EVALUACIÓN ECONÓMICA E IMPORTANCIA DE LA UTILIZACIÓN DE HÍBRIDOS DE MAÍZ RESISTENTES A HONGOS DE LA ESPIGA

Tesina

del alumno

GISELA EVELINA CAMINATI

Este trabajo ha sido presentado como

requisito para la obtención del título de

INGENIERO AGRÓNOMO

Carrera: Ingeniería Agronómica

Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales

Universidad Nacional del NO de la Provincia de Buenos Aires

Junín, 22 de Diciembre de 2011

EVALUACIÓN ECONÓMICA E IMPORTANCIA DE LA UTILIZACIÓN DE HÍBRIDOS DE MAÍZ RESISTENTES A HONGOS DE LA ESPIGA

Tesina

del alumno

GISELA EVELINA CAMINATI

Directora: Dr. Silvina M. Cabrini

Co-directora: MS. Juliana Iglesias

Carrera: Ingeniería Agronómica

Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales

Universidad Nacional del NO de la Provincia de Buenos Aires

Junín, 22 de Diciembre de 2011

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia, por el apoyo incondicional durante todos estos años.

A mis amigos, con los que compartí muchos momentos inolvidables y que fueron el sostén emocional durante toda la carrera, y lo son en especial en mi vida.

A mi directora de tesis, Silvina Cabrini, por su paciencia y dedicación.

A Juliana Iglesias, co-directora de este trabajo por su gran ayuda y predisposición.

Pero principalmente quiero agradecer y dedicar este trabajo a Florencia Del'Orso, una amiga que día a día me recordaba que podía hacerlo, que confió en mí y que jamás voy a olvidar.

CONTENIDO

RESUMEN.....6

INTRODUCCIÓN.....7

Regulaciones sobre micotoxinas.....10

Tabla 1: Niveles máximos de tolerancia para fumonisinas en maíz y sus productos derivados según regulaciones nacionales e internacionales, expresados en partes por millón (ppm).....10

Costos generados por infección de micotoxinas.....12

DATOS Y MÉTODOS.....12

En la tabla 2 se presentan el número de ensayos considerados, junto con la cantidad de observaciones para las variables relevadas en los ensayos. 13

Tabla 2: Datos utilizados en este estudio.....13

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....16

Tabla 3: Estadística descriptiva del nivel de daño de la espiga (% de la espiga dañada) para los híbridos Cóndor y Chaltén, en cultivos inoculados y bajo infección natural, para los años 2002/2003/2004/2006/2008. 16

Figura 1: Escala de daño. 17

Figura 2: Daño de la espiga (escala 0 a 6, figura 1) para los híbridos Cóndor y Chaltén, en cultivos inoculados, para los años 2002/2003/2004/2006/2008.....18

Nivel de daño de la espiga en cultivos inoculados versus no inoculados.....18

Tabla 4: Datos para la estimación de la relación del nivel de daño de la espiga de Cóndor y Chaltén en cultivos inoculados y no inoculado para los años 2003/2004/2006 y 2008.....19

Figura 3: Nivel de daño de la espiga en cultivos inoculadas versus no inoculados para los híbridos Cóndor y Chaltén.....20

Tabla 5: Resultados de estimación del nivel de daño de la espiga en cultivos inoculados versus no inoculados.....20

Nivel de daño de la espiga versus concentración de micotoxinas. 21

Tabla 6: Datos para la estimación de la relación entre el porcentaje de la espiga dañada y concentración de micotoxinas para Cóndor y Chaltén en los años 2002 y 2003.....22

Figura 4: Relación entre el nivel de daño y concentración de micotoxinas para los híbridos Cóndor y Chaltén.....23

Tabla 7: Resultados de la estimación del nivel de daño de la espiga versus Concentración de micotoxinas. 23

Nivel de daño versus rendimiento.....24

Tabla 8: Datos para nivel de daño (% de severidad) y rendimiento (kg) para Cóndor y Chaltén en los años 2002 y 2003.....25

Figura 5: Relación en el nivel de daño y rendimiento para los híbridos Cóndor y Chalten en los años 2002 y 2003.....26

Tabla 9: Resultados de la estimación del nivel de daño (severidad) versus rendimiento. 26

Simulación de niveles de infección natural y costos relacionados a la infección por F.verticillioides.. .27

Figura 6: Distribución de probabilidad acumulada para nivel de daño (% de la espiga dañada) para cultivos con infección natural.....27

Figura 7: Distribución de probabilidad acumulada de la concentracion de micotoxinas (ppm) en cultivos con infeccion natural.....28

Figura 8: Distribución de probabilidad acumulada para la pérdida de rendimiento (kg/ha) en cultivos con infección natural. 29

Figura 9: Distribución de probabilidad acumulada de pérdida económica ($/ha) en cultivos con infeccion natural.....30

CONCLUSIONES.....31

BIBLIOGRAFÍA.....33

RESUMEN

En este estudio se estima el beneficio económico de utilizar híbridos con resistencia moderada a la infección de *Fusarium verticillioides*, en comparación con híbridos susceptibles, para productores de la región núcleo agrícola Argentina. Se comparan los costos relacionados a la infección de este hongo para cultivares moderadamente resistentes versus susceptibles en términos de disminución de rendimiento, penalización en el precio y pérdidas de mercados.

Los datos utilizados en este trabajo pertenecen a ensayos realizados en las campañas 2002/2003/2004/2006 y 2008 en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino. Se utilizaron datos de daño de la espiga, rendimiento y concentración de micotoxinas (fumonisinas) para los materiales Chaltén y Cóndor de Syngenta seeds S.A., bajo infección natural e inoculados con *F. verticillioides.*

Los resultados indican que la elección de sembrar un híbrido susceptible a hongos de la espiga (Chaltén) en lugar de uno moderadamente resistente (Cóndor), representa una pérdida económica cercana a 900 $/ha para los productores del partido de Pergamino.

Los datos presentados corresponden a maíces con fecha de siembra tardía, por lo que las condiciones ambientales son las óptimas para la colonización del hongo y expresión de la enfermedad, por lo que su comportamiento se asemeja al de maíces de segunda, en donde la probabilidad de ocurrencia de infestaciones con *F. verticillioides* son mayores que en aquellos cultivos en los que se respeta la fecha de siembra óptima. Adicionalmente, es importante considerar que existen en la actualidad genotipos con un mayor nivel de resistencia a *F. verticillioides* que los materiales utilizados en este estudio.

INTRODUCCIÓN

El maíz es la principal fuente de alimentación humana en América y ocupa un segundo lugar, luego del trigo, a nivel mundial (FAO, 1993). Gran parte de la producción se destina a la alimentación animal por su gran valor nutritivo (proteico-energético). Es también utilizado para la industrialización, obteniéndose subproductos que se utilizan como materia prima para diferentes industrias, como el gluten y el almidón que se utilizan como ingrediente alimenticio, el germen para la producción de aceites, proteínas, biocombustibles, etc. (FAO, 1993).

Una limitante importante en la utilización de maíz como alimento o como materia prima para las diferentes industrias, es la probabilidad de ocurrencia de infecciones que causan la contaminación del grano con micotoxinas, superando los niveles de seguridad para el consumo humano y animal (Presello *et al*., 2006).

Las micotoxinas son toxinas producidas por hongos. Con las condiciones de humedad y temperaturas propicias, los hongos proliferan formando un micelio. En algunos casos las micotoxinas no se degradan en el proceso de la digestión, por lo tanto permanecen en la cadena de alimentos tanto en carne como en leche. Se relacionan a diversas enfermedades en animales y humanos, produciendo toxicidad aguda y crónica con efectos nocivos en el sistema digestivo, cardiovascular, respiratorio y hasta la muerte. Son agentes cancerígenos, mutagénicos e inmunodepresores, considerándose de gran interés a nivel mundial por las pérdidas económicas que generan sus efectos en la salud, productividad animal y en el comercio nacional e internacional (Espíndola Figueroa, 2006; Torres *et al*., 2010).

Dentro de los hongos productores de micotoxinas más importantes a nivel mundial se encuentran *Aspergillus flavus*, *Fusarium graminearum* y *Fusarium verticillioides* (Duarte y Villamil, 2006). Estos patógenos causan en maíz podredumbres de granos y espigas, contaminando al grano con micotoxinas (Duarte y Villamil, 2006).

A. flavus es una de las especies más importantes que atacan al maíz produciendo aflatoxinas B1 y B2, que son hepatotóxicas y cancerigenas, causan ceguera, hemorragias, pérdida del apetito y disminución en el crecimiento de los animales. *F. graminearum* produce deoxinivalenol, con efecto vomitivo, pérdida del apetito y disminución del consumo voluntario. *F. verticillioides* genera fumonisinas FB1, FB2 y FB3, causando leucoencefalomalacia en equinos, edema pulmonar en cerdos y ha sido asociado a cáncer de esófago en humanos y defectos del tubo neural en embriones (Torres *et al*., 2010).

F. verticillioides es el principal agente causal de podredumbre de la espiga en Argentina, si bien es un patógeno moderado y menos agresivo comparado con otras especies del mismo género, es de esperar que las podredumbres de la espiga afecten la calidad del grano y el rendimiento del maíz en Argentina (Presello *et al*., 2005).

Los síntomas de *F. verticillioides* aparecen en varias regiones de la espiga o en granos aislados, pudiendo verse el grano completamente colonizado u observarse estrías de color blanquecino, que son los canales de aire que deja el hongo por debajo del pericarpio. El micelio forma una masa algodonosa con una coloración que puede variar del blanco al rosado intenso. Puede afectar al maíz en todos sus estados y producir infecciones asintomáticas con presencia de micotoxinas (Presello *et al*., 2004).

El objetivo de este trabajo es estimar el beneficio económico de utilizar híbridos con resistencia moderada a la infección de *F. verticillioides*, en comparación con híbridos susceptibles, para productores de la región núcleo agrícola Argentina. Para esto se comparan los costos relacionados a la infección de este hongo para cultivares moderadamente resistentes vs. susceptibles en términos de disminución de rendimiento, penalización en el precio y pérdida de mercados.

Regulaciones sobre micotoxinas

Existen niveles máximos de tolerancia para micotoxinas en maíz y sus productos derivados determinados por los países compradores. Numerosos organismos establecen y sugieren niveles máximos permisibles de contaminación por aflatoxinas, fumonisinas y deoxinivalenol. La tabla 1 muestra los niveles de tolerancia para fumonisinas en maíz para la Unión Europea (UE) y Food and Drug Administracion (FDA), de los Estados Unidos. Los niveles de tolerancia dependen del destino del maíz, siendo más restrictivos cuando el destino es el consumo humano en comparación con el consumo animal. El hecho de que vayan surgiendo métodos de detección más precisos y sensibles hace que los niveles de tolerancia sean cada vez más bajos y estrictos (Iglesias *et al*, 2008).

Tabla 1: Niveles máximos de tolerancia para fumonisinas en maíz y sus productos derivados según regulaciones nacionales e internacionales, expresados en partes por millón (ppm).

TOLERANCIAS MÁXIMAS POR PRODUCTO

Producto	Micotoxinas	UE (ppm)	FDA (ppm)
Maíz para ser utilizado como materia prima	Fumonisinas	2*	2*
Consumo Humano	Fumonisinas		2-4
Consumo Animal	Fumonisinas		50-100

*Niveles máximos propuestos para ser aplicados en caso de acuerdo. Reglamento C.E. 1881/2006 y 1126/2007.

La Unión Europea y Japón se presentan como los países más restrictivos en el comercio mundial, ya que tienen para cada producto una reglamentación diferente y estricta. Estos tienen la potestad de rechazar el buque que supere los niveles permisibles para el producto considerado, generándose una alerta y quedando el país de origen bajo sospecha y si existiera la presencia de un segundo embarque, la

alerta se distribuye automáticamente a los países compradores involucrados y al país de origen (siempre a las autoridades oficiales, en nuestro país al SENASA) para que se tomen los recaudos necesarios.

Antes de que la mercadería salga del puerto, se debería constatar que cumpla con los requisitos establecidos por el país comprador, ya que si llega al país destino y no cumple con lo exigido se deberá considerar como un costo adicional el movimiento de la mercadería de los silos de puerto (si se ha descargado algo) nuevamente al buque, tiempo de espera del buque, nuevo flete desde donde está la mercadería hasta un nuevo país comprador menos exigente (si lo hubiese) o dirigirse al país de origen y establecer un nuevo precio para el producto. Estos inconvenientes se presentan principalmente cuando la cantidad ofrecida del producto es elevada, siendo más permisibles en caso de que exista una gran necesidad del producto, negociando nuevamente a un precio más bajo.

Según la opinión de participantes en el mercado de exportación de maíz, en Argentina no ha sido necesario este tipo de negociaciones ya que en los últimos años no se presentaron problemas serios de micotoxinas (Andrada, 2010). Si bien no ha tenido inconvenientes cumpliendo con las exigencias establecidas para la comercialización, no cuenta con un monitoreo sistemático de las producciones, por lo que no se conocen los niveles de micotoxinas que posee. Por lo que trabajar en este punto, como también en el desarrollo y ejecución de manuales de buenas prácticas agrícolas y de manufactura es una tarea pendiente para establecer posiciones técnicas confiables (Di Giulio, 2007).

Para tratar de minimizar los efectos perjudiciales que las micotoxinas generan, los productores deberían seguir ciertas prácticas culturales y de manejo adecuadas para prevenir la contaminación, ya que la posibilidad de un control químico es inexistente. Dentro de las recomendaciones que se sugieren se encuentran la utilización de cultivares con resistencia genética a la podredumbre de espiga, hacer siembras tempranas, evitar condiciones de estrés por medio de prácticas adecuadas para el cultivo,

control de insectos, cosechas tempranas, evitando daños y buen manejo post cosecha, secar y almacenar el grano en las condiciones adecuadas, limpiar las instalaciones de almacenamiento para eliminar granos y residuos que puedan ser foco de contaminación y no utilizar las fracciones de descarte como forraje (Presello *et al*., 2004).

Costos generados por infección de micotoxinas

Con la utilización de híbridos de maíz con resistencia a hongos de la espiga se mejora la calidad del grano, evitando pérdidas de mercados externos por el rechazo parcial o total de la mercadería. Se reducen las pérdidas por penalización en el precio y/o muerte de animales si el destino es la alimentación animal (Wu, 2007). Es importante mencionar el trabajo realizado por Wu (2004), quien estima las pérdidas económicas relacionadas a la implementación de estándares más rigurosos sobre el contenido de micotoxinas en el comercio internacional de granos a nivel mundial, mencionando a China y Argentina como los países que tendrían mayores pérdidas económicas.

Adicionalmente mediante la utilización de híbridos con mayores niveles de resistencia se reducen las pérdidas de rendimiento asociadas a las infecciones de estos hongos. Dado que los granos afectados presentan una menor densidad, con la consecuente baja en el rendimiento, esto se debe a que los hongos invaden los granos alimentándose del germen y dejándolos huecos (Presello *et al*. 2004).

La cuantificación de los beneficios económicos de la adopción de cultivares resistentes a hongos de la espiga en la zona núcleo agrícola Argentina es de sumo interés para todos los agentes involucrados en la producción y comercialización de maíz en esta zona, como así también en el resto de la Argentina.

DATOS Y MÉTODOS

El grupo de mejoramiento de maíz de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino Ingeniero Walter Kugler se encuentra desde hace varios años investigando los niveles de resistencia a hongos de la espiga y sus micotoxinas asociadas en diferentes genotipos de maíz (cultivares, landraces o razas nativas y líneas endocriadas). Estos son inoculados con aislamientos previamente caracterizados y evaluados en diferentes ambientes para garantizar estabilidad en la resistencia.

Para la ejecución de este trabajo se contó con ensayos realizados en las campañas 2002/2003/2004/2006 y 2008 en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino, que arrojaron datos de daño de la espiga, rendimiento y concentración de micotoxinas para cultivares que fueron inoculados con *F. verticillioides*. Se dispuso también de datos de rendimiento y nivel de daño en tratamientos no inoculados (infección natural) para algunos de los años evaluados. Todos los datos provienen de ensayos que se realizaron en fechas de siembras tardías (última semana de octubre), lo que genera condiciones ambientales ideales para la colonización del hongo, expresión y desarrollo de la enfermedad.

En este estudio se trabaja con los híbridos Chaltén y Cóndor de Syngenta seeds S.A., que son los que se encuentran presentes en todos los ensayos porque vienen siendo utilizados como material de control para comparar con los materiales comerciales que se van actualizando con cada ensayo. La cantidad de datos disponibles permitio realizar estimaciones de las pérdidas económicas causadas por infección de *F. verticillioides* en estos materiales.

En la tabla 2 se presentan el número de ensayos considerados, junto con la cantidad de observaciones para las variables relevadas en los ensayos.

Tabla 2: Datos utilizados en este estudio.

		Número de observaciones					
		Con inoculación			Sin inoculación		
Año de siembra	**Nro. De ensayos**	**Daño de la espiga**	**Concentración de micotoxinas**	**Rendimiento**	**Daño de la espiga**	**Concentración de micotoxinas**	**Rendimiento**
2002	1	4 (5)	2 (3)	3	2 (3)	2 (3)	3
2003	6	19 (22)	5	3	8 (11)	3	3
2004	6	23			10		
2006	2	4			10 (8)		
2008	1	2			2 (4)		

Nota: Los datos corresponden al número de observaciones para Cóndor. Cuando hay diferencia en el número de observaciones entre los híbridos se presentan los datos correspondientes a Chaltén entre paréntesis.

El cálculo de pérdidas económicas para productores se basa en niveles de infección natural que se esperan al sembrar estos dos híbridos. Como primer paso para el cálculo de pérdidas económicas se estiman las siguientes relaciones, mediante modelos de regresión simple:

a. Nivel de daño de la espiga en cultivos inoculados y no inoculados.

b. Nivel de daño y concentración de micotoxinas.

c. Nivel de daño y pérdida de rendimiento.

En base a los resultados de las estimaciones y valores simulados de niveles de infección bajo inoculación se estimaron los valores medios y la variabilidad del daño de la espiga, pérdida de rendimiento y concentración de micotoxinas bajo infección natural en híbridos moderadamente resistentes (Cóndor) y susceptibles (Chaltén) para la zona agrícola de Pergamino. Los valores simulados de obtienen de una distribución empírica no paramétrica. Para definir esta distribución se considera cada observación del nivel de infección de la espiga como uno de los estados igualmente probables para ese año, y a su vez cada año con igual probabilidad de ocurrencia.

Se estimó, para ambos híbridos, distribuciones de probabilidades de la pérdida económica para el productor asociada a la baja en los rendimientos, aumentos en los costos de comercialización y perdida de mercado para los productos que no cumplan adecuadamente los estándares establecidos. En la determinación de perdidas económica se emplearon precios de maíz promedio del periodo 2006-2010. Para un determinado porcentaje de daño de la espiga, la pérdida económica (PE) se calcula en base a las siguientes ecuaciones:

$$PE = IN_0 - IN_M$$

$$IN_0 = R_{Promedio} * P_{Exportación}$$

$$IN_M = R_{Obtenido} * P_{Recibido}$$

Donde IN_0 en el ingreso neto percibido cuando no se presentan daños causados por *F. verticillioides* y siendo IN_M el ingreso neto obtenido cuando en el grano existen daños causados por este hongo.

El IN_0 surge del cálculo del rendimiento promedio esperado en Pergamino (estimado en 8.000 kg/ha; Cabrini y Calcaterra, 2008) multiplicado por el precio de exportación neto de costos de comercialización. En cuanto al cálculo de IN_M, se considera el rendimiento obtenido, producto del rendimiento promedio de 8.000 kg/ha, menos la perdida de rendimiento estimada de acuerdo al nivel de daño de la espiga. Este nivel de rendimiento se multiplica por el precio recibido, que depende de las concentraciones de micotoxinas en el grano. Específicamente se asume que si el maíz cosechado presenta niveles de concentración de fumonisinas menores a 4 ppm, no existen limitaciones para vender el producto en el mercado de exportación. Si el maíz presenta una concentración de fumonisinas mayores a 4 ppm, el producto se comercializa en el mercado interno con descuento del 17%[(1)].

[1(1)] Este descuento se calculó en base a diferenciales de precio de exportación vs. mercado interno que se generan por trabas a la exportación impuestas por el gobierno, según datos reportados por Alabern & Fravega, empresa corredora de la zona de Rosario.

Adicionalmente, si la concentración de fumonisinas se encuentra entre 50 ppm y 100 ppm, se considera que el productor no puede usar el maíz directamente como alimento para el ganado vacuno, sino que deben ser entregado al acopio para ser acondicionado y/o destinado a alimento de animales menos susceptibles, lo que generara para el productor el costo extra de acarreo (20,64 $/tn), paritarias (10 $/tn) y comisión del acopio local (2%). Finalmente, se considera que el maíz con más de 100 ppm de concentración de fumonisinas no tiene valor en el mercado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3 se presentan los promedios anuales del nivel de daño de la espiga para los híbridos Cóndor y Chaltén bajo inoculación e infección natural. Los valores provienen de la clasificación según los síntomas visibles en las espigas cosechadas de acuerdo a la escala propuesta por Reid and Hamilton en 1996 (Presello *et al*., 2005), (Figura 1).

Tabla 3: Estadística descriptiva del nivel de daño de la espiga (% de la espiga dañada) para los híbridos Cóndor y Chaltén, en cultivos inoculados y bajo infección natural, para los años 2002/2003/2004/2006/2008.

		Con inoculación		**Infección natural**	
Año		**Cóndor**	**Chaltén**	**Cóndor**	**Chaltén**
2002	Media	12,69	26,47	5,73	8,33
	Desvío estándar	5,02	6,14	0,23	1,66
2003	Media	3,87	19,14	1,99	4,43
	Desvío estándar	4,60	14,98	2,07	5,13
2004	Media	5,65	18,43	2,19	2,04
	Desvío estándar	6,55	13,70	1,11	1,22
2006	Media	18,46	25,28	5,89	9,05
	Desvío estándar	14,52	8,89	7,09	10,06

2008	Media	6,30	21,70	3,91	13,15
	Desvío estándar	1,31	10,02	0,32	0,74

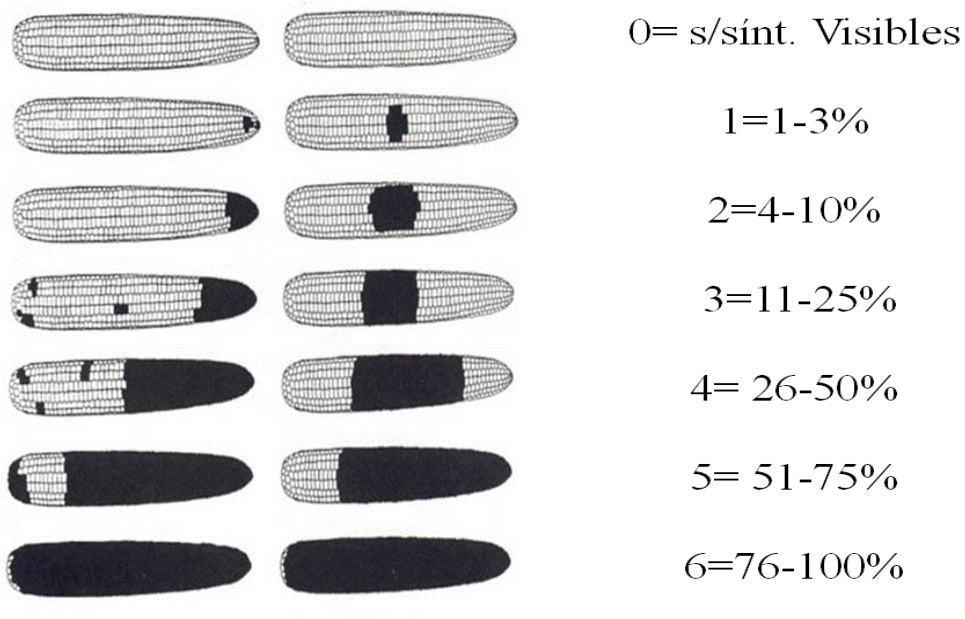

Figura 1: Escala de daño.

La figura 2 muestra resultados de daño de la espiga que provienen de ensayos inoculados con suspensiones conidiales de *F. verticillioides*, donde puede observarse las diferencias entre años que revelan variabilidad ambiental, presentándose años con condiciones ambientales más o menos favorables para la infección del hongo. Si bien en ambos híbridos puede observarse daño de la espiga, cabe resaltar el comportamiento de susceptibilidad del hibrido chaltén en comparacion con la moderada resistencia de Cóndor cuando son evaluados en los mismos ambientes, comportamiento que se expresa como generalidad en todos los ensayos donde se utilizaron estos hibridos.

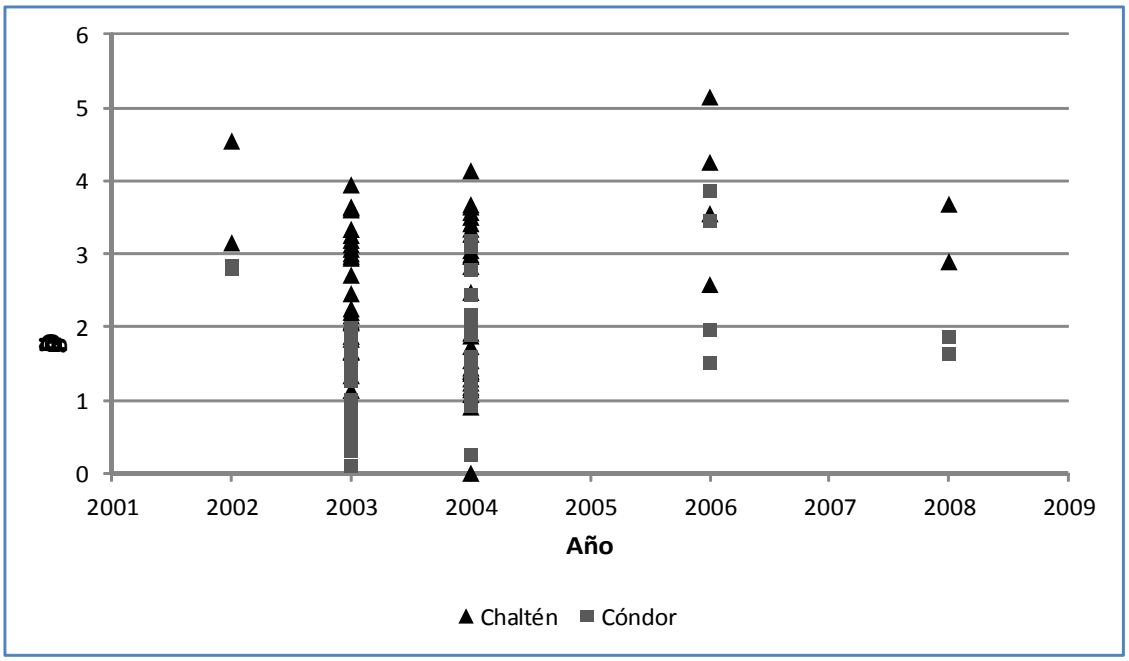

Figura 2: Daño de la espiga (escala 0 a 6, figura 1) para los híbridos Cóndor y Chaltén, en cultivos inoculados, para los años 2002/2003/2004/2006/2008.

Nivel de daño de la espiga en cultivos inoculados versus no inoculados

La tabla 4 muestra los datos con los que se estimó la relación entre el nivel de daño en cultivos inoculados vs. no inoculados. Estos datos se presentan gráficamente en la figura 3. Para estimar el modelo de regresión los datos tomados en la escala presentada en la figura 1 se transformaron en porcentaje de la espiga dañada [(2)], para facilitar la interpretación de los coeficientes estimados.

[20] Los porcentajes de la espiga dañada se calcularon a partir de la escala de daño de 0 a 6 (figura 1), utilizando la siguiente fórmula: $y = a + b * x + c * x^2$. Donde: a = 0; b = - 0,83 y c = 2,52; x = nivel de daño (escala 0 a 6); y = nivel de daño (% de la espiga dañada).

Tabla 4: Datos para la estimación de la relación del nivel de daño de la espiga de Cóndor y Chaltén en cultivos inoculados y no inoculado para los años 2003/2004/2006 y 2008.

			Daño Espiga (% de la espiga afectada)	
Año	**Ensayo**	**Híbrido**	**Inoculado**	**No inoculado**
2003	Comercial2	Chaltén	26,21	10,03
2003	Con_vol_inoc	Chaltén	13,29	6,75
2003	Momento_inoc	Chaltén	14,22	2,62
2004	Comerciales	Chaltén	3,68	2,14
2004	Pannar	Chaltén	5,55	2,14
2004	Con_vol_inoc	Chaltén	15,00	5,75
2004	Momento_inoc	Chaltén	9,25	1,30
2006	Aislamientos	Chaltén	51,67	27,97
2006	Cruzas	Chaltén	21,11	8,76
2008	Cruzas	Chaltén	24,47	7,86
2003	Comercial2	Cóndor	7,15	3,13
2003	Con_vol_inoc	Cóndor	0,87	0,26
2003	Momento_inoc	Cóndor	0,75	0,26
2004	Comerciales	Cóndor	2,02	3,40
2004	Pannar	Cóndor	2,34	1,85
2004	Con_vol_inoc	Cóndor	7,94	5,12
2004	Momento_inoc	Cóndor	1,85	1,61
2006	Aislamientos	Cóndor	30,61	20,77
2006	Cruzas	Cóndor	6,07	2,14

Con los datos presentados se estimó el siguiente modelo:

$$DN_i = \beta_1 * DI_i + \varepsilon_i$$

Donde

DN_i: Nivel de daño bajo infección natural (no inoculado) en % de la espiga dañada.

DI_i: Nivel de daño bajo inoculación en % de la espiga dañada.

De los resultados del análisis de regresión (tabla 5) y la correspondiente observación de la figura 3, se puede ver la existencia de una relación lineal significativa entre el nivel de daño de cultivos inoculados y no inoculados (valor-p < 0,0001), ya que el 93% de la variabilidad en el daño de la espiga bajo infección natural puede predecirse en base al nivel de daño en cultivos inoculados. Es decir, es posible predecir el nivel de daño de la espiga en condiciones naturales, en función del nivel de daño observado bajo inoculación [(3)].

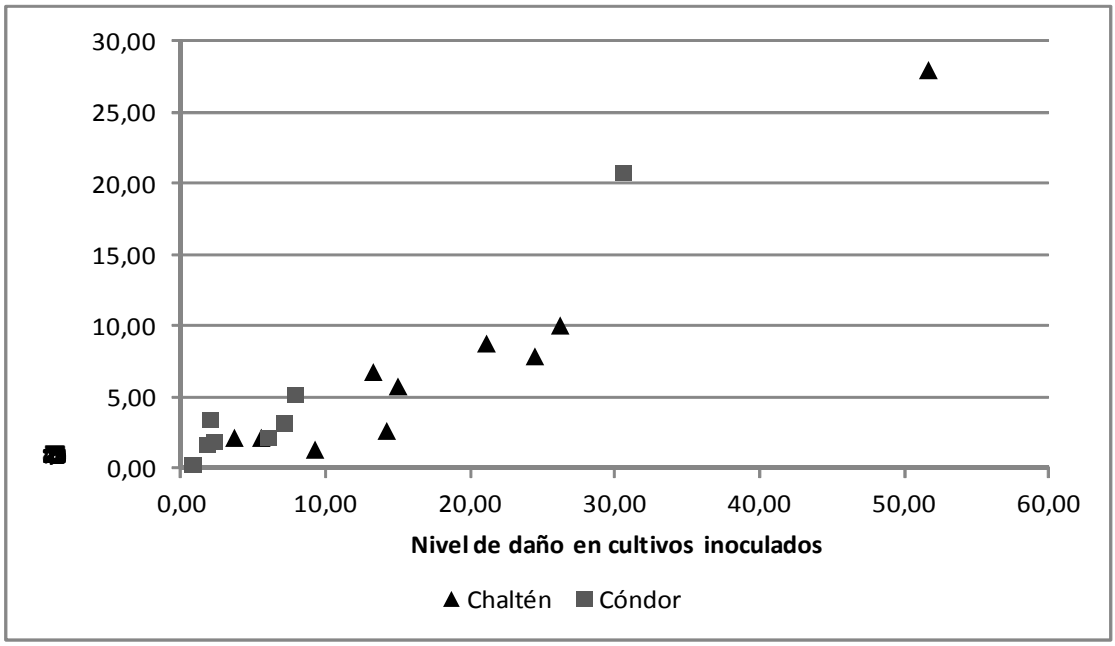

Figura 3: Nivel de daño de la espiga en cultivos inoculadas versus no inoculados para los híbridos Cóndor y Chaltén.

Tabla 5: Resultados de estimación del nivel de daño de la espiga en cultivos inoculados versus no inoculados.

Nro. de observaciones	19
R^2	0,93
R^2 ajustado	0,93

[30] Se analizó la existencia de diferencias en la pendiente entre híbridos, siendo esta diferencia no significativa.

	Coeficiente	Error est.	valor-p
DI	0,4	0,03	< 0,0001

El coeficiente estimado indica que por cada punto de aumento en el daño de la espiga de cultivos inoculados, el daño en cultivos con infección natural solo aumenta, aproximadamente, en medio punto, por ejemplo, si el daño en cultivos inoculados presenta un 10% de daño es de esperarse que bajo infección natural (no inoculado) se observe un daño del 5%.

Nivel de daño de la espiga versus concentración de micotoxinas.

La tabla 6 muestra los datos con los que se estimó la relación entre el nivel de daño de la espiga y la concentración de micotoxinas, utilizando el siguiente modelo.

$$ln(CM_i) = \beta_0 + \beta_1 * ln(D_i) + \varepsilon_i$$

Donde

CM_i: Concentración de micotoxinas.

D_i: Nivel de daño.

Las variables son transformadas a logaritmos naturales.

En la tabla 6 se presentan los datos de porcentaje de la espiga dañada y su correspondiente concentración de micotoxinas en ppm, que se utilizaron para estimar el modelo. En la figura 4 se representan gráficamente estos datos.

Puede observarse en la figura 4 que a medida que aumenta el daño de la espiga la concentración de micotoxinas también aumenta, ya que como regla general siempre que se observe daño en las espigas evaluadas estaremos en presencia niveles de micotoxinas en grano.

Tabla 6: Datos para la estimación de la relación entre el porcentaje de la espiga dañada y concentración de micotoxinas para Cóndor y Chaltén en los años 2002 y 2003.

Año	Hibrido	Severidad (% de la espiga dañada)	Concentración de micotoxinas (ppm)
2002	Chaltén	2	9,45
2002	Chaltén	7	38,12
2002	Chaltén	18	105,13
2002	Chaltén	38	295,05
2002	Chaltén	62,5	500,9
2002	Chaltén	88	976,3
2002	Cóndor	0	2,1
2002	Cóndor	2	20,63
2002	Cóndor	7	34,47
2002	Cóndor	18	147,37
2003	Chaltén	2	7,73
2003	Chaltén	7	50,63
2003	Chaltén	18	137,9
2003	Chaltén	38	228,73
2003	Chaltén	62,5	361,6
2003	Chaltén	88	776,53
2003	Cóndor	2	5,33
2003	Cóndor	7	24,53
2003	Cóndor	18	76,25
2003	Cóndor	38	140
2003	Cóndor	62,5	321,65

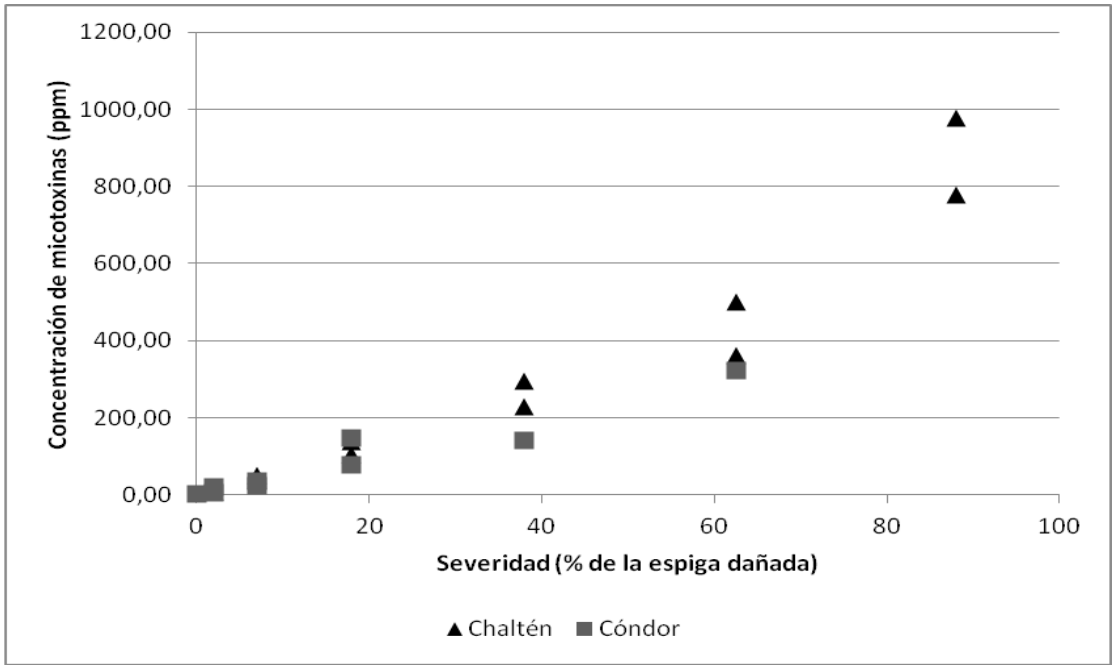

Figura 4: Relación entre el nivel de daño y concentración de micotoxinas para los híbridos Cóndor y Chaltén.

Tabla 7: Resultados de la estimación del nivel de daño de la espiga versus Concentración de micotoxinas.

Cóndor

Nro. de observaciones	9
R^2	0,92
R^2 ajustado	0,91

	Coeficiente	**Error est.**	**valor-p**
Constante	1,32	0,31	0,0035
ln(D)	1,08	0,12	< 0,0001

Chaltén

Nro. de observaciones	12
R^2	0,99
R^2 ajustado	0,99

	Coeficiente	Error est.	valor-p
Constante	1,40	0,13	< 0,0001
ln(D)	1,16	0,04	< 0,0001

El análisis de regresión (tabla7) confirma lo que se observa en la figura 4 y es que existe una relación lineal significativa entre el porcentaje de daño de la espiga y la concentración de micotoxinas (valor-p<0,0001). El nivel de daño de la espiga explica el 92 y 99% de la variación en la concentración de micotoxinas. La estimación del modelo se realizó por separado para cada híbrido, ya que en este caso la relación entre concentración de micotoxinas y el nivel de daño es significativamente distinta entre los híbridos.

Nivel de daño versus rendimiento

La tabla 8 muestra los datos con los que se estimó la relación entre el nivel de daño de la espiga y rendimiento, utilizando el siguiente modelo:

$$R_i = \beta_O + \beta_1 * D_i + \varepsilon_i$$

Donde:

R_i: Rendimiento (kg).

D_i: Nivel de daño (% de la espiga dañada).

Tabla 8: Datos para nivel de daño (% de severidad) y rendimiento (kg) para Cóndor y Chaltén en los años 2002 y 2003.

Año	Híbrido	Tratamiento	Repetición	Nivel de daño (% Severidad)	Rendimiento (Kg.)
2002	Chalten	Inoculado	1	32,8	9450
2002	Chalten	Inoculado	2		
2002	Chalten	Inoculado	3	23,0	9684
2002	Chalten	No Inoculado	1	6,8	12372
2002	Chalten	No Inoculado	2	10,1	11532
2002	Chalten	No Inoculado	3	8,1	11044
2002	Cóndor	Inoculado	1	6,9	8351
2002	Cóndor	Inoculado	2	13,1	10197
2002	Cóndor	Inoculado	3	8,3	11180
2002	Cóndor	No Inoculado	1	5,6	11608
2002	Cóndor	No Inoculado	2	6,0	10417
2002	Cóndor	No Inoculado	3	5,6	12423
2003	Chalten	Inoculado	1	27,8	9105
2003	Chalten	Inoculado	2	28,2	9360
2003	Chalten	Inoculado	3	32	10305
2003	Chalten	No Inoculado	1	3,4	12814
2003	Chalten	No Inoculado	2	3,6	13241
2003	Chalten	No Inoculado	3	4,2	12808
2003	Cóndor	Inoculado	1	9,0	11845
2003	Cóndor	Inoculado	2	12,3	11700
2003	Cóndor	Inoculado	3	17,6	11110
2003	Cóndor	No Inoculado	1	4,5	12544
2003	Cóndor	No Inoculado	2	4,6	12743
2003	Cóndor	No Inoculado	3	4,8	12307

Gráficamente se puede ver claramente como la severidad o daño de la espiga afecta el rendimiento (Figura 5).

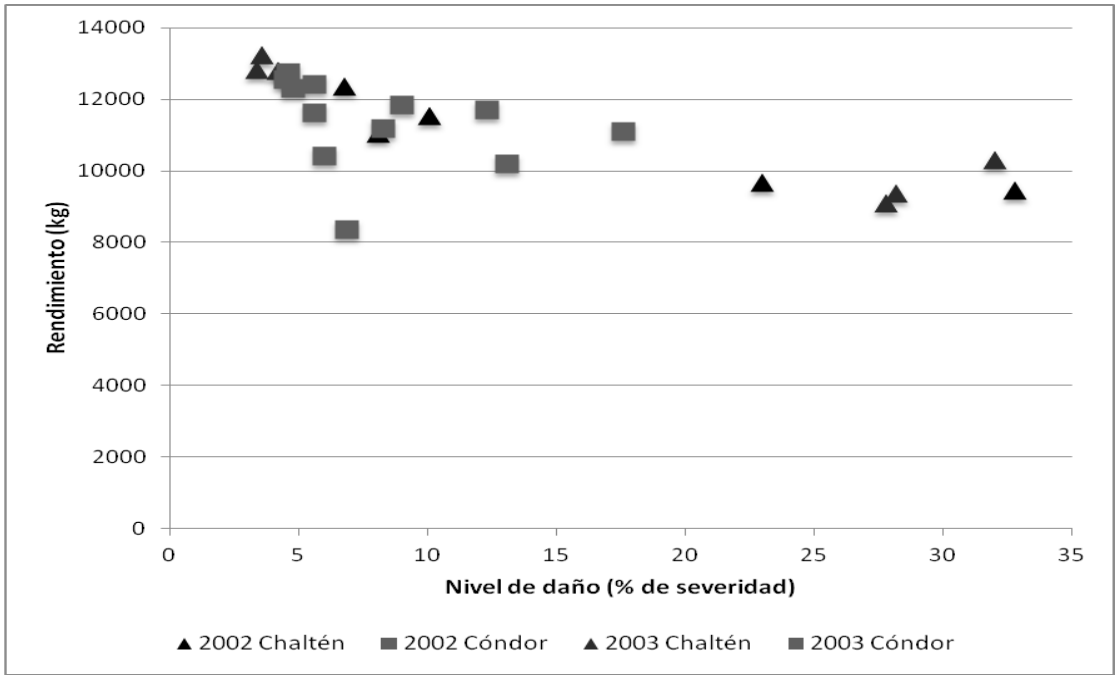

Figura 5: Relación en el nivel de daño y rendimiento para los híbridos Cóndor y Chalten en los años 2002 y 2003.

El análisis de regresión lineal (tabla 9) cuantifica la relación entre el nivel de daño (% de severidad) y rendimiento (kg). El nivel de daño de la espiga explica el 49% de la variación en el rendimiento. Por cada punto que aumenta la severidad, el rendimiento cae en 99,87 kg/ha.

Tabla 9: Resultados de la estimación del nivel de daño (severidad) versus rendimiento.

Nro. de observaciones	23
R^2	0,49
R^2 ajustado	0,47

	Coeficiente	**Error est.**	**valor-p**
Const	12431,94	341,79	< 0,0001
D	-99,87	22,21	0,0002

Simulación de niveles de infección natural y costos relacionados a la infección por F.verticillioides.

Como se mencionó en la sección de métodos, se simularon niveles de infección de la espiga bajo inoculación para ambos híbridos, en base a estos valores y los resultados de la estimación presentados en la tabla 5, estima una distribución de probabilidades acumuladas para el nivel de daño de la espiga en condiciones de infección natural (figura 6). En la figura puede observarse la diferencia en el nivel de resistencia de los dos híbridos considerados. Por ejemplo, existe una probabilidad de 75% de obtener niveles de daño menores o iguales a 13, 20% de la espiga para el hibrido Chalten y menores o iguales a 6, 41% para el hibrido Cóndor.

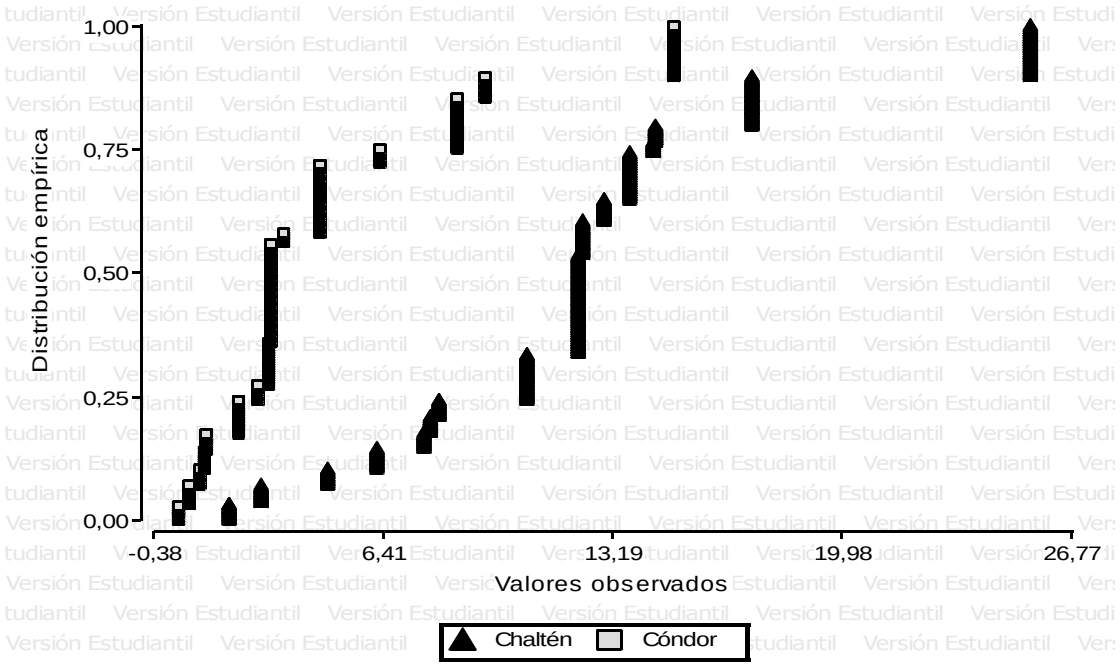

Figura 6: Distribución de probabilidad acumulada para nivel de daño (% de la espiga dañada) para cultivos con infección natural.

La figura 7 muestra la distribución de probabilidad acumulada para la concentración de micotoxinas en ppm calculados a partir de los valores de daño bajo infección natural. Es de esperarse la ocurrencia de concentraciones de fumonisinas en cultivos no inoculados iguales o menores a 94,12 ppm para Chalten y de 46,90 ppm para Cóndor con una probabilidad del 75% como se observa en la figura 7.

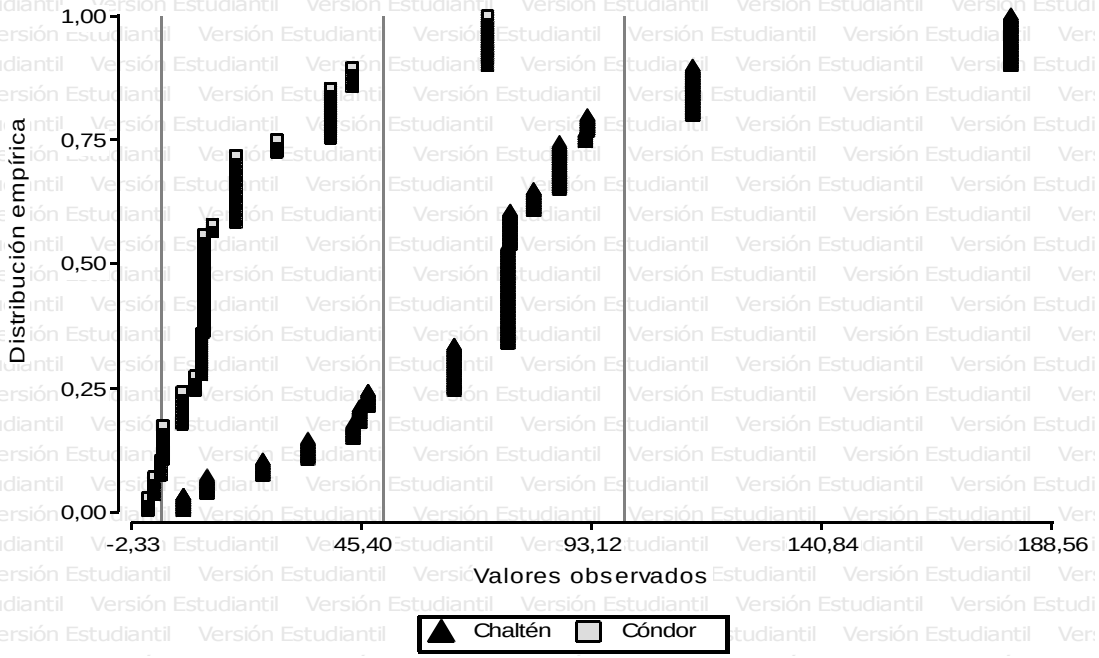

Figura 7: Distribución de probabilidad acumulada de la concentracion de micotoxinas (ppm) en cultivos con infeccion natural.

Las líneas de corte indican niveles de concentración de fumonisinas que corresponden a 4, 50 y 100 ppm (figura 7). Como se describió anteriormente, para el cálculo de los costos asociados a la infección de *F.verticillioides*, se considera que con valores menores o iguales a 4 ppm no existen limitaciones para el mercado exterior, con valores entre 4 ppm y 50 ppm el producto se comercializara en el mercado interno con un descuento en el precio. Si la concentración de fumonisinas se encuentra entre 50 ppm y 100 ppm, se considera que el productor no puede usar el maíz directamente como alimento para el ganado vacuno, sino que deben ser entregado al acopio para ser acondicionado y/o destinado para alimentar animales con menores exigencias y con concentraciones superiores a 100 ppm, el producto no tiene mercado.

En la figura 7 se indica que es de esperarse una probabilidad mayor al 20% de que la concentración de fumonisinas para Chaltén supere 100 ppm de micotoxinas, no así para cóndor, en donde no se presentan observaciones que superen este nivel de micotoxinas. Existe una probabilidad cercana al

100% de que la concentración de micotoxinas para cóndor estén por debajo de 100 ppm, y del 75% para Chaltén. Pueden verse también probabilidades de 25% y 75% aproximadamente de que los híbridos Chaltén y cóndor respectivamente presenten concentraciones de micotoxinas por debajo de 50 ppm. En cuanto al límite permisible más restrictivo de 4 ppm, el híbrido Cóndor tiene una probabilidad de entre 10% y 15% de presentar valores menores o iguales a 4 ppm, no encontrándose para Chaltén observaciones que cumplan con las exigencias de mercado de valores de micotoxinas iguales o menores a 4 ppm.

La figura 8 muestra la distribución de probabilidad acumulada para la pérdida de rendimiento de cultivos bajo infección natural. Existe una probabilidad del 75 % de obtener pérdidas de rendimiento menores a los 639 kg/ha para Cóndor y mayores a los 1.300 kg/ha para Chaltén aproximadamente.

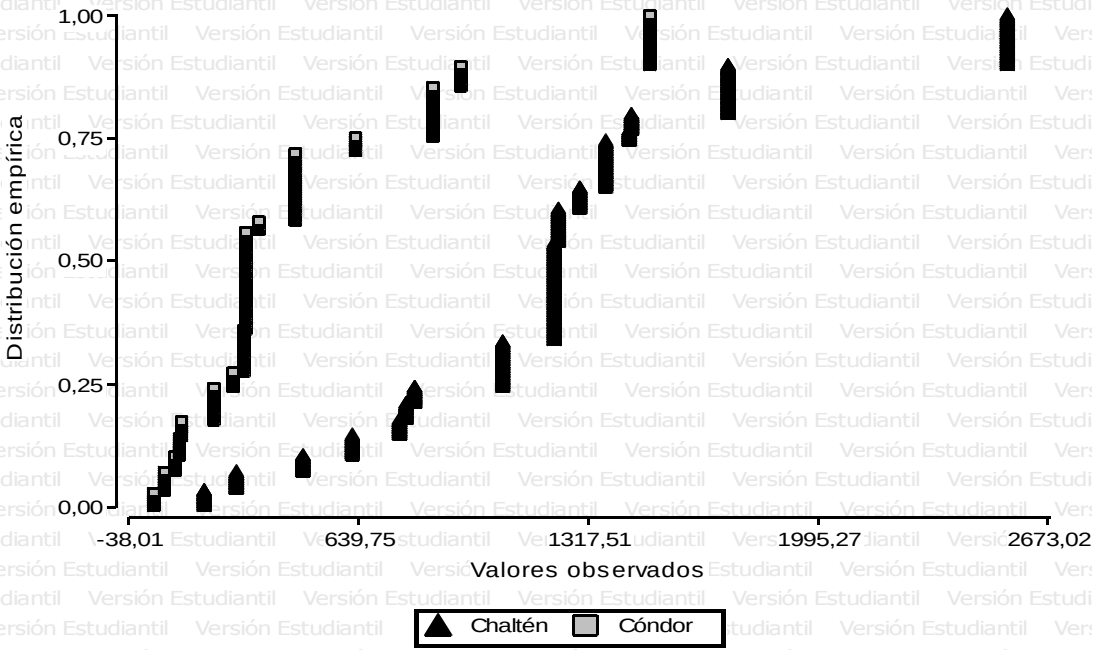

Figura 8: Distribución de probabilidad acumulada para la pérdida de rendimiento (kg/ha) en cultivos con infección natural.

En la figura 9 se representa la distribucion de probabilidad acumulada de pérdida económica en $/ha donde puede verse que existe una probabilidad por ejemplo del 50 % de obtener pérdidas económicas

menores a 1.038 $/ha para el híbrido Cóndor y pérdidas cercanas a los 1.892 $/ha para Chaltén, como indican las lineas de corte trazadas.

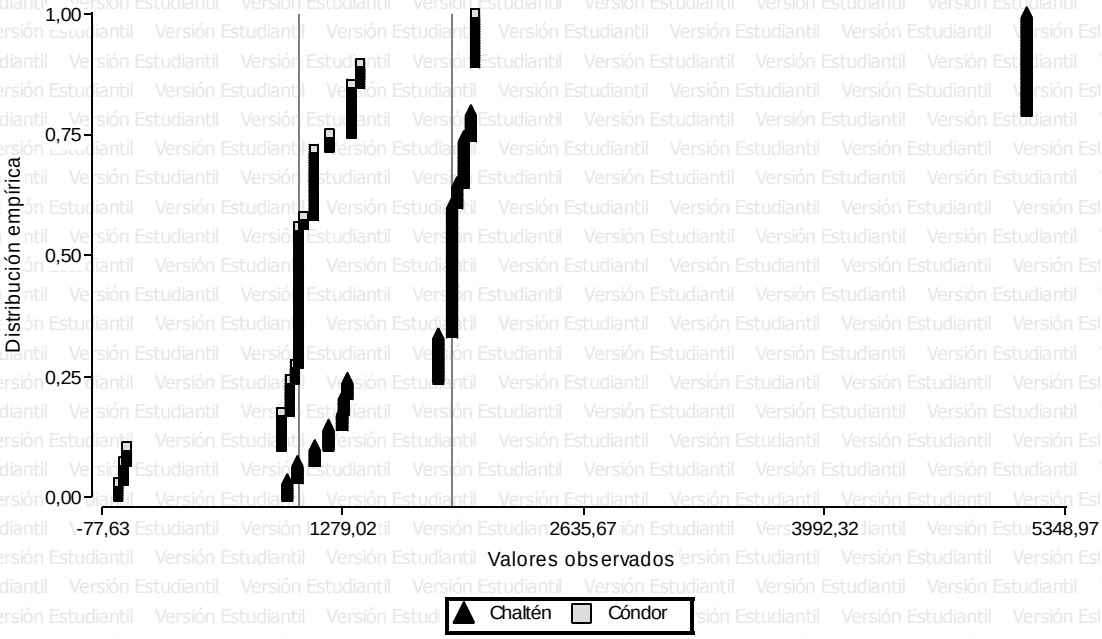

Figura 9: Distribución de probabilidad acumulada de pérdida económica ($/ha) en cultivos con infeccion natural.

CONCLUSIONES

La infección con *F. verticillioides* produce pérdidas económicas, para los productores de maíz, debido a una disminución en la cantidad producida y la calidad del producto.

La concentración de fumonisinas en grano está directamente relacionada con el nivel de daño de las espigas, por lo que visualizar un alto porcentaje de daño en la espiga indica un alto nivel de fumonisinas en grano. Todo esto afecta el rendimiento de los cultivos, ya que quedó demostrada la relación significativa entre el nivel de daño que muestran los cultivos con la reducción en el rendimiento y los costos totales que esto genera en los productores de la zona núcleo agrícola.

Se hablo del comportamiento de susceptibilidad de Chaltén en comparación con la moderada resistencia de Cóndor a *F. verticillioides*, lo que indica que se podría reducir el nivel de daño de las espigas con el simple hecho de elegir híbridos que expresen mayor resistencia a enfermedades producidas por hongos de la espiga.

En base a los cálculos de las medianas para los valores de pérdida económica se observa que la elección de sembrar un híbrido susceptible a hongos de la espiga (Chaltén) en lugar de uno moderadamente resistente (Cóndor), representa una pérdida económica cercana a 900 $/ha para los productores del partido de Pergamino.

Es importante recordar que los datos presentados corresponden a maíces con fecha de siembra tardía, por lo que su comportamiento se asemeja al de maíces de segunda, en donde la probabilidad de ocurrencia de infestaciones con *F. verticillioides* son mayores que en aquellos cultivos en los que se respeta la fecha de siembra optima. Adicionalmente, es importante considerar que existen en la actualidad genotipos resistentes con mejor comportamiento que Cóndor y Chaltén para morigerar los efectos causados por la enfermedad.

Se esperan para los años venideros estándares de regulación más estrictos en cuanto a la concentración de micotoxinas para consumo humano y animal, por lo que los costos estimados podrían ser mayores a los actuales, en donde la elección de cultivares con mayor resistencia a hongos de la espiga por parte

del productor jugará un rol preponderante, ya que de no hacerlo podrían generar complicaciones en la comercialización de sus cosechas, perdidas de rendimiento, toxicidad en animales si su destino es la alimentación animal y un aumento de la circulación interna de maíces de baja calidad por no cumplir con los estándares de seguridad de los países compradores de mercadería Argentina.

BIBLIOGRAFÍA

Andrada, A.C. Sector Exportación, Asociación de Cooperativas Argentinas. Comunicación personal. (2010).

Cabrini, S. M. y C.P. Calcaterra (2008) "Los Sistemas de Producción en la Cuenca del Arroyo Pergamino. Resultados de una Encuesta a Productores" Sitio web INTA Pergamino: http://www.inta.gov.ar/Pergamino/info/documentos/2008/Sistemas_Produccion_cuenca_arroyo_pergamino.pdf.

Di Giulio A. M. (2007). Micotoxinas y Residuos de Pesticidas. Impacto Sobre los Mercados. Calidad Agroalimentaria, SENASA.

Duarte Vogel, S. y L.C. Villamil Jimenez, (2006). "Micotoxinas en la Salud Pública." Revista Salud Pública. Sup. 8(1): 129-135.

Espíndola Figueroa, S. (2006). "Micotoxinas y Micotoxicosis en el Ganado Bovino Lechero". Revista Chapingo V(1):89-93.

FAO. (1993). "El Maíz en la Nutrición Humana." Colección FAO: Alimentación y Nutrición, N° 25.

Iglesias, J., D.A. Presello, C.M. Fauguel y G. Botta (2008). Micotoxinas: ¿Debemos Preocuparnos?. Publicación INTA Pergamino.

Presello, D.A., G. Botta y J. Iglesias (2004) "Podredumbres de Espiga de Maíz y Micotoxinas Asociadas." J. Revista IDIA XXI. 4(6):152-157.

Presello, D.A., G. Botta, J. Iglesias y G.H. Eyhérabide (2005). Efecto de la Severidad de Síntomas de Podredumbre de Espiga Causada por Fusarium verticillioides Sobre el Rendimiento y la Concentración de Fumonisinas en Grano de Maíz. Publicación INTA Pergamino.

Presello, D.A., J. Iglesias, G. Botta y G.H. Eyhérabide (2006). Severity of Fusarium Ear Rot and Concentration of Fumonisin in Gain of Argentinian Maize Hybrids. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). CC31, B2700KXC. Pergamino, Argentina.

Torres, A. M., M. L. Ramírez y S.N. Chulze (2010). "Fusarium and Fumonisins in Maize in South America." Mycotoxins in Food, Feed and Bioweapons. Part (2):179-200.

Wu, F. (2004). "Mycotoxin Risk Assessment for the Purpose of Setting International Regulatory Standards." Environmental Science & Technology. 38(15):4049-4055.

Wu, F. (2007). "Measuring the Economic Impacts of Fusarium Toxins in Animal Feeds" Animal. Feed Science and Technology. 15:277–289.