

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al
Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto

**Evaluación de híbridos de maíz por su comportamiento frente a
podredumbre de tallo y raíz**

Alumno: **FISSORE, MATIAS JOSÉ**
DNI: **32.762.868**

Director: **BONAMICO, NATALIA CECILIA**

Co-director: **DI RENZO, MIGUEL ÁNGEL**

Río Cuarto – Córdoba
Julio 2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Evaluación de híbridos de maíz por su comportamiento frente a podredumbre de tallo y raíz.

Autor: Fissore, Matias José

DNI: 32.762.868

Director: Bonamico, Natalia Cecilia

Co-Director: Di Renzo, Miguel Ángel

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado

Evaluador:

Fecha de Presentación: ____ / ____ / ____.

Aprobado por Secretaria Académica: ____ / ____ / ____.

Secretario Académico

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi familia entera, por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, y en cada una de las decisiones que fui tomando en forma independiente, sin importar lo descabelladas que fuesen.

A mi padre, cuyo optimismo y amor por las cosas simples de la naturaleza estuvo siempre presente en mí.

A mi madre, por su gran fortaleza y confianza en mí, que representaron el motor para que nunca me detenga en este camino.

A mi primo Alcides, por introducirme al maravilloso mundo de las ciencias agropecuarias.

A mis abuelas, por su invaluable apoyo moral aquellos fines de semana cuando no quería regresar a Río Cuarto, como también a mi tía Marta, por compartir tantos momentos y hacerme sentir como en casa estando lejos de ella.

Por último se lo dedico a mis amigos del pueblo, como también a aquellas personas maravillosas que fui conociendo a lo largo de esta carrera, quienes facilitaron el duro proceso de alejarme de casa y con quienes compartí momentos únicos, de alegría y tristeza, pero que nunca olvidaré.

A todos ellos le dedico el presente trabajo, y les agradezco por su colaboración, que me permitió vivir esta fantástica etapa universitaria y alcanzar hoy mi sueño, el título de Ingeniero Agrónomo.

AGRADECIMIENTOS

Ante todo le agradezco a Dios por brindarme la fuerza y esperanza para superar las dificultades y permitirme alcanzar este ansiado logro.

Le agradezco a mis padres, por darme la oportunidad de acceder a un título universitario pensando en un futuro mejor, por esforzarse cada día para que nunca me falte nada, por ser mi fuente de inspiración.

Le agradezco a mi hermano Fede, por aguantarme durante tantos años de convivencia juntos, como también por su ayuda en numerosas oportunidades entre ellas para la realización del presente trabajo.

A mi amigo Américo, por su colaboración desinteresada durante la recopilación de datos, y su compañía y sustento durante todos estos años de estudio.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto y más precisamente a la Facultad de Agronomía y Veterinaria, por formarme como profesional y permitirme ver al mundo de otro modo.

Agradezco la ayuda que me ofrecieron para la realización de este trabajo a todos los integrantes de la cátedra de mejoramiento genético, Mercedes, Miguel y especialmente a Natalia cuyo aporte fue más allá del de una directora convirtiéndose en una consejera.

También le agradezco a la región centro del AACREA, por permitirme realizar las evaluaciones sobre sus ensayos, al Ing. Agr. Gustavo Martini quien puso a mi disposición los mismos, al Ing Agr. Emiliano Peretti, al Sr. Beto Agorreca y al Sr. Claudio Poggi por recibirme en sus establecimientos donde se realizaron los ensayos y ofrecerme toda la información presente en este estudio.

ÍNDICE

RESUMEN	XII
SUMMARY	XIII
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS	10
OBJETIVOS	10
MATERIALES Y MÉTODOS	11
RESULTADOS	23
DISCUSIÓN	60
CONCLUSIÓN	71
BIBLIOGRAFÍA	72

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ubicación y fecha de siembra de los ensayos de evaluación de híbridos comerciales de maíz por su comportamiento frente a podredumbre de tallo y raíz establecidos en tres localidades durante la campaña agrícola 2008/09.	11
Cuadro 2. Temperatura media mensual (°C) en los ensayos de evaluación de híbridos comerciales de maíz por su comportamiento frente a podredumbre de tallo y raíz, durante la campaña agrícola 2008/09.	13
Cuadro 3. Precipitación pluvial (mm) absoluta y en porcentaje con respecto a la media de la ciudad de Río Cuarto, en los ensayos de evaluación de híbridos comerciales de maíz por su comportamiento frente a podredumbre de tallo y raíz, durante la campaña agrícola 2008/09. Precipitación pluvial (mm) media de los últimos 30 años de la ciudad Río Cuarto.	14
Cuadro 4. Empresa, nombre y ubicación de los híbridos comerciales evaluados en los ensayos durante la campaña agrícola 2008/09.	15
Cuadro 5. Modelo de fertilización realizado en los ensayos de evaluación de híbridos comerciales de maíz por su comportamiento frente a podredumbre de tallo y raíz durante la campaña agrícola 2008/09.	16
Cuadro 6. Caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz, caracteres agronómico-morfológicos y rendimiento medidos en los 12 híbridos comerciales de maíz evaluados en Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante el ciclo agrícola 2008/09.	18
Cuadro 7. Valor medio (\pm EE), mínimo y máximo de los nueve caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR), altura de planta, altura de inserción de la espiga y diámetro del tallo evaluados en 18 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Olaeta, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.	23
Cuadro 8. Cuadrado medio y significancia de los análisis de la varianza de cinco caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR), evaluados en 18 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Olaeta, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.	24

Cuadro 9. Valor medio de los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) que tuvieron diferencias estadísticamente significativas en el ANAVA, evaluados en 18 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Olaeta, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.	25
Cuadro 10. Rendimiento promedio de la localidad y de cada uno de los 18 híbridos evaluados en Olaeta, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.	26
Cuadro 11. Correlación entre los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) y rendimiento en 18 híbridos comerciales de maíz evaluados en la localidad de Olaeta, provincia de Córdoba, durante el ciclo agrícola 2008/09.	27
Cuadro 12. Valor medio (\pm EE), mínimo y máximo de los nueve caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR), altura de planta, altura de inserción de la espiga, y diámetro del tallo evaluados en 14 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Papagayo, provincia de San Luis, durante la campaña agrícola 2008/09.	30
Cuadro 13. Cuadrado medio y significancia de los análisis de la varianza de tres caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR), evaluados en 14 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Papagayo, provincia de San Luis, durante la campaña agrícola 2008/09.	31
Cuadro 14. Valor medio de los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) que tuvieron diferencias estadísticamente significativas en el ANAVA, evaluadas en 14 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Papagayo, provincia de San Luis, durante la campaña agrícola 2008/09.	32
Cuadro 15. Rendimiento promedio de la localidad y de cada uno de los 14 híbridos evaluados en Papagayo, provincia de San Luis, durante la campaña agrícola 2008/09.	33
Cuadro 16. Correlación entre los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) y rendimiento en 14 híbridos comerciales de maíz evaluados en la localidad de Papagayo, provincia de San Luis, durante el ciclo agrícola 2008/09.	34
Cuadro 17. Valor medio (\pm EE), mínimo y máximo de los nueve caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz PTR, altura de inserción de la espiga y diámetro del tallo evaluados en 17 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Buchardo, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.	38

Cuadro 18. Cuadrado medio y significancia de los análisis de la varianza de cuatro caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR), evaluadas en 17 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Buchardo, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.	39
Cuadro 19. Valor medio de los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) que tuvieron diferencias estadísticamente significativas en el ANAVA, evaluadas en 17 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Buchardo, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.	40
Cuadro 20. Rendimiento promedio de la localidad y de cada uno de los 17 híbridos evaluados en Buchardo, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.	41
Cuadro 21. Correlación entre los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) y rendimiento evaluadas en 17 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Buchardo, provincia de Córdoba, durante el ciclo agrícola 2008/09.	42
Cuadro 22. Cuadrado medio y significancia de los análisis de la varianza de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) evaluados en 12 híbridos comerciales de maíz ubicados en las localidades de Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante la campaña agrícola 2008/09.	46
Cuadro 23. Valor medio de los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) para los cuales en el ANAVA hubo interacción estadísticamente significativa entre híbrido y localidad, evaluados en 12 híbridos comerciales de maíz ubicados en las localidades de Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante la campaña agrícola 2008/09.	48
Cuadro 24. Valor medio del carácter relacionado a podredumbre de tallo y raíz (PTR) para el cual en el ANAVA hubo diferencia estadísticamente significativa entre híbridos, en 12 híbridos comerciales de maíz evaluados en las localidades de Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante la campaña agrícola 2008/09.	49
Cuadro 25. Suma de cuadrados del análisis de procrustes generalizado (APG) combinando información proveniente de las localidades de Olaeta, Papagayo y Buchardo, donde se ubicaron 12 híbridos comerciales de maíz en los cuales se evaluaron seis caracteres relacionados a PTR y rendimiento, durante el ciclo agrícola 2008/09.	53

Cuadro 26. Cuadrado medio y significancia del análisis de la varianza del indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz (IMPTR), para 12 híbridos comerciales de maíz evaluados en Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante la campaña agrícola 2008/09. **55**

Cuadro 27. Valor medio del indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz (IMPTR) de los 12 híbridos comerciales de maíz evaluados en Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante la campaña agrícola 2008/09. **56**

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Síntomas de los principales agentes causales de podredumbre de tallo y raíz. (A) *Fusarium* spp., (B) *Diplodia maydis*, (C) *Macrophomina phaseolina*, (D) *Colletotrichum graminicola* y (E) *Erwinia chrysanthemi* pv. *Zaeae*. **3**
- Figura 2.** Análisis de componentes principales de los de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento en los 18 híbridos comerciales de maíz evaluados en la localidad de Olaeta, provincia de Córdoba, durante el ciclo agrícola 2008/09. A: CP1 con CP2; B: CP1 con CP3 y C: CP2 con CP3. **28-29**
- Figura 3.** Análisis de componentes principales de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento en los 14 híbridos comerciales de maíz evaluados en la localidad de Papagayo, provincia de San Luis, durante el ciclo agrícola 2008/09. A: CP1 con CP2; B: CP1 con CP3 y C: CP2 con CP3. **36-37**
- Figura 4.** Análisis de componentes principales de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento en los 17 híbridos comerciales de maíz evaluados en la localidad de Buchardo, provincia de Córdoba, durante el ciclo agrícola 2008/09. A: CP1 con CP2; B: CP1 con CP3 y C: CP2 con CP3. **44-45**
- Figura 5.** Análisis de componentes principales de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento en los 12 híbridos comerciales de maíz evaluados en Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante el ciclo agrícola 2008/09. A: CP1 con CP2; B: CP1 con CP3 y C: CP2 con CP3. **51-52**
- Figura 6.** Configuración consenso, con el árbol de recorrido mínimo (ARM), entre el comportamiento frente a seis caracteres relacionados a PTR y rendimiento de 12 híbridos comerciales de maíz evaluados en las localidades de Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante el ciclo agrícola 2008/09. **54**
- Figura 7.** Gráfico de puntos de la interacción GE presente entre 12 híbridos comerciales de maíz y tres localidades, Olaeta, Papagayo y Buchardo, donde fueron evaluados por su comportamiento frente a podredumbre de tallo y raíz (PTR), durante el ciclo agrícola 2008/09. **57**

Figura 8. Biplot GGE para el indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz (IMPTR), de 12 híbridos comerciales de maíz analizados en las localidades de Olaeta, Papagayo y Bucharado, evaluados durante el ciclo agrícola 2008/09. **59**

RESUMEN

La podredumbre de tallo y raíz es una de las enfermedades más importante del cultivo de maíz en Argentina y provoca todos los años pérdidas en los rendimientos que en ciertas ocasiones pueden ser totales. La reacción de los distintos genotipos híbridos frente a la enfermedad está influenciada por las condiciones ambientales, por lo que resulta de interés evaluar los materiales en diferentes ambientes. En los ensayos multiambientales donde se evalúan numerosos caracteres las técnicas de análisis multivariado, tales como el ACP y sus respectivos biplots, cobran importancia por la reducción de dimensión. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento de diferentes híbridos comerciales de maíz frente a podredumbre de tallo y raíz en tres ambientes, dos en la provincia de Córdoba y uno en la provincia de San Luis. Durante la campaña agrícola 2008/09 se evaluaron 18 híbridos en Olaeta, 14 en Papagayo y 17 en Buchardo, utilizando un diseño en bloques completos al azar, con tres repeticiones. En cinco plantas de cada bloque se determinó la presencia de seis caracteres propuestos como síntomas de la enfermedad, los cuales se expresaron como incidencia, también evaluándose el rendimiento. Estos caracteres se analizaron por ambiente en forma univariada y multivariada. En la mayoría de los casos se observó una correlación positiva entre los seis caracteres relacionados a la enfermedad y negativa entre cada uno de ellos y rendimiento. Las configuraciones individuales obtenidas mediante ACP por ambiente, fueron consensuadas mediante un análisis de procrustes generalizado que evidenció diferencias en el ordenamiento de los materiales en los distintos ambientes. Por último se construyó un indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz, el cual se analizó a través de ambientes, mediante un análisis de la varianza y con el modelo SREG y su biplot GGE. Dicho análisis multivariado no solo permitió diferenciar ambientes, donde se observó que Olaeta fue la localidad con mayor capacidad discriminante entre genotipos, mientras que las restantes presentaron un ordenamiento semejante de los híbridos, sino que además señaló al híbrido P2053Y como el de mejor comportamiento, al DK747MGRR2 como el de peor comportamiento y al PANPex168MG como un genotipo adaptado a un ambiente específico.

Palabras clave: *maíz, podredumbre de tallo y raíz, incidencia, caracteres relacionados a la enfermedad, interacción genotipo-ambiente*

SUMMARY

ASSESSMENT OF MAIZE HYBRIDS BECAUSE OF ITS PERFORMANCE AGAINST STALK AND ROOT ROT

The stalk and root rot is one of the most important diseases of maize in Argentina and causes yield losses every year, at times, it may be total. The reaction of hybrid genotypes against disease is influenced by environmental conditions, so it is interesting to evaluate the materials in various environments. In the multiambientales trials where numerous characters are evaluated multivariate analysis techniques, such as the PCA and their respective biplots, become important for dimension reduction. The aim of this study was to evaluate the behavior of different commercial maize hybrids against stalk and root rot in three environments, two in the province of Cordoba and one in the province of San Luis. During the crop year 2008/09 18 hybrids were evaluated in Olaeta, 14 in Papagayo and 17 in Buchardo, using a design in a randomized complete block with three replications. In five plants of each block were determined the presence of six characters proposed as disease symptoms, which are expressed as incidence also evaluated yield. These characters were analyzed in each environment by univariate and multivariate methods. In most cases a positive correlation was observed between the six characters related to the disease and negative between each one of them and yield. Individual settings of each environment obtained by PCA, were agreed by a generalized procrustes analysis showed differences in the ordering of materials in different environments. Finally we constructed a multidimensional indicator stalk and root rot, which was analyzed across environments, through an analysis of variance and the SREG model and its GGE biplot. This multivariate analysis not only allowed to differentiate environments, where it was noted that Olaeta was the town with more discriminating capacity among genotypes, while the others had a similar order of hybrids, but also pointed to the P2053Y as the hybrid with the best performance, DK747MGRR2 as the material with the worst performance and PANPex168MG as a genotype adapted to a specific environment.

Keywords: *corn, stalk and root rot, incidence, disease-related characters, genotype-environment interaction.*

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo del cual se dispone mayor diversidad y oferta varietal. Tradicionalmente, la selección de un híbrido determinado se ha realizado en función de su potencial de rendimiento, pero en la actualidad, otros factores también resultan de singular interés, como son el ciclo, la adaptación a un determinado ambiente, que en algunos casos no es de máximo potencial, o la calidad del grano para fines determinados, por ejemplo nutrición animal. La oferta de materiales ha acompañado esta tendencia, brindando un abanico de opciones donde es posible encontrar, para un mismo semillero, híbridos que difieren en su potencial, estabilidad de rendimiento y costo, así como valor agregado en cuanto a resistencia a insectos, enfermedades, herbicidas y granos de mayor valor nutricional (Ferraris y Couretot, 2007, Vallone *et al.*, 2009).

Muchas de las enfermedades más perjudiciales de los cultivos no están sujetas a control alguno, la lucha contra muchas otras resulta muy onerosa, ya que si bien actualmente existe una amplia variedad de productos químicos, mucho de los cuales permiten controles eficientes, su implementación aumenta significativamente los costos de producción. Esto sucede con enfermedades como las royas de los cereales y de ciertas oleaginosas, golpe blanco de trigo y otros cereales, septoriosis en varias especies, etc. Hay otro grupo de enfermedades que por su naturaleza son también muy difíciles de controlar por los métodos accesibles al agricultor. Tal es el caso de las causadas por los patógenos que se multiplican en el suelo, como *Fusarium* spp. y ciertas bacterias, donde la rotación de cultivos y otras prácticas culturales, no han sido lo suficientemente efectivas y el tratamiento químico del suelo sobre grandes áreas resulta impracticable. También numerosos virus presentan el mismo desafío. Es por ello que la identificación de genotipos con buen comportamiento ante enfermedades en un ambiente particular es sumamente importante como método para emplear la tolerancia en el control de las mismas (Cubero, 1999).

La podredumbre del tallo y raíz (PTR) puede ser considerada entre las enfermedades de importancia creciente del cultivo de maíz y ocurre todos los años en cualquier lugar donde esta especie es cultivada (Dodd, 1980; Balint-Kurti y Johal, 2009). En la Argentina es una de las enfermedades más importantes del maíz por su prevalencia, incidencia y severidad (Buchaca, 2008). Si bien casi todos los años es posible observar síntomas relacionados con la podredumbre de tallo y raíz, durante los últimos ciclos agrícolas ha aparecido con mayor frecuencia en Argentina (Carmona y Reis, 2008; Carmona, 2009). En el sur de Córdoba representa una de las enfermedades de mayor incremento en su prevalencia e intensidad (Odinno *et al.*, 2012).

La podredumbre de tallo y raíz (PTR) es una de las enfermedades más destructivas en todo el mundo, causando mermas de rendimiento cercanas al 5% todos los años, aunque bajo ciertas condiciones puede alcanzar el 50% e incluso en áreas aisladas las pérdidas llegan a ser del 100% (Ahmad *et al.*, 1997; Denti *et al.*, 1999; Jardine, 2006; Jackson *et al.*, 2009). Las pérdidas más notorias ocurren cuando las plantas se vuelcan y no pueden ser levantadas por las máquinas cosechadoras. Sin embargo, las reducciones más importantes del rendimiento pueden no ser notificadas, como las causadas por espigas con menor número de granos, llenado incompleto de granos y quiebre del tallo por debajo de la espiga (Jardine, 2006).

La PTR del maíz suele ser producida por las diferentes combinaciones de varias especies de hongos y bacterias y, afectan a las plantas cuando están próximas a la madurez. Los hongos que causan estas pudriciones con más frecuencia, comprenden *Fusarium graminearum* (*Gibberella zea*), *F. verticillioides* (*G. fujikuroi*), *Diplodia maydis*, *Macrophomina phaseolina* y *Colletotrichum graminicola* (Agrios, 2007; Jardine, 2006; Jackson *et al.*, 2009). Diferentes patógenos fueron encontrados en distintas regiones/países (Yang *et al.*, 2003), en nuestra región más del 80% de las plantas son afectadas por *Fusarium* spp. (Odinno *et al.*, 2012). Muchos de estos hongos se comportan como oportunistas, infectando plantas senescentes, dañadas o estresadas, observándose que una sola planta puede ser afectada por múltiples patógenos.

Esta enfermedad presenta unos pocos síntomas generales que pueden ser observados en la mayoría de las plantas afectadas. Dichos síntomas generalmente aparecen varias semanas después de la polinización cuando las plantas parecen madurar prematuramente. Las hojas se tornan secas, con una apariencia grisácea similar a un daño por helada. Los tallos usualmente mueren pocas semanas después, siendo fácilmente aplastados cuando se aprietan entre el dedo pulgar e índice, y son más susceptibles a vuelco durante tormentas y vientos fuertes. El síntoma general y más característico de la podredumbre de tallo es la desintegración de los tejidos internos en los entrenudos basales del tallo, los cuales pueden ser observados cuando el tallo es partido (Jardine, 2006; Jackson *et al.*, 2009).

También existen síntomas y signos específicos en la base de los tallos enfermos, que varían con cada agente causal. Así las podredumbres causadas por los géneros *Fusarium* presentan manifestaciones semejantes, y se caracterizan por producir una coloración rosada o salmón en el interior de los tallos desintegrados y a veces suele causar el crecimiento de micelio blanco en la parte externa de los tallos. Los tallos afectados por *Diplodia* presentan una coloración marrón o bronceada en sus médulas desintegradas. Además esta podredumbre es diferenciada por las diminutas estructuras reproductivas de color negro o marrón llamados picnidios que se encuentran incrustados en la corteza de los tallos, los cuales se sienten ásperos al tacto. *Macrophomina* spp. produce una enfermedad conocida como podredumbre

carbonosa. Los tallos que afecta presentan estructuras de supervivencia pequeñas, redondas y negras, llamadas micro esclerocios. Cuando muchos esclerocios son producidos en el interior de los tallos, estos adquieren la apariencia de un polvo carbonoso, del cual deriva su nombre. *Colletotrichum graminicola*, es el agente causal de la enfermedad denominada antracnosis. Este patógeno es muy agresivo y representa uno de los pocos hongos que puede causar podredumbres de tallo antes de que ocurra la senescencia del cultivo o se produzca alguna herida como vía de ingreso del mismo (Venard y Vaillancourt, 2007). Los síntomas de la infección se manifiestan claramente en forma de lesiones oscuras, alargadas y angostas (de color café al principio y luego de color negro) a lo largo de la superficie del tallo, conocidas como estrías. Mientras que las podredumbres por bacterias son generalmente producidas por *Erwinia chrysanthemi* pv. *Zae*. Las plantas infectadas son de color oscuro, tienen un aspecto acuoso en la base del tallo, se vuelcan y mueren poco después de la floración. La descomposición bacteriana produce un olor característico desagradable (CIMMYT, 2004; Jardine, 2006; Jackson *et al.*, 2009) (Figura 1).

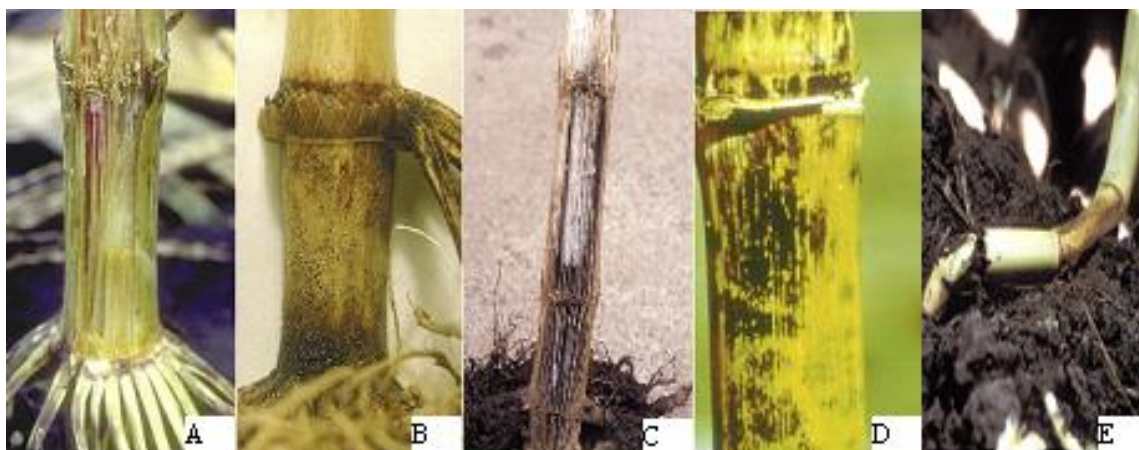


Figura 1. Síntomas de los principales agentes causales de podredumbre de tallo y raíz. (A) *Fusarium* spp., (B) *Diplodia maydis*, (C) *Macrophomina phaseolina*, (D) *Colletotrichum graminicola* y (E) *Erwinia chrysanthemi* pv. *Zae*.

Fuente: Jardine, 2006

La podredumbre de tallo y raíz puede ser considerada como una enfermedad de fin de ciclo ya que se manifiesta después de la floración, momento en el que los factores involucrados en la aceleración de la senescencia natural contribuyen al aumento de la susceptibilidad de la plantas, y los síntomas son más evidentes (Carmona, 2009).

Dodd (1980) propone un concepto denominado estrés fotosintético-balance de traslocación para explicar la distribución de la enfermedad y la interacción hospedante-patógeno-ambiente. Según este concepto, los tejidos de las raíces y de las porciones

inferiores de los tallos son afectados por numerosos organismos cuando pierden sus sistemas de defensas metabólicas debido a un incremento en la senescencia celular por deficiencia de carbohidratos. Esta deficiencia se debe a la combinación de insuficiente fotosíntesis y competencia por la traslocación a los granos. Estos tejidos sufren cuando las plantas están más “comprometidas” en el llenado de granos de lo que la fotosíntesis puede proveer. Así aquellos híbridos que no presenten limitantes durante el período de determinación del número de granos, pero que luego sufran alguna situación de estrés que limite la disponibilidad de carbohidratos provistos por la fotosíntesis para el llenado de ese gran número de granos, se verán más afectados por la enfermedad (Dodd, 1980, Andrade *et al.*, 1996).

Debido a que en la etapa posterior a la floración la fotosíntesis es la principal fuente de carbohidratos para llenar los granos y cubrir los requerimientos energéticos, el ambiente durante este período es de gran importancia. La intensidad de la radiación, el área foliar efectiva, la humedad disponible y los minerales interactúan con las características genéticas de las plantas para determinar la tasa fotosintética (Dodd, 1980). De este modo aquellos materiales evaluados en ambientes que presenten diferentes condiciones limitantes para la fotosíntesis provocarán cambios en la reacción de los mismos frente a la enfermedad (Russell, 1961; Kappelman y Thompson, 1966).

Del mismo modo en que los diferentes agentes causales de PTR presentan síntomas característicos, también se ven favorecidos por diferentes condiciones ambientales. Así las podredumbres de tallo por *Fusarium* y *Diplodia* son favorecidas por condiciones secas al inicio del ciclo del cultivo, las cuales disminuyen la solubilidad de nutrientes, dejándolos poco disponibles para la planta. Luego, en etapas posteriores a la floración, el tiempo cálido y húmedo puede lixiviar los nutrientes remanentes del suelo y provocar una deficiencia de nitrógeno y con ello un aumento de la podredumbre de tallo. La podredumbre por *Macrophomina* es favorecida por condiciones de elevadas temperaturas y sequía durante el llenado de los granos. La antracnosis requiere de períodos prolongados de tiempo nublado con elevada humedad relativa y tiempo cálido posteriores a la floración para lograr una adecuada producción de esporas y posterior infección. Mientras que las podredumbres bacterianas se desarrollan bajo condiciones de elevadas precipitaciones, tiempo cálido y escasa circulación de aire en zonas propensas a las inundaciones (Jardine, 2006; Jackson *et al.*, 2009).

Los cambios en los patrones ambientales provocan modificaciones en la diversidad total de especies como en la prevalencia relativa de las mismas en el complejo de PTR (Gatch y Munkvold, 2002b). Esto lleva a que los mejoradores vegetales comúnmente encuentren genotipos con buen comportamiento en un ambiente particular pero mal adaptado a otro. A veces estas diferencias entre genotipos pueden ser atribuidas a caracteres de

herencia simple, tales como susceptibilidad a un patógeno de los integrantes del complejo (Paterson *et al.* 1990), como fue mostrado por Custodie López (1985) y Presello *et al.* (2005), quienes encontraron una reacción diferencial en algunos genotipos de maíz al inocularlos artificialmente con diferentes agentes causales de PTR. Es por ello que la evaluación de un híbrido en diferentes ambientes podría mostrar resultados muy contrastantes. Lo que es más, al evaluar un conjunto de genotipos (G), podrían presentarse modificaciones en su ordenamiento a través de los ambientes (E), manifestando una interacción genotipo-ambiente (GE) significativa, la cual es bastante común en los híbridos por su estructura genética homogénea que limita su capacidad de adaptarse a diferentes situaciones ambientales (Annicchiarico, 2002).

Es por ello que la evaluación de materiales en múltiples ambientes, si bien es una tarea costosa y muchas veces confundida con patrones naturales de ocurrencia (Anderson y White, 1994), resulta una herramienta útil para generar valiosa información acerca de la estabilidad del comportamiento de los genotipos. Esto fue lo que llevó al grupo AACREA (Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola) a realizar ensayos comparativos de rendimiento y evaluación del ataque de las enfermedades más importantes en la campaña 2008/2009 con el objetivo de identificar cuáles son los mejores cultivares de maíz para sembrar en el sur de Córdoba y este de San Luis.

No solo los factores abióticos afectan el desarrollo de la enfermedad sino que algunos autores informaron la importancia de las heridas causadas a los tallos por *Ostrinia nubilalis*, que actúan como vía de ingreso a los patógenos que posteriormente llevan a la manifestación de la PTR (Bergstrom *et al.*, 1983; Keller *et al.*, 1986).

La diversidad de agentes patógenos responsables de la podredumbre de tallo permite estudiar la enfermedad de diferentes modos. Algunos investigadores optan por la inoculación artificial con un microorganismo aislado, a la hora de seleccionar genotipos por resistencia a ese patógeno en particular (Russell, 1961; Todd y Kommedahl, 1994; Buchaca, 2008; Balint-Kurti y Johal, 2009; Palaversic *et al.*, 2009; Szöke *et al.* 2009). Mientras que otros, como Marcondes *et al.* (2012), proponen un abordaje general de la enfermedad, causada por el complejo de patógenos mediante infestación natural, considerando que la mayoría de ellos son omnipresentes como lo sugiere Dodd (1980).

Por otro lado en las podredumbres de tallo, no solo varía la complejidad en que los investigadores estudian la enfermedad, sino que también existen diversas metodologías para evaluar el comportamiento de los materiales genéticos frente a podredumbre de tallo y raíz. Algunas se basan en la severidad de los síntomas, otras en la incidencia o bien mediante el uso de índices de severidad generados por la combinación de dichos parámetros (Ahmad *et al.*, 1997). En Argentina es frecuente el análisis a través de la incidencia, para lo cual se

define a una planta enferma como la que presenta una combinación de síntomas propios de la enfermedad (Carmona, 2008; Buchaca, 2008; Odino *et al.*, 2012).

Los métodos comúnmente usados para identificar genotipos con resistencia a la podredumbre de tallo y raíz suelen ser incómodos y laboriosos, por esto resulta de interés desarrollar nuevas técnicas para estudiar la enfermedad (Anderson y White, 1994). Con el fin de reducir el tiempo y la labor en la toma de datos, una alternativa sería estudiar a cada uno de los síntomas que se utilizan para definir a una planta enferma como caracteres individuales y luego determinar cuáles resultan más adecuados para ser utilizados posteriormente en la evaluación de genotipos. Para seleccionar caracteres muchas veces se toma como criterio la variabilidad de los mismos. Esto fue lo realizado por Sánchez (1983), Silva (1992), Sánchez-González *et al.* (1993), Herrera Cabrera *et al.* (2000) al seleccionar los mejores caracteres morfológicos para caracterizar a razas y poblaciones de maíz con el fin de estudiar diversidad genética.

Pero no solo cobran importancia los síntomas de la enfermedad para informar sobre el comportamiento de los materiales evaluados, sino que también se debe considerar la susceptibilidad al vuelco y fortaleza de los tallos tal y como fue evaluado por Anderson y White (1994), considerando también el rendimiento en grano y su correlación con el resto de los caracteres.

Para el análisis de observaciones multidimensionales obtenidas al relevar información sobre varios caracteres para cada uno de los tratamientos es de utilidad la estadística multivariada. El análisis multivariado es una herramienta estadística que procesa la información de tal modo que simplifica la estructura de los datos y sintetiza la información cuando el número de variables usadas es grande, facilitando el entendimiento de las relaciones existentes entre ellas (Balzarini *et al.*, 2008). Las técnicas multivariadas de reducción de dimensión (TRD) tales como el análisis de componentes principales (ACP) y la representación gráfica de las mismas, que en dicho análisis es conocida como biplot, cobran sustancial importancia en la visualización de datos multivariados en espacios de baja dimensión ya que facilitan la interpretación de interrelaciones entre las variables y entre las entidades biológicas u observaciones bajo análisis (Balzarini *et al.*, 2010). El ACP permite estudiar la variabilidad multivariada tanto entre las entidades como entre variables o caracteres. Este método extrae sucesivos componentes desde una matriz calculada a partir de la matriz original de datos, de manera tal que éstas resumen diferencias (distancias/variabilidades) entre las entidades biológicas de análisis y estas diferencias son calculadas en sentido multivariado, es decir a partir de la información provista por múltiples caracteres. Esos componentes son usados como ejes para la representación gráfica de las observaciones. En la ordenación, cada entidad es ubicada sobre uno o más ejes tal que su posición geométrica relativa refleja las similitudes y/o distancias entre ellas. En particular,

los gráficos biplots propuestos por Gabriel (1971) permiten representar ambas, las observaciones y las variables en un mismo plano. El gráfico se obtiene realizando un diagrama de dispersión de las observaciones a partir del ACP sobre la matriz de correlación (covarianzas) de los caracteres y superponiendo los autovectores que representan las variables convenientemente escaladas en el mismo espacio. En el biplot, se grafican las observaciones como puntos y las variables como vectores desde el origen. La distancia entre observaciones y variables no tiene interpretación, pero las direcciones de los vectores desde el origen sí pueden ser interpretadas. Las observaciones que se grafican en una misma dirección que una variable tienen valores relativamente altos para esa variable y valores bajos en variables que se grafican en dirección opuesta. Por otro lado, los ángulos entre los vectores que representan las variables, pueden ser interpretados en términos de las correlaciones entre variables. Un ángulo próximo a 90° indica que dos variables no se encuentran correlacionadas. Alejamientos de este valor tanto sea en valores menores como mayores a 90° implican correlaciones positivas o negativas, respectivamente. Es decir, un ángulo cercano a cero implica que ambas variables están fuertemente correlacionadas en forma positiva y un ángulo llano indica que dos variables muestran fuerte correlación negativa. Cuando las longitudes de los vectores son similares el gráfico sugiere contribuciones similares de cada variable a los componentes principales.

Al analizar los materiales en diferentes ambientes mediante un conjunto de caracteres, surgen diferentes ordenamientos de los mismos para cada ambiente. En dicho caso puede ser de interés cuantificar el grado de adecuación o armonización de dichas configuraciones, como también consensuar dichas ordenaciones para lograr una única configuración. Para este fin el análisis procrustes generalizado (APG) resulta ser de gran utilidad. El APG se basa en rotaciones y escalamientos de las ordenaciones individuales para su representación en un mismo espacio (espacio de consenso). La idea de la rotación de una matriz para ajustarla a otra se extendió con el propósito de rotar varias matrices hacia una matriz centroide común (procrustes generalizado). Gower (1975) describe la configuración final lograda por este procedimiento como configuración consenso y propone una técnica de cálculo que produce, en el formato de un análisis de la varianza, una medida para cuantificar el consenso entre las ordenaciones. Una de las características de esta técnica es que resulta de gran interés desde el punto de vista de la interpretación. Ya que no solo genera una medida de la relación entre las distintas configuraciones, sino que también permite la elaboración de gráficos de dispersión de los ordenamientos individuales y de consenso, sobre los cuales se construyen árboles de recorrido mínimo (ARM) que permite observar las proximidades de los individuos de las diferentes configuraciones al ser representados en un mismo plano factorial. El APG puede ser utilizado para estudiar relaciones entre genotipo y fenotipo. Dado que las características de mayor interés para el estudio de las especies son

fenotípicas más que genotípicas, la asociación genotipo-fenotipo es objetivo principal de numerosas investigaciones (Balzarini *et al.*, 2010). Sin embargo también resulta útil para caracterizar a un conjunto de individuos evaluados en diferentes ambientes, tal y como fue realizado por Zuliani *et al.* (2012). Mediante este análisis dichos autores obtuvieron una configuración consenso que representó una estructura común para los ambientes donde se evaluaron los genotipos y permitió caracterizarlos. Además el ACP permitió separar la variabilidad intrínsecamente genética entre los taxones a evaluar de aquella que se debe al ambiente, y más aún, de la posible variabilidad debida a la interacción GE para el posterior establecimiento de relaciones puramente filogenéticas.

La comparación y recomendación de híbridos se dificulta cuando el comportamiento relativo entre los genotipos difiere de una condición ambiental a otra. La interacción GE se origina como consecuencia de este comportamiento diferencial de los genotipos en los distintos ambientes. Así resulta importante cuantificar la magnitud de este componente en el carácter utilizado para evaluar los híbridos. Aunque el carácter fenotípico de interés es el resultado de los efectos del genotipo (G), del ambiente (E) y de la interacción genotipo-ambiente (GE), solamente el efecto principal de G y la interacción GE son de relevancia en la evaluación de los genotipos (Yan *et al.*, 2000). A diferencia del análisis de la varianza (ANAVA) y de la comparación de medias que sólo permiten seleccionar aquellos genotipos que superan un determinado nivel de rendimiento, el modelo de regresión de sitios (SREG) (Cornelius *et al.*, 1996; Crossa y Cornelius, 1997; Crossa *et al.*, 2002), que se recomienda cuando los efectos ambientales son la fuente de variación más importante, tiene otras ventajas adicionales. En efecto, el modelo SREG, que incluye G+GE en el término bilineal, proporciona un análisis gráfico de fácil interpretación del comportamiento de los genotipos más el efecto de la interacción GE, denominado biplot GGE (Yan *et al.*, 2000). Así como con el análisis mediante métodos tradicionales es posible identificar los genotipos de mayor producción en cada ambiente, con el biplot, además es posible caracterizar aquellos genotipos que exhiben mayor estabilidad. Por otra parte, el gráfico permite visualizar el agrupamiento de genotipos y ambientes (megambientes) con patrones similares de respuesta, así como identificar los ambientes más representativos. El uso de este análisis gráfico es común para ensayos comparativos de rendimiento multiambientales, aunque se ha extendido a otros tipos de estudios realizados en programas de mejoramiento vegetal relativos a la relación hospedante-patógeno (Yan y Falk, 2002) y a la interacción QTL-ambiente (Yan y Tinker, 2005), así como a datos procedentes de cruzamientos dialélicos (Yan y Hunt, 2002) o de correlaciones genético-ambientales (Yan y Rajcan, 2002; Lee *et al.*, 2003; Ibañez *et al.*, 2005). El biplot GGE se construye a partir de las primeras dos componentes principales (CP) del modelo SREG. La primera componente, cuando se encuentra altamente correlacionada con el efecto principal de genotipo, representa la

proporción del carácter que se debe sólo a las características del genotipo. La segunda componente representa la parte del carácter debida a la interacción GE. Los genotipos cercanos entre sí en el biplot GGE presentan patrones similares de respuesta a través de los ambientes. Los ambientes cercanos entre sí, dado por el ángulo agudo entre sus vectores, indican asociación ambiental positiva, es decir, patrones similares de respuesta en el comportamiento relativo de un conjunto de genotipos. La ausencia de asociación entre ambientes es dada por el ángulo recto entre vectores y la asociación negativa por el ángulo obtuso (Yan *et al.*, 2000).

HIPOTESIS

Los genotipos híbridos de maíz presentan distinto comportamiento ante podredumbre de tallo y raíz. Diferentes caracteres permiten determinar el comportamiento diferencial de los híbridos frente a la enfermedad podredumbre de tallo y raíz, así como estimar las similitudes y disimilitudes entre ellos.

OBJETIVOS

General

- Evaluar las diferencias existentes entre los híbridos de maíz respecto al comportamiento frente a podredumbre de tallo y raíz.

Específicos

- 1- Caracterizar los híbridos de maíz mediante diferentes caracteres agronómicos.
- 2- Analizar la relación entre el rendimiento y el comportamiento frente a podredumbre de tallo y raíz.
- 3- Determinar el efecto de diferentes condiciones ambientales de las distintas localidades de evaluación sobre el desarrollo de la enfermedad y el modo en que los híbridos reaccionan ante la misma.
- 4- Establecer relaciones entre híbridos en base a diferentes caracteres relacionados con la enfermedad.
- 5- Identificar genotipos que presentan mejor comportamiento frente a podredumbre de tallo y raíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y fecha de siembra

Los ensayos de evaluación a campo se realizaron en tres establecimientos pertenecientes a productores AACREA (Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola), dos de ellos ubicados en la provincia de Córdoba y otro en la provincia de San Luis, durante la campaña agrícola 2008/2009. Los dos primeros ensayos se ubicaron hacia el noreste de Río Cuarto, cercano a la localidad de Olaeta, y hacia al sureste, próximo a Buchardo. Mientras que el ensayo de San Luis se ubicó en las cercanías de Papagayo (Cuadro 1). La siembra fue realizada por los productores.

Cuadro 1. Ubicación y fecha de siembra de los ensayos de evaluación de híbridos comerciales de maíz por su comportamiento frente a podredumbre de tallo y raíz en la campaña agrícola 2008/09.

Localidad	Provincia	Latitud	Longitud	Siembra
Olaeta	Córdoba	32°58'52``S	63°47'50``O	11-10-08
Buchardo	Córdoba	34°45'19``S	63°31'27``O	09-10-08
Papagayo	San Luis	32°42'41``S	65°11'47``O	11-11-08

Características edáficas

El ensayo próximo a Olaeta se ubicó en una unidad cartográfica con capacidad de uso IVc, más precisamente en suelos de lomas estabilizadas y pendientes (Haplustol entico), los cuales son bien a algo excesivamente drenados: profundos (+ de 100 cm); franco limoso en superficie; franco limoso en el subsuelo; moderadamente bien provisto de materia orgánica; moderada capacidad de intercambio; ligeramente inclinado (1-0,5%); ligera susceptibilidad a la erosión hídrica; con pH ligeramente ácido (Agencia Córdoba Ambiente S.E.-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Manfredi, 2006). Los análisis realizados permitieron clasificarlo como poco provisto de nitrógeno, fósforo y azufre, y con 1,42% de materia orgánica (comunicación personal de los productores AACREA dueños de los establecimientos donde se realizaron los ensayos).

La unidad cartográfica donde se ubicó el ensayo cercano a Papagayo posee una capacidad de uso IIIec, con suelos haplustoles enticos ubicados en el piedemonte con pendientes suaves (SAGyP – INTA, 2008).

Los materiales evaluados en las proximidades de Buchardo fueron establecidos en una unidad cartográfica con una capacidad de uso IIIec, donde el perfil representativo fue un

haplustol entico, algo excesivamente drenado, profundo (+ de 100cm); franco arenoso en superficie; franco arenoso en el subsuelo; moderadamente bien provisto de materia orgánica; moderada capacidad de intercambio; ligeramente inclinado (1-0,5%): alta susceptibilidad a la erosión eólica (Agencia Córdoba Ambiente S.E.-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Manfredi, 2006). El análisis de suelo mostró estar muy bien provisto de nitrógeno proveniente de nitratos hasta los 60 cm de profundidad y contener materia orgánica joven abundante (comunicación personal de los productores AACREA dueños de los establecimientos donde se realizaron los ensayos).

Características climáticas

Las características térmicas de los sitios donde se realizaron los ensayos fueron estimadas a partir de los datos de temperatura de las localidades más cercanas donde se contaba con información, así para los ensayos ubicados en las cercanías de Olaeta y Buchardo se tomó como referencia las temperaturas en las localidades de Río Cuarto y Huinca Renancó respectivamente, provistos por la Sección Agrometeorología de la Universidad Nacional de Río Cuarto, mientras que para el ensayo ubicado próximo a Papagayo se utilizaron los datos de Villa Larca obtenidos de la red de estaciones meteorológicas de la provincia de San Luis (Universidad de La Punta. Red de estaciones meteorológicas, 2009) (Cuadro 2).

La temperatura media mensual mínima se registró en el mes de junio en las tres localidades, para la cual Huinca Renancó presentó el menor valor con 7,43 °C y Villa Larca el máximo con 10,02 °C. Por otro lado la temperatura media mensual máxima ocurrió en el mes de noviembre para Río Cuarto y Huinca Renancó, siendo esta última localidad la que presentó el mayor valor con 24,43 °C, mientras que en Villa Larca la máxima se produjo en marzo y fue la mínima para las tres localidades con 21,14 °C.

Al analizar la evolución de las temperaturas medias mensuales durante el año, se observa que Huinca Renancó fue la localidad que presentó los mayores valores de temperaturas para los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero y los menores valores para el resto de los meses del año. Por otro lado, las temperaturas medias mensuales registradas en Villa Larca fueron las que presentaron la menor variación entre valores máximos y mínimos de los meses más cálidos y fríos, respectivamente. Olaeta presentó una evolución intermedia de las temperaturas medias mensuales entre las otras dos localidades.

Cuadro 2. Temperatura media mensual (°C) en los ensayos de evaluación de híbridos comerciales de maíz por su comportamiento frente a podredumbre de tallo y raíz, durante la campaña agrícola 2008/09.

Mes/Año	Localidad		
	Río Cuarto (O) (°C)	Huinca Renancó (B) (°C)	Villa Larca (P)(°C)
Julio-2008	11,72	10,50	12,50
Agosto-2008	11,25	9,57	11,81
Septiembre-2008	13,97	13,05	13,45
Octubre-2008	17,71	17,04	17,67
Noviembre-2008	22,99	24,43	21,10
Diciembre-2008	21,55	22,28	20,99
Enero-2009	21,75	23,01	20,69
Febrero-2009	21,61	21,89	21,11
Marzo-2009	21,70	19,57	21,14
Abril-2009	19,98	14,76	19,15
Mayo-2009	13,87	7,95	13,82
Junio-2009	9,63	7,43	10,02

Las precipitaciones en el ensayo de Olaeta fueron registradas mediante pluviómetro ubicado en el establecimiento, mientras que para las demás localidades, debido a que no se tomaron datos en los sitios donde se realizaron los ensayos, se utilizaron las precipitaciones registradas en las mismas estaciones meteorológicas de las localidades tomadas como referencia para los datos de temperaturas (Cuadro 3).

La precipitación pluvial registrada desde julio de 2008 a junio de 2009 fue de 631 mm en Olaeta, 303 mm en Huinca Renancó y 469 mm en Villa Larca. En todos los casos las precipitaciones observadas se encontraron por debajo de la media anual de los últimos 30 años para Río Cuarto (786 mm), localidad ubicada en un punto geográfico intermedio entre los tres ensayos.

Las precipitaciones registradas en las estaciones meteorológicas tomadas como referencia para los ensayos ubicados en las cercanías de Olaeta y Buchardo en los meses previos a la siembra (desde julio hasta octubre) fueron de 10 y 26 mm respectivamente, mientras que durante el ciclo del cultivo (desde octubre hasta junio) precipitaron 621 y 277 mm; en la estación ubicada en Villa Larca, próxima a Papagayo, desde julio a la siembra a principios de noviembre se registraron 42 mm, y durante el ciclo del cultivo 417 mm. Las precipitaciones ocurridas antes de la siembra y durante el ciclo del cultivo, en los tres ensayos estuvieron por debajo de la precipitación media de los últimos 30 años de la localidad de Río Cuarto para los mismos períodos, siendo mayor la diferencia en los meses previos a la siembra, en los cuales las precipitaciones no alcanzaron el 50% de la media de los últimos 30 años para la localidad de Río Cuarto en ninguno de los tres ensayos, mientras

que durante el ciclo del cultivo se destacó las escasa precipitación ocurrida en cercanías de Papagayo, que no alcanzó el 40% de la media para Río Cuarto.

Cuadro 3. Precipitación pluvial (mm) absoluta y en porcentaje con respecto a la media de la ciudad de Río Cuarto, en los ensayos de evaluación de híbridos comerciales de maíz por su comportamiento frente a podredumbre de tallo y raíz, durante la campaña agrícola 2008/09. Precipitación pluvial (mm) media de los últimos 30 años de la ciudad Río Cuarto.

Mes/Año	Localidad						
	Olaeta (O)		Huinca Renancó (B)		Villa Larca (P)		Río Cuarto
	mm	%	mm	%	mm	%	mm
Julio-2008	0	0	12	86	0	0	14
Agosto-2008	0	0	4	36	1	9	11
Septiembre-2008	10	32	10	32	24	77	31
Octubre-2008	78	108	13	18	17	24	72
Noviembre-2008	161	136	26	22	62	53	118
Diciembre-2008	93	73	68	53	10	8	128
Enero-2009	105	77	49	36	208	152	137
Febrero-2009	85	99	94	109	69	80	86
Marzo-2009	62	67	11	12	44	47	93
Abril-2009	19	34	5	9	5	9	56
Mayo-2009	3	13	10	42	19	79	24
Junio-2009	15	94	1	6	10	63	16
Total	631	80	303	39	469	58	786
Julio-Siembra	10	18	26	46	42	33	56(O-B)-128(P)
Enero-Febrero	190	85	143	64	277	124	223
Ciclo del cultivo	621	85	277	38	417	63	730(O-B)-658(P)

Observando las precipitaciones mensuales de cada localidad respecto a las medias de los últimos 30 años en la localidad de Río Cuarto, se nota que en todas las localidades las precipitaciones en los meses previos a la siembra fueron inferiores. Con respecto a las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo, se puede ver que en Olaeta solo fueron superiores en octubre y noviembre. Por otro lado en Huinca Renancó, localidad próxima al ensayo ubicado en Buchardo, las precipitaciones solo superaron por escasos milímetros a la media de Río Cuarto en febrero, mientras que en Villa Larca, próxima a Papagayo, los registros de enero superaron ampliamente a los de Río Cuarto, a pesar de que los correspondientes a los demás meses durante el ciclo del cultivo fueron notoriamente inferiores. Se analizó por separado la precipitación ocurrida durante los meses de enero y febrero por representar un período aproximado en el cual ocurre el llenado del grano en la mayoría de los híbridos estudiados, para las fechas de siembra en las que fueron

implantados, así la precipitación más escasa durante este etapa se produjo en Huinca Renancó, aunque en Olaeta tampoco se alcanzó la media de los últimos 30 años para Río Cuarto en este período, mientras que en Villa Larca se registraron las mayores precipitaciones superando a la media de Río Cuarto. Es necesario destacar también la ocurrencia de un evento de precipitaciones sólidas a principios de febrero en la localidad de Buchardo que provocó considerables daños al cultivo.

Material genético

Los híbridos evaluados fueron seleccionados de diferentes semilleros, por ser los más utilizados por los miembros del grupo AACREA. El estudio incluyó 19 híbridos, de los cuales no todos estuvieron presentes en los tres ensayos (Cuadro 4). Por ello la base de datos de las variables a analizar resulta incompleta, y/o están desbalanceadas, es decir que no todos los cultivares están en todos los ambientes presentando distinta cantidad de información por cultivar (Casanoves y Balzarini, 2002).

Cuadro 4. Empresa, nombre y ubicación de los híbridos comerciales evaluados en los ensayos durante la campaña agrícola 2008/09.

Semillero	Híbrido	Ubicación
Monsanto	DK190MGRR2	Olaeta-Buchardo-Papagayo
Monsanto	DK747MGRR2	Olaeta-Buchardo-Papagayo
Monsanto	DK700MGRR	Buchardo-Papagayo
Illinois	I880MG	Olaeta-Buchardo-Papagayo
KWS ARG	KM4911TDMax	Olaeta-Buchardo-Papagayo
La Tijereta	LT622MGRR2	Olaeta-Buchardo-Papagayo
La Tijereta	LT632MG	Olaeta-Buchardo-Papagayo
Syngenta	NK880TDMax	Olaeta-Buchardo-Papagayo
Syngenta	NK910TDMax	Olaeta-Buchardo-Papagayo
Pionner	P1979Y	Olaeta-Buchardo-Papagayo
Pionner	P2053Y	Olaeta-Buchardo-Papagayo
Pionner	P2069Y	Olaeta-Buchardo-Papagayo
Pannar	PANPex168MG	Olaeta-Buchardo-Papagayo
AD SUR	AD60AY	Olaeta-Papagayo
Nidera	AX878MG	Olaeta-Buchardo
Nidera	AX882MGCL	Olaeta-Buchardo
Nidera	AX886MG	Olaeta-Buchardo
Nidera	AX894MG	Olaeta-Buchardo
Don Mario	DM2741MG	Olaeta

Manejo agronómico

El cultivo antecesor de los ensayos, en las tres localidades, fue soja de primera y como sistema de laboreo se utilizó siembra directa, el cual estuvo acompañado por el manejo

agronómico que se consideró más adecuado en cada establecimiento, de manera tal de poder expresar el potencial de los híbridos, sin limitantes de nutrientes, competencia de malezas, etc.

Los ensayos realizados en las proximidades de Olaeta y Buchardo fueron sembrados a una distancia entre surcos de 70 cm con una densidad teórica de 75.000 y 73.000 semillas por hectárea, respectivamente. Los materiales ubicados cerca de Papagayo se implantaron con un distanciamiento entre surcos de 52,5 cm y una densidad teórica de 78.000 semillas por hectárea.

El modelo de fertilización empleado consistió en la aplicación de nutrientes a la siembra en los tres ensayos y posteriormente una refertilización en el caso de Olaeta y Papagayo (Cuadro 5). En el ensayo ubicado en Olaeta se aplicó a la siembra 70 kg/ha en la línea de siembra y 110 kg/ha al costado de una mezcla compuesta en un 70% por fosfato monoamónico (MAP) y 30% de sulfato de amonio (SAM) y luego se refertilizó con 200 kg/ha de urea, lo que aportó 117,2 kg/ha de nitrógeno (N), 85 kg/ha de fósforo (P) y 21,6 kg/ha de azufre (S). En Buchardo se realizó una única fertilización al momento de la siembra con 50 kg/ha de MAP aportando 6 kg/ha de N y 26 kg/ha de P. Mientras que en Papagayo se llevó a cabo un doble fertilización con 75 kg/ha de fosfato diamónico (DAP) al costado de la línea de siembra y luego 80 kg/ha de urea como refertilización, con lo cual se aportó 50 kg/ha de N y 35 kg/ha de P.

Cuadro 5. Modelo de fertilización realizado en los ensayos de evaluación de híbridos comerciales de maíz por su comportamiento frente a podredumbre de tallo y raíz durante la campaña agrícola 2008/09.

Localidad	Fertilización a la siembra			Refertilización		
	Posición	Dosis	Producto	Días	Dosis	Producto
Olaeta	Lateral	110 kg/ha	MAP-SAM	38	200 kg/ha	Urea
	Línea	70 kg/ha	MAP-SAM			
Buchardo	Lateral	50 kg/ha	MAP			
Papagayo	Lateral	75 kg/ha	DAP	38	80 kg/ha	Urea

Días= se refiere a días después de la siembra.

MAP: fosfato monoamónico; SAM: sulfato de amonio; DAP: fosfato diamónico

Diseño del experimento

El diseño del experimento utilizado en las tres localidades fue el de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Las parcelas experimentales tuvieron aproximadamente 200 m de largo y diferentes anchos en cada una de las localidades, determinadas por el tamaño de la máquina sembradora disponible por cada productor, así en

Olaeta cada híbrido contó con una parcela de 8,40 m de ancho (12 surcos a 70 cm de distancia entre los mismos), en Buchardo las parcelas fueron de 7 m de ancho (10 surcos a 70 cm), mientras que en el ensayo realizado en Papagayo las parcelas fueron de 5,25 m de ancho (10 surcos a 52,50 cm).

Las parcelas se implantaron con la metodología del testigo apareado para controlar el efecto de lote sobre el rendimiento. Este método de ensayo consiste en sembrar al lado de la parcela de cada híbrido una parcela del testigo. La metodología empleada de testigo apareado, permite mejorar la evaluación de todos los cultivares, al reflejar la variabilidad que pudiese existir con respecto al suelo dentro del lote del productor, manteniendo constante la influencia del lote. Luego de la cosecha, se obtiene un promedio de las parcelas del testigo, y al rendimiento de cada parcela de testigo se le calcula el índice con respecto al promedio general de todos los testigos. Finalmente se multiplica el índice por el rendimiento de cada híbrido para igualar las diferencias que se puedan observar por efectos propios de la localización específica de cada parcela.

Luego de eliminar las borduras y cabeceras se establecieron las estaciones de muestreo o unidades experimentales, formadas por 5 plantas, entre las cuales se contó el número de plantas con cada uno de los síntomas de pudrición de tallo y raíz (enfermas) y el número de plantas sanas para así determinar la incidencia de cada uno de los síntomas de la enfermedad, que representan a los caracteres evaluados. El muestreo se realizó 10-20 días después de la maduración fisiológica del cultivo. Además, se determinó el rendimiento de las parcelas correspondientes a cada híbrido, afectado por el índice del testigo apareado.

Caracteres evaluados

El comportamiento de los híbridos frente a podredumbre de tallo y raíz se evaluó mediante caracteres generados por la observación individual de un conjunto de síntomas propuestos por Carmona y Reis (2008) para definir una planta enferma, los cuales fueron denominados en este estudio como caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz. Para cada uno de estos caracteres se determinó su presencia (planta con síntoma) o ausencia (planta sin síntoma) en cada una de las 5 plantas que integraron la estación de muestreo, y se expresaron como porcentajes de incidencia. Además se registraron los caracteres agronómicos-morfológicos altura de planta y altura de inserción de la espiga que forman parte de los descriptores de maíz propuestos por el IBPGRI (International Board for Plant Genetic Resources Institute) (CIMMYT/IBPGRI, 1991) como también el diámetro del tallo, para determinar la fortaleza del mismo, que se expresaron como un promedio para cada estación de muestreo. El rendimiento fue obtenido en el momento en que los ensayos alcanzaron la madurez de cosecha según criterios del productor, mediante cosechadora

mecánica, ajustados al 12% de humedad del grano y afectados por el índice del testigo apareado. Las variables mencionadas se describen en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz, caracteres agronómico-morfológicos y rendimiento medidos en los 12 híbridos comerciales de maíz evaluados en Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante el ciclo agrícola 2008/09.

Carácter	Descripción y unidad de medida
Médula	La planta con síntoma presentó alguna alteración en la médula normal de la porción basal del tallo (comprendida entre la base y el nudo donde se inserta la primera espiga), que puede ser: médula oscura, rosada y/o enriada (deshilachada) al cortar longitudinal y transversalmente los tallos. Incidencia (%).
Estrías en los entrenudos basales	La planta con síntoma presentó estrías externas negras y brillantes en al menos uno de los cuatros entrenudos basales. Incidencia (%).
Ataque de insecto barrenador de tallo	Se consideró una planta afectada (con síntoma) a la que presentó al menos un orificio de entrada del insecto en la porción del tallo comprendida entre la base de la planta y el nudo donde se inserta la espiga. Incidencia (%).
Color en la base del tallo	La planta con síntoma presentó un cambio de la coloración normal de la base del tallo en forma de manchas tipo charco, color marrón. Incidencia (%).
Resistencia a la presión en la base del tallo	Determinado al presionar el tallo entre el índice y el pulgar en la base del tallo y en los nudos basales, y se considera planta con síntoma a la que posea una resistencia menor a la presentada por las plantas sanas (ausencia del resto de los síntomas) de cada híbrido tomada como referencia previamente a la determinación. Incidencia (%).
Vuelco	Se consideró una planta afectada (con síntoma) a aquellas plantas volcadas desde su base (no las quebradas), cuyo ángulo de inclinación supere los 45° respecto al terreno. Incidencia (%).
Altura de la planta	Altura medida desde la base de la planta hasta la inserción de la hoja bandera. Longitud (m).
Altura de inserción de la espiga	Altura medida desde la base de la planta hasta el nudo en el cual se inserta la espiga más desarrollada. Longitud (m).
Diámetro del tallo	Medido a 10 cm del suelo. Longitud (cm).
Rendimiento	Medido mediante cosechadora mecánica para cada parcela de cada híbrido comercial, ajustado al 12% de humedad del grano y luego afectado por sus respectivos índices del testigo apareado. Masa por unidad de superficie (kg/ha).

Con la finalidad de integrar la información recopilada con los caracteres descriptos anteriormente y poder interpretar el comportamiento de los híbridos frente a podredumbre de tallo y raíz mediante un único carácter, se generó un indicador multidimensional a partir de una escala cuyas categorías expresan diferentes grados de reacción frente a la enfermedad. Cada categoría de la escala surge de la combinación de dos de los caracteres mencionados en el Cuadro 6, los cuales fueron elegidos teniendo en cuenta la evolución de la podredumbre de tallo y raíz, la correlación con rendimiento en la mayoría de los ambientes, su variabilidad y la objetividad para su medición. Los caracteres utilizados fueron estado de la médula y estrías en los entrenudos basales, ya que se sabe que en estados iniciales de la enfermedad las plantas permanecen erectas apareciendo lesiones pequeñas de color café oscuro en los entrenudos inferiores (estrías externas). Al partirlos verticalmente, se observa que el floema de los tallos infectados es de color café oscuro y que hay un oscurecimiento conspicuo general de los tejidos. En las etapas finales de la infección, la médula es destruida separándose de la corteza y los tejidos adyacentes pierden su color (CIMMYT, 2004; Dodd, 1980). Así se establecieron las siguientes gradaciones de la escala: 0= sin síntomas, 1= cambio de color en la médula (oscura o rosada) o presencia de estrías en los entrenudos basales, 2= médula destruida, o bien cambio de color en la médula y presencia de estrías e los entrenudos inferiores, 3= médula destruida, con cambio de color, y presencia de estrías.

Dada la existencia de diversos síntomas, que se manifiestan en categorías diversas y con distinta incidencia en las poblaciones bajo análisis, se ha propuesto el cálculo de índices de resistencia (Grau *et al.*, 1982), como el indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz (IMPTR). Para podredumbre de tallo y raíz este indicador de resistencia multidimensional constituye una medida de la reacción a la enfermedad clasificada según la expresión simultánea de los síntomas seleccionados, ponderada por la incidencia de los distintos grados de la escala en un conjunto de plantas del genotipo. El IMPTR puede tomar valores de 0 a 100, siendo este último valor el correspondiente a genotipos severamente afectados.

$$\text{IMPTR} = \sum_{i=0}^3 \left(\frac{\text{categoría}_i \times \text{n}^\circ \text{ de plantas en la categoría}_i}{\text{n}^\circ \text{ total de plantas} \times 3} \right) \times 100$$

Análisis estadístico

En la primera parte se llevó a cabo un análisis de los datos correspondientes a cada ambiente, mientras que en la segunda parte se realizó un análisis de los datos obtenidos en todos los ambientes. En ambos casos se realizó primero un análisis estadístico univariado y luego un análisis multivariado.

Análisis univariado por ambiente

Se realizó un análisis descriptivo de los caracteres evaluados utilizando como medidas de resumen univariadas la media, el error estándar, el valor mínimo y máximo.

Considerando el diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones, cada observación fenotípica y_{ij} se modeló según la siguiente ecuación:

$$y_{ij} = \mu + G_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

donde μ es la media general del carácter fenotípico; G_i es el efecto medio del genotipo i ; B_j es el efecto del bloque j ; y ε_{ij} es un término de error aleatorio asociado a la observación y_{ij} .

Para cada ambiente, se llevó a cabo un análisis de la varianza (ANAVA) con un nivel de significancia menor o igual al 5% ($p \leq 0,05$), donde las variables dependientes consideradas en el análisis fueron cada uno de los cinco caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz expresados como incidencia (%), mientras que las variables independientes o de clasificación fueron híbridos y bloques. Luego de verificar el cumplimiento de los supuestos del ANAVA (normalidad de residuos y homogeneidad de varianzas), condiciones que deben reunir los datos para que el modelo estadístico sea válido, se realizaron las comparaciones de medias mediante la prueba de DGC con lista descendente, a un nivel de significancia del 5%. En esta prueba las letras entre las medias no se solapan, lo cual es ventajoso para comparar e interpretar muchos datos (Balzarini *et al.*, 2008).

Con el carácter rendimiento se realizó un ordenamiento de los híbridos en orden decreciente de sus rendimientos promedio.

Las correlaciones entre los caracteres relacionados a la enfermedad y el rendimiento fueron analizadas utilizando el coeficiente de correlación de Pearson, el cual permitió indicar la magnitud de la asociación lineal entre cada par de caracteres considerados.

Todos estos análisis estadísticos fueron realizados con el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2011).

Análisis multivariado por ambiente

Los caracteres fueron analizados mediante un análisis de componentes principales (Johnson, 2000), el cual trata de encontrar con pérdida mínima de información, un nuevo conjunto de variables (componentes principales) no correlacionadas que expliquen la estructura de variación en las filas de la tabla de datos (Balzarini *et al.*, 2008). Este método de análisis permite hallar una representación gráfica o biplot de la variabilidad de los

caracteres estandarizados, lo que facilita la interpretación del comportamiento de los híbridos respecto a los caracteres y la interrelación entre caracteres e híbridos, obtenida sobre la base del patrón total de los datos.

Análisis univariado a través de ambientes

El análisis de cada uno de los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz se efectuó considerando las tres localidades donde fueron evaluados, y los híbridos en común que en ellas se encontraban. Un modelo estadístico para ensayos multiambientales se utilizó para interpretar la interacción genotipo-ambiente (GE), el cual estuvo representado por la ecuación:

$$y_{ijk} = \mu + G_i + E_j + B(E)_{k(j)} + (GE)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

donde y_{ijk} es la observación fenotípica del genotipo i , en el ambiente j y en el bloque k , μ es la media general del carácter fenotípico; G_i es el efecto medio del genotipo i ; E_j es el efecto medio del ambiente j ; $B(E)_{k(j)}$ es el efecto medio del bloque k dentro del ambiente j ; $(GE)_{ij}$ es el efecto de interacción entre el genotipo i y el ambiente j ; y ε_{ijk} es un término de error aleatorio asociado a la observación y_{ijk} .

Análisis multivariado a través de ambientes

Con el objetivo de analizar el grado de ajuste entre cada una de las tres localidades para los cinco caracteres evaluados en los genotipos híbridos comunes, se llevó a cabo un análisis de procrustes generalizado, mediante el cual se busca rotar una o varias matrices de datos para ajustarla a una matriz centroide común (Balzarini *et al.*, 2008). Gower (1975) describe la matriz centroide como una representación de configuración promedio de consenso e incluye la traslación y el escalamiento de las matrices previa estandarización de las mismas en su análisis, proponiendo una técnica de cálculo que culmina con un formato de análisis de la varianza. La técnica de cálculo para el análisis de procrustes generalizado desarrollado por Gower propone la armonización de las configuraciones individuales a través de una serie de pasos iterativos por transformación de éstas. Los sucesivos pasos o transformaciones que se realizan en un análisis de procrustes generalizado incluyen normalización, rotación, reflexión y escalamiento de los datos bajo dos criterios: (1) que se mantengan las distancias entre los genotipos de las configuraciones individuales, y (2) que se minimice la suma de cuadrados entre puntos análogos, es decir correspondientes al mismo elemento, y su centroide. La configuración de consenso se obtiene como la media de todas esas configuraciones individuales transformadas (Balzarini *et al.*, 2008). Las configuraciones individuales así como la configuración consenso luego fueron representadas como árboles de

recorrido mínimo sobre el gráfico de puntos generado. Los árboles de recorrido se construyen uniendo puntos que representan observaciones multivariadas y que se proyectan en un plano como resultado de alguna técnica de reducción de dimensión, como lo fue en este caso el análisis de componentes principales. Los puntos son conectados con segmentos de líneas rectas tal que todos los puntos quedan unidos directa o indirectamente (Gower y Ross, 1969). El árbol de mínimo recorrido es un árbol de recorrido con segmentos conectados de tal manera que la suma de las longitudes de todos los segmentos es mínima.

Mediante el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2011), se llevaron a cabo todos los análisis estadísticos multivariados mencionados.

Por último, se realizó un análisis con el indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz utilizando un modelo estadístico para ensayos multiambientales, para la interpretación de la interacción genotipo-ambiente (GE), que permitió definir no solo la estabilidad de aquellos cultivares de mejor comportamiento en los diferentes ambientes, sino también el ambiente que más contribuyó a la diferenciación de los cultivares. Para el análisis de la interacción GE se utilizó el modelo SREG (Crossa y Cornelius, 1997):

$$y_{ij} = \mu + \delta_j + \sum_{n=1}^k \lambda_n \xi_{in} \eta_{jn} + \varepsilon_{ij}$$

donde y_{ij} es la variable dependiente o característica de interés del genotipo i en el ambiente j ; μ es la media general; δ_j es el promedio de la variable de todos los genotipos en el ambiente j ; λ_n es el valor singular de la componente principal k ; ξ_{in} y η_{jn} son los coeficientes del genotipo i y el ambiente j sobre el CP k , respectivamente; ε_{ij} es un término de error aleatorio, el residual.

Los resultados se muestran en un gráfico biplot GGE construido a partir de los dos primeros componentes principales, para describir la interacción de cada genotipo con cada ambiente. El análisis estadístico utilizando el modelo SREG y el gráfico del biplot GGE se realizaron con el programa estadístico InfoGen (Balzarini y Di Rienzo, 2004).

RESULTADOS

Análisis univariado y multivariado de los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz, caracteres agronómicos-morfológicos y rendimiento por ambiente

Al analizar el comportamiento de los híbridos sembrados en la localidad de Olaeta, respecto a los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR), se observó un valor mínimo de 0% y un máximo de 100% para los caracteres médula, estrías en los entrenudos basales, ataque de insecto barrenador y color en la base del tallo. En el caso de resistencia a la presión en la base del tallo y vuelco, los valores mínimos fueron 0%, mientras que los valores máximos fueron de 60% y 40%, respectivamente. Los caracteres que componen el indicador presentaron valores medios de 37,04% en el caso de médula y 31,11% en el de estrías en los entrenudos basales.

Por otro lado en esta localidad para altura de planta los híbridos presentaron un valor mínimo de 1,64 m y un máximo de 2,32 m, para altura de inserción de la espiga el mínimo fue de 0,71 m y el máximo de 1,46 m, y por último para diámetro del tallo presentó un mínimo de 1,66 cm y un máximo de 2,69 cm (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valor medio (\pm EE), mínimo y máximo de los nueve caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR), altura de planta, altura de inserción de la espiga, y diámetro del tallo evaluados en 18 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Olaeta, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.

Carácter	n	Valor medio	EE	Mínimo	Máximo
Médula (%)	54	37,04	6,63	0,00	100,00
EEB (%)	54	31,11	3,41	0,00	100,00
AIB (%)	54	4,44	2,09	0,00	100,00
CBT (%)	54	62,22	3,41	0,00	100,00
RPBT (%)	54	14,44	2,77	0,00	60,00
Vuelco (%)	54	4,44	1,26	0,00	40,00
Altura de la planta (m)	54	1,95	0,02	1,64	2,32
Altura de inserción de la espiga (m)	54	1,02	0,02	0,71	1,46
Diámetro del tallo (cm)	54	2,18	0,03	1,66	2,69

n: número de observaciones; *EE*: error estándar

EEB: estrías en los entrenudos basales; *AIB*: ataque de insecto barrenador; *CBT*: color en la base del tallo; *RPBT*: resistencia a la presión en la base del tallo.

Cinco de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) medidos en el ensayo realizado en las cercanías de la localidad de Olaeta fueron analizados por medio de un análisis de la varianza (ANAVA) paramétrico, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 8. La variabilidad explicada por los híbridos representa el 47% en médula, 52% en estrías en los entrenudos basales, 66% en ataque de insecto barrenador, 60% en resistencia a la presión en la base del tallo y 47% en vuelco. En todos estos caracteres hubo diferencia estadísticamente significativas con un valor $p < 0,05$, destacándose resistencia a la presión en la base del tallo ($p < 0,01$) y ataque de insecto barrenador ($p < 0,001$). El carácter color en la base del tallo fue analizado mediante un análisis de la varianza no paramétrico, con la prueba de Friedman, debido a que no cumplía alguno de los supuestos del ANAVA, mostrando diferencias estadísticamente no significativas ($p > 0,05$).

Cuadro 8. Cuadrado medio y significancia de los análisis de la varianza de cinco caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR), evaluados en 18 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Olaeta, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.

FV	gl	Médula		EEB		AIB		RPBT		Vuelco	
		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor
Híbrido	17	3485,84	0,0433	1019,61	0,0110	486,27	0,0002	772,55	0,0031	125,49	0,0375
Bloque	2	3518,52	0,1501	1088,89	0,0831	155,56	0,2761	22,22	0,9175	155,56	0,0944
Error	34	1753,81		406,54		116,34		257,52		61,44	
Total	53										

FV: fuente de variación; gl: grados de libertad; CM: cuadrado medio

EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

El Cuadro 9 presenta la media y el comportamiento individual de los 18 híbridos para los cinco caracteres en los que hubo diferencia estadísticamente significativa. En los cinco caracteres se presentaron dos grupos estadísticamente diferentes, según la prueba de comparación de medias DGC ($p \leq 0,05$). En el caso de médula, cuyo valor promedio para esta localidad fue 37%, los híbridos P2053Y, PANPex168MG, AX878MG, I880MG, AX882MGCL, AX886MG y DK190MGRR2 presentaron valores promedio de 0%; a estos se le sumaron los genotipos AD60AY, P1979Y y P2069Y, formando así un grupo cuyos valores de médula no superaron el 35% en promedio, y se diferenciaron estadísticamente del resto. Estrías en los entrenudos basales tuvo un valor promedio de 31%, y se observó que los cultivares AD60AY, P2069Y, LT622MGRR2, KM4911TDMax y DK747MGRR2 fueron diferentes estadísticamente del resto presentando valores promedio de incidencia por encima del 45%. Por otro lado, en el carácter ataque de insecto barrenador, que tuvo un promedio en esta localidad de 4%, se destacó el híbrido AX894MG, cuyo valor promedio superó al 50%.

En cuanto a resistencia a la presión en la base del tallo, presentó un valor promedio de incidencia de 14%, y los genotipos cuyos valores promedio superaron al 40% y se diferenciaron del resto fueron AD60AY y LT632MG. Por último el carácter vuelco, con un valor promedio en este ensayo de 4%, permitió diferenciar a un grupo de cultivares del resto cuyo valores promedio superaron al 5% de incidencia y entre los que se encontraron P2053Y, AX882MGCL, AX886MG, DK190MGRR2, AD60AY, DM2741MG, LT632MG.

Cuadro 9. Valor medio de los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) que tuvieron diferencias estadísticamente significativas en el ANAVA, evaluados en 18 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Olaeta, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.

Híbrido	Médula (%)	EEB (%)	AIB (%)	RPBT (%)	Vuelco (%)
P2053Y	0,00 A	26,67 A	0,00 A	6,67 A	6,67 B
PANPex168MG	0,00 A	33,33 A	0,00 A	13,33 A	0,00 A
AX878MG	0,00 A	0,00 A	0,00 A	0,00 A	0,00 A
I880MG	0,00 A	26,67 A	0,00 A	13,33 A	0,00 A
AX882MGCL	0,00 A	20,00 A	0,00 A	0,00 A	20,00 B
AX886MG	0,00 A	20,00 A	0,00 A	6,67 A	13,33 B
DK190MGRR2	0,00 A	26,67 A	0,00 A	0,00 A	13,33 B
AD60AY	33,33 A	66,67 B	13,33 A	60,00 B	6,67 B
P1979Y	33,33 A	6,67 A	0,00 A	6,67 A	0,00 A
P2069Y	33,33 A	46,67 B	6,67 A	26,67 A	0,00 A
NK910TDMax	66,67 B	6,67 A	0,00 A	0,00 A	0,00 A
AX894MG	66,67 B	26,67 A	53,33 B	0,00 A	0,00 A
DM2741MG	66,67 B	20,00 A	0,00 A	20,00 A	6,67 B
LT632MG	66,67 B	33,33 A	0,00 A	40,00 B	13,33 B
LT622MGRR2	66,67 B	53,33 B	0,00 A	13,33 A	0,00 A
NK880TDMax	66,67 B	40,00 A	0,00 A	26,67 A	0,00 A
KM4911TDMax	66,67 B	60,00 B	6,67 A	6,67 A	0,00 A
DK747MGRR2	100,00 B	46,67 B	0,00 A	20,00 A	0,00 A
Promedio	37,04	31,11	4,44	14,45	4,44
PCALT	60,83	32,62	19,49	29,00	11,43

Diferentes letras indican diferencias significativas para la prueba de DGC ($p \leq 0,05$).

EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

PCALT: punto de corte dendrograma encadenamiento completo.

El rendimiento promedio alcanzado por los híbridos en esta localidad se pueden observar en el Cuadro 10, con valores máximos que superaron los 14.000 kg/ha y mínimos que estuvieron por encima de los 11.000 kg/ha. El valor promedio para la localidad fue 12.571 kg/ha. En el conjunto de materiales se destacó el híbrido P2053Y cuyo rendimiento

promedio superó los 14.000 kg/ha, mientras que en el otro extremo se ubicaron los genotipos KM4911TDMax, NK910TDMax y AD60AY con rindes inferiores a 12.000 kg/ha.

Cuadro 10. Rendimiento promedio de la localidad y de cada uno de los 18 híbridos evaluados en Olaeta, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.

Híbrido	Rendimiento (kg/ha)
P2053Y	14.326
PANPex168MG	13.834
P2069Y	13.526
P1979Y	13.351
AX886MG	13.174
LT632MG	13.025
DK190MGRR2	12.653
NK880TDMax	12.510
AX894MG	12.456
DK747MGRR2	12.315
AX882MGCL	12.301
I880MG	12.245
AX878MG	12.174
DM2741MG	12.147
LT622MGRR2	12.062
KM4911TDMax	11.695
NK910TDMax	11.393
AD60AY	11.105
Promedio	12.571

La matriz de correlación entre caracteres se presenta en el Cuadro 11, donde se observa que cuatro de los coeficientes fueron estadísticamente significativos ($p < 0,05$). Rendimiento tuvo correlaciones negativas con todos los caracteres relacionados a la enfermedad, pero solo fue significativa esta correlación con médula, indicando que a mayor incidencia de los caracteres, se observaron menores rendimientos. Por otro lado, salvo los tres pares de correlaciones entre resistencia a la presión en la base del tallo con ataque de insecto barrenador y vuelco con médula y con color en la base del tallo, las restantes correlaciones fueron positivas entre los caracteres relacionados a PTR. Médula estuvo correlacionada positivamente y de forma significativa con color en la base del tallo y resistencia a la presión en la base del tallo. Mientras que esta última también lo hizo en forma positiva y significativa con estrías en los entrenudos basales. El resto de las correlaciones no fueron significativas, lo que indica independencia entre los caracteres o una relación no lineal.

Cuadro 11. Correlación entre los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) y rendimiento en 18 híbridos comerciales de maíz evaluados en la localidad de Olaeta, provincia de Córdoba, durante el ciclo agrícola 2008/09.

	Rendimiento	Médula	EEB	AIB	CBT	RPBT
Rendimiento	-					
Médula	-0,28 *	-				
EEB	-0,16 n.s.	0,24 n.s.	-			
AIB	-0,11 n.s.	0,23 n.s.	0,03 n.s.	-		
CBT	-0,13 n.s.	0,30 *	0,26 n.s.	0,15 n.s.	-	
RPBT	-0,13 n.s.	0,33 *	0,37 *	-0,02 n.s.	0,19 n.s.	-
Vuelco	-0,17 n.s.	-0,20 n.s.	0,07 n.s.	0,07 n.s.	-0,18 n.s.	0,15 n.s.

* = correlación significativa con un nivel de significancia menor a 0,05; n.s.= efecto no significativo.

EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador; CBT: color en la base del tallo; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

En la Figura 2 se presentan los tres gráficos biplots generados con las tres primeras componentes principales (CP) obtenidas del análisis de componentes principales (ACP) con los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento. Entre las tres primeras componentes principales explicaron aproximadamente el 75% de la variabilidad total. En el primer gráfico (A), generado por las dos primeras CP, la CP1 fue capaz de separar los seis caracteres relacionados a la enfermedad del rendimiento. Los caracteres que más contribuyeron a la CP1 en forma positiva fueron estrías en los entrenudos basales, color en la base del tallo y médula. Mientras que rendimiento fue el único carácter que contribuyó en forma negativa. Por otro lado en la CP2 los caracteres que presentaron mayores valores negativos fueron médula y color en la base del tallo, y el de mayor valor positivo fue vuelco. En este gráfico también puede observarse el grado de asociación entre los caracteres, determinada por la separación angular que forman sus proyecciones. De acuerdo con la separación angular, la mayor asociación positiva está dada entre los caracteres médula, color en la base del tallo y ataque de insecto barrenador, los cuales también se asocian en el mismo sentido pero en menor medida con resistencia a la presión en la base del tallo y estrías en los entrenudos basales, pero no con vuelco. Por otro lado rendimiento, se asoció negativamente con todos los caracteres relacionados a la enfermedad, evidenciado esto por los ángulos obtusos formados entre estos caracteres y rendimiento. La mayor asociación negativa se dio con estrías en los entrenudos basales y resistencia a la presión en la base del tallo, en menor medida fue con médula, color en la base del tallo, y ataque de insecto barrenador, y una leve asociación negativa también presentó con vuelco. En el segundo gráfico (B) generado por la confrontación de la CP1 con la CP3, se observa que al igual que en el gráfico anterior la

primer componente fue capaz de separar a rendimiento del resto de los caracteres los cuales se asociaron negativamente al primero en diferente medida. Así, se destacaron ataque de insecto barrenador y vuelco por ser los más asociados en forma negativa a rendimiento, separándose del resto de los caracteres relacionados a PTR los cuales se encontraron asociados positivamente entre si. El tercer gráfico (C) resultante de la CP2 y la CP3 muestra un patrón de distribución de los caracteres diferente al de los dos primeros gráficos, donde ninguna de las dos componentes separó a los caracteres relacionados a la enfermedad de rendimiento, al cual se asociaron en su mayoría positivamente, haciéndolo en forma negativa solo ataque de insecto barrenador y vuelco.

La distribución de los híbridos en el gráfico definido por las dos primeras CP (A), muestra que AX878MG, P2053Y, AX886MG, AX882MGCL, P1979Y, PANPex168MG, I880MG, DM2741MG, NK910TDMax, DK190MGRR2, NK910TDMax y P2069Y se ubicaron en la zona negativa de la CP1 evidenciando su asociación con rendimiento, siendo el cultivar P2053Y el que presentó los mayores valores en este carácter. Los demás híbridos se ubicaron en zonas positivas de la CP1, destacándose AD60AY que fue el que más se alejó positivamente, y por lo tanto el que menor valor de rendimiento presentó. Además se notó la asociación de los cultivares NK880TDMax, LT622MGRR2, KM4911TDMax, DK747MGRR2 y AX894MG con color en la base del tallo, médula y ataque de insecto barrenador, caracteres relacionados claramente en forma positiva.

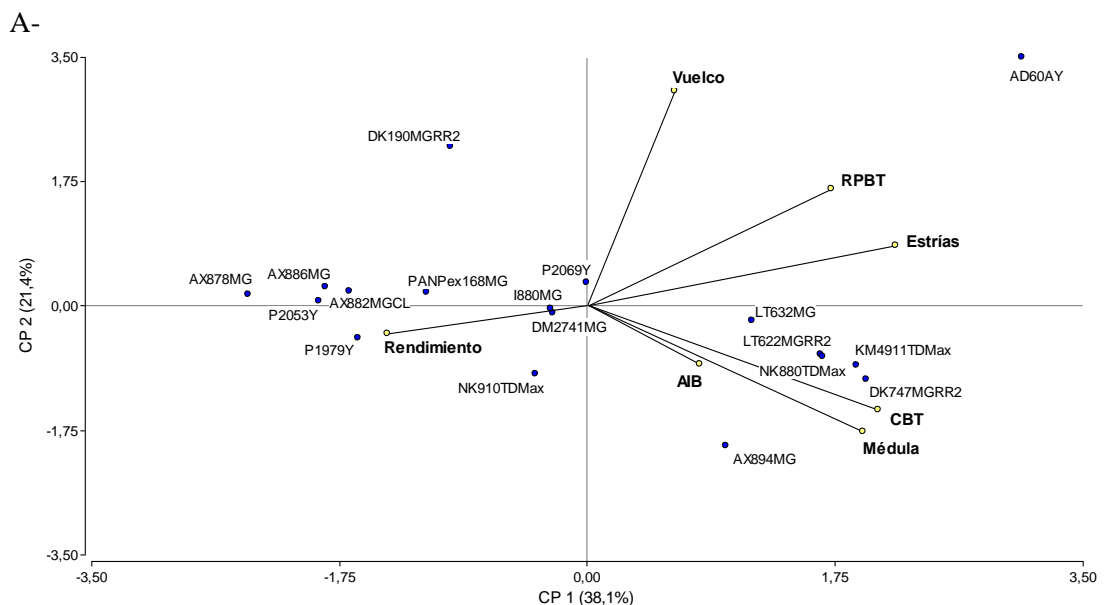


Figura 2. Análisis de componentes principales de los de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento en los 18 híbridos comerciales de maíz evaluados en la localidad de Olaeta, provincia de Córdoba, durante el ciclo agrícola 2008/09. A: CP1 con CP2

EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador; CBT: color en la base del tallo; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

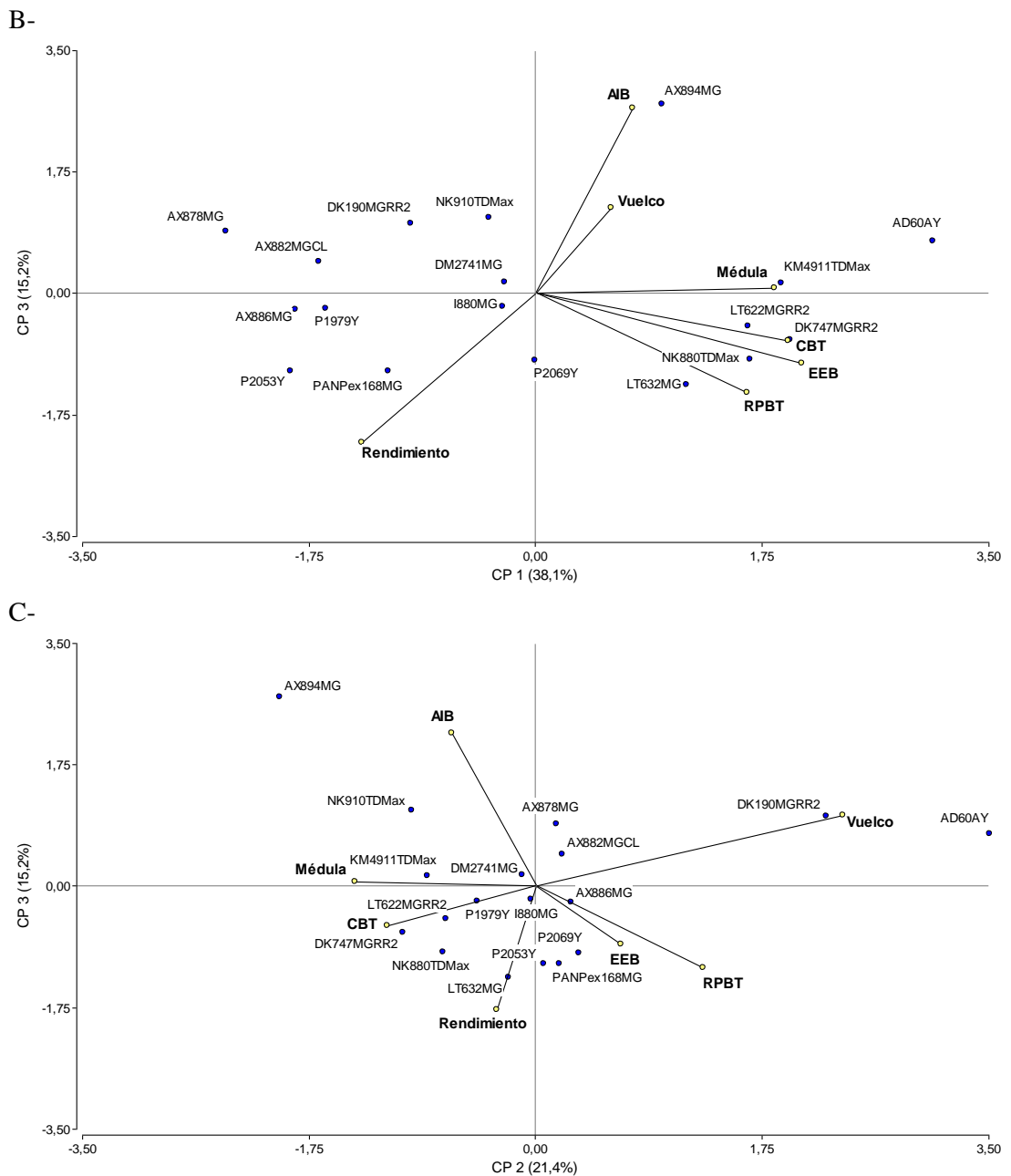


Figura 2. Análisis de componentes principales de los de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento en los 18 híbridos comerciales de maíz evaluados en la localidad de Olaeta, provincia de Córdoba, durante el ciclo agrícola 2008/09. A: B: CP1 con CP3 y C: CP2 con CP3.

EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador; CBT: color en la base del tallo; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

Al observar el comportamiento de los híbridos en Papagayo, respecto a los caracteres relacionados con la enfermedad se pudo observar que estrías en los entrenudos basales fue el único que presentó el valor de incidencia mínimo y máximo. Los valores mínimos de incidencia fueron 0% en la mayoría de los caracteres relacionados a PTR, en cambio en médula y color en la base del tallo los respectivos valores mínimos fueron 40% y 20%. Los caracteres que no alcanzaron los valores máximos fueron ataque de insecto barrenador con 40%, resistencia a la presión en la base del tallo y vuelco, ambas con 60%. Médula y estrías en los entrenudos basales, caracteres que componen el indicador, presentaron valores medios de 83% y 44%, respectivamente.

Con respecto al carácter altura de planta, este presentó un valor mínimo de 1,75 m y un máximo de 2,60 m; en el caso de altura de inserción de la espiga los valores mínimos y el máximos fueron de 0,85 m y 1,58 m, respectivamente; y por último el diámetro del tallo, mostró un valor mínimo de 1,80 cm y un valor máximo de 3,08 cm (Cuadro 12).

Cuadro 12. Valor medio (\pm EE), mínimo y máximo de los nueve caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR), altura de planta, altura de inserción de la espiga, y diámetro del tallo evaluados en 14 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Papagayo, provincia de San Luis, durante la campaña agrícola 2008/09.

Carácter	n	Valor medio	EE	Mínimo	Máximo
Médula (%)	42	83,33	3,19	40,00	100,00
EEB (%)	42	44,29	4,65	0,00	100,00
AIB (%)	42	1,90	1,33	0,00	40,00
CBT (%)	42	69,05	3,99	20,00	100,00
RPBT (%)	42	12,38	2,81	0,00	60,00
Vuelco (%)	42	6,67	2,43	0,00	60,00
Altura de la planta (m)	42	2,10	0,03	1,75	2,60
Altura de inserción de la espiga (m)	42	1,07	0,02	0,85	1,58
Diámetro del tallo (cm)	42	2,42	0,05	1,80	3,08

n: número de observaciones; *EE*: error estándar;

EEB: estrías en los entrenudos basales; *AIB*: ataque de insecto barrenador; *CBT*: color en la base del tallo; *RPBT*: resistencia a la presión en la base del tallo.

Los resultados de los análisis de la varianza de tres de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) medidos en el ensayo realizado en las cercanías de la localidad de Papagayo se muestran en el Cuadro 13. La variabilidad explicada por los híbridos representa 68% en estrías en los entrenudos basales, 65% en ataque de insecto barrenador y 37% en vuelco. En estrías en los entrenudos basales hubo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$) al igual que para ataque de insecto barrenador ($p < 0,01$), mientras que vuelco mostró diferencias estadísticamente no significativas ($p > 0,05$). Los restantes caracteres no pudieron ser analizadas mediante un ANAVA paramétrico debido a que al menos un supuesto no se cumplía, aún luego de realizar diferentes transformaciones, por ello se realizó un análisis de la varianza no paramétrico mediante la prueba de Friedman. Los resultados de este análisis indicaron que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los híbridos para los caracteres médula, color en la base del tallo y resistencia a la presión en la base del tallo.

Cuadro 13. Cuadrado medio y significancia de los análisis de la varianza de tres caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR), evaluados en 14 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Papagayo, provincia de San Luís, durante la campaña agrícola 2008/09.

FV	gl	EEB		AIB		Vuelco	
		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor
Híbrido	13	1961,17	0,0004	152,38	0,0013	287,18	0,1804
Bloque	2	371,43	0,4273	38,10	0,3816	723,81	0,0357
Error	26	422,71		38,10		190,48	
Total	41						

FV: fuente de variación; gl: grados de libertad; CM: cuadrado medio

EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador.

El Cuadro 14 presenta la media del comportamiento de los 14 híbridos para los dos caracteres en los que hubo diferencias estadísticamente significativas y el comportamiento individual de los mismos. El valor promedio de estrías en los entrenudos basales para esta localidad fue 44% mientras que en ataque de insecto barrenador 2%. En los dos caracteres se presentaron dos grupos estadísticamente diferentes, según la prueba de comparación de medias DGC ($p \leq 0,05$). En estrías en los entrenudos basales, los híbridos P1979Y, NK910TDMax, P2069Y, KM4911TDMax y DK700MG formaron un grupo con valores promedio inferiores al 27% y se diferenciaron estadísticamente del resto, cuyos valores promedio de estrías en lo entrenudos basales fueron superiores a 46%. Se destacaron los genotipos P1979Y y NK910TDMax en el primer grupo con los valores mínimos, inferiores a 10%, mientras que en el otro extremo en el segundo grupo estuvo el híbrido

DK190MGRR2 con valores cercanos a 87%. Por otro lado, para el carácter ataque de insecto barrenador, solo el híbrido AD60AY presentó valores promedio superiores a 0%, diferenciándose estadísticamente del resto con un valor promedio cercano a 27%.

Cuadro 14. Valor medio de los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) que tuvieron diferencias estadísticamente significativas en el ANAVA, evaluadas en 14 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Papagayo, provincia de San Luis, durante la campaña agrícola 2008/09.

Híbrido	EEB (%)	AIB (%)
P1979Y	6,67 A	0 A
NK910TDMax	6,67 A	0 A
P2069Y	13,33 A	0 A
KM4911TDMax	20,00 A	0 A
DK700MG	26,67 A	0 A
NK880TDMax	46,67 B	0 A
DK747MGRR2	46,67 B	0 A
P2053Y	53,33 B	0 A
LT632MG	53,33 B	0 A
I880MG	60,00 B	0 A
PANPex168MG	60,00 B	0 A
AD60AY	66,67 B	26,67 B
LT622MGRR2	73,33 B	0 A
DK190MGRR2	86,67 B	0 A
Promedio	44,29	1,91
PCALT	40,17	12,06

Diferentes letras indican diferencias significativas para la prueba de DGC ($p \leq 0,05$).

EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador

PCALT: punto de corte dendrograma encadenamiento completo

El rendimiento promedio alcanzado por los híbridos en esta localidad se puede observar en el Cuadro 15. El valor promedio para la localidad fue 7.457 kg/ha, con valores máximos superiores a los 8.300 kg/ha y mínimos inferiores a 6.400 kg/ha. Al analizar el conjunto de híbridos, sobresalieron DK747MGRR2, P2069Y, KM4911TDMax y DK190MGRR2 con rindes superiores a 8.000 kg/ha, mientras que el de inferior comportamiento respecto a rendimiento fue AD60AY.

Cuadro 15. Rendimiento promedio de la localidad y de cada uno de los 14 híbridos evaluados en Papagayo, provincia de San Luis, durante la campaña agrícola 2008/09.

Híbrido	Rendimiento (kg/ha)
DK747MGRR2	8.350
P2069Y	8.303
KM4911TDMax	8.135
DK190MGRR2	8.014
NK880TDMax	7.779
P1979Y	7.741
DK700MG	7.395
P2053Y	7.328
LT632MG	7.231
I880MG	7.054
LT622MGRR2	6.966
PANPex168MG	6.910
NK910TDMax	6.787
AD60AY	6.406
Promedio	7.457

La matriz de correlación entre caracteres se presenta en el Cuadro 16, donde se observa que tres de los coeficientes fueron estadísticamente significativos ($p < 0,05$). El rendimiento tuvo coeficientes de correlación negativa con todos los caracteres relacionados a PTR, salvo con color en la base del tallo que fue positiva, pero solo fue significativa esta correlación con ataque de insecto barrenador, lo que indica que a mayor incidencia de ataques de insecto barrenador hubo menor rendimiento. Por otro lado, las correlaciones entre los caracteres relacionados a la enfermedad fueron positivas en la mayoría de los casos, siendo negativas solo entre color en la base del tallo con estrías en los entrenudos basales y ataque de insecto barrenador, y entre vuelco con médula, estrías en los entrenudos basales y ataque de insecto barrenador. En el caso de médula, esta se correlacionó significativamente con resistencia a la presión en la base del tallo y vuelco, pero en forma positiva con la primera y negativa con la segunda. Las demás correlaciones no fueron significativas, lo que indica independencia entre los caracteres o una relación no lineal.

Cuadro 16. Correlación entre los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) y rendimiento en 14 híbridos comerciales de maíz evaluados en la localidad de Papagayo, provincia de San Luis, durante el ciclo agrícola 2008/09.

	Rendimiento	Médula	EEB	AIB	CBT	RPBT
Rendimiento	-					
Médula	-0,20 n.s.	-				
EEB	-0,23 n.s.	0,21 n.s.	-			
AIB	-0,40 *	0,07 n.s.	0,19 n.s.	-		
CBT	0,15 n.s.	0,29 n.s.	-0,01 n.s.	-0,08 n.s.	-	
RPBT	-0,09 n.s.	0,30 *	0,04 n.s.	0,09 n.s.	0,27 n.s.	-
Vuelco	-0,12 n.s.	-0,34 *	-0,08 n.s.	-0,10 n.s.	0,04 n.s.	0,11 n.s.

* = correlación significativa con un nivel de significancia menor a 0,05; n.s.= efecto no significativo.

EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador; CBT: color en la base del tallo; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

En la Figura 3 se presentan los tres gráficos biplots generados con las tres primeras componentes principales (CP) obtenidas del análisis de componentes principales (ACP) para los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento. Entre las tres primeras componentes principales explicaron el 73% de la variabilidad total. En el primer gráfico (A), definido por las dos primeras CP, la CP1 permitió separar los seis caracteres relacionados a la enfermedad del rendimiento. Los caracteres que más contribuyeron a la CP1 en forma negativa fueron médula y estrías en los entrenudos basales. Mientras que el único carácter con valor positivo de la CP1 fue rendimiento. Por otro lado los caracteres que presentaron mayores valores positivos de la CP2 fueron vuelco y ataque de insecto barrenador y con mayor valor negativo fue médula. En la Figura 3 también puede observarse el grado de asociación entre los caracteres, determinado por la separación angular que forman sus proyecciones. Esta separación muestra que la mayor asociación positiva está dada por los caracteres resistencia a la presión en la base del tallo, estrías en los entrenudos basales y médula. A este grupo también se les asocian en forma positiva, aunque algo más alejadas, color en la base del tallo y ataque de insecto barrenador. El carácter vuelco no se asocia a este grupo, aunque si lo hace en forma positiva con ataque de insecto barrenador y en forma negativa con color en la base del tallo. El rendimiento se asoció negativamente con todas los caracteres relacionados a la enfermedad, evidenciado esto por los ángulos obtusos formados entre estos caracteres y el rendimiento. La mayor asociación negativa se dio con ataque de insecto barrenador, algo menor fue con vuelco y un poco menos con resistencia a la presión en la base del tallo, estrías en los entrenudos basales y médula; mientras que con color en la base del tallo fue muy leve. El segundo gráfico (B), producto de la confrontación

de la CP1 con la CP3, muestra al igual que en el anterior, que la CP1 fue capaz de separar rendimiento, con valores positivos, del resto de los caracteres relacionados a la enfermedad que adquirieron valores negativos. Los caracteres relacionados a PTR formaron dos grupos, uno de ellos, integrado por resistencia a la presión en la base del tallo, estrías en los entrenudos basales, ataque de insecto barrenador y médula que se asociaron en forma positiva y se ubicaron opuestos a la proyección de rendimiento, siendo médula el que se asoció más negativamente. El otro grupo en el cual vuelco y color en la base del tallo se asociaron positivamente, no se asoció con rendimiento y sus proyecciones fueron las que más contribuyeron en forma positiva a la CP3. En el tercer gráfico (C), resultante de la CP2 y la CP3, las proyecciones de los caracteres se distribuyeron con un patrón diferente al observado en los gráficos anteriores, ya que rendimiento se encontró asociado en forma positiva con color en la base del tallo, resistencia a la presión en la base del tallo, estrías en los entrenudos basales y médula, todos estos caracteres con valores negativos de la CP2 y asociados negativamente con vuelco y ataque de insecto barrenador, cuyas proyecciones fueron las que más contribuyeron en forma positiva a la CP2.

La distribución de los híbridos en el gráfico de las dos primeras CP (A), muestra que DK700MG, P2069Y, NK910TDMax, P2053Y, P1979Y, NK880TDMax, KM4911TDMax y DK747MGRR2 se ubicaron en la zona positiva de la CP1 evidenciando su asociación con rendimiento, siendo el último cultivar mencionado el que presentó los mayores valores en este carácter. Los demás híbridos se ubicaron en zonas negativas de la CP1, destacándose AD60AY, que fue el que más se alejó negativamente, y por lo tanto el que menor valor de rendimiento presentó. Este material fue el único dentro de este grupo que se ubicó en el cuadrante positivo de la CP2, donde también se ubicaron los caracteres ataque de insecto barrenador y vuelco, lo que manifestó su asociación con los mismos. Además se notó la asociación de los cultivares LT632MG, LT622MGRR2, PANPex168MG e I880MG con el grupo de caracteres asociados positivamente formado por resistencia a la presión en la base del tallo, estrías en los entrenudos basales y médula.

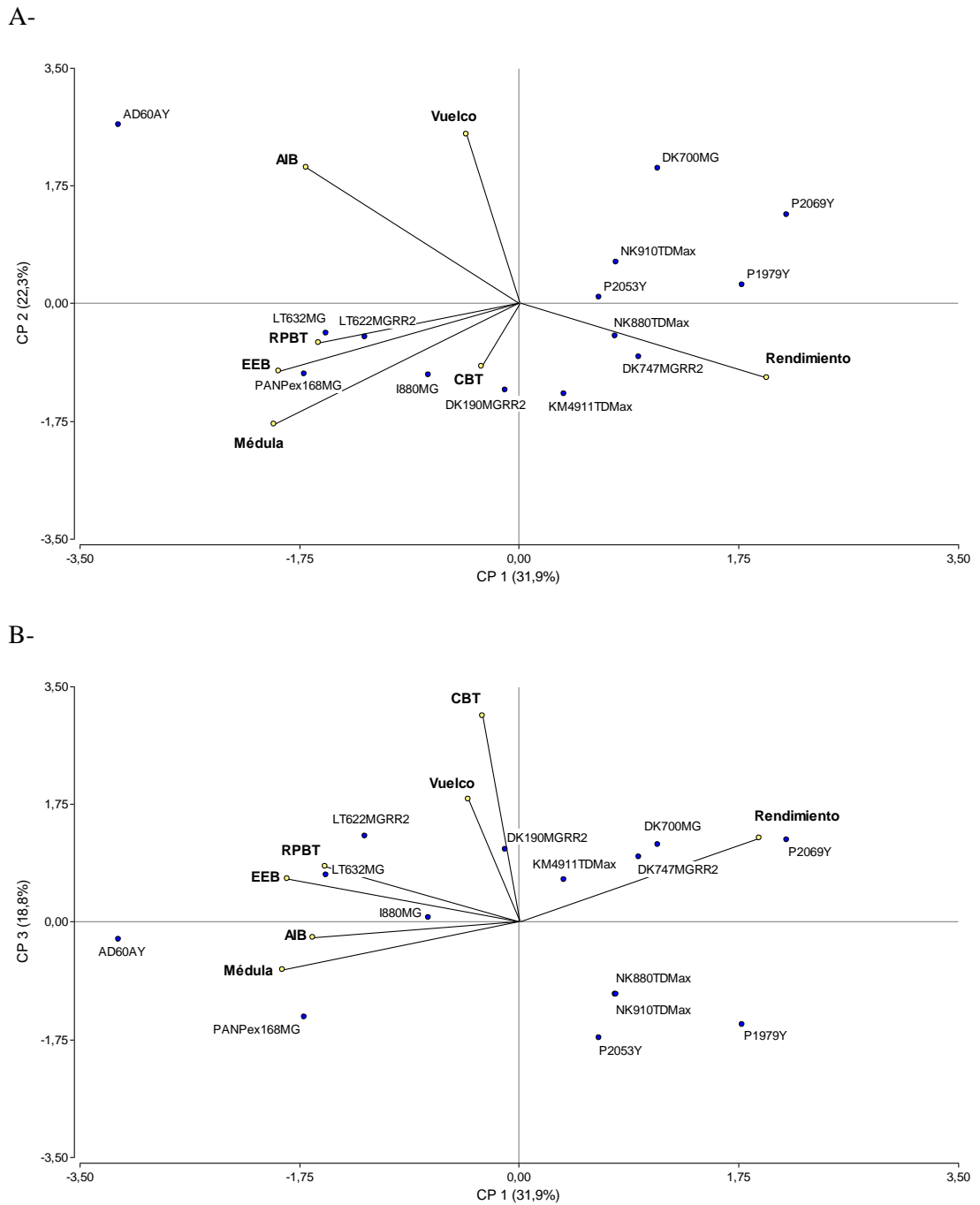


Figura 3. Análisis de componentes principales de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento en los 14 híbridos comerciales de maíz evaluados en la localidad de Papagayo, provincia de San Luis, durante el ciclo agrícola 2008/09. A: CP1 con CP2 y B: CP1 con CP3.

EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador; CBT: color en la base del tallo; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

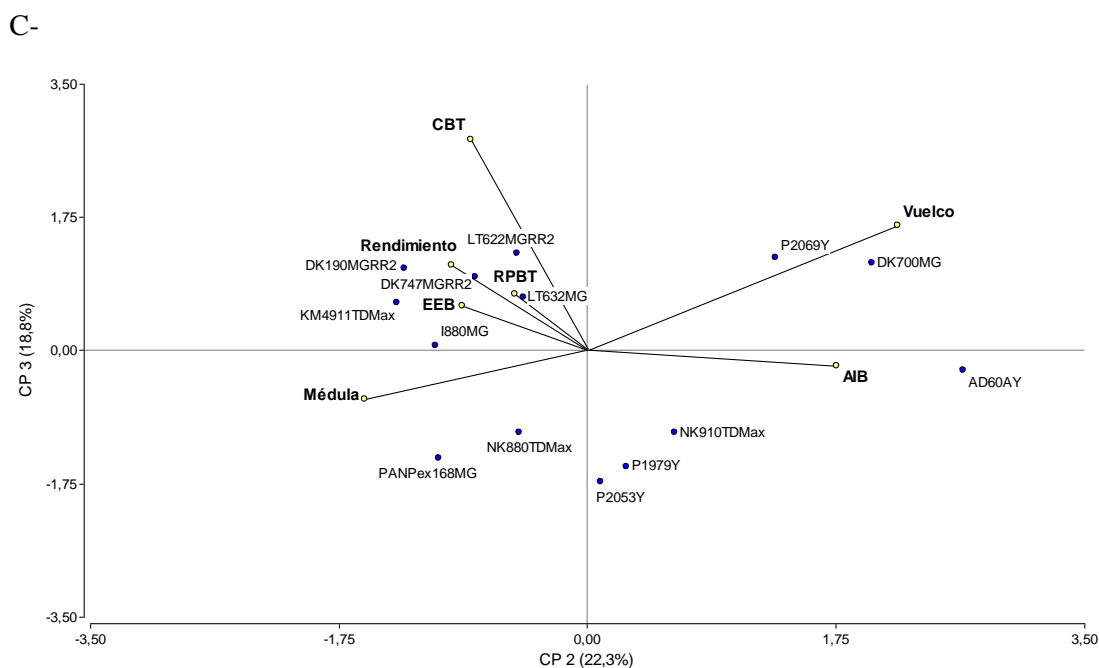


Figura 3. Análisis de componentes principales de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento en los 14 híbridos comerciales de maíz evaluados en la localidad de Papagayo, provincia de San Luis, durante el ciclo agrícola 2008/09. C: CP2 con CP3.

EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador; CBT: color en la base del tallo; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

Respecto a la localidad de Buchardo, en el Cuadro 17 se puede observar que solo estrías en los entrenudos basales, color en la base del tallo y resistencia a la presión en la base del tallo fueron los caracteres relacionados a la enfermedad que presentaron los valores máximos y mínimos posibles de incidencia, mientras que ataque de insecto barrenador y vuelco, ambos con valores mínimos de 0%, manifestaron valores máximos de 80% y 40%, respectivamente. En el caso de médula, el mínimo fue 40% y el máximo 100%. Los valores medios de los caracteres involucrados en el indicador fueron 86% para médula y 37% para estrías en los entrenudos basales.

Por otro lado, para el carácter altura de planta, los híbridos en esta localidad presentaron valores mínimos, máximos y medios de 0,74 m, 1,20 m y 0,94 m respectivamente, mientras que en diámetro del tallo el valor mínimo fue 1,61 cm, el máximo 2,49 cm y el medio 2,20 cm.

Cuadro 17. Valor medio (\pm EE), mínimo y máximo de los nueve caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz PTR, altura de inserción de la espiga, y diámetro del tallo evaluados en 17 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Buchardo, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.

Carácter	n	Valor medio	E.E.	Mínimo	Máximo
Médula (%)	51	86,27	2,60	40,00	100,00
EEB (%)	51	37,25	4,62	0,00	100,00
AIB (%)	51	5,88	2,19	0,00	80,00
CBT (%)	51	67,06	3,91	0,00	100,00
RPBT (%)	51	70,20	3,94	0,00	100,00
Vuelco (%)	51	2,75	1,12	0,00	40,00
Altura de inserción de la espiga (m)	51	0,94	0,02	0,74	1,20
Diámetro del tallo (cm)	51	2,20	0,03	1,61	2,49

n: número de observaciones; *EE*: error estándar;

EEB: estrías en los entrenudos basales; *AIB*: ataque de insecto barrenador; *CBT*: color en la base del tallo; *RPBT*: resistencia a la presión en la base del tallo.

Cuatro de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) medidos en el ensayo realizado en las cercanías de la localidad de Buchardo, en la provincia de Córdoba, durante el ciclo agrícola 2008/09, fueron analizados mediante un análisis de la varianza paramétrico, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 18. La variabilidad explicada por los híbridos representa el 46% en médula, 62% en estrías en los entrenudos basales, 49% color en la base del tallo y 52% en resistencia a la presión en la base del tallo. Los caracteres color en la base del tallo y resistencia a la presión en la base del tallo, presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), al igual que en estrías en los entrenudos basales pero este último con mayor nivel de significancia ($p < 0,001$); mientras que el carácter médula presentó diferencias estadísticamente no significativas ($p > 0,05$). Los caracteres ataque de insecto barrenador y vuelco fueron analizados mediante un análisis de la varianza no paramétrico, con la prueba de Friedman, debido a que no cumplían alguno de los supuestos del ANAVA. Los resultados de este análisis indicaron que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los híbridos para dichos caracteres ($p > 0,05$).

Cuadro 18. Cuadrado medio y significancia de los análisis de la varianza de cuatro caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR), evaluadas en 17 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Buchardo, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.

FV	gl	Médula		EEB		CBT		RPBT	
		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor
Híbrido	16	491,18	0,0602	2117,65	0,0003	1191,18	0,0374	1285,29	0,0262
Bloque	2	525,49	0,1479	2266,67	0,0185	870,59	0,2329	243,14	0,6595
Error	32	258,82		500		570,59		576,47	
Total	50								

FV: fuente de variación; gl: grados de libertad; CM: cuadrado medio

EEB: estrías en los entrenudos basales; CBT: color en la base del tallo; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

El Cuadro 19 presenta la media del comportamiento de los 17 híbridos para los cuatro caracteres en los que hubo diferencias estadísticamente significativas y el comportamiento individual de los mismos. El valor promedio de los caracteres para esta localidad fue 86% en médula, 37% en estrías en los entrenudos basales, 67% en color en la base del tallo y 70% en resistencia a la presión en la base del tallo. Según la prueba de comparación de medias DGC ($p \leq 0,05$), se observaron tres grupos estadísticamente diferentes en estrías en los entrenudos basales mientras que en los restantes caracteres se diferenciaron dos grupos. En el caso de médula, solo el híbrido AX894MG tuvo valor promedio por debajo de 50%, mientras que los restantes materiales se ubicaron en otro grupo estadísticamente diferente con valores superiores. En estrías en los entrenudos basales se observó que los genotipos AX894MG, P2069Y, P2053Y, AX878MG y P1979Y formaban un grupo cuyos valores promedio no fueron superiores al 7%, en el otro extremo se diferenció el híbrido PANPex168MG cuyo valor promedio superó el 90%, mientras que los demás materiales formaron otro grupo con valores intermedios. Por otro lado, el carácter color en la base del tallo permitió diferenciar estadísticamente del resto, a los híbridos P2069Y y P2053Y, con valores promedios inferiores a 35%. Por último, en resistencia a la presión en la base del tallo los genotipos LT632MG, NK880TDMax y P2053Y integraron el grupo con menores valores promedio para este carácter, los cuales no superaron el 40% y se diferenciaron estadísticamente del resto.

Cuadro 19. Valor medio de los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) que tuvieron diferencias estadísticamente significativas en el ANAVA, evaluadas en 17 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Buchardo, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.

Híbrido	Médula (%)	EEB (%)	CBT (%)	RPBT (%)
AX894MG	46,67 A	6,67 A	66,67 B	66,67 B
LT632MG	73,33 B	46,67 B	80,00 B	26,67 A
LT622MGRR2	80,00 B	33,33 B	80,00 B	66,67 B
DK700MGRR	80,00 B	60,00 B	80,00 B	86,67 B
NK880TDMax	80,00 B	40,00 B	46,67 B	33,33 A
KM4911TDMax	86,67 B	60,00 B	80,00 B	73,33 B
NK910TDMax	86,67 B	26,67 B	93,33 B	66,67 B
P2069Y	86,67 B	0,00 A	33,33 A	80,00 B
AX882MGCL	86,67 B	66,67 B	60,00 B	66,67 B
AX886MG	86,67 B	46,67 B	66,67 B	80,00 B
P2053Y	93,33 B	6,67 A	13,33 A	40,00 A
AX878MG	93,33 B	6,67 A	73,33 B	86,67 B
I880MG	93,33 B	46,67 B	73,33 B	80,00 B
DK747MGRR2	93,33 B	40,00 B	80,00 B	86,67 B
PANPex168MG	100,00 B	93,33 C	80,00 B	100,00 B
P1979Y	100,00 B	0,00 A	60,00 B	93,33 B
DK190MGRR2	100,00 B	53,33 B	73,33 B	60,00 B
Promedio	86,27	37,26	67,06	70,20
PCALT	29,04	40,36	43,11	43,33

Diferentes letras indican diferencias significativas para la prueba de DGC ($p \leq 0,05$).

EEB: estrías en los entrenudos basales; CBT: color en la base del tallo; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

PCALT: punto de corte dendrograma encadenamiento completo

El rendimiento promedio alcanzado por los híbridos en Buchardo se puede observar en el Cuadro 20. El valor promedio para la localidad fue 4.803 kg/ha, con valores máximos que superaron los 7.500 kg/ha y mínimos que no alcanzaron los 2.500 kg/ha. Analizando en detalle el comportamiento individual, se destacaron los híbridos P1979Y y LT632MG con rendimientos promedios cercanos o incluso superior a 7.000 kg/ha, mientras que en el otro extremo, el genotipo NK910TDMax fue el que menor rendimiento promedio presentó, con poco más de 2.000 kg/ha.

Cuadro 20. Rendimiento promedio de la localidad y de cada uno de los 17 híbridos evaluados en Buchardo, provincia de Córdoba, durante la campaña agrícola 2008/09.

Híbrido	Rendimiento (kg/ha)
LT632MG	7.517
P1979Y	6.984
AX882MGCL	6.258
DK700MGRR	5.855
P2069Y	5.770
AX878MG	5.590
DK747MGRR2	5.500
P2053Y	5.133
NK880TDMax	4.435
DK190MGRR2	4.431
I880MG	4.033
PANPex168MG	3.850
AX894MG	3.667
KM4911TDMax	3.667
LT622MGRR2	3.492
AX886MG	3.300
NK910TDMax	2.164
Promedio	4.803

La matriz de correlación entre caracteres se presenta en el Cuadro 21, donde se observa que dos de los coeficientes fueron estadísticamente significativos ($p < 0,05$). Rendimiento tuvo correlación negativa con la mayoría de los caracteres relacionadas a PTR, salvo con médula y vuelco, donde fue positiva y de pequeña magnitud, a pesar de que ninguna correlación con rendimiento fue estadísticamente significativa. Analizando las correlaciones entre los caracteres relacionados a la enfermedad, se observa que la mayoría fueron positivas, siendo negativas solo en 5 casos, entre médula con color en la base del tallo, vuelco respecto a resistencia a la presión en la base del tallo y ataque de insecto barrenador, y este último carácter con médula y estrías en los entrenudos basales, siendo esta última correlación la única negativa estadísticamente significativa, lo que indica que al aumentar el ataque de insecto barrenador disminuyeron los valores de estrías en los entrenudos basales. Por su parte la única correlación positiva estadísticamente significativa fue entre médula y estrías en los entrenudos basales. Las demás correlaciones no fueron significativas, lo que indica independencia entre los caracteres o una relación no lineal.

Cuadro 21. Correlación entre los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) y rendimiento evaluadas en 17 híbridos comerciales de maíz ubicados en la localidad de Buchardo, provincia de Córdoba, durante el ciclo agrícola 2008/09.

	Rendimiento	Médula	EEB	AIB	CBT	RPBT
Rendimiento	-					
Médula	0,07 n.s	-				
EEB	-0,13 n.s	0,30 *	-			
AIB	-0,14 n.s	-0,18 n.s	-0,28 *	-		
CBT	-0,19 n.s	-0,07 n.s	0,10 n.s.	0,18 n.s.	-	
RPBT	-0,08 n.s	0,21 n.s	0,02 n.s.	0,02 n.s.	0,09 n.s.	-
Vuelco	0,06 n.s	0,04 n.s	0,21 n.s.	-0,07 n.s.	0,09 n.s.	-0,02 n.s.

* = correlación significativa con un nivel de significancia menor a 0,05; n.s.= efecto no significativo.

EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador; CBT: color en la base del tallo; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

En la Figura 4 se presentan los tres gráficos biplots generados con las tres primeras componentes principales (CP) obtenidas del análisis de componentes principales (ACP) para los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento. Entre las tres primeras componentes principales explicaron aproximadamente el 70% de la variabilidad total. En el primer gráfico (A), generado por las dos primeras CP, la CP1 fue capaz de separar los seis caracteres relacionados a la enfermedad del rendimiento. Los caracteres que más contribuyen a la CP1 en forma positiva fueron estrías en los entrenudos basales y color en la base del tallo. Mientras que rendimiento fue el único carácter que contribuyó en forma negativa. Por otro lado los caracteres con mayores valores positivos de la CP2 fueron rendimiento y vuelco y con mayor valor negativo de la misma componente se destacó ataque de insecto barrenador. En este gráfico también puede observarse el grado de asociación entre los caracteres, determinado por la separación angular que forman sus proyecciones. En función a esta separación se nota que la mayor asociación positiva se produjo entre médula y vuelco, caracteres a los cuales también se les asoció positivamente pero en menor grado estrías en los entrenudos basales. Otra asociación positiva que se observa es entre color en la base del tallo y resistencia a la presión en la base del tallo, los cuales también se asocian en forma positiva por un lado al grupo de caracteres mencionadas anteriormente y por el otro a ataque de insecto barrenador, pero este último carácter no se asocia en ningún sentido con el primer grupo formado por médula, vuelco y estrías en los entrenudos basales, que se evidencia por los ángulos aproximadamente rectos que forman sus proyecciones. Por otro lado, rendimiento se asoció negativamente con todas los caracteres relacionados a la enfermedad, evidenciado esto por los ángulos obtusos formados entre estos caracteres y el

rendimiento. La mayor asociación negativa se dio con ataque de insecto barrenador, algo menor fue con resistencia a la presión en la base del tallo y color en la base del tallo, mientras que con vuelco, médula y estrías en los entrenudos basales esta asociación negativa fue muy leve. En el segundo gráfico (B) generado por la confrontación de la CP1 con la CP3, se observa que el primer componente, al igual que en el gráfico anterior, fue capaz de separar a rendimiento del resto de los caracteres, así estrías en los entrenudos basales, color en la base del tallo y vuelco, que se asociaron en forma positiva entre sí, fueron los caracteres más asociados negativamente a rendimiento, en menor medida lo hizo ataque de insecto barrenador y resistencia a la presión en la base del tallo, y no se asoció en ningún sentido con médula. El tercer gráfico (C) resultante de la CP2 y la CP3 muestra un patrón de distribución de los caracteres diferente al de los dos primeros gráficos, donde ninguna de las dos componentes separó a los caracteres relacionados a PTR de rendimiento. De este modo rendimiento se asoció claramente en forma negativa solo con ataque de insecto barrenador, y en menor medida lo hizo con resistencia a la presión en la base del tallo y color en la base del tallo. Por otro lado, vuelco y estrías en los entrenudos basales se asociaron fuertemente en forma positiva.

La distribución de los híbridos en el gráfico definido por las dos primeras CP (A), muestra que LT632MG y P1979Y fueron los híbridos que más se asociaron a rendimiento, aunque los genotipos AX882MGCL, NK880TDMax, P2069Y y P2053Y también se ubicaron en el cuadrante con valores negativos de la CP1 y positivos de la CP2, en el cual se encontró aislada la proyección de rendimiento, evidenciando su asociación con este carácter y su escasa asociación con los caracteres relacionados a PTR. Por otro lado se puede notar que PANPex168MG fue el material que mayor valor positivo de la CP1 adquirió y por lo tanto que más se asoció a los caracteres relacionados a la enfermedad, principalmente a estrías en los entrenudos basales, carácter que también tuvo asociado al híbrido KM4911TDMax. Además se observa que los genotipos NK910TDMax, I880MG y AX886MG se encuentran asociados a los caracteres ataque de insecto barrenador y resistencia a la presión en la base del tallo, caracteres cuyas proyecciones se ubican opuestas a las de rendimiento, lo que indica que estos materiales presentaron bajos valores de rendimiento y altos de los dos caracteres relacionados a PTR mencionados.

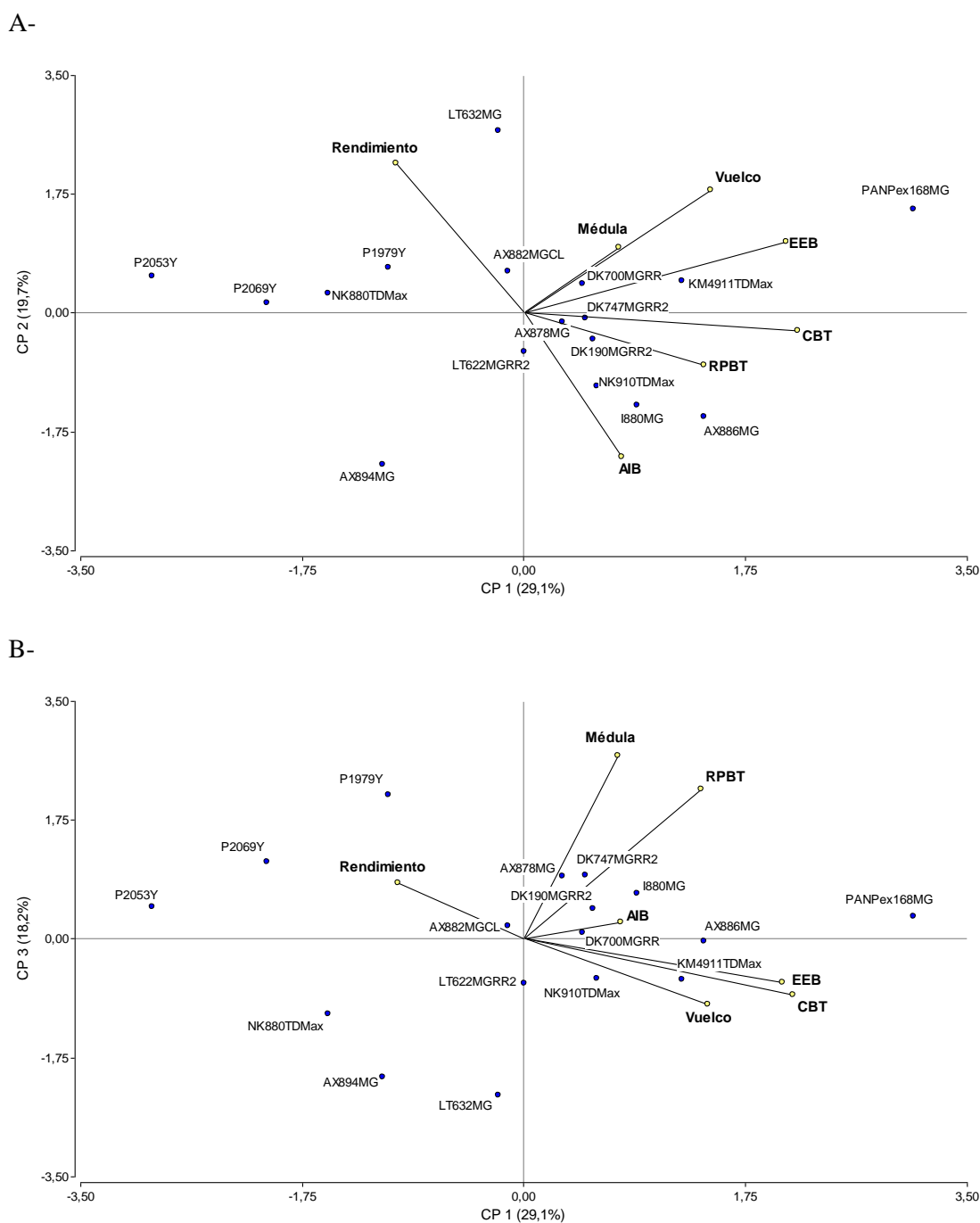


Figura 4. Análisis de componentes principales de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento en los 17 híbridos comerciales de maíz evaluados en la localidad de Buchardo, provincia de Córdoba, durante el ciclo agrícola 2008/09. A: CP1 con CP2 y B: CP1 con CP3.

EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador; CBT: color en la base del tallo; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

C-

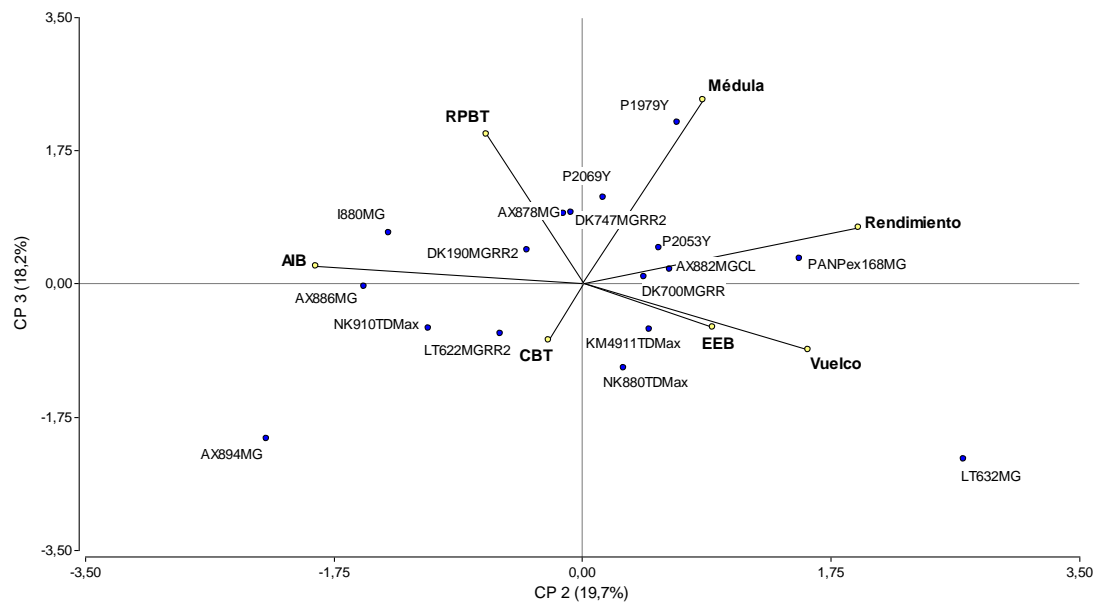


Figura 4. Análisis de componentes principales de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento en los 17 híbridos comerciales de maíz evaluados en la localidad de Buchardo, provincia de Córdoba, durante el ciclo agrícola 2008/09. C: CP2 con CP3.

EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador; CBT: color en la base del tallo; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

Análisis univariado y multivariado de los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz, caracteres agronómicos-morfológicos y rendimiento a través de ambientes

En el Cuadro 22 se presenta el análisis de la varianza (ANAVA) de los caracteres relacionados a PTR evaluados en los 12 híbridos comunes ubicados en las localidades de Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante la campaña agrícola 2008/09. En dicho cuadro puede observarse que hay interacción estadísticamente significativa entre híbridos y localidades para los caracteres médula ($p < 0,05$), estrías en los entrenudos basales ($p < 0,001$) y resistencia a la presión en la base del tallo ($p < 0,01$), indicando que las diferencias en los valores medios de estos caracteres entre los híbridos cambiaron a través de los diferentes ambientes. También se puede observar que entre híbridos solo hubo diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) para color en la base del tallo.

Cuadro 22. Cuadrado medio y significancia de los análisis de la varianza de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) evaluados en 12 híbridos comerciales de maíz ubicados en las localidades de Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante la campaña agrícola 2008/09.

FV	gl	Médula		EEB		AIB		CBT		RPBT		Vuelco	
		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor
Localidad (E)	2	24825,93	0,0001	933,33	0,5227	103,70	0,1384	103,70	0,7943	34892,59	<0,0001	103,70	0,4104
Híbrido (G)	11	899,66	0,4766	2853,54	<0,0001	43,10	0,7309	1975,42	0,0002	706,73	0,0668	84,51	0,2293
Localidad>Bloque	6	440,74	0,8222	1288,89	0,0093	37,04	0,7258	433,33	0,5165	322,22	0,5488	100,00	0,1694
Híbrido*Localidad (GE)	22	1682,49	0,0318	1123,23	0,0009	55,22	0,5934	665,32	0,1766	872,39	0,0059	83,50	0,1975
Error	66	921,55		412,12		61,28		493,94		386,87		63,64	
Total	107												

FV: fuente de variación; gl: grados de libertad; CM: cuadrado medio; EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador; CBT: color en la base del tallo, RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

Analizando la distribución de la variación total entre los diferentes componentes, suma de los efectos de G + E + GE, se observa que localidad explicó 91% en médula, 19% en estrías en los entrenudos basales, 51% en ataque de insecto barrenador, 4% en color en la base del tallo, 96% en resistencia a la presión en la base del tallo y 38% en vuelco. Por su parte el componente híbrido representó sobre la variación total, 3% en médula, 58 % en estrías en los entrenudos basales, 21% en ataque de insecto barrenador, 72% en color en la

base del tallo, 2% en resistencia a la presión en la base del tallo y 31% en vuelco, mientras que la componente interacción GE explicó el 6% en médula, 23% en estrías en los entrenudos basales, 27% en ataque de insecto barrenador, 24% en color en la base del tallo, 2% en resistencia a la presión en la base del tallo y 31% en vuelco.

El Cuadro 23 presenta el valor medio y el comportamiento individual de los 12 híbridos, para los caracteres en los cuales hubo interacción estadísticamente significativa entre híbridos y localidades. En médula y resistencia a la presión en la base del tallo se presentaron dos grupos estadísticamente diferente, mientras que en estrías en los entrenudos basales fueron tres los grupos formados, según la prueba de comparación de medias DGC ($p \leq 0,05$). En el caso de médula, cuyo promedio entre las tres localidades fue de 72%, se destacaron los híbridos P1979Y, P2069Y, PANPEX168MG, DK190MGRR2, P2053Y e I880MG, todo ellos ubicados en la localidad de Olaeta, que formaron un grupo estadísticamente diferente del resto, con valores promedio inferiores a 35%. Estrías en los entrenudos basales, que tuvo un promedio entre las tres localidades de 38%, presentó tres grupos estadísticamente diferentes: uno con valores superiores a 73% integrado por PANPEX168MG en Buchardo, LT622MGRR2 y DK190MGRR2 en Papagayo; otro con valores medios inferiores al 15% donde se encontraron P2069Y, NK910TDMAX y P1979Y en Papagayo, P2053Y, P2069Y y P1979Y en Buchardo, y NK910TDMAX y P1979Y en Olaeta,; mientras que los restantes genotipos formaron un tercer grupo con valores intermedios entre los anteriores. Por otro lado, el carácter resistencia a la presión en la base del tallo presentó un valor promedio para las tres localidades de 31% y dos grupos estadísticamente diferentes de híbridos combinados con localidades; el primero de ellos estuvo formado por los genotipos PANPEX168MG, P1979Y, DK747MGRR2, I880MG, P2069Y, KM4911TDMAX, NK910TDMAX, LT622MGRR2, DK190MGRR2, todos ubicados en Buchardo, con valores promedio superiores al 60%, y el otro grupo fue integrado por los demás genotipos.

Cuadro 23. Valor medio de los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz (PTR) para los cuales en el ANAVA hubo interacción estadísticamente significativa entre híbrido y localidad, evaluados en 12 híbridos comerciales de maíz ubicados en las localidades de Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante la campaña agrícola 2008/09.

Híbrido	Localidad	Médula (%)	EEB (%)	RPBT (%)
DK190MGRR2	B	100,00 A	53,33 B	60,00 A
P1979Y	B	100,00 A	0,00 C	93,33 A
PANPEX168MG	B	100,00 A	93,33 A	100,00 A
PANPEX168MG	P	100,00 A	60,00 B	26,67 B
DK747MGRR2	O	100,00 A	46,67 B	20,00 B
I880MG	P	93,33 A	60,00 B	6,67 B
DK747MGRR2	B	93,33 A	40,00 B	86,67 A
KM4911TDMAX	P	93,33 A	20,00 B	20,00 B
LT622MGRR2	P	93,33 A	73,33 A	6,67 B
LT632MG	P	93,33 A	53,33 B	33,33 B
P2053Y	B	93,33 A	6,67 C	40,00 B
I880MG	B	93,33 A	46,67 B	80,00 A
KM4911TDMAX	B	86,67 A	60,00 B	73,33 A
NK880TDMAX	P	86,67 A	46,67 B	0,00 B
NK910TDMAX	B	86,67 A	26,67 B	66,67 A
P2069Y	B	86,67 A	0,00 C	80,00 A
NK880TDMAX	B	80,00 A	40,00 B	33,33 B
P1979Y	P	80,00 A	6,67 C	0,00 B
LT622MGRR2	B	80,00 A	33,33 B	66,67 A
P2053Y	P	80,00 A	53,33 B	0,00 B
DK190MGRR2	P	80,00 A	86,67 A	13,33 B
LT632MG	B	73,33 A	46,67 B	26,67 B
DK747MGRR2	P	73,33 A	46,67 B	20,00 B
NK910TDMAX	P	73,33 A	6,67 C	13,33 B
P2069Y	P	66,67 A	13,33 C	6,67 B
LT632MG	O	66,67 A	33,33 B	40,00 B
LT622MGRR2	O	66,67 A	53,33 B	13,33 B
KM4911TDMAX	O	66,67 A	60,00 B	6,67 B
NK910TDMAX	O	66,67 A	6,67 C	0,00 B
NK880TDMAX	O	66,67 A	40,00 B	26,67 B
P1979Y	O	33,33 B	6,67 C	6,67 B
P2069Y	O	33,33 B	46,67 B	26,67 B
PANPEX168MG	O	0,00 B	33,33 B	13,33 B
DK190MGRR2	O	0,00 B	26,67 B	0,00 B
P2053Y	O	0,00 B	26,67 B	6,67 B
I880MG	O	0,00 B	26,67 B	13,33 B
Promedio		71,85	38,33	31,3
PCALT		55,73	37,27	36,11

O: Olaeta; P: Papagayo; B: Buchardo

Diferentes letras indican diferencias significativas para la prueba de DGC ($p \leq 0,05$).

EEB: estrías en los entrenudos basales; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo

PCALT: punto de corte dendrograma encadenamiento completo

El Cuadro 24 presenta la media y el comportamiento individual de los 12 híbridos evaluados en las tres localidades, para color en la base del tallo, que fue el único carácter en el que hubo diferencia estadísticamente significativa entre híbridos. Este carácter presentó un promedio de 67,58% en las tres localidades, y formó dos grupos de híbridos con valores promedio estadísticamente diferentes, uno de ellos estuvo representado por el genotipo P2053Y con valor promedio inferior a 36%, y el otro grupo fue integrado por los restantes materiales.

Cuadro 24. Valor medio del carácter relacionado a podredumbre de tallo y raíz (PTR) para el cual en el ANAVA hubo diferencia estadísticamente significativa entre híbridos, en 12 híbridos comerciales de maíz evaluados en las localidades de Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante la campaña agrícola 2008/09.

Híbrido	CBT (%)
LT622MGRR2	86,67 A
KM4911TDMAX	82,22 A
DK747MGRR2	80,00 A
I880MG	77,78 A
LT632MG	75,56 A
NK910TDMAX	71,11 A
DK190MGRR2	71,11 A
NK880TDMAX	62,22 A
PANPEX168MG	62,22 A
P2069Y	53,33 A
P1979Y	53,33 A
P2053Y	35,56 B
Promedio	67,59
PCALT	21,93

Diferentes letras indican diferencias significativas para la prueba de DGC ($p \leq 0,05$).

CBT: color en la base del tallo

PCALT: punto de corte dendrograma encadenamiento completo

En la Figura 5 se presentan los tres gráficos generados con las tres primeras componentes principales (CP) obtenidas del análisis de componentes principales (ACP) con los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento, evaluados en los 12 híbridos en común en las localidades de Olaeta, Papagayo y Buchardo. El 73% de la variabilidad total en el conjunto de casos fue explicado por las tres primeras CP.

El gráfico A, que representa el primer plano factorial (CP1 y CP2), muestra que la CP1 separó rendimiento, con valor positivo, de los caracteres relacionados a la enfermedad, con valores negativos, dentro de los cuales médula y resistencia a la presión en la base del

tallo fueron los que tuvieron mayor inercia hacia la izquierda. Esta CP1 también fue capaz de separar los híbridos correspondientes a la localidad de Olaeta que adquirieron valores positivos, de los híbridos ubicados en Buchardo, con valores negativos de la CP1 en su mayoría, mientras que los genotipos evaluados en Papagayo fueron los que menos inercia presentaron para esta componente. La mayor inercia entre casos es decir híbridos, y por lo tanto la mayor diferencia, se presentó entre O:P2053Y respecto de B: PANPEX168MG y B:I880MG. Analizando la separación angular de los vectores que representan los caracteres, se observa que rendimiento se correlacionó en forma negativa con todos los caracteres relacionados a PTR, evidenciado por los ángulos obtusos que forman sus proyecciones, aunque la mayor correlación negativa fue con médula, resistencia a la presión en la base del tallo y ataque de insecto barrenador. Por otro lado, los caracteres relacionados a la enfermedad formaron dos grupos separados por la CP2, donde estrías en los entrenudos basales, color en la base del tallo y vuelco se correlacionaron en forma positiva (ángulo agudo) y presentaron la mayor inercia positiva sobre esta CP2; mientras que médula, resistencia a la presión en la base del tallo y ataque de insecto barrenador, también correlacionados positivamente, presentaron la mayor inercia negativa.

Al analizar la distribución de los casos respecto a las proyecciones de los caracteres, se observa que rendimiento presentó los valores más altos en los casos ubicados a la derecha del biplot (Olaeta), al cual se asociaron en mayor medida los genotipos DK190MGRR2, PANPEX168MG, I880MG y P2053Y, todo ubicados en Olaeta; mientras que los caracteres relacionados a la enfermedad mostraron mayores valores en los híbridos ubicados a la izquierda del biplot. Al grupo de caracteres formado por estrías en los entrenudos basales, color en la base del tallo y vuelco se asociaron los genotipos LT622MGRR2, DK190MGRR2, LT632MG, I880MG, evaluados en Papagayo y LT632MG en Buchardo. Al otro grupo, formado por los restantes caracteres relacionados a la enfermedad, se asociaron los materiales I880MG, DK190MGRR2, DK747MGRR2, NK910TDMAX, LT622MGRR2, evaluados en Buchardo.

El segundo gráfico (B), producto de la confrontación de la CP1 con la CP3, muestra que la CP1, del mismo modo que en el gráfico anterior, fue capaz de separar rendimiento, con valores positivos, del resto de los caracteres relacionados a PTR que adquirieron valores negativos. De este modo, todos los caracteres vinculados a la enfermedad se asociaron en forma negativa a rendimiento, aunque esta asociación fue más clara con médula y resistencia a la presión en la base del tallo y en menor medida con estrías en los entrenudos basales, color en la base del tallo y vuelco. De modo semejante al gráfico anterior, la CP1 separó los casos ubicados en Olaeta, de los que fueron evaluados en Buchardo mientras que los genotipos en Papagayo se ubicaron cercanos al origen, y los casos

con mayor inercia sobre la CP1 fueron los híbridos PANPEX168MG y I880MG ubicados en Buchardo, respecto a P2053Y en Olaeta. Las proyecciones de todos los caracteres relacionados a la enfermedad formaron ángulos agudos entre si, evidenciando su asociación positiva, aunque fue más notoria entre estrías en los entrenudos basales y médula. El carácter con mayor inercia positiva sobre la CP3 fue ataque de insecto barrenador, y en forma negativa se destacó vuelco.

La distribución de las variables en el gráfico generado por la CP2 y CP3 (C) muestra un patrón diferente al de los gráficos anteriores, donde los ángulos agudos formados por las proyecciones de los caracteres evidencian la asociación positiva de rendimiento con estrías en los entrenudos basales y color en la base del tallo, y en menor medida con vuelco; todos estos caracteres con valores positivos de la CP2.

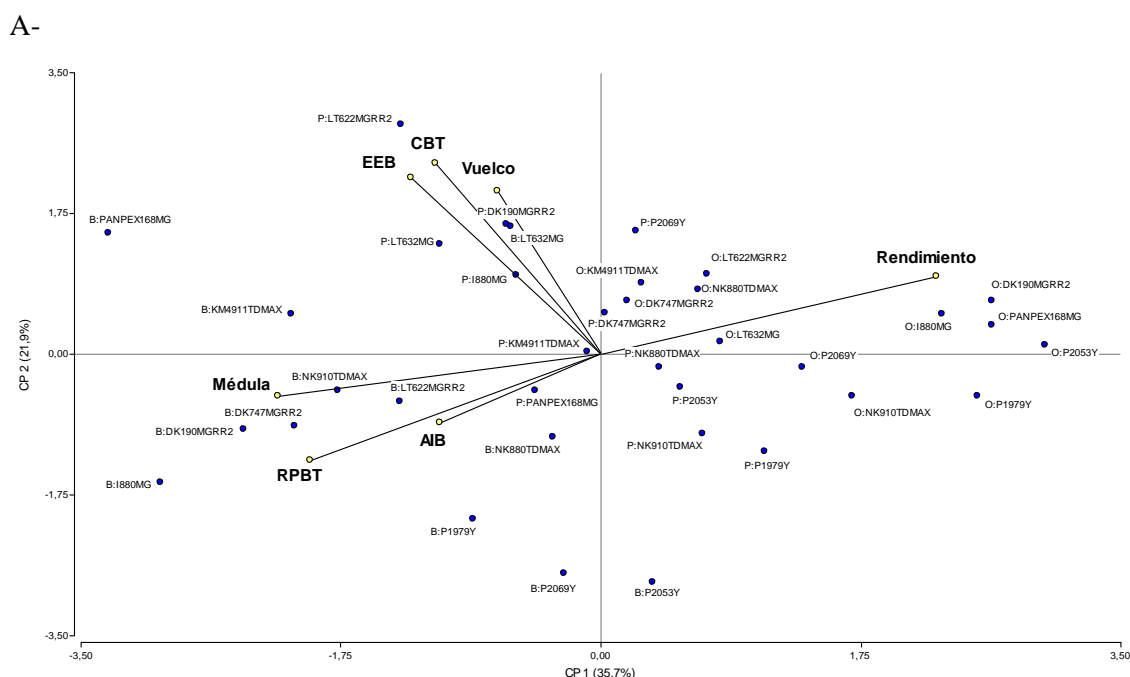


Figura 5. Análisis de componentes principales de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento en los 12 híbridos comerciales de maíz evaluados en Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante el ciclo agrícola 2008/09. A: CP1 con CP2.

EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador; CBT: color en la base del tallo; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

O: Olaeta; P: Papagayo; B: Buchardo

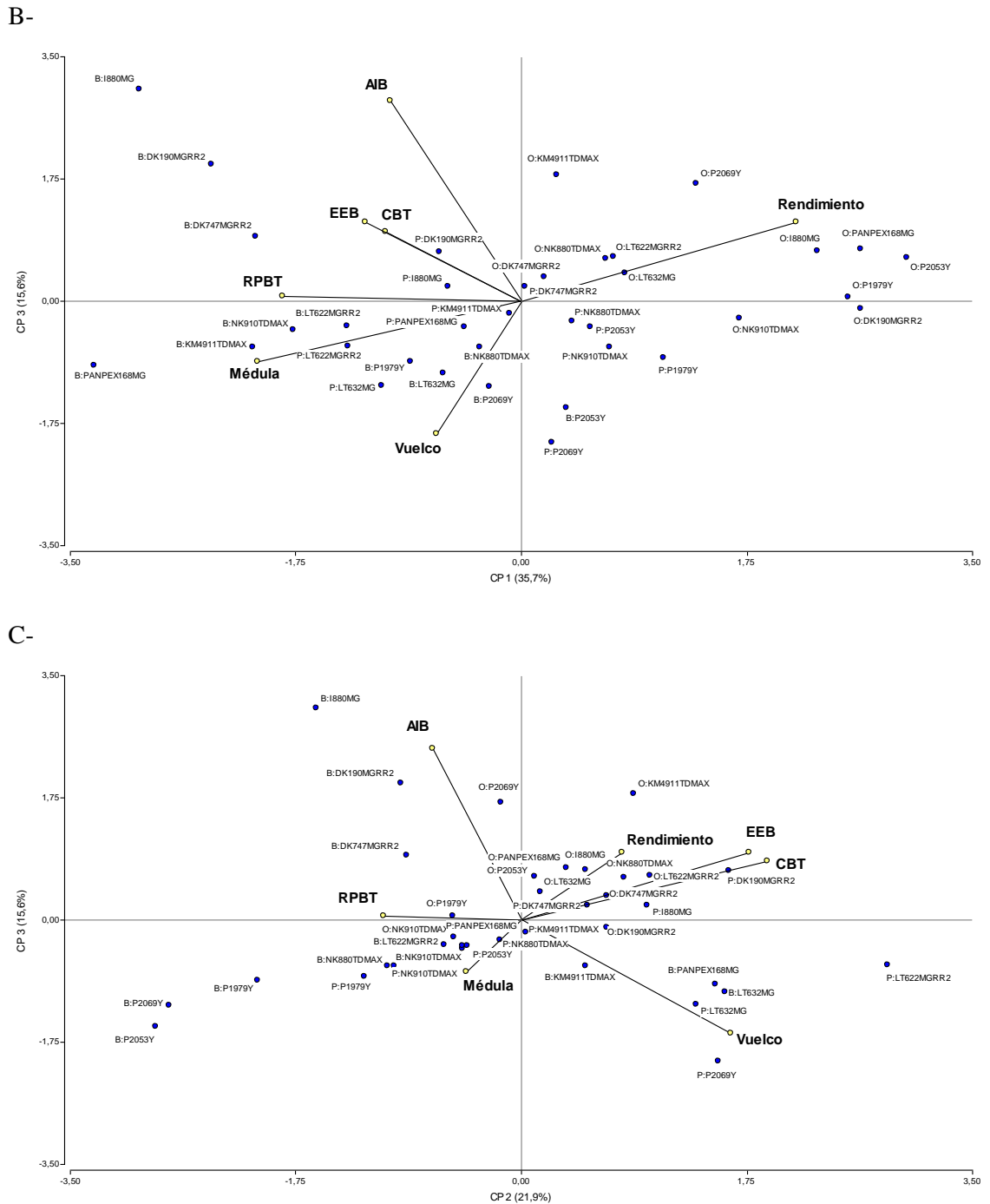


Figura 5. Análisis de componentes principales de los seis caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz y el rendimiento en los 12 híbridos comerciales de maíz evaluados en Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante el ciclo agrícola 2008/09. B: CP1 con CP3 y C: CP2 con CP3.

EEB: estrías en los entrenudos basales; AIB: ataque de insecto barrenador; CBT: color en la base del tallo; RPBT: resistencia a la presión en la base del tallo.

O: Olaeta; P: Papagayo; B: Buchardo

El análisis de procrustes generalizado llevó a la conclusión de que existe un consenso de 65% entre los ordenamientos de los híbridos en cada una de las tres localidades (Cuadro 25).

En la Figura 6 se observa el gráfico de dispersión de los ordenamientos individuales y de consenso entre las tres localidades, sobre los que se construyó el árbol de recorrido mínimo (ARM). Los autovalores indican que la variabilidad explicada mediante el eje 1 de la descomposición de la matriz de consenso es de 42%. Los dos primeros ejes permiten explicar el 76% de la variabilidad contenida en el conjunto de los caracteres medidos. El eje 1 fue capaz de separar, con relativa claridad, a los materiales pertenecientes a ciertos semilleros. Así los genotipos Pioneer se ubicaron en el extremo de la zona negativa, los pertenecientes a La Tijereta adquirieron los mayores valores positivos, mientras que los correspondientes a las otras empresas se posicionaron en sectores intermedios a los mencionados. En el gráfico se puede observar el parecido de ciertos híbridos en las tres localidades, cuando se consideran simultáneamente todos los caracteres relacionados a la enfermedad y el rendimiento. Tal es el caso de los genotipos P2053Y y P1979Y, que se ubican muy cercanos, al igual que I880MG, NK910TDMAX y PANPEX168MG, como también sucede con NK880TDMAX y DK747MGRR2. Analizando las diferentes configuraciones en los ambientes individuales el híbrido P2069Y es más parecido a DK747MGRR2 en Papagayo, que en Buchardo y Olaeta.

Cuadro 25. Suma de cuadrados del análisis de procrustes generalizado (APG) combinando información proveniente de las localidades de Olaeta, Papagayo y Buchardo, donde se ubicaron 12 híbridos comerciales de maíz en los cuales se evaluaron seis caracteres relacionados a PTR y rendimiento, durante el ciclo agrícola 2008/09.

	Consenso	Residuo	Total	Proporción del Consenso
Grupo1	0,55	0,38	0,93	0,59
Grupo2	0,68	0,34	1,02	0,66
Grupo3	0,71	0,34	1,05	0,68
Total	1,94	1,06	3,00	0,65

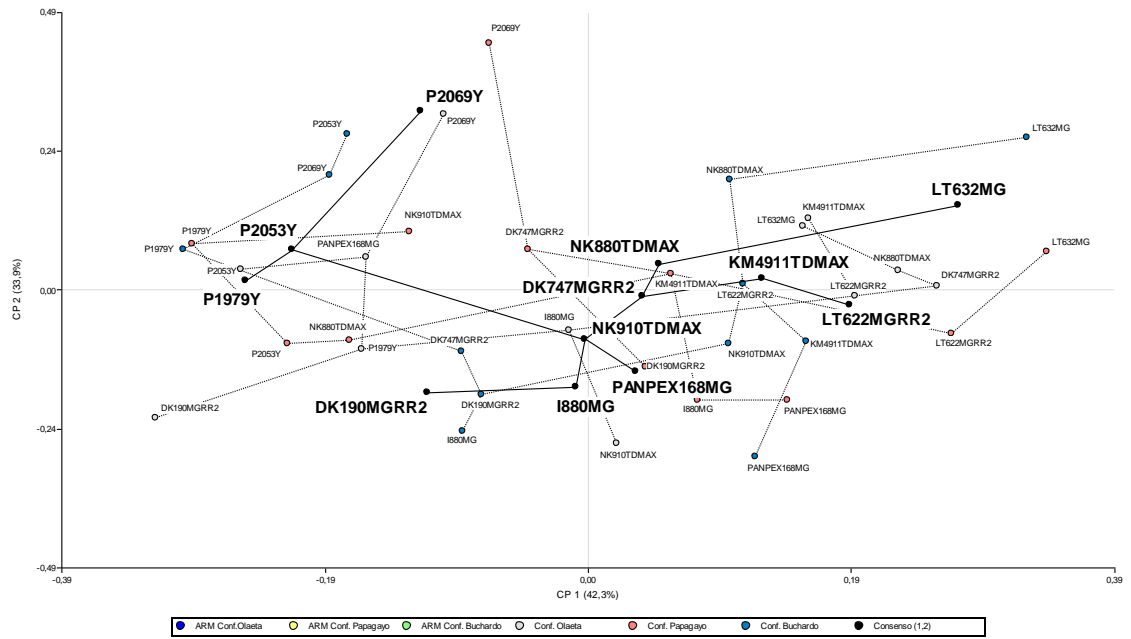


Figura 6. Configuración consenso, con el árbol de recorrido mínimo (ARM), entre el comportamiento frente a seis caracteres relacionados a PTR y rendimiento de 12 híbridos comerciales de maíz evaluados en las localidades de Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante el ciclo agrícola 2008/09.

Análisis univariado y multivariado del indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz (IMPTR) a través de ambientes

En el Cuadro 26 se presenta el análisis de la varianza (ANAVA) del indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz (IMPTR), para 12 híbridos evaluados en las localidades de Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante la campaña agrícola 2008/09. El análisis indicó que existió interacción estadísticamente significativa para el IMPTR ($p < 0,001$), es decir, que su valor promedio cambió según el ambiente donde se lo evaluó. En el análisis de la varianza para el IMPTR, el efecto del ambiente explicó un 81% de la variación de la suma de los efectos G + E + GE, el efecto del cultivar explicó el 11%, mientras que la interacción GE el 8% restante.

Cuadro 26. Cuadrado medio y significancia del análisis de la varianza del indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz (IMPTR), para 12 híbridos comerciales de maíz evaluados en Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante la campaña agrícola 2008/09.

FV	gl	IMPTR	
		CM	p-valor
Localidad (E)	2	11224,84	0,0009
Híbrido (G)	11	1501,99	0,0002
Localidad>Bloque	6	404,87	0,3941
Híbrido*Localidad (GE)	22	1085,10	0,0006
Error	66	381,13	
Total	107		

FV: fuente de variación; gl: grados de libertad; CM: cuadrado medio

Los valores medios del IMPTR para los 12 híbridos evaluados en cada una de las tres localidades se presentan en el Cuadro 27, junto con el valor medio de todos ellos. La comparación de medias se llevó a cabo mediante la prueba DGC con un nivel de significancia del 5%, generando así dos grupos estadísticamente diferentes. El conjunto de híbridos con mejor comportamiento estuvo integrado por P2069Y, NK910TDMAX, P1979Y, PANPEX168MG, I880MG, P2053Y y DK190MGRR2, en la localidad de Olaeta, con valores medio del IMPTR por debajo del 27%. Mientras que el valor medio de todos los materiales en las tres localidades donde se los evaluó fue de 56%.

Cuadro 27. Valor medio del indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz (IMPTR) de los 12 híbridos comerciales de maíz evaluados en Olaeta, Papagayo y Buchardo, durante la campaña agrícola 2008/09.

Híbrido	Localidad	IMPTR (%)	
PANPEX168MG	B	97,78	A
LT622MGRR2	P	84,45	A
PANPEX168MG	P	84,45	A
I880MG	P	82,22	A
DK747MGRR2	O	82,22	A
DK190MGRR2	B	80,00	A
LT632MG	P	77,78	A
KM4911TDMAX	B	77,78	A
DK190MGRR2	P	75,56	A
DK747MGRR2	B	75,55	A
I880MG	B	73,33	A
NK880TDMAX	P	68,89	A
P2053Y	P	66,66	A
KM4911TDMAX	P	64,45	A
KM4911TDMAX	O	64,45	A
NK880TDMAX	B	64,44	A
LT622MGRR2	O	62,22	A
DK747MGRR2	P	60,00	A
NK880TDMAX	O	57,78	A
NK910TDMAX	B	55,56	A
P1979Y	B	55,56	A
LT622MGRR2	B	55,55	A
LT632MG	B	55,55	A
LT632MG	O	55,55	A
P1979Y	P	51,11	A
NK910TDMAX	P	46,67	A
P2069Y	P	46,67	A
P2069Y	B	42,22	A
P2053Y	B	37,78	A
P2069Y	O	26,67	B
NK910TDMAX	O	24,44	B
P1979Y	O	13,33	B
PANPEX168MG	O	11,11	B
I880MG	O	8,89	B
P2053Y	O	8,89	B
DK190MGRR2	O	8,89	B
Promedio		55,68	
PCALT		35,84	

O: Olaeta; P: Papagayo; B: Buchardo

Diferentes letras indican diferencias significativas para la prueba de DGC ($p \leq 0,05$).

PCALT: punto de corte dendrograma encadenamiento completo

El análisis de correlación entre el IMPTR y rendimiento presentó un coeficiente de correlación de -0,05, con un alto nivel de significancia ($p > 0,001$), lo que indica que hubo una correlación moderada con dirección negativa entre estos caracteres, es decir que la tendencia promedio indicó que cuando un valor del par observado, por ejemplo del IMPTR (%) fue más grande que su media, el otro valor, de rendimiento (kg/ha), fue más pequeño que su media (Balzarini *et al.*, 2008).

El gráfico de puntos que se presenta en la Figura 7 permite visualizar de manera clara la interacción que ocurrió entre los híbridos comerciales de maíz para el IMPTR, y los tres ambientes donde fueron evaluados. Se observa que las varianzas de los genotipos en las localidades fueron diferentes, siendo máximas en Olaeta y mínimas en Papagayo. También se observa un cambio de rango a través de las localidades, ya que si bien en la mayoría de los genotipos aumentó el valor del IMPTR en Papagayo respecto a Olaeta, en otros disminuyó, tal es el caso del híbrido DK747MGRR2, mientras que al comparar Buchardo respecto a Papagayo, se observan cambios en los valores del IMPTR muy diferentes, donde en algunos materiales estos valores aumentaron y en otros disminuyeron.

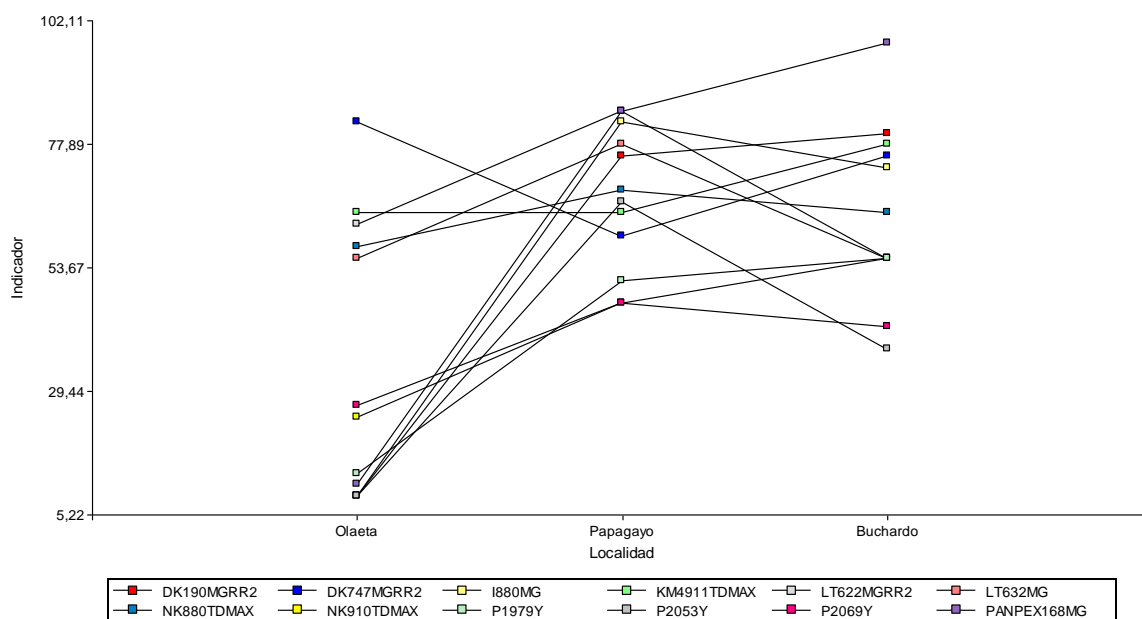


Figura 7. Gráfico de puntos de la interacción GE presente entre 12 híbridos comerciales de maíz y tres localidades, Olaeta, Papagayo y Buchardo, donde fueron evaluados por su comportamiento frente a podredumbre de tallo y raíz (PTR), durante el ciclo agrícola 2008/09.

El comportamiento de los híbridos comerciales de maíz para el indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz (IMPTR) en distintas localidades se analizó con el gráfico biplot obtenido del modelo SREG mostrado en la Figura 8. El biplot GGE que resulta del análisis de las dos primeras componentes principales CP1 y CP2 de los datos, explicó el 90% de la variabilidad total del IMPTR en todas las localidades analizadas. En este gráfico los híbridos y las localidades son representadas por marcadores (puntos azules y amarillos, respectivamente), definidos al graficar los coeficientes de cada genotipo y de cada ambiente en la CP1 (eje X) contra los respectivos coeficientes en la CP2 (eje Y). Las localidades son representadas también por vectores originados en la coordenada (0;0) del biplot, extendiéndose hasta el marcador correspondiente a cada ambiente.

En el biplot puede observarse un polígono envolvente de identificadores de híbridos obtenido con el programa estadístico InfoGen (Balzarini y Di Rienzo, 2004). Los genotipos de comportamiento extremo que definen el polígono envolvente fueron PANPEX168MG, DK747MGRR2, P2069Y, P2053Y, I880MG y DK190MGRR2. Estos híbridos poseen la mayor interacción positiva como negativa, es decir, con mayor y menor susceptibilidad a podredumbre de tallo y raíz respectivamente. Las líneas perpendiculares trazadas a cada lado del polígono con origen en (0;0), dividen al mismo en 4 sectores, quedando en cada sector un cultivar en el vértice. La línea de corte sobre el eje X (0) indica los valores medios del IMPTR para los híbridos, por lo tanto, aquellos genotipos ubicados a la derecha de esta línea presentan un valor superior al valor medio general del indicador, mientras los que se encuentran a su izquierda muestran un valor inferior al mismo. Las localidades quedaron reunidas en dos sectores bien definidos, formándose dos grupos de ambientes, uno integrado por Papagayo y Buchardo y otro por Olaeta.

Los genotipos que se ubican en el vértice son los que presentaron mayores valores del IMPTR en las localidades que quedan encerrados en el sector. Para la localidad de Olaeta el híbrido DK747MGRR2 fue el más susceptible a la enfermedad, es decir, con inferior comportamiento, mientras que PANPEX168MG lo fue para las localidades de Papagayo y Buchardo. Por otra parte, los híbridos P2053Y y P2069Y que quedaron alejados de las localidades de análisis, fueron los que manifestaron el comportamiento superior, en todos los ambientes.

El eje Y es la componente usada para modelar la interacción GE, es el eje que explica la variación del valor del IMPTR debido a la interacción. Por lo tanto, los híbridos que se ubicaron cerca del cero fueron aquellos de comportamiento más estable (LT632MG, NK880TDMAX, LT622MGRR2 y DK747MGRR2), mientras que los más alejados al cero fueron los que tuvieron mayor interacción con el ambiente (PANPEX168MG y P2069Y).

El híbrido P2053Y con el menor coeficiente en la CP1 asociado a mínimos valores del IMPTR, y valores de CP2 también relativamente bajos, lo cual indica un comportamiento estable a través de diferentes ambientes, podría considerarse un “cultivar ideal”. Por otro lado el genotipo DK747MGRR2 se presentó también como un material estable, evidenciado por su bajo valor de la CP2, pero a diferencia del anterior, se caracterizó por presentar altos valores del IMPTR en todas las localidades.

La localidad de Olaeta fue la de mayor capacidad discriminante entre híbridos, al ser representada por un vector de gran magnitud sobre la CP1. Además, presentó un valor absoluto en la CP2 mínimo, por esta razón Olaeta podría constituir un “ambiente ideal” por ser el más discriminante (alto coeficiente en la CP1) y el más representativo (coeficiente más cercano a cero en la CP2).

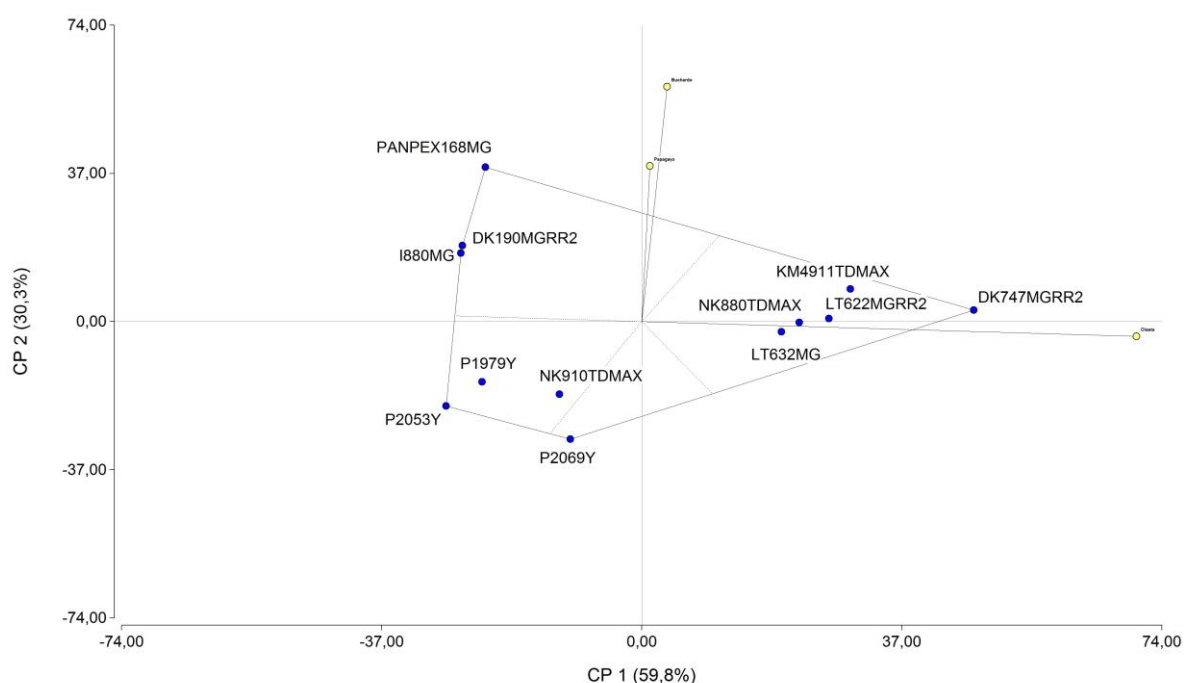


Figura 8. Biplot GGE para el indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz (IMPTR), de 12 híbridos comerciales de maíz analizados en las localidades de Olaeta, Papagayo y Bucharado, evaluados durante el ciclo agrícola 2008/09.

DISCUSIÓN

Análisis univariado y multivariado de los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz, caracteres agronómicos-morfológicos y rendimiento por ambiente

Considerando que las características de la podredumbre de tallo y raíz pueden ser influenciadas por las condiciones ambientales donde se desarrolle el cultivo de maíz (Dodd, 1980; Agrios, 2007; Jardine, 2006; Jackson *et al.*, 2009) es que los híbridos bajo análisis en el presente estudio fueron implantados en diferentes localidades con la finalidad de representar distintas condiciones edafoclimáticas. Al analizar las diferencias existentes entre los ambientes desde el punto de vista de las limitaciones para el desarrollo del cultivo de maíz propuestas por Andrade *et al.* (1996), se destaca que las principales discrepancias se presentaron en el régimen térmico de las localidades, en la cantidad y en la distribución de las precipitaciones como también en el manejo agronómico de la fertilización y densidad de siembra del cultivo.

La localidad de Olaeta fue el ambiente más favorable para el desarrollo del maíz debido a que sus precipitaciones fueron las más abundantes con una adecuada distribución en los meses que duró el ciclo del cultivo. Este fue el ambiente en donde se realizó el mayor aporte de nutrientes mediante la fertilización y refertilización y además, las temperaturas medias mensuales no mostraron valores extremos. La localidad de Papagayo presentó notorias limitaciones hídricas, ya que las escasas precipitaciones anuales inferiores al 60% de la media de Río Cuarto en los últimos 30 años, se concentraron en el mes de enero y sobrepasaron ampliamente la media de Río Cuarto en este mes, pero fueron limitadas en diciembre durante la floración. Sin embargo, allí se realizó un considerable aporte de nutrientes a través de fertilización y refertilización y las temperaturas medias mensuales mostraron variaciones mínimas entre los meses fríos y cálidos. Buchardo se caracterizó por ser un ambiente con escasas precipitaciones, las cuales representaron menos del 40% del valor medio de los últimos 30 años para Río Cuarto y además, fueron escasas en primavera y se concentraron en febrero. Esto, junto con una elevada evapotranspiración potencial estimada a partir de las temperaturas que fueron las más altas de las tres localidades, generó una situación hídrica desfavorable principalmente en las primeras etapas de desarrollo del maíz. Desde el punto de vista nutricional, este fue el ambiente con menor aporte mediante fertilización. A estas limitantes se le sumó la ocurrencia de precipitaciones sólidas que eliminaron parte del área foliar del cultivo durante la etapa de llenado de grano.

Los híbridos evaluados en Olaeta presentaron el valor promedio más bajo del carácter médula respecto a las otras dos localidades, mientras que el valor promedio de

estrías en los entrenudos basales y de resistencia a la presión en la base del tallo fue semejante a los de Papagayo y Buchardo, respectivamente. Por otro lado, los caracteres ataque de insecto barrenador, color en la base del tallo y vuelco presentaron un valor promedio semejante en las tres localidades. A su vez, Olaeta fue la localidad donde se observó el mayor número de caracteres (médula, estrías en los entrenudos basales, ataque de insecto barrenador y vuelco) en los cuales hubo diferencias estadísticamente significativas entre híbridos; como también donde los híbridos presentaron el mayor valor de rendimiento promedio. En Papagayo los materiales presentaron, respecto a las otras dos localidades, valores promedio elevados de médula y los más altos de estrías en los entrenudos basales, mientras que los valores de los restantes caracteres fueron similares. En esta localidad solo hubo diferencias significativas entre híbridos en los caracteres estrías en los entrenudos basales y ataque de insecto barrenador; y el rendimiento promedio de los híbridos fue intermedio a los observados en las otras dos localidades. Buchardo se destacó por sus mayores valores medios de los caracteres médula y resistencia a la presión en la base del tallo. Aquí los híbridos evaluados se diferenciaron en los caracteres estrías en los entrenudos basales, color en la base del tallo y resistencia a la presión en la base del tallo, y el rendimiento medio de los híbridos fue el más bajo de los tres ambientes. En un estudio semejante llevado a cabo por Anderson y White (1994) cuya finalidad fue evaluar métodos para la identificación de genotipos resistentes a podredumbre de tallo y vuelco, se analizaron caracteres de calidad del tallo de maíz semejantes a varios de los mencionados anteriormente. Estos autores estudiaron la densidad y humedad de la médula, realizaron un test de presión y midieron el vuelco. Pero sus resultados no correspondieron en su totalidad con los observados en el presente estudio, ya que ellos observaron diferencias significativas entre los híbridos para todos los caracteres analizados.

Los caracteres agronómicos-morfológicos altura de la planta y altura de inserción de espiga utilizados como descriptores de maíz, que no estuvieron relacionados directamente con la enfermedad, tuvieron valores promedio semejantes en las tres localidades. Por el contrario en los caracteres altura de la planta y altura de inserción de la espiga, Pedro y Vega (1972) observaron diferencias significativas ante variaciones en el medio ambiente.

Al comparar el rendimiento promedio de grano de las tres localidades del presente estudio con los registrados en los ensayos comparativos de la estación experimental agropecuaria INTA Marcos Juárez durante la misma campaña agrícola (Vallone *et al.*, 2009) se observa que el máximo rendimiento promedio en Olaeta es semejante a los informados en ambientes con abundantes precipitaciones ocurridas durante el período crítico del cultivo. El rendimiento medio de Papagayo fue similar a rendimientos mínimos promedios registrados en los ensayos comparativos, que se dieron en sitios con precipitaciones anuales semejantes,

cercanas a los 500 milímetros. El rendimiento promedio de Buchardo estuvo muy por debajo de los rindes mínimos obtenidos por el INTA Marcos Juárez, apenas superando el 50% de valores obtenidos en la localidad cercana de Laboulaye. Esto último se explicaría por la escasa precipitación durante el ciclo del cultivo en Buchardo, como también por la ocurrencia de precipitaciones sólidas durante el período de llenado de grano que provocó daños significativos al cultivo, como pérdida de área foliar y quebrado de plantas.

Las diferencias en los rendimientos entre localidades fueron mayores a las encontradas por Ibáñez *et al.* (2006) al analizar el rendimiento de híbridos de maíz en tres ambientes determinados por tres campañas agrícolas en una misma localidad. Las mayores variaciones en los valores de rendimiento promedio observados en el presente estudio podrían deberse tanto a la heterogeneidad en cantidad y distribución de las precipitaciones a favor de Olaeta, como también al manejo agronómico particular de cada ensayo, ya que esta localidad tuvo los valores más altos de fertilización (N y P), aunque también sería necesario considerar las posibles diferencias en el manejo y rotaciones anteriores al cultivo antecesor que pudieron determinar diferentes situaciones para el desarrollo del cultivo.

La mayoría de los caracteres relacionados con la enfermedad se correlacionaron negativamente con rendimiento, excepto color en la base del tallo en Papagayo y médula y vuelco en Buchardo. El rendimiento siempre se ubicó opuesto a la mayoría de las variables relacionadas a la enfermedad en los dos primeros gráficos biplots obtenidos de la confrontación de las tres primeras componentes principales (CP1 vs CP2 y CP1 vs CP3), en las tres localidades evaluadas. Así como Anderson y White, (1994) seleccionaron los mejores métodos para identificar genotipos resistentes a podredumbre de tallo mediante la correlación negativa con vuelco y muerte prematura, la metodología utilizada en el presente estudio mostró que los caracteres podrían ser utilizados en el análisis del comportamiento de los híbridos frente a la enfermedad por su correlación negativa con rendimiento.

El análisis de componentes principales resultó una técnica adecuada para reducir las dimensiones y facilitar la interpretación de la interrelación de los caracteres y los híbridos tal como mencionaron Balzarini *et al.* (2008). Estos gráficos permitieron apreciar que los caracteres relacionados a la enfermedad que más contribuyeron a la variabilidad total fueron estrías en los entrenudos basales en las tres localidades, color en la base del tallo en Olaeta y Buchardo y médula en Olaeta y Papagayo. Del mismo modo en que diversos autores han seleccionado caracteres morfológicos mediante su variabilidad para valorar la diversidad genética entre razas de maíz (Sanchez, 1983; Sanchez-González *et al.*, 1993) o incluso entre poblaciones dentro de una raza (Silva, 1992; Herrera Cabrera *et al.*, 2000), mediante el análisis de componentes principales se pudo identificar a estos tres caracteres relacionados a la enfermedad como los más relevantes de todos los analizados para identificar la

variabilidad de los híbridos evaluados por su comportamiento frente a PTR en el presente estudio.

Al analizar la distribución general de los híbridos en los gráficos biplot, se destacan los tres materiales pertenecientes a la empresa Pioneer, que en las tres localidades se ubicaron asociados a rendimiento y por lo tanto opuestos a los caracteres relacionados a la enfermedad. En las localidades de Olaeta y Papagayo, el genotipo AD60AY fue el que se posicionó más opuesto a rendimiento y por lo tanto asociado a los caracteres relacionados a PTR, mientras que en Bucharcho el híbrido PANPex168MG fue el que mostró asociación con las variables relacionadas con la enfermedad.

Análisis univariado y multivariado de los caracteres relacionados a podredumbre de tallo y raíz, caracteres agronómicos-morfológicos y rendimiento a través de ambientes

En los caracteres médula, estrías en los entrenudos basales y resistencia a la presión en la base del tallo los híbridos presentaron un ordenamiento diferente a través de los ambientes, evidenciando una clara interacción GE. A pesar de ello, el factor híbrido fue la principal fuente de variación en estrías en los entrenudos basales, mientras que en los otros dos caracteres lo fue el factor ambiente. Anderson y White (1994) del mismo modo observaron dicha interacción en características de la médula y resistencia de los tallos en híbridos implantados en diferentes años o ambientes. Estos autores también informaron interacción GE al evaluar vuelco, en contraposición a lo observado en el presente estudio, pero con cambios pequeños en el ordenamiento de los híbridos a través de los ambientes explicado principalmente por altos valores de vuelco en un año particular.

Si bien al momento de seleccionar caracteres para diferenciar materiales genéticos, son preferibles aquellos en los que la variación total observada en cada localidad se deba en mayor proporción a los efectos de la composición genética que a los sesgos provocados por los factores ambientales y la interacción GE, tal como lo indican Herrera Cabrera *et al.* (2000), otros autores han mostrado que aquellos caracteres en los cuales se manifiesta interacción GE por ser sensibles a determinados ambientes pueden ser útiles también para hacer selección de genotipos. Esto fue lo propuesto por Paterson *et al.* (1990) al estudiar la base genética de la variación cuantitativa en el fenotipo mediante la utilización de *loci* de caracteres cuantitativos (quantitative trait loci o QTL) que afectaron el tamaño de la fruta, la concentración de sólidos solubles y el pH en las progenies F₂ y F₃ productos de la cruce entre el tomate doméstico (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y una especie salvaje emparentada, *L. cheesmanii*. Dichos autores observaron que solo unos pocos QTL se encontraron en todos los ambientes, mientras que muchos otros se observaron solo en un ambiente particular

evidenciando la sensibilidad de estos últimos QTL a ambientes específicos, lo cual representa una situación semejante a la interacción GE observado en los caracteres evaluados en el presente estudio. Sin embargo, según lo planteado por estos autores, estos QTL sensibles a los ambientes, al igual que los caracteres médula, estrías en los entrenudos basales y resistencia a la presión en la base del tallo, podrían ser útiles en el mejoramiento vegetal si se definen ambientes de producción en donde cada uno de estos caracteres puedan ser evaluados confiablemente. Luego mediante la evaluación de los genotipos en cada uno de estos ambientes con sus respectivos caracteres específicos se podría eliminar los efectos ambientales que dificulten la selección de materiales.

Por otro lado en color en la base del tallo, donde la principal fuente de variación fue el efecto de los híbridos, hubo diferencias significativas entre híbridos.

En el gráfico biplot obtenido de las dos primeras componentes principales con las cuales se analizó la variabilidad presente en todos los caracteres evaluados en los híbridos en las tres localidades se observa que si bien todos los caracteres relacionados a la enfermedad se correlacionaron negativamente con rendimiento, la mayor correlación negativa fue con médula, resistencia a la presión en la base del tallo y ataque de insecto barrenador. De estos tres, los dos primeros fueron a su vez los caracteres relacionados a la enfermedad que explicaron la mayor variabilidad. El carácter vuelco, que formó parte del grupo con valores positivos de la CP2, presentó escasa correlación positiva con médula y resistencia a la presión en la base del tallo, integrantes del grupo con valores negativos de la CP2, tal como lo observado por Anderson y White (1994) mediante otros métodos de análisis. Numerosos autores (Bergstrom *et al.*, 1983; Keller *et al.*, 1986) establecieron una relación sinérgica entre los daños causados por insectos tales como *Ostrinia nubilalis* y la incidencia de antracnosis y otras podredumbres de tallo, lo cual fue mostrado parcialmente en el presente estudio al observar la correlación positiva entre el carácter ataque de insecto barrenador con médula y resistencia a la presión en la base del tallo, estos últimos síntomas presentes en diversos tipos de podredumbres de tallo. Sin embargo, el carácter estrías en los entrenudos basales, que es un síntoma característico de la podredumbre de tallo conocida como antracnosis (Jardine, 2006; Carmona, 2009, Jackson *et al.*, 2009), presentó escasa correlación positiva con ataque de insecto barrenador, y mostró que los patógenos responsables de este tipo de podredumbre no siempre necesitan de una herida causada por insectos para la colonización de tallos, a diferencia de lo planteado por los autores previamente mencionados, pero en concordancia con lo observado en otros estudios (Venard y Vaillancourt, 2007; Gatch y Munkvold, 2002a,b). Además Gatch y Munkvold (2002a,b) observaron en determinados años una correlación lineal positiva entre los daños por insecto barrenador y los síntomas de podredumbre de tallo, pero que en otros años esta relación no se mantenía. Así, en un año

particular los híbridos BT, con menores daños, presentaron mayores valores de decoloración del tallo y vuelco, lo cual concuerda con la escasa correlación observada en el presente estudio entre ataque de insecto barrenador con color en la base del tallo y vuelco.

El análisis de componentes principales también resultó ser una herramienta útil para separar a los híbridos, en cada localidad que se asociaron a rendimiento y a cada uno de los dos grupos de caracteres relacionados a PTR, tal como lo mostrado por Zuliani *et al.* (2012), al observar la asociación de diferentes poblaciones nativas de maíz con rendimiento y otros caracteres morfológicos. Así, los materiales con mayores rendimientos y con menos síntomas de la enfermedad se ubicaron en Olaeta, mientras que los que presentaron bajos rendimientos y mayores valores de médula, resistencia a la presión en la base del tallo y ataque de insecto barrenador fueron los evaluados en Buchardo. Por otro lado, aquellos híbridos con altos valores de estrías en los entrenudos basales, color en la base del tallo y vuelco se encontraron principalmente en Papagayo. La podredumbre de tallo y raíz es una enfermedad causada por numerosos microorganismos que no siempre están presentes simultáneamente o en igual proporción en los tallos afectados, y las podredumbres desarrolladas por cada uno de ellos pueden presentar diferentes síntomas, además de estar favorecidos por diferentes condiciones ambientales (Carmona, 2009). Esto podría explicar las discrepancias entre localidades para algunos de los caracteres. La situación más clara esta representada por los altos valores de estrías en los entrenudos basales observados en los híbridos evaluados en Papagayo, debido a que este carácter es un síntoma de la antracnosis cuyo agente causal es *Colletotrichum graminicola* (CIMMYT, 2004). Dicho microorganismo se ve favorecido por períodos prolongados de elevada humedad relativa y tiempo nublado posteriores a la floración (Jardine, 2006; Jackson *et al.*, 2009), semejante a lo que ocurrió en esta localidad dado los elevados registros pluviométricos en los meses de enero y febrero. Lo que lleva a pensar que este patógeno podría haber predominado en los tallos afectados en esta localidad. Por otro lado, Buchardo presentó las precipitaciones más escasas de las tres localidades, las cuales se concentraron en el final del ciclo del cultivo, lo que generó una situación hídrica muy favorable para el desarrollo de diversos tipos de podredumbres de tallo, como las causadas por *Fusarium* y *Diplodia* (Jardine, 2006). A su vez, este déficit hídrico sumado a la pérdida de área foliar como consecuencia de la precipitación sólida allí ocurrida puede haber provocado una mayor traslocación de carbohidratos desde los tallos a los granos, y con ello una muerte celular prematura favoreciendo el ingreso de agentes patógenos tal como indican Dodd (1980), Carmona (2009) y Jackson *et al.* (2009). El desarrollo de numerosos y diversos agentes patógenos en los tallos debilitados de los híbridos implantados en esta localidad, posiblemente fueron los responsables de los mayores valores de médula y resistencia a la presión en la base del tallo, que representan síntomas de la mayoría de las podredumbres de tallo (CIMMYT, 2004).

El consenso relativamente bajo encontrado en el análisis de procrustes generalizado (APG) fue el esperado, debido a que la mitad de los caracteres mediante los cuales fueron evaluados los híbridos presentaron interacción GE estadísticamente significativa, lo cual indica que el ordenamiento de los híbridos se modificó a través de los ambientes. Esta interacción se manifiesta en el análisis de procrustes generalizado por las grandes discrepancias observadas entre las tres localidades, tal como fue reportado por otros autores (Zuliani *et al.*, 2012).

El APG resulta una herramienta útil para analizar el consenso de diversos tipos de matrices de datos. Así Hernandez *et al.* (2010) estudiaron el consenso generado de las configuraciones obtenidas por datos morfológicos y moleculares provenientes de líneas puras de maíz evaluadas en tres ambientes. A pesar de las diferencias en el tipo de datos, dichos autores encontraron con las dos primeras componentes un porcentaje de la variación total semejante al obtenido en el presente estudio; como también, notaron que el primero de esos ejes fue capaz de separar las líneas dentadas de las duras, al igual que en este trabajo dicho eje separó los materiales de algunos criaderos del resto.

Análisis univariado y multivariado del indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz (IMPTR) a través de ambientes

Considerando la ausencia de una escala validada para evaluar la podredumbre de tallo y raíz a través de la severidad de sus síntomas, y a la gran diversidad de métodos para estudiar la enfermedad, el indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz (IMPTR), semejante al utilizado por Ahmad *et al.* (1997), resultó ser una herramienta muy útil para resumir la información provista por los principales síntomas de la enfermedad y expresarla como valores de porcentaje de manera tal que permitió una mejor interpretación del comportamiento de los distintos híbridos.

El IMPTR evaluado en los tres ambientes durante la campaña agrícola 2008/09 presentó valores que oscilaron entre 8,89 y 97,78%. Estos porcentajes fueron semejantes a lo informado por Denti *et al.* (1999) en Brasil, quienes registraron valores de incidencia de podredumbre de la base del tallo durante la campaña agrícola 1997/98 que variaron entre 4 y 72% dependiendo del año, la localidad y el genotipo, pero fueron diferentes a lo observado por Oddino *et al.* (2012) en la zona de Río Cuarto durante la campaña agrícola 2011/12, quienes sólo señalaron valores superiores al 75% de incidencia de la enfermedad. La mayor variabilidad o rango de datos obtenidos en el presente estudio respecto al de Oddino *et al.* (2012), puede ser explicada en parte por la diferente metodología utilizada para cuantificar el ataque de la enfermedad, a pesar de ser expresada como porcentaje en ambos casos. Así en el estudio de Oddino *et al.* (2012) se analizó la incidencia, mientras que el IMPTR aquí

empleado, es una medida de la reacción a la enfermedad donde se pondera los diferentes grados de la escala de síntomas por su incidencia. Otro factor que podría explicar el amplio rango de datos obtenidos en este estudio y en el de Denti *et al.* (1999) sería la diversidad de híbridos analizados y ambientes en los cuales se los evaluó, lo cual pudo generar diferentes situaciones para el desarrollo de la enfermedad.

El grado de infección de las podredumbres de tallo por *Fusarium*, principal agente patógeno encontrado en la región evaluada (Oddino *et al.*, 2012), depende de factores ambientales, la interacción GE y la resistencia de los genotipos de maíz a los patógenos (Buhinicek *et al.*, 2005; Szöke *et al.*, 2007; Mesterházy *et al.*, 2008; Reinprecht *et al.*, 2008). El análisis del comportamiento frente a podredumbre de tallo y raíz del conjunto de materiales evaluados mediante el IMPTR, mostró que la variación debida al efecto del ambiente fue mayor a la variación presentada por los efectos del genotipo y de la interacción GE, sin embargo esta interacción GE fue significativa, lo que significa que la diferencia entre genotipos varía a través de los ambientes, al igual que lo observado por otros autores que evaluaron diferentes caracteres agronómicos en maíz (Butrón *et al.*, 2004; Ibáñez *et al.*, 2006). No resulta extraño encontrar interacción GE en híbridos considerando que es más frecuente que en materiales de diferente constitución genética como poblaciones de polinización abierta o mezclas de líneas puras, ya que son menos ricos en genes de adaptabilidad y su estructura genética caracterizada por escasos niveles de heterogeneidad los hace más susceptibles a variaciones en las condiciones ambientales (Annicchiarico, 2002). Hay evidencias de que la reacción de los híbridos frente a podredumbre de tallo y raíz está influenciada por las condiciones ambientales durante la estación de crecimiento del cultivo (Russell, 1961; Kappelman y Thompson, 1966), esto podría explicar los cambios en el comportamiento de los híbridos frente a diferentes condiciones ambientales presentadas en los ambientes evaluados. Las condiciones climáticas de la localidad de Olaeta con precipitaciones abundantes, mejor distribuidas y tiempo cálido, pero no excesivamente húmedo, permitieron separar a un grupo de híbridos de mejor comportamiento que el resto, con un valor promedio del IMPTR inferior al 30%. Estos mismos híbridos al ser evaluados en Papagayo presentaron un comportamiento diferente con mayor afección de la enfermedad y un rango más amplio de valores, que osciló entre 47 y 85%. Buchardo podría ser considerada una situación semejante a la de Papagayo, aunque la amplitud del rango fue un poco mayor. Los cambios en los valores del indicador para los híbridos a través de los diferentes ambientes evidenció una interacción GE con cambio de rango, también conocida como interacción “crossover”, la cual ha sido informada por distintos autores (Cornelius *et al.*, 1996; Yan *et al.*, 2000; Crossa *et al.*, 2002).

Numerosos modelos estadísticos permiten analizar los datos de ensayos multiambientales cuando se estudia el comportamiento de un conjunto de genotipos frente a enfermedades bajo diferentes condiciones edafoclimáticas de crecimiento, si bien no se encontró bibliografía para PTR, en este caso el modelo de regresión de sitios (SREG) (Cornelius *et al.*, 1996; Crossa y Cornelius, 1997; Crossa *et al.*, 2002), fue el que mejor se ajustó para el estudio de los datos multiambientales por su capacidad para eliminar del análisis el efecto ambiental, permitiendo una interpretación clara del comportamiento de los genotipos y de la interacción GE. Dicho modelo logró separar las tres localidades en dos grupos de ambientes similares, al igual que lo observado por Di Renzo y colaboradores (comunicación personal) al estudiar la resistencia al virus del Mal de Río Cuarto en 140 líneas de maíz evaluadas en seis ambientes generados por la combinación de localidades y campañas agrícolas. En la presente evaluación de genotipos por su comportamiento frente a PTR, uno de los dos grupos de ambientes estuvo conformado por las localidades de Papagayo y Buchardo donde en general los híbridos presentaron mayores valores del indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz, pero con menor variación entre dichos valores, y el otro grupo estuvo representado únicamente por Olaeta, donde los genotipos evidenciaron mayores diferencias en su comportamiento frente a la enfermedad logrando así una mejor discriminación entre los mismos para este carácter, además de ser el más representativo (bajo valor en la CP2). Las características de esta localidad se pueden explicar por su régimen de precipitaciones, que fue el más favorable en cantidad y sobre todo en distribución, permitiendo que los híbridos puedan completar su desarrollo manteniendo por más tiempo sus mecanismos de defensa ante la entrada de los diferentes agentes patógenos (Dodd, 1980) y de esta forma manifiesten menores valores del IMPTR, como también los mayores rendimientos. En cambio en las localidades que conformaron el primer grupo de ambientes mencionado, las escasas precipitaciones ocurridas durante todo el ciclo del cultivo y las precipitaciones sólidas en Buchardo, como las excesivas lluvias y por lo tanto tiempo húmedo y nublado durante el periodo de llenado de grano que ocurrió en Papagayo luego de un desarrollo del cultivo con escasa humedad, pueden haber provocado un deterioro de la integridad de los tejidos, como consecuencia de la deficiencia de carbohidratos por una escasa fotosíntesis en un momento de aumento de la traslocación de los mismos hacia los granos, según lo planteado por Dodd (1980) con su concepto de estrés fotosintético-balance de la traslocación. A esto se le suma el efecto negativo de las precipitaciones concentradas en etapas avanzadas del ciclo del cultivo en ambas localidades, que pudieron generar pérdidas de nitrógeno por lixiviación y con ello una situación nutricional desbalanceada, con buena oferta del nutriente en etapas iniciales del cultivo, y escasa hacia el final del mismo, lo que representa una condición propicia para el desarrollo de la PTR según lo indicado por Carmona (2009). Por último, considerando que el aumento

de la densidad de siembra puede provocar mayores niveles de enfermedad tal y cómo fue observado por Marcondes *et al.* (2012), es que la elevada densidad de siembra en la localidad de Papagayo en relación a un año con escasas precipitaciones pudo representar otro factor que llevo a los resultados observados en el gráfico GGE biplot.

La podredumbre de tallo y raíz es causada por numerosos patógenos, los cuales pueden generar diferentes síntomas (Jardine, 2006; Carmona, 2009; Jackson *et al.*, 2009). El estudio en forma individual o la identificación del agente causal de la enfermedad permite analizar el comportamiento de los genotipos ante un tipo particular de podredumbre de tallo (Balint-Kurti y Johal, 2009; Palaversic *et al.*, 2009; Szőke *et al.*, 2009). Esto fue lo realizado por Szőke *et al.* (2007) al evaluar resistencia a podredumbre por *Fusarium*. Sin embargo, los resultados obtenidos por dichos autores no coinciden con los del presente estudio ya que ellos observaron que en años con baja presión de patógeno los genotipos susceptibles manifestaban baja tasa de infección, dificultando su identificación, siendo que en este estudio los genotipos no pudieron ser diferenciados en las localidades donde ocurrió la mayor expresión de la enfermedad. Esta diferencia se puede explicar debido a que se estudió la enfermedad podredumbre de tallo y raíz causada por el complejo de microorganismos que afectan a dichos órganos tal como lo propuesto por Carmona (2009), para lo cual se construyó el IMPTR con dos caracteres previamente seleccionados, que proponen Carmona y Reis (2008) como síntomas para definir una planta enferma. El primero de ellos es médula, en el cual se consideró una planta afectada a la que manifestara un gran número de situaciones diferentes a las de una médula sana y con ello se abarcó a numerosas podredumbres causadas por diferentes microorganismos (Jardine, 2006; Carmona, 2009; Jackson *et al.*, 2009). El otro carácter que formó parte del IMPTR fue estrías en los entrenudos basales, que tal como fue mencionado anteriormente, esta relacionado a la podredumbre de tallo causada por *Colletotrichum graminicola* (CIMMYT, 2004). Así, en aquellos ambientes donde los genotipos presentaron altos valores de este IMPTR, puede haber ocurrido una alta presión de numerosos agentes causales de PTR, como consecuencia de condiciones edafoclimáticas favorables para su multiplicación y limitantes para la fotosíntesis (Dodd, 1980), lo que pudo llevar al desarrollo de varios tipos de podredumbres de tallos a la vez. Este supuesto se sustenta en las diferencias encontradas en los caracteres predominantes en cada una de las tres localidades, las cuales se evidenciaron en el gráfico biplot generado por el análisis de componentes principales de las tres localidades y todos los caracteres en forma conjunta. Sin embargo estas situaciones particulares de cada ambiente no pudieron ser diferenciadas mediante la utilización del IMPTR.

La interacción GE observada para IMPTR, podría ser explicada por los elementos que lo conforman, ya que como es sabido, los genotipos pueden presentar resistencia a un

determinado agente causal de podredumbre de tallo y ser susceptibles a otro (Custodie López, 1985). Así, los ambientes con mayores niveles de enfermedad, como el mega-ambiente constituido por Buchardo y Papagayo, podrían haber presentado no solo una alta presión de patógenos, sino también una gran diversidad de los mismos, lo que produjo que todos los materiales analizados se vieran afectados en gran medida por la enfermedad sin capacidad de diferenciarlos. Mientras que en los ambientes con mejores condiciones hídricas como Olaeta, solo unos pocos agentes causales podrían haber generado alta presión de patógeno, lo que llevó a que ciertos genotipos con resistencia frente a ese microorganismo, se destaquen por menores valores del indicador, incluso cuando habían presentado los valores más altos en los otros dos ensayos, generando interacción GE. El caso de mayor interacción lo representó el híbrido PANPex168MG, con altos niveles del IMPTR en Buchardo y Papagayo y muy bajos en Olaeta. Estas posibles diferencias en la composición de microorganismos responsables de las podredumbres de tallo y raíz no pudieron ser representadas en cada localidad mediante el IMPTR. Por lo cual, si bien este indicador resultó ser una herramienta muy útil en Olaeta para diferenciar híbridos, es probable que en determinados ambientes su implementación requiera de estudios complementarios de identificación de patógenos o bien solo se pueda utilizar en situaciones de inoculación artificial con un solo microorganismo aislado, garantizando la presencia del patógeno en forma uniforme sobre todos los genotipos, como lo plantean Todd y Kommedahl (1994), Buchaca (2008) y Szóke *et al.* (2009).

Considerando que el uso de híbridos adecuados resulta ser uno de los principales métodos para manejar la enfermedad y que la resistencia genética absoluta al complejo de patógenos que causan PTR es difícil de obtener (Carmona, 2009; Marcondes *et al.*, 2012), es que se resalta la importancia que tuvo el indicador multidimensional analizado mediante el biplot GGE para identificar el desempeño de los materiales evaluados. Ya que esta metodología permitió identificar al genotipo P2053Y como el de mejor comportamiento frente a la enfermedad, con bajos valores del IMPTR, y estable en los diferentes ambientes. Mientras que el material con peor comportamiento frente a PTR fue DK747MGRR2, con altos valores del indicador que se mantuvieron estables en todos los ambientes.

CONCLUSIÓN

En los análisis realizados por localidad y en los realizados para los tres ambientes conjuntamente, los caracteres relacionados a la enfermedad se mostraron asociados positivamente entre ellos y negativamente con rendimiento.

Las condiciones ambientales, en las distintas localidades de evaluación, influyen sobre el modo en que se comportan los diferentes híbridos frente a la enfermedad. En las localidades de Papagayos y Buchardo los híbridos presentaron un patrón similar de respuesta, mientras que las evaluaciones realizadas en Olaeta mostraron una tendencia a ordenar los híbridos de manera diferente.

El análisis de procrustes generalizados resultó ser una herramienta útil para identificar similitudes y diferencias entre los híbridos en función a los caracteres relacionados a la enfermedad evaluados en las tres localidades. Así este análisis permitió diferenciar a los híbridos pertenecientes a los semilleros de La Tijereta y Pioneer del resto de los genotipos, a pesar del valor intermedio de consenso acorde con la significativa interacción genotipo-ambiente.

El indicador multidimensional de podredumbre de tallo y raíz, junto al modelo de regresión de sitios y su gráfico biplot, permitieron diferenciar y agrupar híbridos por su comportamiento frente al patógeno.

BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA CÓRDOBA AMBIENTE S.E.-INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA EEA MANFREDI. 2006. *Recursos naturales de la provincia de Córdoba-Los Suelos-Nivel de Reconocimiento 1:500.000*. Córdoba, Argentina. 542 p.
- AGRIOS, G. N. 2007. *Fitopatología*. 2ª ed. Ed. Limusa, México, D.F. 837 p.
- AHMAD, Y.; A. HAMEED; M. ASLAM y A. GHAFAR. 1997. Estimation of yield losses in corn due to stalk rot pathogens. *Pak. J. Bot.* 29(2): 229-234.
- ANDERSON, B. y D.G. WHITE. 1994. Evaluation of methods for identification of corn genotypes with stalk rot and lodging resistance. *Plant Dis.* 78: 590-593.
- ANDRADE, F.; A. CIRILO; S. UHART y M. OTEGUI. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Ed. La Barrosa, Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 292 p.
- ANNICCHIARICO, P. 2002. *Genotype x environment interaction. Challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations*. Ed. FAO Plant Production and Protection Paper, Roma, Italia. 132 p.
- BALINT-KURTI, P.J. y G.S. JOHAL. 2009. Maize disease resistance. En: *Handbook of Maize: Its Biology*. Springer. Alemania. p: 229-249.
- BALZARINI, M.G. y J.A. DI RIENZO. 2004. Info-Gen: Software para análisis estadístico de datos genéticos. Facultad de Ciencia Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- BALZARINI, M.G.; L. GONZALEZ; M. TABLADA; F. CASANOVES; J.A. DI RIENZO y C.W. ROBLEDO. 2008. *Manual del Usuario InfoStat*. Ed. Brujas, Córdoba, Argentina. 336 p.
- BALZARINI, M.G.; C. BRUNO; A. PEÑA; I. TEICH y J.A. DI RIENZO. 2010. *Estadística en Biotecnología. Aplicaciones en Info-Gen*. Ed. Encuentro Grupo Editor, Córdoba, Argentina. 228 p.
- BERGSTROM, G.C.; B.S. CROSKY y R.I. CARRUTHERS. 1983. Synergism between *Colletotrichum graminicola* and the European corn borer in stalk rot of corn in New York. *Phytopathology* 73: 842.
- BUCHACA, M.B. 2008. *Susceptibilidad a Fusarium verticillioides, Gibberella zeae y Diplodia maydis en líneas e híbridos pre-comerciales de maíces templados y tropicales*. Tesis de Especialización en Mejoramiento Genético Vegetal. Escuela para Graduados Alberto Soriano, Facultad de Agronomía, UBA, Buenos Aires, Argentina. 23 p.

- BUHINIČEK, I.; B. PALAVERŠIĆ; A. VRAGOLOVIĆ; D. ŠIMIĆ; H. ŠARČEVIĆ y V. KOZUMPLIK. 2005. Improvement of stalk rot resistance and grain yield in the maize synthetic FAOSYNFR1B by recurrent selection. *Cereal Res. Commun.* 33 (2-3): 517-524.
- BUTRÓN, A.; P. VELASCO; A. ORDÁS y R.A. MALVAR. 2004. Yield evaluation of maize cultivars across environments with different levels of pink stem borer infestation. *Crop Sci.* 44: 741-747.
- CARMONA M.A. y E.M. REIS. 2008. Pudriciones de tallo y raíz en el cultivo de maíz ¿Cómo medir el ataque y los daños? *Horizonte A.-Magazine de las Ciencias Agrarias* 4 (18): 16-17.
- CARMONA, M.A. 2009. Pudriciones del tallo y raíces del cultivo de maíz. En: <http://www.maizar.org.ar/vertext.php?id=321>. Consultado: 12-03-2013.
- CASANOVE, F. y M.G. BALZARINI. 2002. Predictores lineales insesgados (BLUP) en ensayos comparativos de rendimiento. *BAG* 15 (1): 39-46.
- CIMMYT/IBPGRI. 1991. Descriptores para maíz. *Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y del Trigo-International Board for Plant Genetic Resources Institute*. México-Roma. 88 p.
- CIMMYT. 2004. Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en el campo. Cuarta edición. CIMMYT. México, D.F. 118 p.
- CORNELIUS, P.L.; J. CROSSA y M.S. SEYEDSADR. 1996. Statistical test and estimators of multiplicative models for genotype-by-environment interaction. En: *Genotype by environment interaction*. Boca Raton, FL, EE.UU. p: 199-234.
- CROSSA, J. y P.L. CORNELIUS. 1997. Sites regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trials sites under heterogeneity of variants. *Crop Sci.* 37: 406-415.
- CROSSA, J.; P.L. CORNELIUS y W. YAN. 2002. Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype x environment interaction. *Crop Sci.* 42: 619-633.
- CUBERO, J.I. 1999. *Introducción a la Mejora Genética Vegetal*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 565 p.
- CUSTODIE LÓPEZ, R. 1985. Labor-saving technique to screen maize for resistance to stalk rots. En: *Annual Report and Research Highlights*. International Institute of Tropical Agriculture. Ibadan, Nigeria. p: 82-83.
- DENTI, E.A; S.M. TRENTO y E.M. REIS. 1999. Incidência, frequência e danos por fungos envolvidos com a podridão da base do colmo de milho em 1997/98, nas regiões do Planalto Médio Gaúcho (RS) e de Guarapuava (PR). *Fitopatol. Bras.* 24: 279.

- DI RIENZO, J.A.; F. CASANOVES; M.G. BALZARINI; L. GONZALEZ; M. TABLADA y C.W. ROBLEDO. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- DODD, J.L. 1980. The role of plant stresses in development of corn stalk rots. *Plant Dis.* 64: 533-537.
- FERRARIS, G. y L. COURTETOT. 2007. Ensayo comparativo de híbridos comerciales de Maíz en la localidad de Colón (Bs As). En: *Maíz. Cultivares, Promotores de crecimiento y otras experiencias en el cultivo de Maíz 2007*. Proyecto Regional Agrícola, CERBAN, EEA Pergamino y General Villegas. p: 75-85.
- GABRIEL, K.R. 1971. Biplot display of multivariate matrices with application to principal components analysis. *Biometrika* 58: 453-467.
- GATCH, E.W. y G.P. MUNKVOLD. 2002a. A comparison of maize stalk rot occurrence in Bt and Non-Bt hybrids. *Plant Dis.* 86: 1149-1155.
- GATCH, E.W. y G.P. MUNKVOLD. 2002b. Fungal species composition in maize stalks in relation to European corn borer injury and transgenic insect protection. *Plant Dis.* 86: 1156-1162.
- GOWER, J.C. y P.G.N. ROSS. 1969. Minimum spanning trees and single cluster analysis. *Applied Statistics* 18:54-64.
- GOWER, J.C. 1975. Generalized procrustes analysis. *Psychometrika* 40: 33-51.
- GRAU, C.R.; V.L. RADKE y F.L. GILLESPIE. 1982. Resistance of soybean cultivars to *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Dis.* 66: 506-508.
- HERNANDEZ, A.; F. SAN VICENTE y R. FIGUEROA-RUIZ. 2010. Evaluación y caracterización de líneas parentales de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en tres ambientes de Venezuela. *Interciencia* 35 (4): 290-298.
- HERRERA CABRERA, B.E.; F.C. GONZÁLEZ; J.J. SÁNCHEZ-GONZALEZ; R. ORTEGA PACZKA y M.M. GOODMAN. 2000. Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza Chalqueño. *Rev. Fitotec. Mex.* 23: 335-354.
- IBAÑEZ, M.A.; M.E. FARICELLI; N.C. BONAMICO; M.G. BALZARINI; M.A. DI RENZO. 2005. Biplot analysis of lovegrass hybrid performances in the semi-arid region of Argentina. *J. Crop. Improv.* 15: 121-131.
- IBAÑEZ, M.A.; M.M. CAVANAGH; N.C. BONAMICO y M.A. DIRENZO. 2006. Análisis gráfico mediante biplot del comportamiento de híbridos de maíz. *RIA* 35 (3): 81-91.

- JACKSON, T.A.; J.M. REES y R.M. HARVESON. 2009. Common stalk rot diseases of corn. Extension article. Universidad de Nebraska. Estados Unidos. En: <http://ianrpubs.unl.edu/epublic/live/ec1898/build/ec1898.pdf>. Consultado: 15/11/2012.
- JARDINE, D. 2006. Stalk rots of corn and sorghum. Extension article. Universidad de Kansas. Estados Unidos. En: <http://www.ksre.ksu.edu/bookstore/pubs/L741.pdf>. Consultado: 15/11/2012.
- JOHNSON, D.E. 2000. *Métodos multivariados aplicados al análisis de datos*. Ed. Thomson internacional, México, D.F. 590 p.
- KAPPELMAN, A.J. y D.L. THOMPSON. 1966. Inoculation and rating procedures for corn stalk rot in the south. *Plant Dis. Repr.* 50: 655-659.
- KELLER, N.P.; G.C. BERGSTROM y R.I. CARRUTHERS. 1986. Potential yield reductions in maize associated with an anthracnose/European corn borer pest complex in New York. *Phytopathology* 76: 586-589.
- LEE, S.J.; W. YAN; J.K. AHN; I.M. CHUNG. 2003. Effects of year, site, genotype and their interactions on various soybean isoflavones. *Field Crop. Res.* 81: 181-192.
- MARCONDES, M.M.; C.M. DUARTE RIOS FARIA; R.V. DA COSTA; M.V. FARIA; L.V. COTA; D.D. DA SILVA; M.M. MARCONDES; C.A. DA SILVA; A. NICOLI y C. LIMA CORRÊA. 2012. Efeito da densidade de plantas na incidência de podridões de colmo na cultura do milho. *XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo*. Águas de Lindóia. Brasil. p: 621-626.
- MESTERHÁZY, Á.; B. TÓTH; Á. SZABÓ-HEVÉR; J. VARGA y S. LEHOCZKI-KRSJAK. 2008. Node infection caused by *Fusarium graminearum* in wheat. *Cereal Res. Commun.* 36 (3): 471-475.
- ODDINO, C.; J. DEFAGOT; J. GARCIA; G. MARCH; A. MARINELLI y A. RAGO. 2012. Efecto del rastrojo, fungicidas curasemillas y foliares sobre la intensidad de podredumbre de tallo del maíz (*Zea mays*). *XIV Jornadas Fitosanitarias Argentinas*. San Luis, Argentina.
- PALAVERSIC, B.; M. JUKIC; I. BUHINICEK; A. VRAGOLOVIC y Z. KOZIC. 2009. Breeding maize for resistance to stalk anthracnose. *Maydica* 54: 229-232.
- PATERSON, A.H.; S. DAMON; J.D. HEWITT; D. ZAMIR; H.D. RABINOWITCH; S.E. LINCOLN; E.S. LANDER y S.D. TANKSLEY. 1990. Mendelian factors underlying quantitative traits in tomato: comparison across species, generations, and environments. *Genetics* 127: 181-197.

- PEDRO C. y O. VEGA. 1972. Efecto del medio-ambiente sobre la relación altura de mazorca- altura de planta en maíz (*Zea mays* L.). *Agron. Trop.* 22 (5): 461-474.
- PRESELLO, D.; G. BOTTA; J. IGLESIAS y G. EYHERABIDE. 2005. Efecto de la severidad de síntomas de podredumbre de espiga causada por *Fusarium verticillioides* sobre el rendimiento y la conservación de fumonisinas en grano. En: *Incidence of Fusarium and Diplodia species in naturally infected grain. Resultados de experiencias 2004-2005*. INTA – MAÍZ. p: 99-102.
- REINPRECHT, Y.; X. WU; S. YAN; L. LABEY; E. DASILVA; J.C. MARTIN y K.P. PAULS. 2008. A microarraybased approach for identifying genes for resistance to *Fusarium graminearum* in maize (*Zea Mays* L.). *Cereal Res. Commun.* 36 (6): 253-259.
- RUSSELL, W.A. 1961. A comparison of five types of testers in evaluating the relationship of stalk rot-resistance in corn inbred lines and stalk strength of the lines in hybrid combinations. *Crop Sci.* 1: 393-397.
- SAGyP – INTA. 2008. Suelos de la República Argentina. SIG GeoINTA. En: <http://geointa.inta.gov.ar/suelos>. Consultado: 15-02-2013.
- SÁNCHEZ, P. 1983. *Estudio de la estabilidad de caracteres y razas de maíz de México*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. México: 73 p.
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, J.J.; M.M. GOODMAN y O. RAWLINGS. 1993. Appropriate characters for racial classification in maize. *Econ. Bot.* 47 (1): 44-59.
- SILVA, E.G. 1992. *Estudio agronómico y taxonómico de colecciones de la raza de maíz "Cónico": su colección central y perspectivas de uso en el mejoramiento genético*. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. 116 p.
- SZÓKE, C.; T. ÁRNDÁS; F. RACZ; J. PINTÉ; E. NAGY y C.L. MARTON. 2007. Correlation between maize genotypes and the stalk rot caused by maize *Fusarium*. *Acta Agron. Hung.* 55 (4): 447–452.
- SZÓKE, C.; T. ÁRNDÁS; P. BÓNIS y Á. SZÉCSI. 2009. Fusarium stalk rot: a biotic stress factor decisive for maize stalk strenght. *VIII. Alps-Adria Scientific Workshop*. Neum, Bosnia-Herzegovina. p: 337-340.
- TODD, L.R. y T. KOMMEDAHL. 1994. Image analysis and visual estimates for evaluating disease reactions of corn to Fusarium stalk rot. *Plant Dis.* 78: 876-878.
- UNIVERSIDAD DE LA PUNTA. RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS. Datos meteorológicos de Villa Larca período 01/07/2008-31/06/2009- San Luis. En: <http://www.clima.edu.ar/app/DatosEstacion.asp>. Consultado: 05-11-2009.

- VALLONE, P.; V. GUDELJ; C. GALARZA; S. ELORRIAGA; P. BENZI; L. FERREIRA; A. CANALE; H. DONADIO y B. MASIERO. 2009. Ensayos comparativos de rendimiento de maíz. Campaña 2008/2009. Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez. INTA. En: <http://inta.gob.ar/documentos/ensayos-comparativos-de-rendimiento-de-maiz.-campana-2008-09/>. Consultado: 20-02-2013.
- VENARD, C. y L. VAILLANCOURT. 2007. Penetration and colonization of unwounded maize tissues by the maize anthracnose pathogen *Colletotrichum graminicola* and the related nonpathogen *C. sublineolum*. *Mycologia* 99 (5): 368-377.
- YAN, W.; L.A. HUNT; Q. SHENG y Z. SZLAVNICS. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 597-605.
- YAN, W. y D.E. FALK. 2002. Biplot analysis of host-by-pathogen interaction. *Plant Dis.* 86: 1396-1401.
- YAN, W. y L.A. HUNT. 2002. Biplot analysis of diallel data. *Crop Sci.* 42: 21-30.
- YAN, W. y I. RAJCAN. 2002. Biplot evaluation of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci.* 42: 11-20.
- YAN, W y N.A. TINKER. 2005. A biplot approach to the investigation of QTL-by environment patterns. *Mol. Breeding* 15: 31-43.
- YANG, D.E.; C.L. ZHANG; D.S. ZHANG; D.M. JIN; M.L. WENG; S.J. CHEN; H. NGUYEN y B. WANG. 2003. Genetic analysis and molecular mapping of maize (*Zea mays* L.) stalk rot resistant gene Rfg 1. *Theor. Appl. Genet.* 108: 706-711.
- ZULIANI, P.; A. LAVALLE; S.J. BRAMARDI y R. DEFACIO. 2012. Caracterización de poblaciones nativas de maíz mediante análisis de procrustes generalizado y análisis factorial múltiple. *Rev. FCA UNCUYO* 44 (1): 49-64.