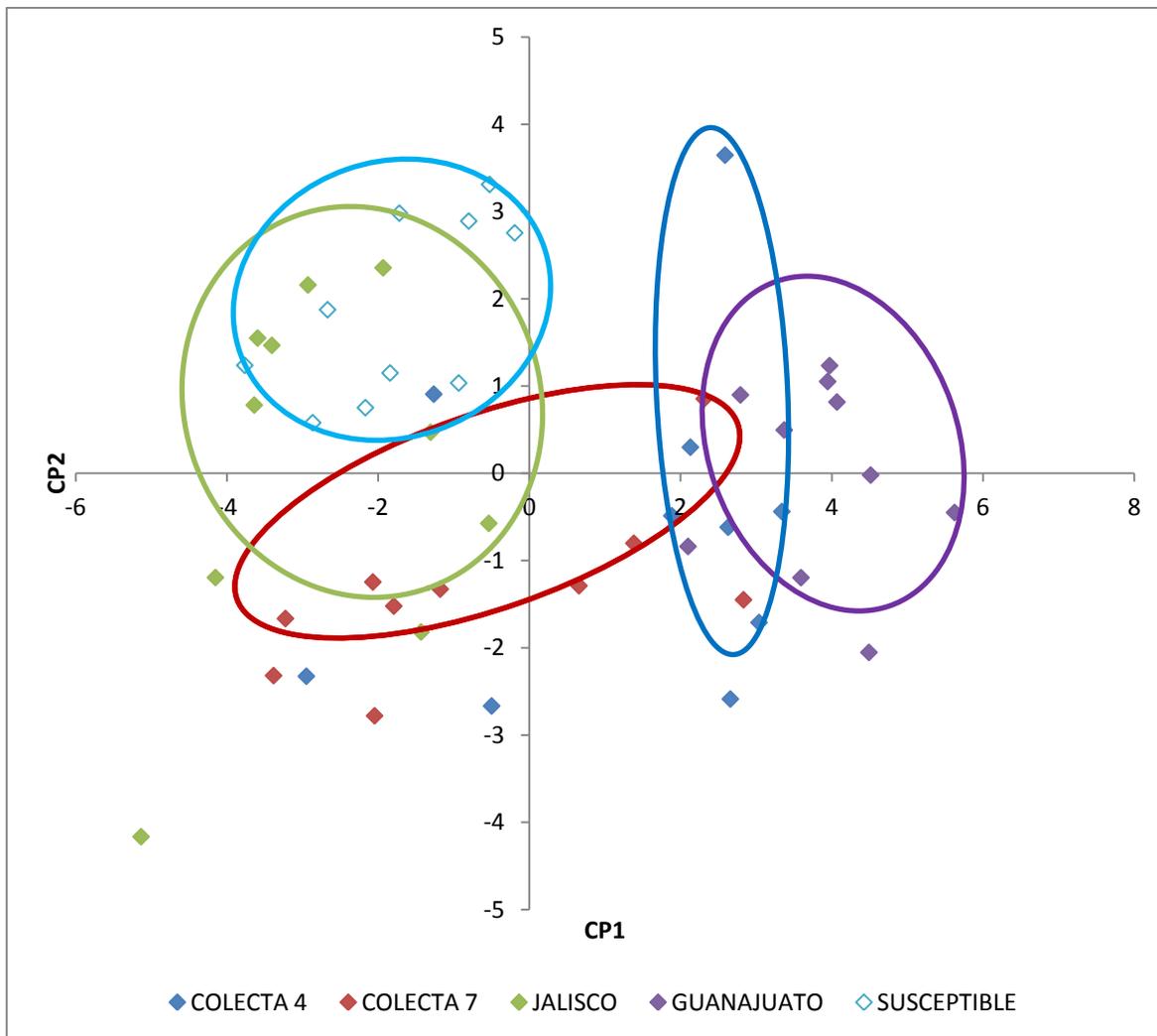


Figura 13. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.

Al establecer los biotipos en la segunda etapa, con ayuda del análisis discriminante, se determinó que existen diferencias entre algunos de ellos. Los únicos que no presentaron diferencia estadística fueron la Colecta 4 y el Susceptible (Cuadro 15). Las distancias calculadas de los centroides en el FD 1 fueron variables. Utilizando estas distancias, es posible establecer la cercanía entre algunos biotipos, y formar tres grupos; uno integrado por el Guanajuato y la Colecta 4, otro por el Susceptible y la Colecta 7, y el último únicamente por el Jalisco (Figura 14).

Cuadro 15. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la Distancia de Mahalanobis con la distancia cuadrada resultante del análisis discriminante de las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.

Biotipos	C7	C4	GTO	JAL	SUSC
C7	1.0000	0.0023*	0.0002*	0.0047*	0.0014*
C4		1.0000	0.0094*	<.0001*	0.0119
GTO			1.0000	<.0001*	0.0004*
JAL				1.0000	0.0006*
SUSC					1.0000

C7: Colecta 7, C4: Colecta 7, GTO: Guanajuato, JAL: Jalisco, SUSC: Susceptible. Valores con * indican diferencia estadística entre los biotipos.

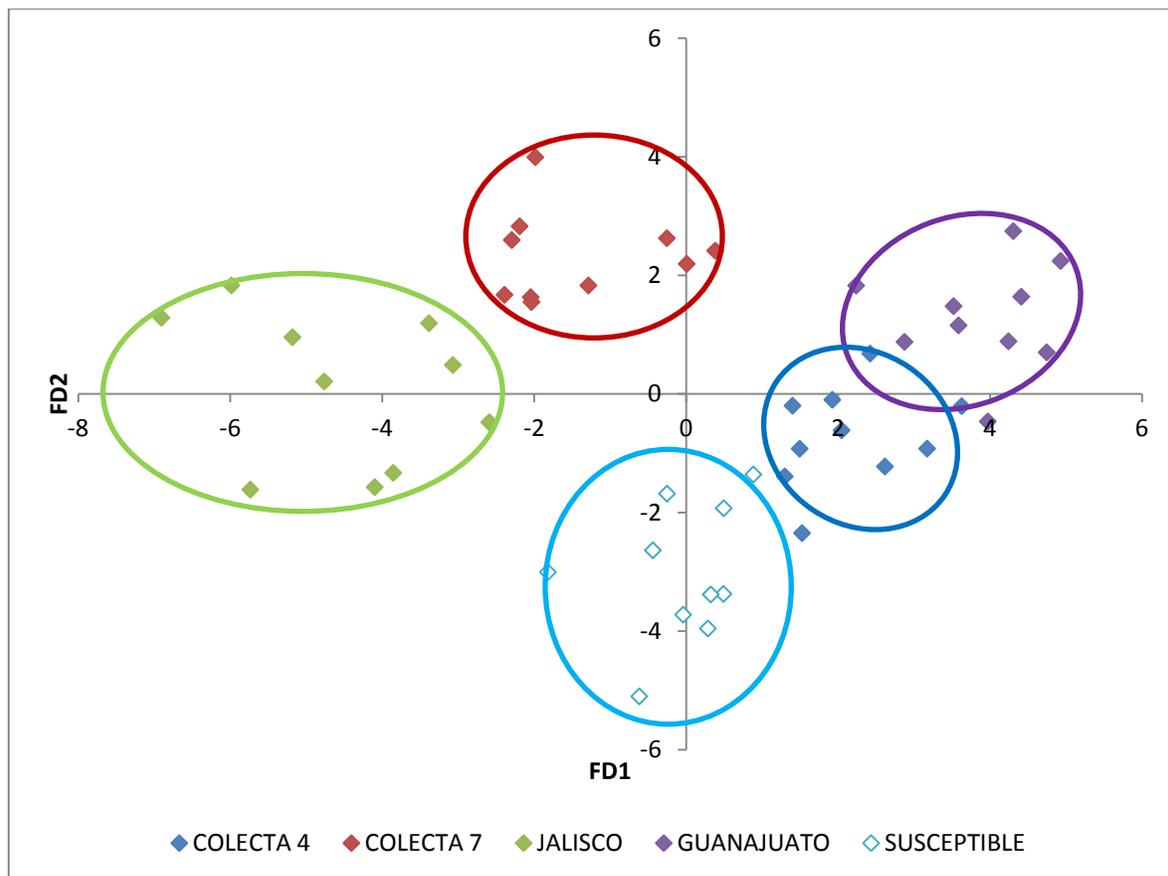


Figura 14. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.

En la comparación morfológica de los biotipos se tuvieron resultados similares en ambas etapas del experimento y se establecieron diferencias o similitudes entre ellos que ayudaron a dilucidar posibles relaciones. Lo anterior ayuda a reafirmar la confiabilidad de los resultados obtenidos en cada etapa.

Al analizar los resultados obtenidos se encontró que las características responsables de la mayor diversidad entre los biotipos son constantes. Los caracteres de mayor peso fueron: ancho y largo de quinta, séptima y novena lámina foliar, número de hojas por culmo y la altura de la planta. Con ayuda de las variables estudiadas se demostró que cada biotipo es diferente; solo en algunos casos existe un reducido traslapeo entre ellos. Además, se tuvieron diferencias entre las distancias calculadas entre los biotipos por lo que es posible hacer agrupaciones entre ellos.

Los biotipos que tuvieron mayor cercanía fueron el Guanajuato y la Colecta 4, independientemente a estos el Susceptible y la Colecta 7 formaron otro grupo, y el Jalisco estuvo separado del resto.

Con los resultados obtenidos no es posible aseverar que los biotipos de alpistillo resistentes a herbicidas son diferentes al Susceptible, ni que la morfología esté ligada a la resistencia, debido a que no existe una separación que así lo muestre. Además, para llegar a ese tipo de conclusiones se necesitaría una mayor cantidad de colectas susceptibles y así poder establecer la relación entre la morfología y el grado de susceptibilidad.

Cabe aclarar que la hipótesis de este trabajo no se basa en la idea de que las características morfológicas estén ligadas a la resistencia, como pasa con *Amaranthus powellii* resistente a herbicidas inhibidores de acetolactato sintasa (Tardif *et al.*, 2006). Su fundamento es que en el desarrollo de la resistencia se forma un cuello de botella en la población al seleccionar uno o pocos individuos, lo

cual da origen a una nueva población con una estructura genética similar y por lo tanto un fenotipo también semejante.

Las relaciones que si podemos inferir con los resultados son sobre el proceso de desarrollo de la resistencia de los biotipos y la morfología. En el caso de los biotipos de *P. minor* resistentes a herbicidas inhibidores de la síntesis de lípidos, la resistencia posiblemente se desarrolló de forma independiente, ya que si el origen fuera común, se esperaría que tuvieran gran similitud morfológica debido al corto tiempo que ha pasado a partir de su detección. Sin embargo, no podría descartarse que la resistencia de algunos de los biotipos sí fuera común, dado el evidente traslapo en sus características morfológicas como entre el biotipo Guanajuato y la Colecta 4. En el género *Echinochloa*, Tsuji *et al.* (2003) dedujeron que debido a la similitud de la morfología (además ayudado de técnicas moleculares para corroboración), el origen de la resistencia ocurrió en un área y a partir de allí ocurrió la dispersión; esto debido a que la similitud entre los biotipos que estudiaron fue alta.

La caracterización morfológica de poblaciones o biotipos es una herramienta para establecer relaciones genéticas y por lo tanto evolutivas. Con la ayuda de técnicas de biología molecular es posible corroborar y complementar esta información. Torres (2012) realizó la secuenciación del gen ACCasa en los biotipos resistentes y el susceptible de esta investigación y demostró que las mutaciones en este gen que confieren la resistencia a herbicidas son diferentes en cada uno. Estos resultados refuerzan los obtenidos en esta investigación ya que con las características morfológicas, se estableció diferencia entre los biotipos pero con un origen en común.

La validez de trabajos morfológicos en malezas ha sido probada al realizar la combinación con técnicas de biología molecular. Tabbacchi *et al.* (2006) y Damalas *et al.* (2008) llevaron a cabo trabajos donde complementan la morfología y la genética con especies del género *Echinochloa* en los que demostraron las

relaciones entre las especies y en el caso del segundo grupo de autores hace inferencia con la susceptibilidad a herbicidas. Al igual que las investigaciones hechas en los biotipos resistentes de *P. minor*, la relación con la susceptibilidad a herbicidas no es debida a la resistencia en sí, sino al proceso evolutivo que la generó (Torres, 2012).

En algunos otros casos, las diferencias en estos estudios se debe al origen geográfico o ecológico de las poblaciones (Hubner *et al.*, 2003) y a esto también se deben las diferencias en la sensibilidad a los herbicidas. En el presente estudio no es posible que las diferencias se deban a razones similares debido a que los biotipos provienen de áreas ubicadas en la misma región y un ambiente similar.

Por todo lo antes mencionado es muy probable que las diferencias morfológicas encontradas tanto en los biotipos resistentes a herbicidas entre sí y con respecto al susceptible, a pesar de que tienen un origen en común, se deban a que cada biotipo desarrolló la resistencia en forma independiente. En cada caso se redujo la población drásticamente, y posteriormente esta creció y mantuvo la base genética propia y distinta a los otros.

4.4. Fenología de biotipos de *P. minor* susceptible y resistentes

Los biotipos estudiados mostraron diferencias en la fenología durante el desarrollo de ambas etapas del experimento. Tanto en invierno como en primavera se observó el mismo comportamiento. La Colecta 4 y el Guanajuato presentaron un ciclo corto y el Jalisco y el susceptible un ciclo largo. Mientras que la Colecta 7 un ciclo intermedio en invierno, y corto en primavera.

4.4.1. Ciclo de invierno

El número de días para completar el ciclo de cada biotipo fue mayor en invierno que en primavera. Los biotipos que presentaron un ciclo largo fueron el Jalisco y el

Susceptible, y alcanzaron la madurez de frutos a los 155 y 149 días respectivamente. La Colecta 4 y el Guanajuato tuvieron un desarrollo precoz, con una duración de 130 y 123 días. Mientras que la Colecta 7 requirió de 141 días (Figura 15).

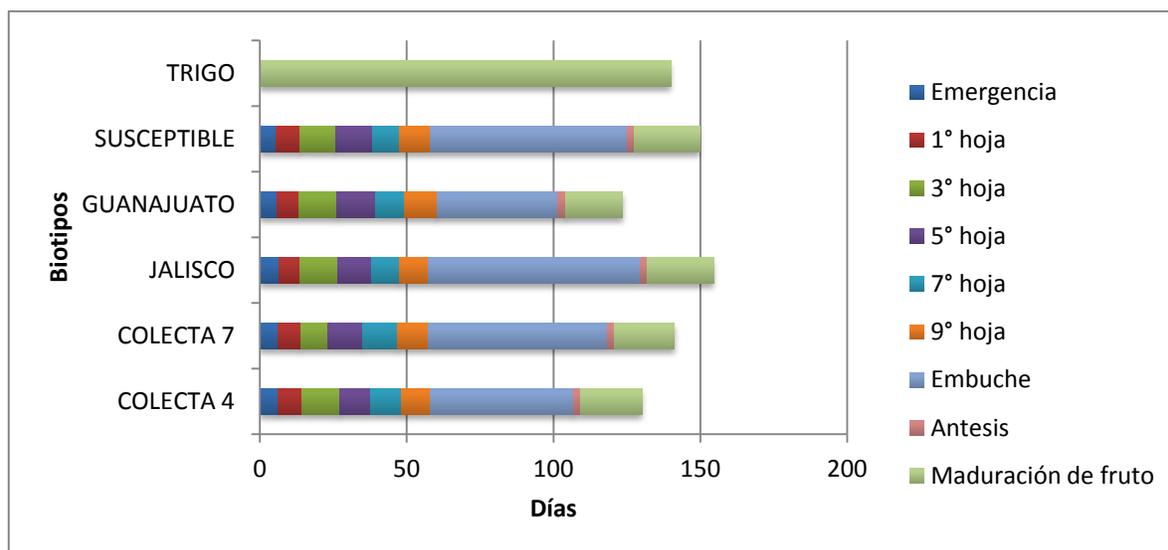


Figura 15. Fenología de biotipos de alpijillo desarrollados en invierno.

*El inicio de cada una de las etapas está dado por el límite superior de la sección de la barra del color respectivo.

Al analizar los datos con métodos estadísticos multivariados, se identificaron las etapas fenológicas en las que existe mayor diferencia entre los biotipos y se determinó la separación estadística entre estos.

Con el análisis de CP, los primeros tres componentes generados explicaron el 77% de la variación total entre los biotipos (Cuadro 16). Las etapas fenológicas de mayor peso fueron las de la fase reproductiva: embuche, antesis y madurez de fruto (Cuadro 17). El inicio de la fase reproductiva fue en el que hubo mayor diferencia, debido a que el Jalisco y el Susceptible prolongaron su fase vegetativa, produjeron más hojas y acumularon más biomasa hasta antes de que ocurriera la diferenciación floral. Esto con respecto a los otros biotipos.

Las etapas registradas de la fase vegetativa fueron similares, se presentaron aproximadamente en lapsos similares, por lo que tuvieron poco peso en los CP. Al graficar los primeros dos CP (Figura 16) se observa que no existe una clara separación entre los biotipos ya que existe traslapo de los individuos. Sin embargo, es posible detectar que el Jalisco, el Susceptible y la Colecta 7 se ubicaron en el lado positivo del CP 1; el Guanajuato y la Colecta 4 se ubican en el negativo. Es decir, aquellos en el lado positivo tuvieron mayor número de días para alcanzar las etapas de la fase reproductiva.

Cuadro 16. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a las etapas fenológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

Componente principal	Autovalor	Diferencia	Valoración	Acumulada
1	3.58797809	1.45876296	0.3987	0.3987
2	2.12921513	0.89734569	0.2366	0.6352
3	1.23186944	0.48054700	0.1369	0.7721

Cuadro 17. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a las etapas fenológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

Variable original	CP1	CP2
Emergencia	0.124572	0.178237
Primera hoja	-0.038928	0.114875
Tercera hoja	-0.203970	0.442400
Quinta hoja	-0.259227	0.432529*
Séptima hoja	-0.359686	0.386884
Novena hoja	-0.336120	0.342749
Embuche	0.459999*	0.315158
Antesis	0.459479*	0.317200
Madurez de fruto	0.457268*	0.324254

CP1: componente principal 1, CP2: componente principal 2. *Variables de mayor magnitud asociadas a su componente principal correspondiente.

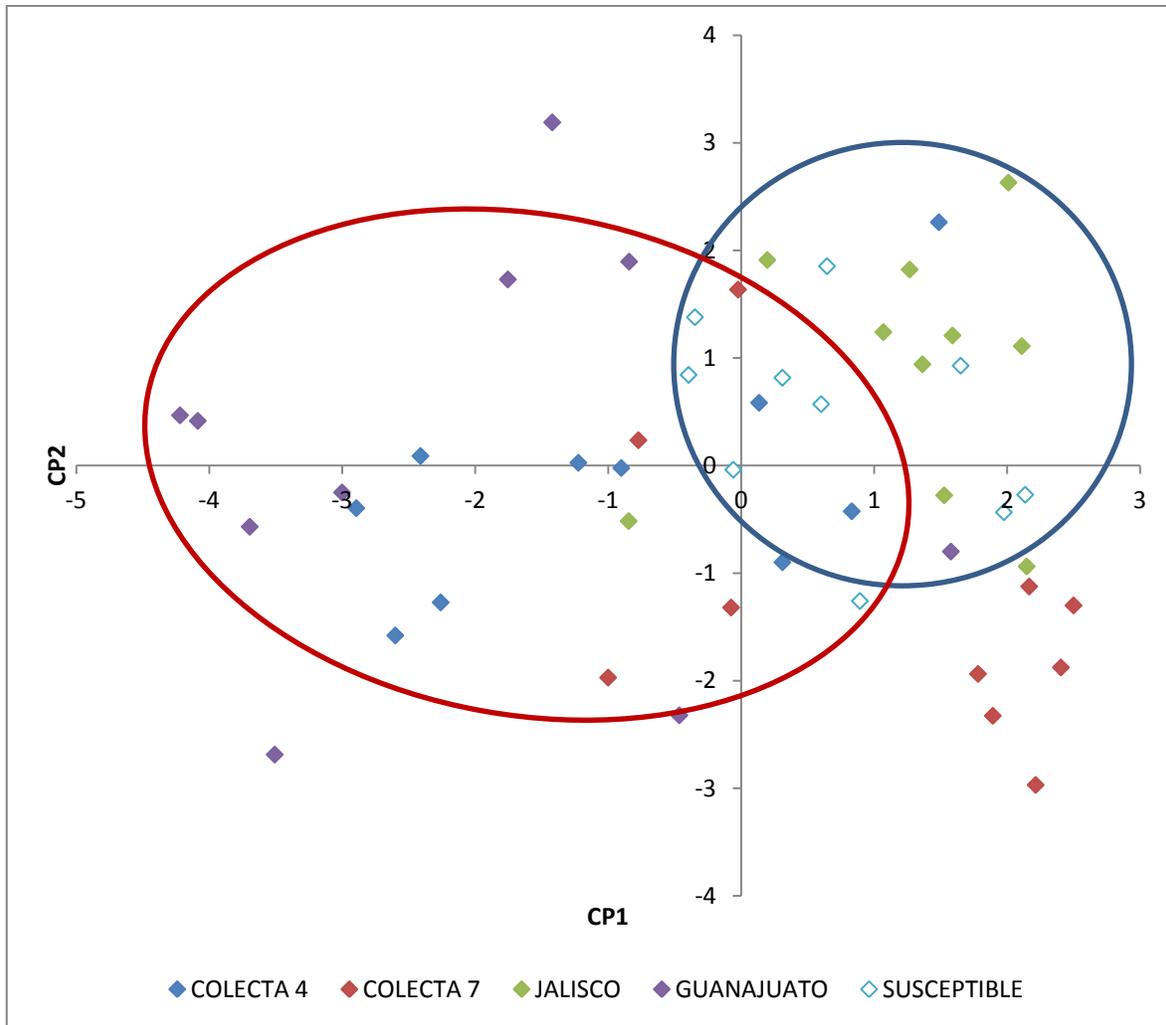


Figura 16. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de las etapas fenológicas de los biotipos de alpiñillo desarrollados en invierno.

Los biotipos se diferenciaron por presentar diferencias entre la duración del ciclo, con el AD se determinó que la Colecta 7 fue diferente del resto de los biotipos, y el Jalisco diferente del Guanajuato (Cuadro 18). Sin embargo, al observar los datos originales presentados en la figura 15, se observa una clara separación entre aquellos con un ciclo largo (Jalisco y Susceptible) y los de un ciclo corto (Colecta 4, Guanajuato y Colecta 7). La separación entre estos dos tipos de ciclo se observa al graficar las primeras dos FD en la Figura 17.

Cuadro 18. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la Distancia de Mahalanobis con la distancia cuadrada resultante del análisis discriminante de las etapas fenológicas de los biotipos desarrollados en invierno.

Biotipos	C7	C4	GTO	JAL	SUSC
C7	1.0000	0.0001*	0.0001*	0.0001*	0.0009*
C4		1.0000	0.0586	0.0880	0.0840
GTO			1.0000	0.0007*	0.0088
JAL				1.0000	0.7928
SUSC					1.0000

C7: Colecta 7, C4: Colecta 7, GTO: Guanajuato, JAL: Jalisco, SUSC: Susceptible. Valores con * indican diferencia estadística entre los biotipos y cultivares.

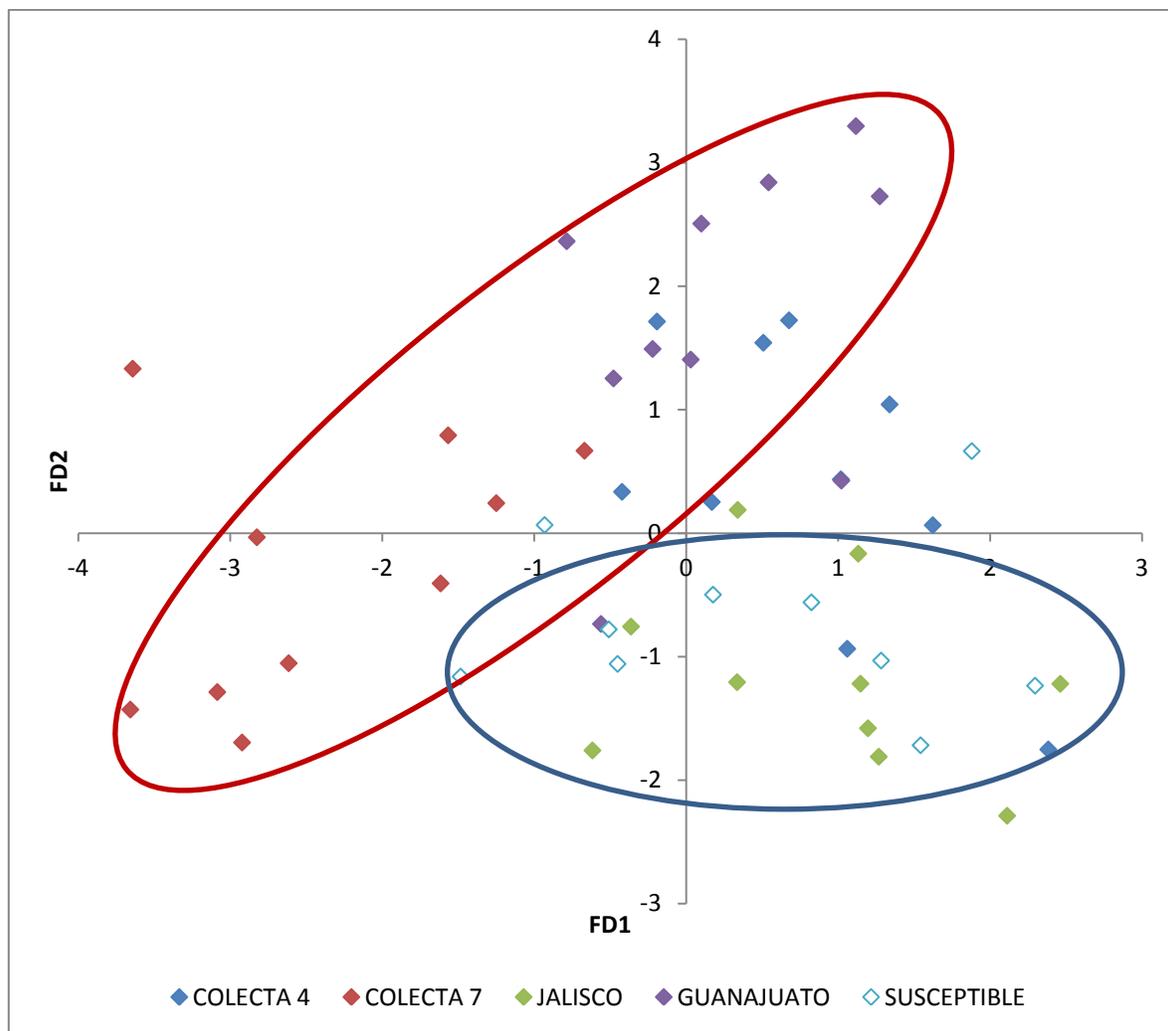


Figura 17. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de las etapas fenológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

4.4.2. Ciclo de primavera

El número de días para completar el ciclo de cada biotipo fue menor en primavera que en invierno. El Jalisco y el Susceptible, presentaron la madurez de los frutos a los 94 días. La Colecta 4, la Colecta 7 y el Guanajuato tuvieron un desarrollo precoz, 85 días (Figura 18). A diferencia del desarrollo en invierno en el que la Colecta 7 presentó un ciclo intermedio, en primavera su comportamiento fue similar a los de ciclo corto.

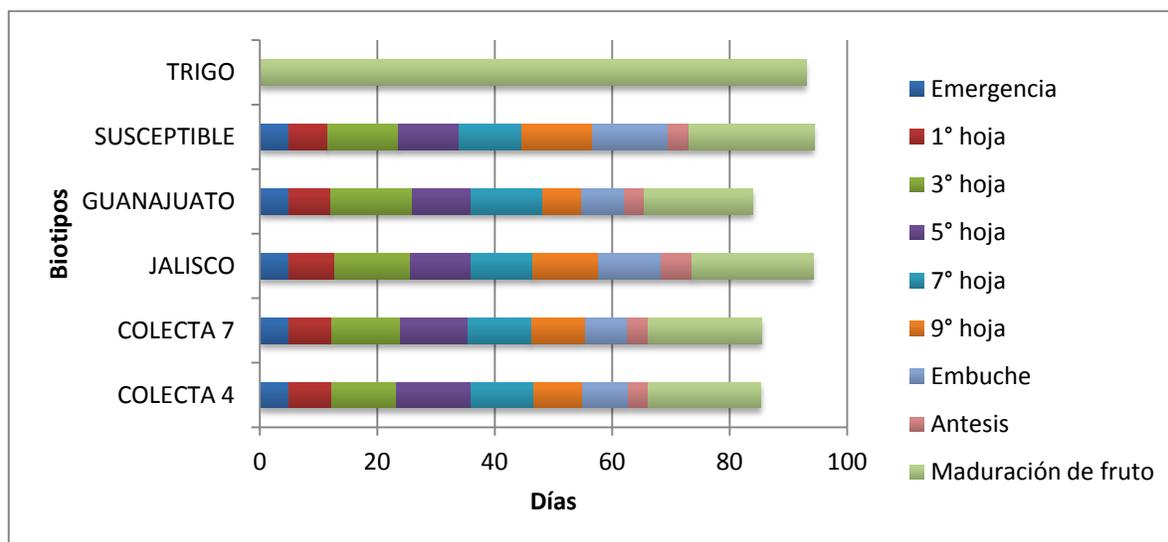


Figura 18. Fenología de biotipos de alpijillo desarrollados en primavera.

*El inicio de cada una de las etapas está dado por el límite superior de la sección de la barra del color respectivo.

Con el análisis de CP, los primeros tres CP explicaron el 79% de la variación total entre los biotipos (Cuadro 19). En primavera, además de las etapas de la fase reproductiva, algunas de la fase vegetativa fueron importantes; lo anterior posiblemente a que el ciclo fue más corto y las plantas produjeron menor cantidad de hojas hasta la diferenciación floral. Las etapas de mayor importancia fueron: séptima y novena hoja, embuche y antesis (Cuadro 20). La tendencia al graficar los primeros dos CP, fue el agrupamiento del Jalisco y el Susceptible, de ciclo largo; y el resto formó otro grupo, los de ciclo corto (Figura 19).

Cuadro 19. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a las etapas fenológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.

Componente principal	Autovalor	Diferencia	Valoración	Acumulada
1	3.47142750	0.76486410	0.3857	0.3857
2	2.70656340	1.75120945	0.3007	0.6864
3	0.95535395	0.37706238	0.1062	0.7926

Cuadro 20. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a las etapas fenológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.

Variable original	CP1	CP2
Emergencia	0.037973	-0.275647
Primera hoja	0.303613	0.324154
Tercera hoja	0.239058	0.311489
Quinta hoja	0.254081	0.418810
Séptima hoja	0.267191	0.451213*
Novena hoja	0.460572*	0.044363
Embuche	0.426072*	-0.337480
Antesis	0.427696*	-0.306880
Madurez de fruto	0.369720	-0.364536

CP1: componente principal 1, CP2: componente principal 2. * Variables de mayor magnitud asociadas a su componente principal correspondiente.

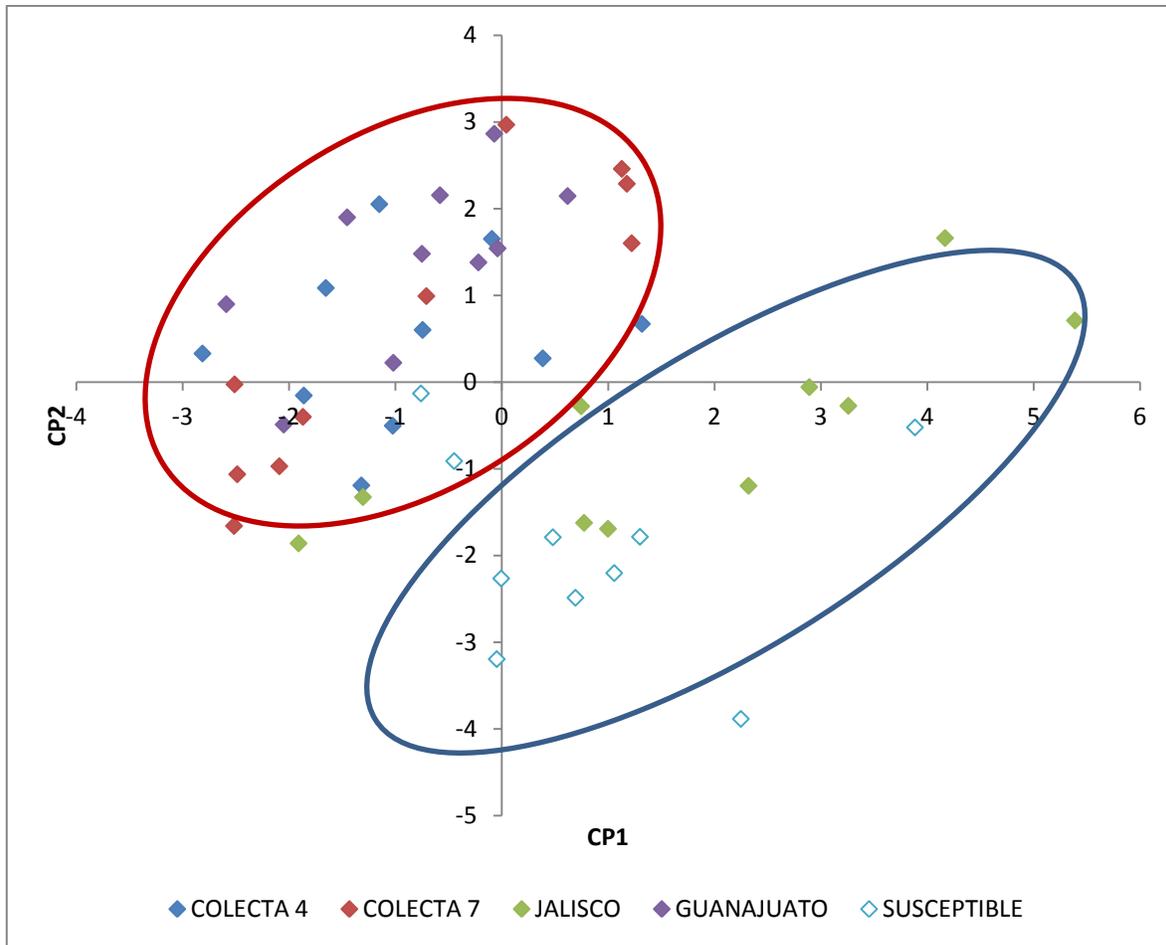


Figura 19. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de las etapas fenológicas de los biotipos de alpiñillo desarrollados en primavera.

En el análisis discriminante, los biotipos se separaron estadísticamente en aquellos de ciclo largo: el Jalisco y el Susceptible, y los de ciclo corto: el Guanajuato y la Colecta 4. La Colecta 7 presentó mayor diferencia con los de ciclo corto, aunque la duración hasta la madurez de fruto fue similar a estos (Cuadro 21). Esto mismo se ve reflejado en la Figura 20, al graficar en un plano ortogonal las primeras dos FD.

Cuadro 21. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la Distancia de Mahalanobis con la distancia cuadrada resultante del análisis discriminante de las etapas fenológicas de los biotipos desarrollados en primavera.

Biotipos	C7	C4	GTO	JAL	SUSC
C7	1.0000	<.0001*	<.0001*	0.2648	0.3127
C4		1.0000	0.2384	0.0003*	<.0001*
GTO			1.0000	<.0001*	<.0001*
JAL				1.0000	0.9473
SUSC					1.0000

C7: Colecta 7, C4: Colecta 7, GTO: Guanajuato, JAL: Jalisco, SUSC: Susceptible. Valores con * indican diferencia estadística entre los biotipos y cultivares.

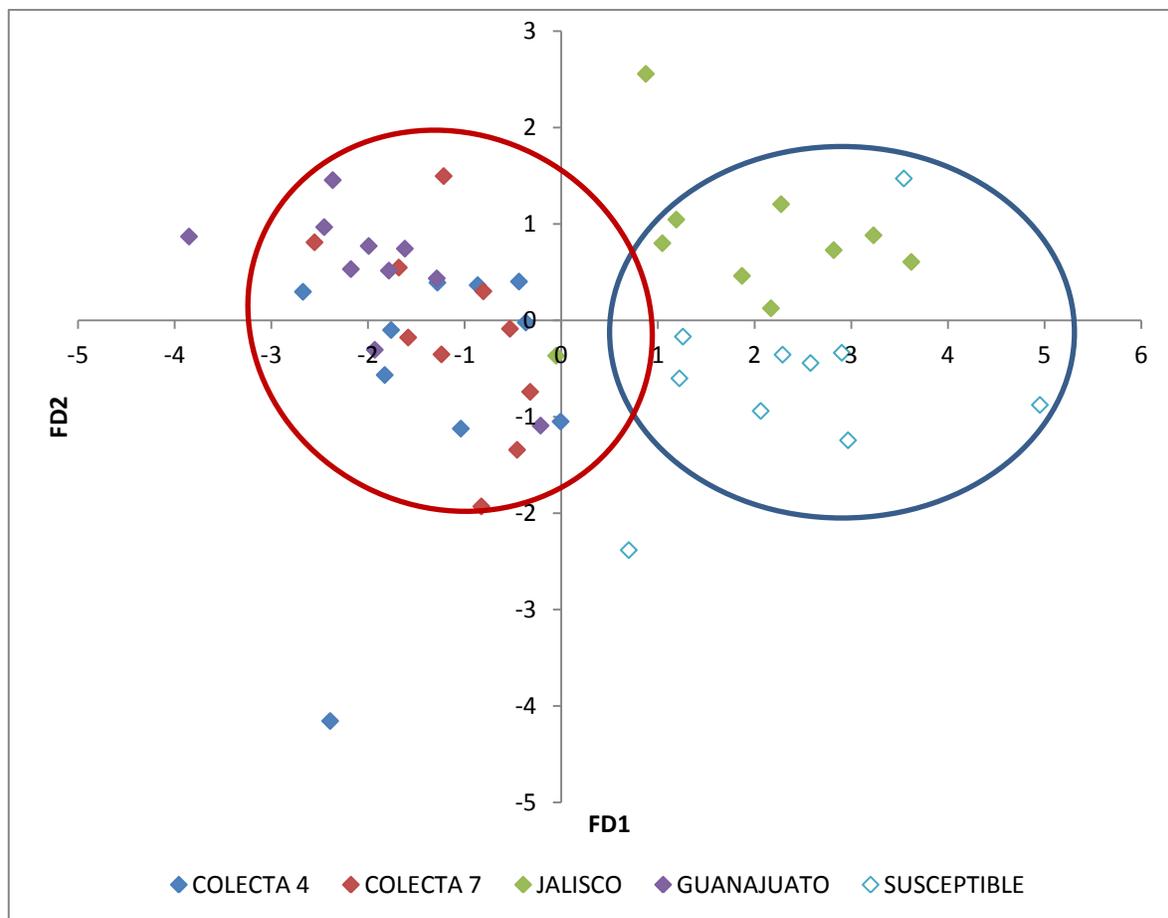


Figura 20. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de las etapas fenológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.

La respuesta diferente de los biotipos a los ciclos de invierno y primavera posiblemente está relacionada con la interacción de los biotipos con la temperatura y al fotoperíodo (interacción genotipo-ambiente). En invierno, las temperaturas fueron en forma general de 5 a 10 °C más bajas que las que se presentaron en el desarrollo en primavera y del fotoperíodo fue menor (Figura 28 y 29: Anexos).

En el ciclo de invierno, la duración del ciclo biológico para el Susceptible, el Jalisco y la Colecta 7 resultó similar a lo obtenido por Singh *et al.* (1999), Om *et al.* (2004) y Yadav y Malik (2005) en poblaciones de *P. minor*. En el Guanajuato y la Colecta 4 el ciclo fue más corto probablemente como una respuesta evolutiva a la adaptación, para lograr el éxito reproductivo (Patterson, 1985).

Con respecto al trigo, al iniciar la dispersión de las semillas por parte de *P. minor* antes de la cosecha de éste, asegura que haya el aporte de semillas al reservorio del suelo y por lo tanto la continuidad de la especie. Esto a pesar de que la dispersión no sea del total de las semillas, debido a que la dispersión de éstas es secuencial.

Las diferencias en la duración del ciclo biológico según Torres (2012) pueden ser consideradas como un costo en la aptitud de los biotipos para sobrevivir, ya que modificaría el éxito de contribuir a las próximas generaciones. Sin embargo, no se ha demostrado que esta característica esté ligada a la resistencia y que al retirar factor de selección se aumente el éxito reproductivo de los biotipos. Al igual que las diferencias en morfología, las diferencias en fenología pueden estar dadas por la selección que se llevó a cabo en el proceso de desarrollo de resistencia.

4.5. Acumulación de biomasa

4.5.1. Ciclo de invierno

Desde la primera hasta la séptima hoja, los cultivares de trigo tuvieron una acumulación de biomasa mayor que los biotipos, pero esto se invirtió a partir de la séptima hoja (Figura 21).

Al analizar sólo los datos de acumulación de biomasa de los biotipos de alpistillo con la técnica de CP no fue posible establecer claras diferencias entre ellos (Figura 22). Fueron necesarios los primeros cinco CP para explicar el 72% de la variación total (Cuadro 22), a pesar de que el número de variables originales fue bajo. Las variables de mayor peso en la diferenciación fueron la biomasa a la quinta y novena hoja en el CP 1 y el peso de la tercera hoja para el CP2 (Cuadro 23). Las etapas fenológicas donde hubo diferenciación en la acumulación de biomasa del Guanajuato con el resto de biotipos fueron la quinta, séptima y novena hoja (Figura 21, apreciación visual).

Cuadro 22. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a la acumulación de biomasa de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

Componente principal	Autovalor	Diferencia	Valoración	Acumulada
1	2.04357001	0.26311454	0.2044	0.2044
2	1.78045547	0.46142383	0.1780	0.3824
3	1.31903164	0.22389921	0.1319	0.5143
4	1.09513242	0.13346076	0.1095	0.6238
5	0.96167166	0.16923590	0.0962	0.7200

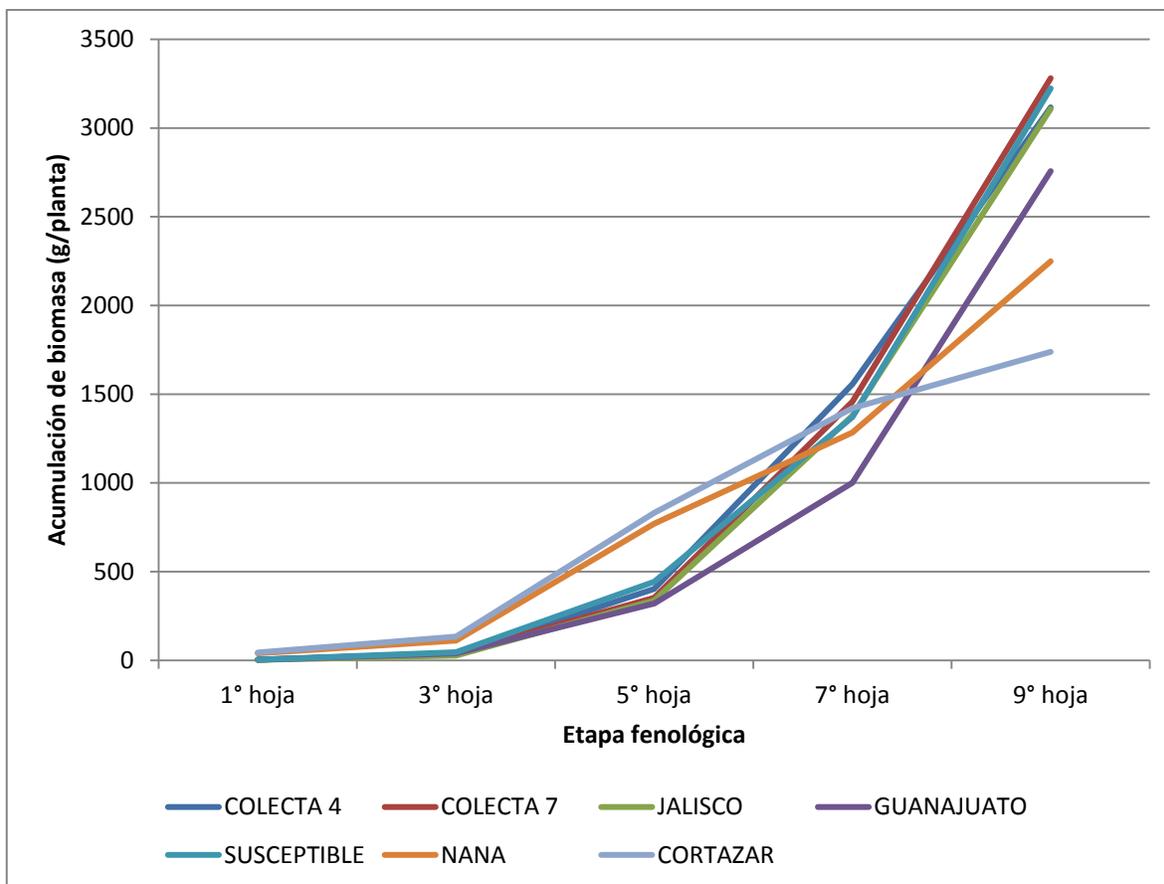


Figura 21. Acumulación de biomasa en etapas fenológicas vegetativas de biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

Cuadro 23. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a la acumulación de biomasa de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

Variable original	CP1	CP2
Peso de primera hoja	-0.231081	0.139106
Peso de planta a primera hoja	0.107239	0.157720
Peso de la tercera hoja	-0.098995	0.577862*
Peso de planta a tercera hoja	0.231683	0.466779
Peso de quinta hoja	0.416797	0.380858
Peso de planta a quinta hoja	0.499756*	0.063867
Peso de séptima hoja	-0.218555	-0.019752
Peso de planta a séptima hoja	0.376719	-0.408319
Peso de novena hoja	-0.228859	-0.159360
Peso de planta a novena hoja	0.453969*	-0.249648

CP1: componente principal 1, CP2: componente principal 2. *Variables de mayor magnitud asociadas a su componente principal correspondiente.

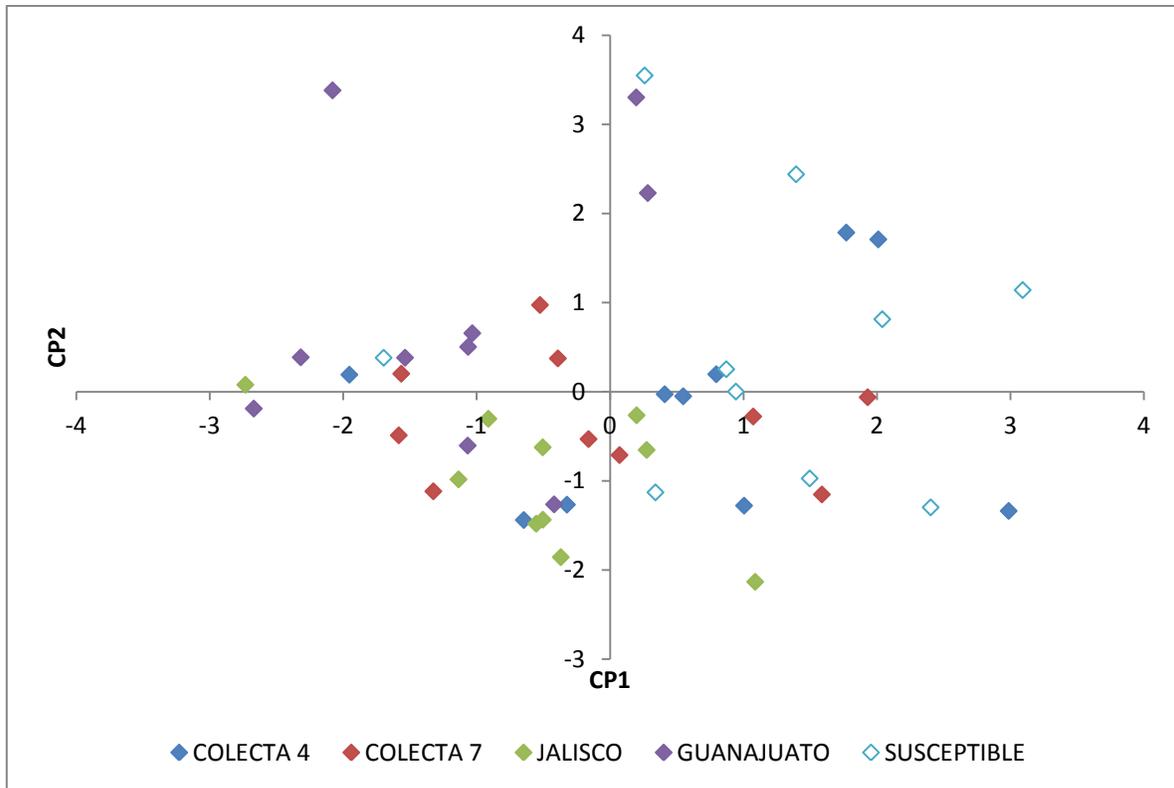


Figura 22. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de la acumulación de biomasa de los biotipos de alpastillo desarrollados en invierno.

Desde la primera hoja hasta la novena hoja, la acumulación de biomasa en los biotipos no fue diferente entre ellos a excepción del Guanajuato que fue menor (Cuadro 24). Aun así, al graficar las primeras dos FD en un plano ortogonal las diferencias son mínimas, ya que existe traslapo entre los individuos de los biotipos (Figura 23).

Cuadro 24. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la Distancia de Mahalanobis con la distancia cuadrada resultante del análisis discriminante de la acumulación de biomasa de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

Biotipos	C7	C4	GTO	JAL	SUSC
C7	1.0000	0.1851	0.0091*	0.1738	0.1787
C4		1.0000	0.0027*	0.1035	0.3362
GTO			1.0000	0.0528	0.0054*
JAL				1.0000	0.0550
SUSC					1.0000

C7: Colecta 7, C4: Colecta 7, GTO: Guanajuato, JAL: Jalisco, SUSC: Susceptible. Valores con * indican diferencia estadística entre los biotipos y cultivares.

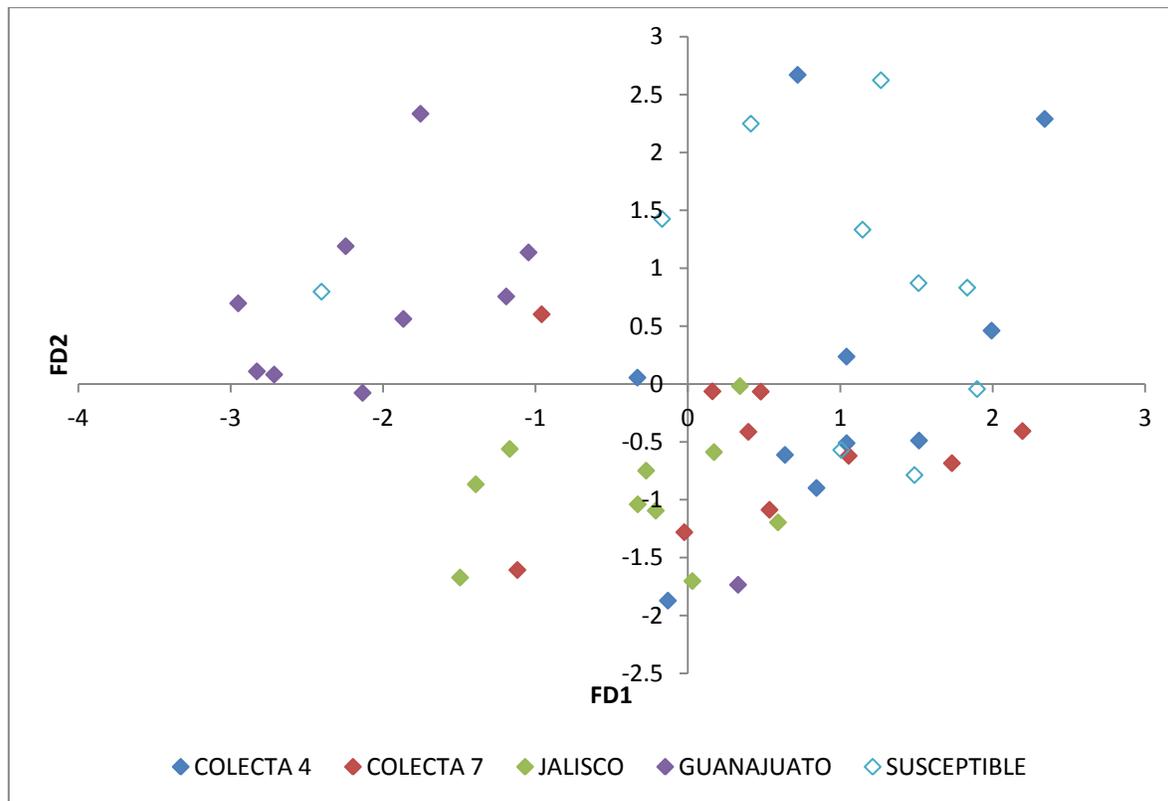


Figura 23. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de la acumulación de biomasa de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

4.5.2. Ciclo de primavera

Al igual que en el ciclo de invierno, en el de primavera desde la primera hasta la séptima hoja, los cultivares de trigo tuvieron una acumulación de biomasa mayor que los biotipos, pero esto se invirtió a partir de la séptima hoja (Figura 24), aunque esta tendencia no es tan marcada.

Desde la primera hoja hasta la novena hoja, no hubieron diferencias en la acumulación de biomasa (Cuadro 27: Anexos). Debido a que los resultados de los análisis estadísticos fueron semejantes a los del ciclo de invierno no se quiso ser repetitivo y estos se muestran en el capítulo Anexos.

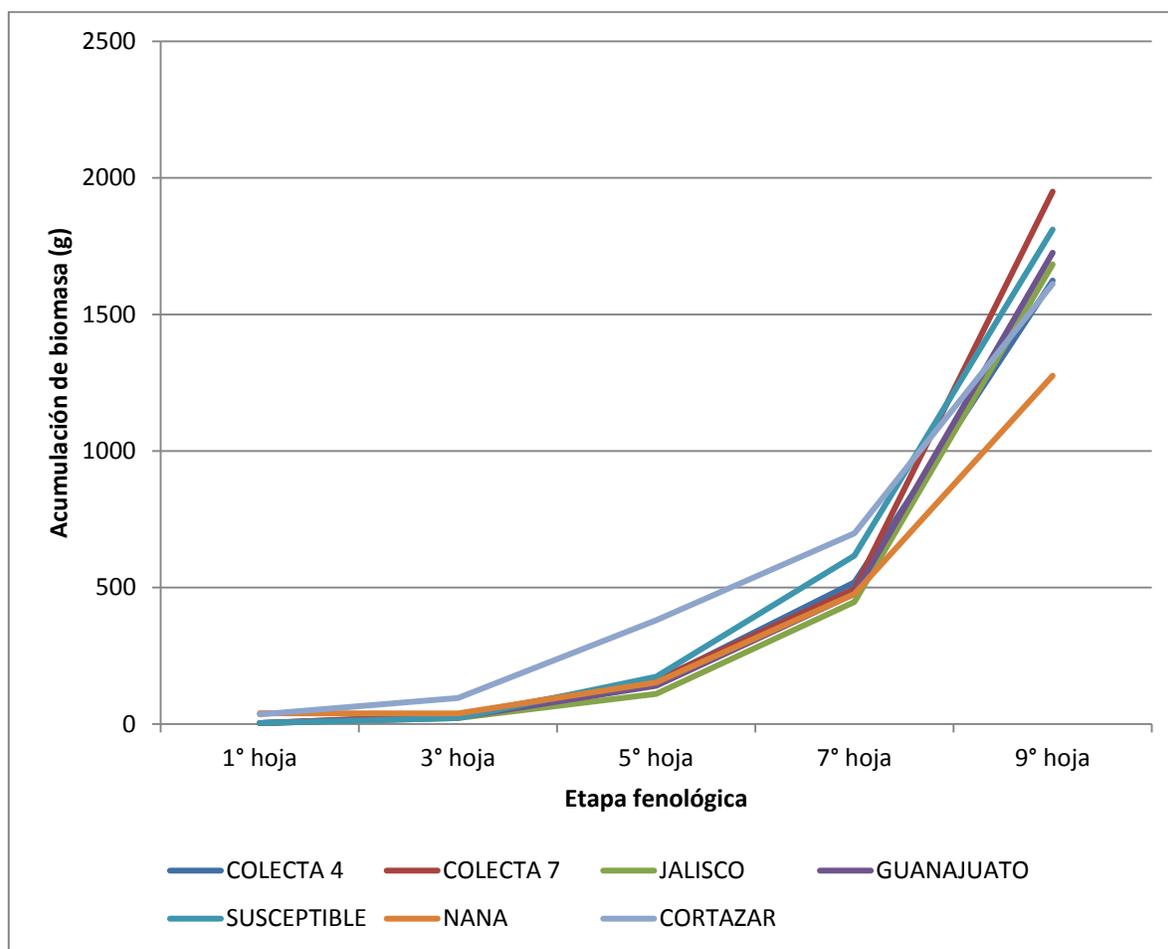


Figura 24. Acumulación de biomasa en etapas fenológicas vegetativas de biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.

En el ciclo de invierno, todos los biotipos y cultivares tuvieron mayor acumulación de materia seca en relación al ciclo de primavera. En las etapas iniciales del crecimiento, desde la primera hasta la novena hoja, la acumulación de biomasa fue menor en los biotipos de alpistillo en comparación con los cultivares de trigo Nana y Cortazar. Esta condición le podría dar ventaja competitiva durante el establecimiento al trigo. Sin embargo, después de las etapas antes mencionadas la condición se invierte y la ventaja la podría tener el alpistillo.

En el comportamiento de la dinámica en la acumulación de biomasa, las diferencias son mínimas en el desarrollo inicial del alpistillo. Sin embargo, es posible detectar que los precoces, el Guanajuato y la Colecta 4, tuvieron un menor peso. Esto concuerda por lo encontrado por Torres (2012) en la madurez fisiológica de los biotipos, donde los mismos, el Guanajuato y la Colecta 4, presentaron la menor acumulación de biomasa respecto al resto de biotipos.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en los estudios realizados se concluye que:

- En la fase vegetativa, los biotipos de alpistillo fueron morfológicamente diferentes a los cultivares de trigo. Las diferencias están dadas porque en el trigo las dimensiones de los órganos son mayores antes de la quinta hoja, y después de ésta porque el alpistillo presenta lígula tres veces más grande y láminas foliares más largas.
- La mayoría de los biotipos de alpistillo presentaron diferencias cuantitativas en la morfología. Sin embargo, se tuvo relación entre algunos debido a similitudes. De acuerdo a esto se formaron tres grupos, uno formado por el Guanajuato y la Colecta 4, otro por el Susceptible y la Colecta 7 y el último por el Jalisco. Los caracteres de mayor importancia en el estudio fueron la anchura y la longitud de quinta, séptima y novena hoja, número de hojas por culmo y altura de la planta. Estos resultados confirman la idea de que el desarrollo de la resistencia en cada uno de ellos fue independiente.
- La fenología en los biotipos fue diferente; el Susceptible y el Jalisco presentaron un ciclo largo; la Colecta 7 una duración del ciclo intermedia; y el Guanajuato y la Colecta 4 un ciclo biológico corto. En las etapas de la fase vegetativa no presentaron diferencias. Las etapas en las que se diferenciaron fueron: embuche, anthesis y maduración de frutos.
- La acumulación de biomasa en la fase vegetativa de todos los biotipos de alpistillo fue similar. La dinámica de acumulación de biomasa desde la primera hasta la séptima hoja fue mayor en el trigo y a partir de allí la tendencia se invirtió.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Afentouli C. G. y I. G. Eleftherohorinos. 1996. Littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) and short-spiked canarygrass (*Phalaris brachystachys*) interference in wheat and barley. *Weed Science* 44(3): 560-565.
- Afentouli C. G. y I. G. Eleftherohorinos. 1999. Competition between wheat and canarygrass biotypes and their response to herbicides. *Weed Science* 47: 55-61.
- Alcantara, C., M. J. Jimenez-Hidalgo y M. Saavedra. 2010. Responses of *Phalaris minor* Retz. and *Phalaris brachystachys* Link to different levels of soil water availability. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8(4): 1074-1083.
- Arevalo, A. 2000. Manejo y control de maleza. *In*: Trigo de riego. Origen, variedades, manejo del cultivo, calidad industrial. E. S. Moya y A. R. Guillén (Comps). Celaya, Guanajuato, México, SAGAR, INIFAP. Campo Experimental Bajío (Libro técnico N° 2).
- Barrett S., C. H. 1983. Crop mimicry in weeds. *Economic Botany* 37: 255-282.
- Burton, J.D., J. W. Gronwald, D. A. Somers, J. A. Connelly, B. G. Gengenbach y D. L. Wyse. 1987. Inhibition of plant acetyl-coenzyme A carboxylase by the herbicides sethoxydim and haloxyfop. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 148(3): 1039-1044.
- Burton J. D., J. W. Gronwald. 1991. Kinetics of inhibition of acetyl-coenzyme A carboxylase by sethoxydim and haloxyfop. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 39(2): 100-109
- CESAVEG (Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato). 2007. Campaña de manejo fitosanitario de trigo. Manejo integrado de malezas. Folleto técnico p. 24.
- Chhokar, R. S. y R. K. Malik. 1999. Effect of temperature on germination of *Phalaris minor* Retz. *Indian Journal of Weed Science* 31: 73-74.
- Christopher, J. T.; Powles, S.B.; Liljegrees, D. R. and Holtum, Z. A. M. 1991. Cross resistance to herbicides in annual rye grass (*Lolium rigidum*). *Plant Physiol.* 95: 1036-1043.
- Cyanamid – Guía de entrenamiento para personal técnico. Resistencia de malezas a herbicidas . Informe técnico 2.

- Damalas C. A., K. V. Dhima, y I. G. Eleftherohorinos. 2008. Morphological and Physiological Variation among Species of the Genus *Echinochloa* in Northern Greece. *Weed Science* 56: 416-423
- Délye C. 2005. Weed Resistance to Acetyl Coenzyme A Carboxylase Inhibitors: An Update. *Weed Science* 53(5): 728-746.
- Donald W. W. Y R. H. Shimabukuro. 1980. Selectivity of diclofop-methyl between wheat and wild oat: growth and herbicide metabolism. *Physiologia Plantarum* 49(4): 459-464.
- Esqueda E, V. A. 2003. Morfología y crecimiento de cuatro biotipos de arroz rojo y de la variedad milagro filipino. *Agricultura Técnica de México* 29(001): 35-47.
- Espinosa, F. J. y J. Sarukhán. 1997. Manual de Malezas del Valle de México. Claves, descripciones e ilustraciones. Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo de Cultura Económica. México, D. F.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1984. Improving weed management. FAO plant protection papers. Roma.
- Franke, A. C., S. Singh, N. McRoberts, A. S. Nehra, S. Godara, R. K. Malik y G. Marshall. 2007. *Phalaris minor* studies: longevity, seedling emergence and seed production as affected by tillage regime. *Weed Research* 47: 73-83.
- Garcia, F. V. 2006. Resistencia de cuatro biotipos de *Phalaris minor* Retz. a los herbicidas clodinafop propargyl y tralkoxidim. Tesis de licenciatura. Chapingo, México.
- Gronwald, J.W. 1991. Lipid biosynthesis inhibitors. *Weed Science* 39: 435-449.
- Hari O. M., S. D. Dhiman, k Hemant y K. Sajjan. 2003. Biology and management of *Phalaris minor* in wheat under a rice/wheat system. *Crop Protection* 23: 1157-1168.
- Heap, I. M. 1997. The occurrence of herbicide-resistant weeds worldwide. *Pesticide Science* 51: 235-243.
- Heap, I. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online. Internet. agosto 20, 2012. Disponible en www.weedscience.com

- Hübner, R., H. Fykse, K. Hurle y S. S. Klemsdal. 2003. Morphological Differences, Molecular Characterization, and Herbicide Sensitivity of Catchweed Bedstraw (*Galium aparine*) Populations Weed Science 51: 214-225.
- Huerta–Paniagua, R. y D. A. Rodríguez–Trejo, 2011. Efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación *Quercus rugosa* Née. Revista Chapingo 1717(2): 179-187.
- Jasieniuk M., A. L. Brûlé-Babel , I. N. Morrison. 1996. The Evolution and Genetics of Herbicide Resistance in Weeds. Weed Science. 44(1): 176-193.
- Khera, K. L., B. S. Sandhu, T. S. Aujla, C. B. Singh y K. Kumar. 1995. Performance of wheat (*Triticum aestivum*) in relation to small canary grass (*Phalaris minor*) under different levels of irrigation, nitrogen and weed population. The Indian Journal of Agricultural Sciences 65: 717-722.
- Konishi T. y Y. Sasaki. 1994. Compartmentalization of two forms of acetyl-CoA carboxylase in plants and the origin of their tolerance toward herbicides (acetyl-CoA carboxylase localization/allozyme/eukaryote form/prokaryote form). Plant Biology 91: 3598-3601.
- Layne-Garsaball, J. A., J. R. Méndez Natera y J. Mayz-Figueroa. 2007. Crecimiento de plántulas a partir de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.), sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa. IDESIA 25(1): 21-36.
- Malik, R. K. y S. Singh. 1995. Littleseed canary grass (*Phalaris minor*) resistance to isoproturon in India. Weed Technology 9: 419-425.
- Malik, M.S., R.E. Talbert, N.R. Burgos, B.V. Ottis, y A.T. Ellis. 2003. Characterization of herbicide resistant biotypes of barnyardgrass. AAES Research Series 517: 116-121.
- Menalled F. D. y R. G. Smith. 2007. Competitiveness of herbicide-resistant and herbicide susceptible kochia (*Kochia scoparia* [L.] Schrad.) under contrasting management practices. Weed Biology and Management 7: 115-119
- Montoya, M., N. Rodríguez, I. Pérez-Almeida, J. Cova y L. Alemán. 2007. Caracterización morfológica de 13 variedades de arroz venezolanas. Agronomía Tropical 57(4): 299-311.

- Neve P. y S. Powles. 2005. Recurrent selection with reduced herbicide rates results in the rapid evolution of herbicide resistance in *Lolium rigidum*. TAG Theoretical and Applied Genetics, Volume 110 (6): 1154-1166.
- Ohadi S., H R. Mashhadi, R. Tavakkol-Afshari y M. B. Mesgaran. 2009. Modelling the effect of light intensity and duration of exposure on seed germination of *Phalaris minor* and *Poa annua*. Weed Research 50, 209-217
- Om H., S. Kumar, S. D. Dhiman, 2004. Biology and management of *Phalaris minor* in rice-wheat system. Crop Protection 23: 1157-1168.
- Om H., S. Kumar y S.D. Dhiman. 2005. Dormancy and viability of *Phalaris minor* seed in a rice-wheat cropping system. Weed Research 45: 140-148.
- Ortiz D. A., L. López y J. Lizaso. 1999. Desarrollo y caracterización morfológica de ecotipos de arroz rojo y variedades de arroz en Venezuela 1. Agronomía Tropical 49(1): 51-67.
- Ortiz D. A., L. López, J. Lizaso y J. V. Lazo. 2002. Caracterización de poblaciones de arroz rojo y variedades de arroz en Venezuela. Agronomía Tropical 52(1): 23-44.
- Ortiz D. A., R. Miranda, R. Figueroa y C. Ramis. 2008. Caracterización morfológica de una población f2 obtenida del cruce natural entre un cultivar arroz y un arroz rojo (parte I). Agronomía Tropical 58(3): 299-307.
- Patterson, D. T. 1985. Comparative ecophysiology of weeds and crops. In: Weed Physiology Vol. 1. Duke, S. O (Ed.). CRC Press, Boca Raton, FL, EUA.
- Poston D. H., H. P. Wilson y T. E. Hines. 2002. Growth and Development of Imidazolinone-Resistant and -Susceptible Smooth Pigweed Biotypes. Weed Science 50(4): 485-493.
- Preston C., A.M Wakelin. 2008. Resistance to glyphosate from altered herbicide translocation patterns. Pest Management Science. Special Issue: Glyphosate-Resistant Weeds and Crops 64(4): 372-376.
- Radosevich, S. R., J. S. Holt y C. M. Ghersa. 2007. Evolution of Weeds and Invasive Plants. In: Ecology of Weeds and Invasive Plants: Relationship to Agriculture and Natural Resource Management. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.

- Ruiz-Santaella J. P., F. Bastida, J. Menendez y R. De Prado. 2003. Caracterización morfológica de poblaciones de 6 especies de *Echinochloa* con diferente grado de susceptibilidad a cihalofop butilo. In: Memoria XXI congreso Latinoamericano de Malezas y XXIV Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza, Mondragón P. G., J. A. Domínguez V., G. Martínez D., R. A. Ocampo R. (editores). Manzanillo, Colima, México, del 10 al 12 de noviembre de 2003.
- Ruiz-Santaella J. P., F. Bastida, A. R. Franco, y R. De Prado. 2006. Morphological and Molecular Characterization of Different *Echinochloa* spp. and *Oryza sativa* Populations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(4): 1166–1172.
- Sanchez O. E. R., G. Arrieta-Espinoza, J. A. Lobo y A. M. Espinoza-Esquivel. 2009. Assessment of gene flow from a herbicide-resistant indica rice (*Oryza sativa* L.) to the Costa Rican weedy rice (*Oryza sativa*) in Tropical America: factors affecting hybridization rates and characterization of F1 hybrids. *Transgenic Research* 18: 633-647.
- SAS. Statistical Analysis System. 2002. Versión 9.00. SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA.
- Singh S., R. C. Kirkwood y G. Marshall. 1999. Biology and control of *Phalaris minor* Retz. (littleseed canarygrass) in wheat. *Crop protection* 18: 1-16.
- Sasaki, Y. y Y. Nagano. 2004. Plant Acetyl-CoA Carboxylase: Structure, Biosynthesis, Regulation, and Gene Manipulation for Plant Breeding. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 68(6): 1175-1184.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2010. Anuario Agropecuario 1980-2009. http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/PublicaDinamica/SisInformacion/Anuario_2009/anuario_wv_unico/Anuario%20Agropecuario%201980-2009.zip. 11-03-11
- Tardif, F. J., I. Rajcan y M. Costea. 2006. A mutation in the herbicide target site acetohydroxyacid synthase produces morphological and structural alterations and reduces fitness in *Amaranthus powellii*. *New Phytologist* 169: 251-264.
- Tabacchi, M., R. Mantegazza, A. Spada y A. Ferrero. 2006. Morphological traits and molecular markers for classification of *Echinochloa* species from Italian rice fields. *Weed Science* 54: 1086-1093.

- Tharayil-Santhakumar, N. 2003. Mechanism of herbicide resistance in weeds. Massachusetts Amherst, MA 01003. Plant & Soil Sciences. Libro digital. <http://www.weedscience.org/paper/Mechanism%20of%20Herbicide%20resistance.PDF> 26-03-11
- Tominaga, T. y Y. Yamasue. 2004. Crop-Associated Weeds: The Strategy for Adaptation. *In: Weed Biology and Management*. Inderjit (ed.). Kluwer Academic Publishers. Países Bajos.
- Torres G., J. R. 2012. Diferencias en la aptitud entre colectas de “alpistillo” (*Phalaris minor* retz.) Resistentes y Susceptible a inhibidores de la accasa. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Texcoco, México.
- Tsuji, R., A. J. Fischer, M. Yoshino, A. Roel, J. E. Hill y Y. Yamasue. 2003. Herbicide-Resistant Late Watergrass (*Echinochloa phyllopogon*): Similarity in Morphological and Amplified Fragment Length Polymorphism Traits. *Weed Science* 51: 740-747.
- Valverde B. E., C. R. Riches y J. C. Caseley. 2000. Prevención y manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz: experiencias en América Central con *Echinochloa colona*. 1a. ed. San José, C. R. : Cámara de Insumos Agropecuarios.
- Valverde B. E. 2003. Manejo de la resistencia a los herbicidas en los países en desarrollo. *In: Weed Management for Developing Countries*, R. Labrada (ed). FAO plant production and protection paper 120 Add. 1 Roma.
- Verga A., D. L. Lauenstein, C. López, M. Navall, J. Joseau, C. Gómez, O. Royo, W. Degano y M. Marcó. 2009. Caracterización morfológica de los algarrobos (*Prosopis* sp.) en las regiones fitogeográficas Chaqueña y Espinal norte de Argentina. *Quebracho* 17: 31-40.
- Vila-Aiub, M. M., P. Neve, y S. B. Powles. 2009. Fitness costs associated with evolved herbicide resistance alleles in plants. *New Phytologist* 184: 751-767.
- Vila-Aiub M. M., M. C. Balbi, A. J. Distéfano, L. Fernández, E. Hopp, Q. Yu y S. B. Powles. 2012. Glyphosate resistance in perennial *Sorghum halepense* (Johnsongrass), endowed by reduced glyphosate translocation and leaf uptake. *Pest Management Science*, 68(3): 430-436.

Villaseñor R., J. L. y F. J. Espinosa G. 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.

Vibrans H. 2009, Malezas de México, *Phalaris minor*.

<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/phalaris-minor/fichas/ficha.htm>, 26-03-11.

WSSA (Weed Science Society of America). 1998. Technological notes. Weed Technology 12(4): 789.

Yadav, A. y R. K. Malik. 2005. Herbicide resistant *Phalaris minor* in wheat –a sustainability issue. Resource Book. Department of Agronomy and Directorate of Extension Education, CCSHAU, Hisar, India pp. 152.

Zúñiga, E. Á., A. Sánchez–González y D. G. Sánchez. 2009. Análisis de la variación morfológica foliar en *Quercus laeta* Liebm. en el Parque Nacional Los Mármoles, Hidalgo, México. Revista Chapingo 15(2): 87-93.

7. ANEXOS

Cuadro 25. Porcentaje de valoración y acumulado de las nuevas variables generadas con el análisis de componentes principales aplicado a la acumulación de biomasa de los biotipos de alpiñillo desarrollados en primavera.

Componente principal	Autovalor	Diferencia	Valoración	Acumulada
1	2.19379492	0.57632231	0.2194	0.2194
2	1.61747261	0.13351114	0.1617	0.3811
3	1.48396146	0.14539299	0.1484	0.5295
4	1.33856848	0.27402336	0.1339	0.6634
5	1.06454512	0.27671012	0.1065	0.7698

Cuadro 26. Estructura de los componentes principales 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a la acumulación de biomasa de los biotipos de alpiñillo desarrollados en primavera.

Variable original	CP1	CP2
Peso de primera hoja	0.158615	-0.155055
Peso de planta a primera hoja	0.340646	-0.182357
Peso de la tercera hoja	-0.225885	-0.300514
Peso de planta a tercera hoja	-0.165425	-0.144684
Peso de quinta hoja	-0.371826	0.520708
Peso de planta a quinta hoja	-0.276019	0.560981
Peso de séptima hoja	0.391052	0.375991
Peso de planta a séptima hoja	0.465726	0.276232
Peso de novena hoja	0.433997	0.136200
Peso de planta a novena hoja	0.088291	0.096958

CP1: componente principal 1, CP2: componente principal 2.

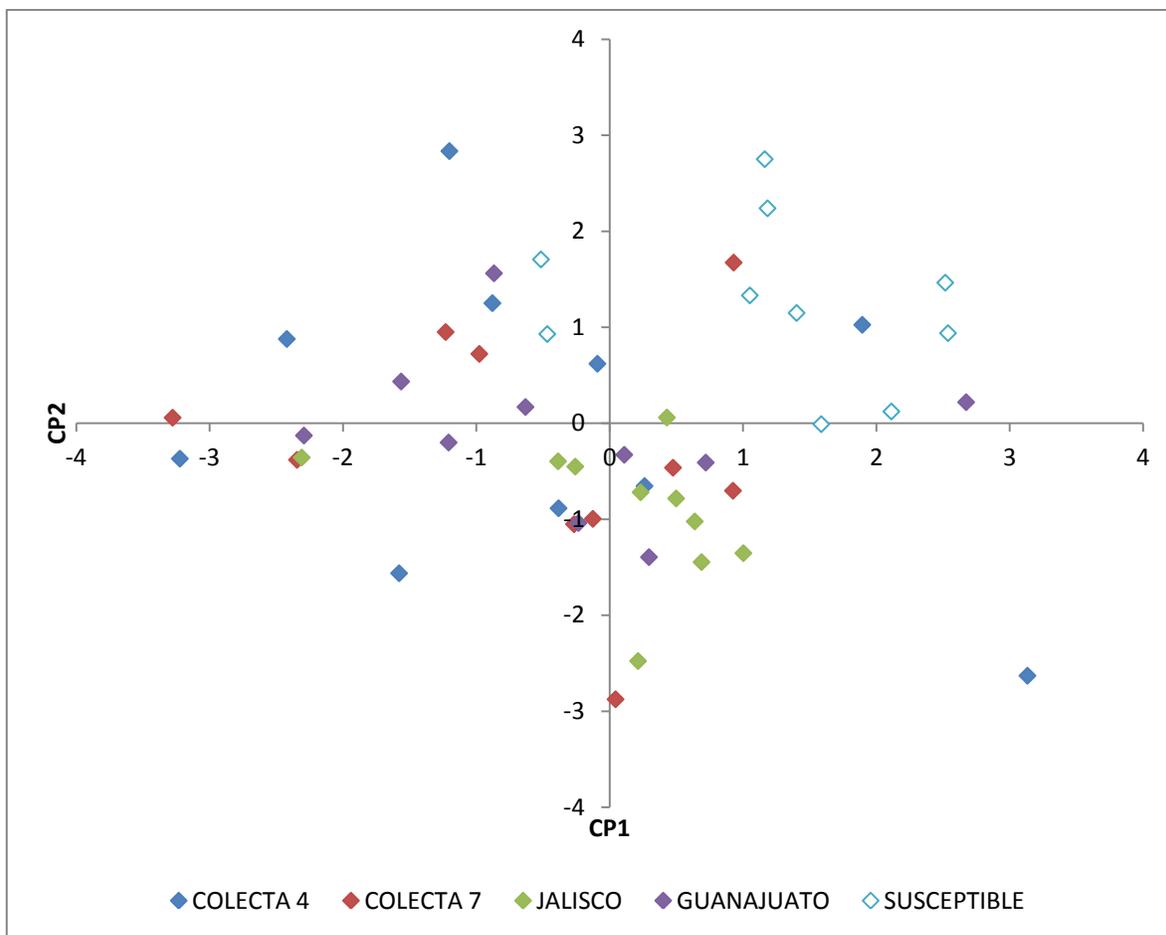


Figura 25. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2) de la acumulación de biomasa de los biotipos de alpiestillo desarrollados en primavera.

Cuadro 27. Probabilidad de igualdad entre los biotipos mediante la comparación de la Distancia de Mahalanobis con la distancia cuadrada resultante del análisis discriminante de la acumulación de biomasa de los biotipos desarrollados en primavera.

Biotipos	C7	C4	GTO	JAL	SUSC
C7	1.0000	0.1602	0.0006*	0.0002*	0.0002*
C4		1.0000	0.1113	0.0033	0.0197
GTO			1.0000	0.0700	0.0140
JAL				1.0000	<.0001*
SUSC					1.0000

C7: Colecta 7, C4: Colecta 7, GTO: Guanajuato, JAL: Jalisco, SUSC: Susceptible. Valores con * indican diferencia estadística entre los biotipos y cultivares.

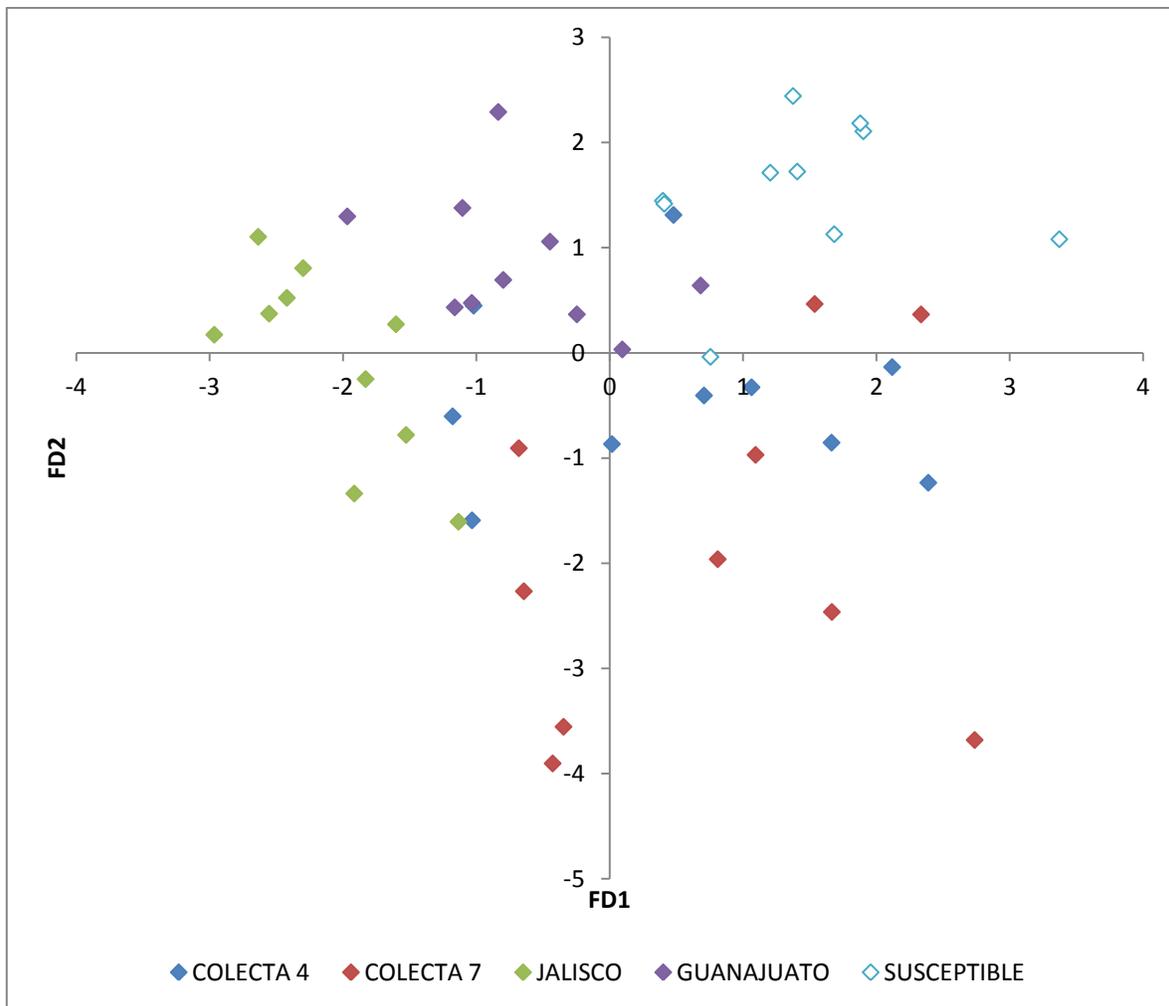


Figura 26. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de la acumulación de biomasa de los biotipos de alpastillo desarrollados en primavera.

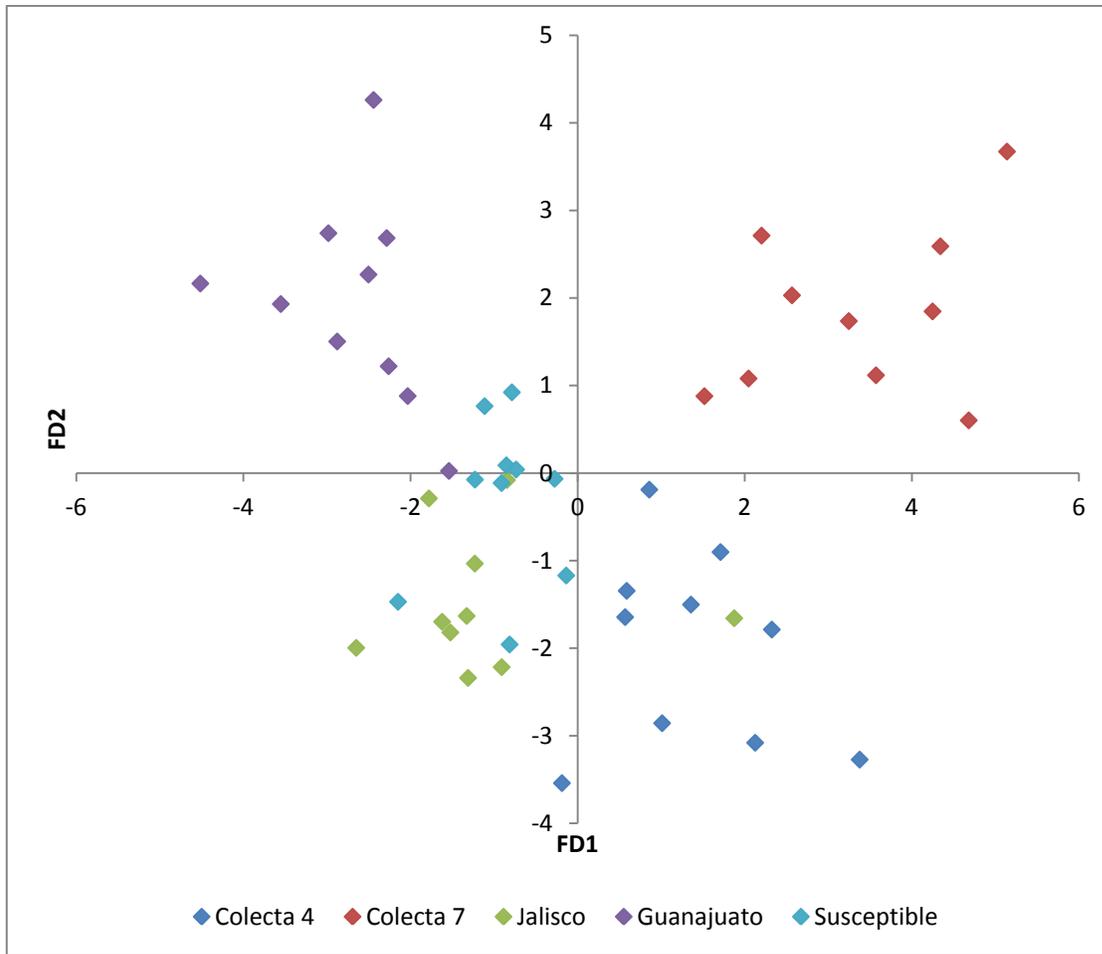


Figura 27. Ordenación de los individuos en un plano ortogonal definido por las funciones discriminantes 1 y 2 (FD1 y FD2) de la morfología en la fase vegetativa de alpastillo en primavera.

Cuadro 28. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidas en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en invierno.

Variable original	FD1	FD2
Diámetro de coleóptilo	0.930994716	0.035638580
Longitud del coleóptilo	-0.264838073	-0.038202027
Longitud de primera lámina foliar	-0.235602796	-1.061860128
Anchura de primera lámina foliar	5.480755224	1.908582668
Porte de primera lámina foliar	0.072105662	-0.283175080
Longitud de tercera lámina foliar	1.398303399	-0.295462591
Anchura de tercera lámina foliar	-0.45924680	0.90155064
Longitud de lígula de tercera hoja	-0.179531207	-0.283228832
Porte de tercera lámina foliar	-0.268811080	-0.017353555
Número de culmos a tercera hoja	-0.600385518	0.613690709
Longitud de quinta lámina foliar	-0.490047171	-0.948068499
Anchura de quinta lámina foliar	0.473250143	-0.098211374
Longitud de lígula de quinta hoja	-0.994128427	-1.112054324
Porte de quinta lámina foliar	-0.147265982	0.475739682
Número de culmos a quinta hoja	0.337773360	-0.241429999
Longitud de séptima lámina foliar	-0.565674407	0.979714264
Anchura de séptima lámina foliar	0.964112871	0.022900356
Longitud de lígula de séptima hoja	-0.759359734	-0.149947747
Porte de séptima lámina foliar	-0.139431005	0.185954957
Número de culmos a séptima hoja	-0.031161336	1.746837467

FD1: función discriminante 1, FD2: función discriminante 2.

Cuadro 29. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidas en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas vegetativas de los biotipos de alpistillo y cultivares de trigo desarrollados en primavera.

Variable original	FD1	FD2
Diámetro de coleóptilo	0.726960964	-0.242402068
Longitud del coleóptilo	0.925910781	-0.726723387
Longitud de primera lámina foliar	0.164579482	-0.823446106
Anchura de primera lámina foliar	5.204475911	1.269563531
Porte de primera lámina foliar	-0.198624401	-0.329299724
Longitud de tercera lámina foliar	0.317572314	-1.878075258
Anchura de tercera lámina foliar	-0.642213375	1.273178881
Longitud de lígula de tercera hoja	0.342133551	0.501131097
Porte de tercera lámina foliar	-0.133642348	-0.096455614
Número de culmos a tercera hoja	0.092977104	-0.214843832
Longitud de quinta lámina foliar	-0.954664329	-1.512874439
Anchura de quinta lámina foliar	0.599678690	1.047600352
Longitud de lígula de quinta hoja	-1.035946371	0.794975023
Porte de quinta lámina foliar	-0.465428359	0.033524059
Número de culmos a quinta hoja	-0.384828954	0.515795084
Longitud de séptima lámina foliar	0.626473977	-0.585258079
Anchura de séptima lámina foliar	-0.085825114	0.548937697
Longitud de lígula de séptima hoja	-1.756174940	-0.077829836
Porte de séptima lámina foliar	-0.268374932	0.340216974
Número de culmos a séptima hoja	-0.830431606	-1.160711964

FD1: función discriminante 1, FD2: función discriminante 2.

Cuadro 30. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidas en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

Variable original	FD1	FD2
Diámetro de coleóptilo	-0.507820923	0.247044459
Longitud de coleóptilo	0.437202942	-0.322280282
Longitud de primera lámina foliar	-0.731532238	-0.018703960
Anchura de primera lámina foliar	0.674554524	-0.796135373
Longitud de tercera lámina foliar	-0.650646673	0.302536584
Anchura de tercera lámina foliar	1.000726491	0.073129011
Longitud de lígula de tercera hoja	-0.351212329	-0.300254488
Longitud de quinta lámina foliar	-1.217899643	-0.348456248
Anchura de quinta lámina foliar	1.188150341	-0.101223990
Longitud de lígula de quinta hoja	-0.229996997	0.511414606
Longitud de séptima lámina foliar	1.147326345	0.777341181
Anchura de séptima lámina foliar	-0.432956020	0.437927353
Longitud de lígula de séptima hoja	-0.452770205	-0.030534248
Longitud de novena lámina foliar	0.316343435	-1.071402690
Anchura de novena lámina foliar	0.117704412	0.546518470
Longitud de lígula de novena hoja	-0.369410575	-0.117519488
Número de culmos a la novena hoja	-0.053213435	-0.642296150
Altura de la planta	-1.420857955	-0.119930042
Número de hojas por culmo	-1.496727455	-0.821298953
Longitud de panícula	0.595376144	1.113552938
Anchura de panícula	-0.137242407	-0.177482830
Anchura del fruto	0.551972812	-0.147276820
Longitud del fruto	-0.340551068	-0.322708704

FD1: función discriminante 1, FD2: función discriminante 2.

Cuadro 31. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidas en el análisis estadístico aplicado a las características morfológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.

Variable original	FD1	FD2
Diámetro de coleóptilo	-0.011116149	0.370272866
Longitud de coleóptilo	-0.194607329	0.417556574
Longitud de primera lámina foliar	0.107185176	0.226949136
Anchura de primera lámina foliar	-1.133364564	0.472293960
Longitud de tercera lámina foliar	-0.967796575	-0.614872402
Anchura de tercera lámina foliar	0.341060128	0.303257280
Longitud de lígula de tercera hoja	0.137169397	0.785821536
Longitud de quinta lámina foliar	0.256369431	0.689457462
Anchura de quinta lámina foliar	-0.329486920	-0.262063896
Longitud de lígula de quinta hoja	0.398248058	0.447453056
Longitud de séptima lámina foliar	-0.457707123	0.342155689
Anchura de séptima lámina foliar	0.468361629	-0.062831647
Longitud de lígula de séptima hoja	1.368282220	-0.935153480
Longitud de novena lámina foliar	0.618510691	-0.050142389
Anchura de novena lámina foliar	-0.824737308	-0.078237418
Longitud de lígula de novena hoja	1.029655991	-0.560308269
Número de culmos a la novena hoja	0.340203595	0.266492515
Altura de la planta	-0.095321820	0.417017172
Número de hojas por culmo	-0.081144616	-1.253956258
Longitud de panícula	1.484705073	-0.587199531
Anchura de panícula	-0.780693747	-0.372932871
Anchura del fruto	0.000901739	0.469913201
Longitud del fruto	-0.895293713	0.162481434

FD1: función discriminante 1, FD2: función discriminante 2.

Cuadro 32. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidas en el análisis estadístico aplicado a las etapas fenológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

Variable original	FD1	FD2
Emergencia	-0.199544082	0.064303495
Primera hoja	-0.402705841	-0.255394736
Tercera hoja	1.493933767	-0.159716092
Quinta hoja	0.475536994	-0.165966892
Séptima hoja	-0.181720277	0.479292522
Novena hoja	-0.336336906	0.422263137
Embuche	2.990175298	2.668702867
Antesis	-2.549193132	-3.155290627
Madurez de fruto	-0.359145887	-0.529899384

FD1: función discriminante 1, FD2: función discriminante 2.

Cuadro 33. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidas en el análisis estadístico aplicado a las etapas fenológicas de los biotipos de alpistillo desarrollados en primavera.

Variable original	FD1	FD2
Emergencia	0.008866270	-0.219889019
Primera hoja	0.168927706	0.054480789
Tercera hoja	0.212825869	0.964991309
Quinta hoja	0.192863718	-0.298572430
Séptima hoja	-1.019575649	-0.058855912
Novena hoja	0.029461020	0.379419761
Embuche	1.072362698	-1.569934379
Antesis	0.146442461	1.313884271
Madurez de fruto	0.710627800	0.207266307

FD1: función discriminante 1, FD2: función discriminante 2.

Cuadro 34. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a la acumulación de biomasa de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

Variable original	FD1	FD2
Peso de primera hoja	-0.0104184661	-.5491784237
Peso de planta a primera hoja	0.6845648698	0.2220442846
Peso de la tercera hoja	-.5742165107	0.5130755547
Peso de planta a tercera hoja	0.5637796786	0.1171954475
Peso de quinta hoja	-.3100669500	0.4473157709
Peso de planta a quinta hoja	0.4853066730	0.3577651836
Peso de séptima hoja	-.2759481927	0.0460526437
Peso de planta a séptima hoja	0.4288063694	-.1610217810
Peso de novena hoja	-.1520155092	-.1265518679
Peso de planta a novena hoja	0.1656013173	-.3280652483

FD1: función discriminante 1, FD2: función discriminante 2.

Cuadro 35. Estructura de las funciones discriminantes 1 y 2 obtenidos en el análisis estadístico aplicado a la acumulación de biomasa de los biotipos de alpistillo desarrollados en invierno.

Variable original	FD1	FD2
Peso de primera hoja	-0.183562224	0.346631795
Peso de planta a primera hoja	0.494609049	0.102402635
Peso de la tercera hoja	0.390969407	0.293117741
Peso de planta a tercera hoja	0.175408460	-1.214029810
Peso de quinta hoja	-0.018478719	0.537589367
Peso de planta a quinta hoja	1.197731554	-0.113888128
Peso de séptima hoja	-0.193236299	0.508021797
Peso de planta a séptima hoja	1.041698933	0.155174723
Peso de novena hoja	0.105425942	0.272634215
Peso de planta a novena hoja	0.168827716	0.102487687

FD1: función discriminante 1, FD2: función discriminante 2.

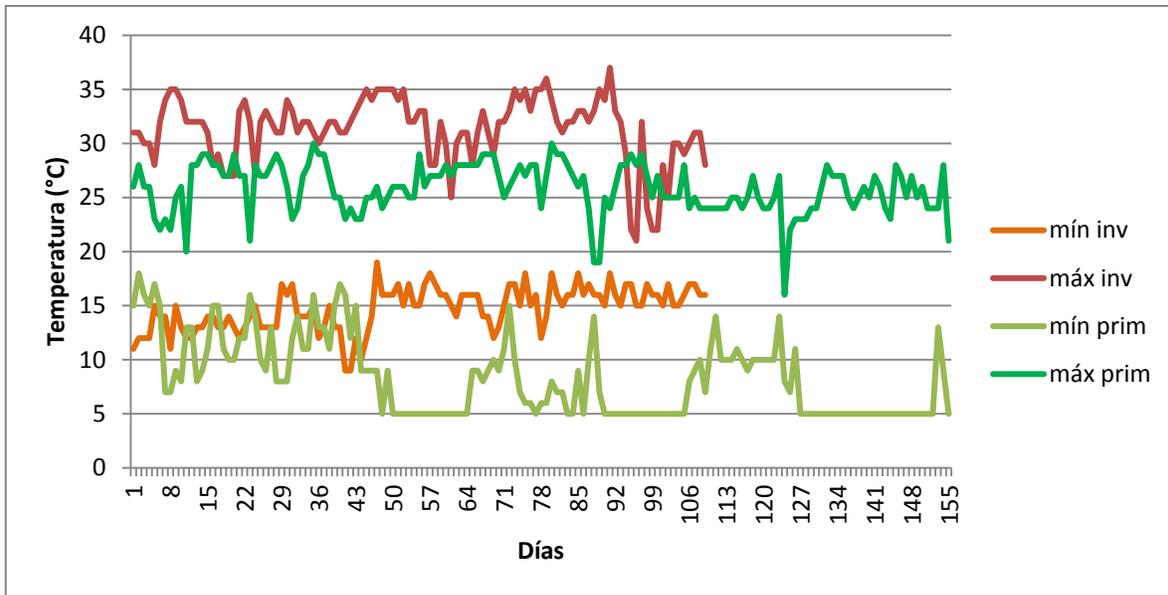


Figura 28. Temperaturas máximas y mínimas registradas durante el desarrollo de ambas etapas del experimento. Mín inv: temperatura mínima en el ciclo de invierno, máx inv: temperatura máxima en el ciclo de invierno, mín prim: temperatura mínima en el ciclo de primavera y máx prim: temperatura máxima en el ciclo de primavera.

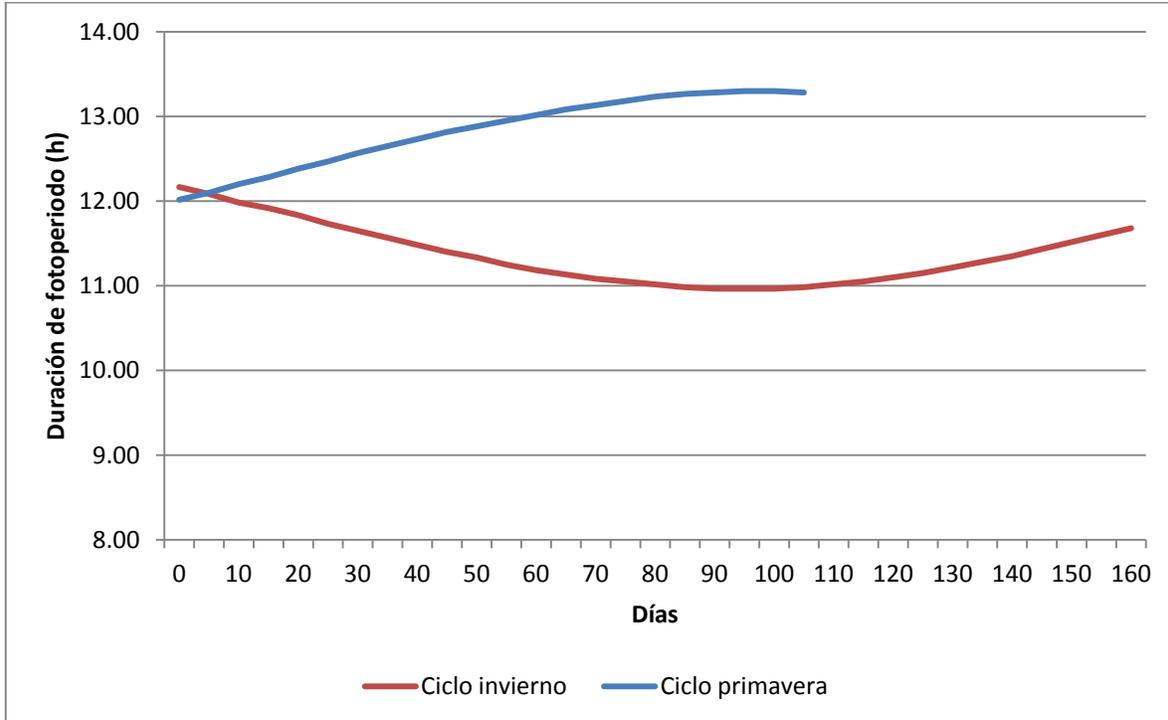


Figura 29. Fotoperiodo durante el desarrollo de ambas etapas del experimento.