



Universidad Nacional
del Nordeste



Facultad de Ciencias Agrarias

Tesis de Maestría

“Evaluación de fumonisinas producidas por *Fusarium* spp. y su control mediante fungicidas en maíz duro en el norte de Argentina”

Tesista: Ing. Agr. Jorge Rubén Bonilla

Directora: Dra. Juliana Iglesias

Co Directora: Dra. Ernestina Galdeano

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ABREVIATURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xi

CONTENIDOS

1	INTRODUCCION	1
1.1	Mercado de maíz	1
1.2	El maíz duro y el mercado de maíz en Argentina	2
1.3	Micotoxinas y maíz	4
1.4	Especies de <i>Fusarium</i> causantes de pudrición de espiga en maíz	8
1.4.1	<i>Fusarium verticillioides</i> (Sacc.) Nirenberg.	9
1.4.2	<i>Fusarium graminearum</i> Schwabe.	11
1.5	Control Químico de las podredumbres de espiga.	13
2	HIPOTESIS	15
3	OBJETIVOS GENERALES	15
3.1	Objetivos específicos	15
4	MATERIALES Y MÉTODOS	16
4.1	Análisis de registros históricos de dos bases de datos.	16

4.1.1	Bases de datos.	16
4.1.2	Clasificación de los años y zonas.	21
4.1.3	Análisis estadístico.	23
4.2	Relevamiento de daño de <i>Fusarium</i> asociadas a contaminación con FBs y DON a partir de espigas de maíz del norte argentino.	26
4.3	Evaluación de tratamiento con fungicidas del grupo de los triazoles y estrobilurinas sobre el nivel de severidad de síntomas y la acumulación de fumonisinas causadas por <i>Fusarium spp.</i>	30
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
5.1	Análisis de registros históricos de recibo de granos.	33
5.1.1	Base de datos 1.	33
5.1.2	Base de datos 2.	43
5.1.3	Niveles de micotoxinas por tipo de híbrido transgénico (OGM) y no transgénico (NO OMG).	49
5.1.4	Discusión bases de datos 1 y 2.	51
5.2	Relevamiento de daño por <i>Fusarium</i> asociadas a contaminación con FBs y DON a partir de espigas de maíz del Norte Argentino.	59
5.3	Evaluación de tratamientos con fungicidas del grupo de los triazoles y estrobilurinas sobre el nivel de severidad de síntomas y la acumulación de FBs y DON causadas por <i>Fusarium spp.</i>	69
6	CONCLUSIONES	77
7	BIBLIOGRAFÍA	78

DEDICATORIA

A mi esposa Paula, compañera de aventuras, por su apoyo incondicional y por darme el aliento para encarar este proyecto. Junto a ella, a mis hijos Julián y Camila por su paciencia y compañía en la toma de muestras.

A mis padres por despertar la sed de conocimiento y enseñarme que el empeño en concretar un proyecto es tan o más importante que saber lograrlo.

AGRADECIMIENTOS

- A mi Directora Dra. Juliana Iglesias y Co-directora Dra. Ernestina Galdeano por su contribución y sobre todo por su paciencia.
- A Cervecería y Maltaría Quilmes por darme la contribución de recursos e información para la realización de esta tesis de maestría.
- A Mariano Formoso y Luis Dimotta por los aportes de conocimiento en las técnicas de detección de micotoxinas y su impacto en la industria alimenticia en general y cervecera en particular.
- Al cuerpo docente de la Maestría en Producción Vegetal de la UNNE.
- Al Tribunal Evaluador por su contribución a lograr la excelencia.
- Al INTA por el aporte económico que realizo para poder concluir la maestría.

RESUMEN

La producción de maíz duro o “flint” para exportación o para consumo humano en el norte de Argentina es una alternativa válida para mejorar la competitividad. La comercialización de este producto tiene estrictas regulaciones en cuanto a la concentración de las diferentes micotoxinas. El objetivo del trabajo fue evaluar la incidencia y severidad producidas por *Fusarium* spp. y la concentración de fumonisina y deoxinivalenol en maíz duro en el norte argentino y sus posibles medidas de control. Se analizaron 13.493 muestras para prevalencia e incidencia de *Fusarium* spp. y 200 muestras de micotoxinas, producto de cinco campañas y tres diferentes zonas del Norte y su ocurrencia asociadas con fenómenos climáticos. Se evaluó mediante muestreos directos a campo en las tres zonas, un genotipo tolerante y otro susceptible al hongo. Se realizó un ensayo con fungicidas sobre el genotipo susceptible. La ocurrencia de infecciones con *Fusarium verticillioides* es endémica de la región, así como la ocurrencia de fumonisinas alcanzando valores (5,71 ppm) por encima de los legalmente permitidos. La presencia de deoxinivalenol es menos frecuente y es no es usual encontrar niveles por encima de los legalmente permitidos. La utilización de pronósticos del fenómeno ENSO puede ser una herramienta válida para predecir la ocurrencia de esta enfermedad y la expresión de estas micotoxinas. La utilización del cociente entre los valores de NDVI del año versus el promedio es una herramienta válida para predecir fusariosis de espiga en la subregión región noreste no así en el noroeste de Argentina. La utilización de fungicidas para el control de fusariosis tuvo respuestas poco seguras, inclusive con una tendencia al incremento en el nivel de deoxinivalenol. La utilización de genotipos tolerantes es la herramienta más eficaz para escapar a la fusariosis de espiga y su contaminación con micotoxinas.

Palabras claves: deoxinivalenol, fumonisina, *Fusarium verticillioides*, maíz duro, flint, micotoxinas, NOA, NEA.

ABSTRACT

“Evaluation of fumonisins and deoxinivalenol produced by *Fusarium* spp. and its control by fungicides in flint corn in northern of Argentina”

The production of flint corn for export or for human consumption in northern Argentina is a valid alternative to improve the regional competitiveness. The commercialization of this product is under strict regulations regarding different mycotoxins concentrations. The objective of this work was to evaluate the incidence and severity produced by *Fusarium* spp. and the concentration of fumonisin and deoxynivalenol in flint corn, in the Northern of Argentina and its possible control. A total of 13493 corn´s samples were analyzed for prevalence and incidence of *Fusarium* spp. and 200 samples for mycotoxins, product of five years and three different areas of the North of Argentina and their occurrence associated with climatic phenomena. Furthermore, it was evaluated by direct field sampling in three sub-regions, a tolerant genotype and another susceptible to the fungus. A fungicide test was performed on the susceptible genotype. The appearance of infections with *Fusarium verticillioides* is endemic to the region, as is the appearance of fumonisins at some point with values (5,71 ppm) above the legal limits. The presence of deoxinivalenol is less frequent and is not common to find levels of it above those legally allowed. The use of forecasts of the ENOS phenomenon could be a valid tool to predict the occurrence of this disease and the expression of these mycotoxins. The use of the ratio between the NDVI values of the year versus the average is a valid method to predict *Fusarium* ear rot in the sub-region of the northeast, but not in northwestern of Argentina. The use of fungicides for the control of *Fusarium* ear rot were not consistent, even more with a tendency to increase the level of deoxinivalenol. The use of tolerant genotypes is the most effective tool to escape to *Fusarium* ear rot and to its contamination with mycotoxins.

ABREVIATURAS

°C	Grados centígrados
Atm	Atmosfera de presión
DON.....	Deoxinivalenol
EC	European Comission Regulation
EN	Fase El Niño del fenómeno ENSO
FBs	Fumonisinias totales (FB1+FB2+FB3)
FDA	United States Food and Drug Administration
FFSC	<i>Fusarium</i> Fujikuroi Species Complex
Km	Kilómetros
LN	Fase La Niña del fenómeno ENSO
MAV	Maíz Alto Valor.
nm.....	Nanómetros
NEA	Noreste Argentino
NOA	Noroeste Argentino
OGM	Organismo Genéticamente Modificado
OMS	Organización Mundial de la Salud
ppm	Partes por millón
UE	Unión Europea
µl	microlitro

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Híbridos de maíz transgénicos y no transgénicos recibidos en las 3 plantas de acopio correspondientes a la base de datos 1 y 2 del norte de Argentina para los años 2010 al 2015 en las 3 localidades.....	19
Tabla 2. Clasificación de años en función del fenómeno ENSO a partir del Oceanic Niño Index (ONI) para el trimestre Feb-Mar-Abr (NOAA, 2018).	22
Tabla 3. Clasificación de años en función a la relación de valores de NDVI del año y el promedio de 19 años para el bimestre Marzo-Abril.....	23
Tabla 4. Variables climáticas para las localidades Piquete Cabado (Salta), Gob. Piedrabuena (Tucumán) y Gancedo (Chaco) durante las campañas 2014 y 2015.....	29
Tabla 5. Prevalencia de <i>Fusarium</i> spp. en maíz duro en tres zonas del norte argentino.	33
Tabla 6. Incidencia media de granos infectados por <i>Fusarium</i> spp. en muestras de recibo (n=13493)..	34
Tabla 7. Prevalencia de <i>Fusarium</i> spp. por año en considerando las tres zonas (Chaco, Tucumán y Salta).	35
Tabla 8. Prevalencia media de <i>Fusarium</i> spp. en muestras de grano considerando año y zona.	36
Tabla 9. Incidencia interanual de <i>Fusarium</i> spp. en granos expresadas en porcentaje.	36
Tabla 10. Comparación de pares entre zonas para la chance de encontrar granos infectados por <i>Fusarium</i> spp. en muestras de granos agrupando los años según el fenómeno ENSO.	40
Tabla 11. Comparación de pares entre zonas para la chance de encontrar granos infectados por <i>Fusarium</i> spp. en muestras de granos agrupando los años según el cociente NDVI.....	41

Tabla 12. Incidencia de <i>Fusarium</i> spp. por zona, agrupando en función del coeficiente NDVI.	41
Tabla 13. Tabla de contingencia para zonas y si posee (OGM) o no (No OGM) eventos transgénicos.	42
Tabla 14. Valores de FBs y DON observados en la zona de Chaco, Tucumán y Salta expresados en ppm.	44
Tabla 15. Valores de DON en muestras de granos agrupando los años según el cociente NDVI.	49
Tabla 16. FBs en muestras de maíz clasificando estas por zona y clasificación OGM.	51
Tabla 17. Niveles de DON en muestras de maíz clasificando estas por zona y clasificación OGM.	51
Tabla 18. Coeficientes de correlación entre la variable Incidencia de espigas a afectadas y el porcentaje de granos infectados por <i>Fusarium</i> spp.	63
Tabla 19. Resultados del ensayo de control de <i>Fusarium</i> spp. y nivel de micotoxinas, en maíz duro tratados con fungicidas.	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de las fumonisinas.....	7
Figura 2. Estructura molecular de los tricotecenos.....	7
Figura 3. Granos con estrías producidas por infección de <i>F. verticillioides</i>	10
Figura 4. Micelio de <i>Fusarium graminearum</i> sobre granos y espiga.	12
Figura 5. Ciclo de <i>Fusarium graminearum</i> y FFSC asociados a sus requerimientos ambientales favorables.....	12
Figura 6. Flujo de granos de maíz y puntos de muestreo para bases de datos 1 y 2. 17	
Figura 7. Localidades de origen y área de influencia de las muestras correspondientes a las bases de datos 1 y 2 para los periodos de 2010 al 2015 y 10 híbridos de maíz duro.....	18
Figura 8. Escala diagramática de severidad de síntomas de Fusariosis de la espiga de maíz.	28
Figura 9. Diagrama de tratamientos ensayo de dos fungicidas por dos momentos de aplicación en la localidad de Roversi para la campaña 2014.	31
Figura 10. Prevalencia de <i>Fusarium</i> spp. por zona, clasificando los años según el fenómeno ENSO.	37
Figura 11. Incidencia de <i>Fusarium</i> spp. expresado como porcentaje de granos infectados en muestras de maíz.	38
Figura 12. Prevalencia de <i>Fusarium</i> spp. en función de zonas y años agrupados por el cociente NDVI.....	39
Figura 13. Prevalencia de <i>Fusarium</i> spp. por zonas y si poseen (OGM) o no (No OGM) eventos transgénicos.....	43
Figura 14. Frecuencia relativa de muestras de maíz duro con presencia de FBs y DON en Chaco, Tucumán y Salta.	45

Figura 15. Valores de FBs y DON encontrados en muestras de maíz duro (n=200) en Chaco, Tucumán y Salta. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$).	46
Figura 16. Niveles de FBs por zona agrupando los años en función del fenómeno climático ENSO.....	47
Figura 17. Contenido de FBs de en lotes de maíz almacenado por zona y años agrupados en función del coeficiente NDVI.....	48
Figura 18. Contenido de DON de en lotes de maíz almacenado por zona y años agrupados en función del fenómeno climático ENSO.	49
Figura 19. Niveles de FBs y DON en función del tipo OGM o No OGM.	50
Figura 20. Niveles de incidencia de Fusarium spp. en espiga de dos híbridos de maíz proveniente del Chaco, Salta y Tucumán. Campaña 2014 y 2015.	59
Figura 21. Representación fotográfica de la escala diagramática de severidad de fusariosis en el híbrido DKB390VT3P.	60
Figura 22. Niveles de severidad de Fusarium spp. en espigas de dos híbridos de maíz proveniente del Chaco, Salta y Tucumán. Campaña 2014 y 2015.	61
Figura 23. Severidad de fusariosis en los híbridos DKB390VT3P (susceptible) y P30P70Hx (Tolerante) para las zonas de Chaco, Salta y Tucumán. Campaña 2014 y 2015.	62
Figura 24. Relación entre la incidencia de Fusarium spp. expresada como porcentaje de espigas afectadas y el porcentaje de granos infectados para el híbrido DKB390VT3P susceptible.	63
Figura 25. Valores de severidad de síntomas* e incidencia de Fusarium spp. a partir de la evaluación bajo infección natural de los híbridos susceptible DK390VT3P y tolerante P3070Hx, en tres localidades en las provincias de Salta, Tucumán y Chaco, durante las campañas de cultivo 2014 (A) y 2015 (B).....	65
Figura 26. Valores de severidad de síntomas* de Fusarium spp. y concentración de micotoxinas FBs y DON a partir de la evaluación bajo infección natural de los híbridos	

DK390VT3P y P3070Hx, en tres localidades en las provincias de Salta, Tucumán y Chaco, durante las campañas de cultivo 2014 y 2015.....	67
Figura 27. Incidencia en espiga de <i>Fusarium</i> spp. y tratamientos de fungicidas Abacus, metconazole y testigo.	72
Figura 28. Severidad de <i>Fusarium</i> spp. y tratamientos de fungicidas.	72
Figura 29. Granos dañados por <i>Fusarium</i> spp. y tratamientos de fungicidas.....	73
Figura 30. Niveles de FBs y tratamientos de fungicidas.....	74
Figura 31. Niveles de la micotoxina DON y tratamientos de fungicidas.....	75

1 INTRODUCCION

La seguridad e inocuidad de los alimentos ha sido siempre un objetivo primordial, tanto en la alimentación humana como animal. En los últimos años la inocuidad de los alimentos ha tomado gran relevancia a nivel nacional e internacional de la mano de un mayor conocimiento de los elementos contaminantes y su efecto sobre la salud. Dentro de los principales contaminantes se encuentran los microbiológicos y químicos. Dentro de los contaminantes químicos las micotoxinas son de mayor relevancia por contaminar alimentos básicos de consumo diario como frutos, cereales y sus derivados (World Health Organization, 2002). Desde el punto de vista de la industria alimenticia es fundamental caracterizar las zonas de producción de estas materias primas, como así también diseñar prácticas de manejo más adecuadas para mitigar el impacto económico que genera el rechazo de partidas de granos o embarques con contenidos de micotoxinas por encima de los límites legalmente permitidos, en función de cada destino en particular.

1.1 Mercado de maíz

El mercado global de cereales se ha caracterizado en los últimos años por una gran oferta, y en contrapartida el crecimiento de la demanda fue más moderado. Como resultado de esto, las reservas han ido incrementando año a año y los precios internacionales han caído a niveles más bajos, comparados con la década anterior. Ni siquiera la disminución de la producción mundial de cereales en 2015, posterior a la cosecha record del 2014, logró detener la tendencia bajista de los precios. Para la próxima década el crecimiento de la producción mundial de cereales, con base en el 2015, se espera que sea un 12%, liderado principalmente por incrementos en la productividad, rendimiento y en menor medida por la inclusión de nuevas áreas (OECD/FAO, 2016).

En los países como Argentina, en vías de desarrollo, el consumo de maíz como alimento para animales sufrió un incremento del 56% en el 2015 al 60% en el 2025, y el maíz destinado a consumo humano incrementará un 25% en la misma década. Por otra parte, el comercio internacional de maíz se incrementará solo un 10%. Estas proyecciones en el balance mundial de cereales liderado por un débil crecimiento de la demanda y un nivel alto de existencias, proyectan niveles de precio relativamente bajos para la próxima década. Esto solo podría ser modificado por cambios radicales en los factores de la demanda o fenómenos ambientales extremos en las áreas de producción (OECD/FAO, 2018).

En este contexto mundial de precios relativos bajos, la diferenciación de oferentes expresada en costos de producción, así como en costos logísticos no serán los únicos factores que definan la competitividad de una región productora. Cumplimentar las exigencias de calidad y la diferenciación de productos como el maíz duro, MAV (Maíz Alto Valor) u de otros tipos, nos permitirá acceder a los mercados con precios más competitivos. Siendo el nicho de mercado de maíz destinado al consumo humano el más competitivo del segmento.

1.2 El maíz duro y el mercado de maíz en Argentina

El maíz se constituyó en la Argentina, así como en los principales países productores, en el principal cultivo de verano hasta la década de 1980. Su distribución en Argentina se concentraba en el llamado “Cinturón Maicero”, el que se distribuía en una franja de 250 km alrededor del puerto de Rosario. El área sembrada oscilaba entre 3,2 a 3,8 millones de hectáreas con una producción anual de 20 millones de toneladas (Eyhérbide, 2006).

Durante las siguientes décadas el ingreso del cultivo de soja fue desplazando al maíz como principal cultivo de verano. Simultáneamente la utilización de nuevas tecnologías de producción como la siembra directa, entre otras, permitieron correr las fronteras

agrícolas hacia zonas marginales desde el punto de vista productivo. Dentro de estas prácticas de manejo, aquí como en otros países, el cultivo de maíz junto con el sorgo, son claves en el esquema de rotación para permitir un uso sustentable del suelo y mejorar el manejo del agua (Satorre, 2005; Egli, 2018). La expansión del cultivo de maíz a estas zonas permitió mantener el área cultivada estable e incluso incrementar a 4,9 millones de hectáreas para la campaña 2016/2017 (Bolsa de Cereales, 2017).

La expansión del cultivo a zonas más cálidas trajo aparejado la acentuación de problemas de enfermedades y plagas. Estos factores fueron parcialmente controlados mediante el mejoramiento genético y la introducción de híbridos genéticamente modificados portadores de genes que sintetizan proteínas tóxicas para lepidópteros como Cry1, Mon810, VT3P, VIP (Programa MRI, 2019). Esto no fue así para la resistencia a enfermedades, las cuales se manejan usualmente a través de estrategias de mejoramiento tradicional con una tasa de mejora más reducida que la resistencia a plagas, aun cuando en las últimas décadas se aceleraron estos procesos a través de marcadores moleculares y en algunos casos con transgénesis (Vincelli, 2016).

El maíz duro se destaca por la dureza del endosperma, la proporción y calidad de proteínas y usualmente el alto contenido de pigmentos, que se refleja en el intenso color anaranjado o colorado del grano, aunque además existen germoplasmas blancos. El uso de este tipo de maíz, conocido internacionalmente como "Plata" (No OGM) regulado por la resolución exSAGPyA n°757/97 (SENASA, 2019), proporciona una coloración apreciada en la piel de los pollos y en la yema de los huevos, sin incorporar pigmentos sintéticos. Así mismo, la industria de la molienda seca local tiene una marcada preferencia por maíces duros como cereal adjunto en la elaboración de cervezas y para la elaboración de copos, sémolas y harinas tipo polenta para consumo humano pudiendo utilizar en este mercado maíces duros GMO (Gear, 2006; Abdala, 2018).

Cuando se introdujeron los maíces dentados americanos con mayor potencial de rendimiento, el maíz duro argentino quedó relegado como una especialidad dentro de

la producción de maíces de Argentina. En Europa occidental, principalmente Inglaterra, España, Bélgica y Holanda, donde existe un mercado de alto poder adquisitivo, el maíz duro del tipo “Plata” argentino aún es preferido por su calidad y condición de no transgénico para la fabricación de cereales de desayuno y la industria cervecera. Se estima para este mercado una demanda de 400 mil tn por año destinadas al consumo humano. La Comunidad Europea no produce este tipo de maíz y su industria depende fundamentalmente de las importaciones desde Argentina (Cirilo *et al.*, 2003). Por estas condiciones el maíz “Plata” obtiene sobrepuestos en el mercado nacional e internacional y representa hoy alrededor del 3% del total del área maicera argentina (Greco y Martí Ribes, 2016).

1.3 Micotoxinas y maíz

Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por algunas especies de hongos entre las cuales se destacan las del género *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. y *Fusarium* spp. Este último es el prevalente en maíz en la Argentina (Chulze *et al.*, 1996). El consumo diario de alimentos e inclusive la exposición dérmica o inhalación de partículas que contengan estas micotoxinas puede generar efectos adversos sobre la salud humana y animal, dependiendo de las características de cada contaminante, las cantidades ingeridas y las condiciones propias de los individuos (Iglesias, 2008). Existen numerosas evidencias sobre los efectos adversos tales como disminución del consumo de alimentos, la inmunosupresión, la manifestación de enfermedades agudas o crónicas, hasta la muerte en algunos casos (Doko y Visconti, 1994; Rheeder *et al.*, 1992; Wannemacher and Wiener, 1997; De La Campa *et al.*, 2005; Kakde, 2017).

La contaminación de los alimentos con micotoxinas es un problema global. Los síndromes producidos por las micotoxinas, en humanos y animales ya eran conocidos hace largo tiempo, pero estaban consideradas dentro de las “enfermedades olvidadas”. A partir del descubrimiento de las aflatoxinas en el año 1960 y el

descubrimiento que las micotoxinas son un problema en la salud tanto humana como animal, las regulaciones se fueron estableciendo sobre el contenido máximo de estas en alimentos y forrajes. Primariamente se establecieron límites desde los países industrializados, sobre el contenido de aflatoxinas. En un principio eran límites sugeridos o aconsejados. Posteriormente el número de países con regulaciones pasaron de 33 en 1981, a 56 en 1987 y 100 países en 2003. Actualmente existen 13 micotoxinas diferentes o grupos de estas, y se han establecidos valores de contenidos con límites muy específicos para alimentos, forrajes y commodities (Van Egmond *et al.*, 2007; European Commission Regulation, 2007).

El presente trabajo se enfoca en el estudio de las micotoxinas denominadas fumonisinas (FBs) y DON. La “*United States Food and Drug Administration*” (FDA) establece un límite de 2 a 4 ppm de contaminación con FBs (FB1+ FB2+ FB3) en alimentos para humanos y de 15 a 30 ppm para alimentos de animales, dependiendo del tipo de animal (FDA, 2011). La Comisión de Regulación de la Unión Europea (UE) ha establecido un nivel máximo de 4 ppm (FB1+ FB2) en granos de maíz sin procesar y 1 ppm en productos procesados de maíz destinados a consumo humano y de 50 ppm para animales adultos rumiantes (European Commission Regulation [EC] 2007). Los límites admisibles varían según el país, inclusive en Argentina no está legislado el valor máximo para esta micotoxina, tomándose como referencia los valores antes citados.

Los límites establecidos por la FDA para DON están en 1 ppm para consumo humano, 5 a 30 ppm para animales, siendo los valores más altos para rumiantes (FDA, 2011). Para la Unión Europea los límites establecidos para consumo directo de harinas son de 0,75 ppm, pero en el caso de productos destinados a niños el valor se reduce a 0,20 ppm. Para rumiantes el límite es de 5 ppm (EC, 2007).

El conocimiento de la incidencia de fusariosis y producción de micotoxinas es de fundamental importancia para la industria del maíz duro en Argentina, debido a que el nivel de micotoxinas en granos es un parámetro de seguridad alimentaria crítico al

momento de clasificar los lotes de granos. Esto se debe a que el uso principal está dirigido al consumo humano como polenta, sémolas, cereales para desayuno o cereal adjunto en la industria cervecera. Para el norte del país existe poca información disponible. Se ha estudiado la presencia de micotoxinas en variedades de maíces nativos producidos en la región de la Puna en la provincia de Jujuy (Torres *et al.*, 2001). Según nuestro conocimiento, no habría otros estudios que cuantifiquen la incidencia anual de aparición de FBs y DON en híbridos de maíz duro en la región norte de Argentina.

Estas micotoxinas se presentan aparentemente en híbridos susceptibles y en siembras tardías, realizadas a partir de mediados de enero (Maggipinto, 2009. Comunicación personal). Los productores de la región reconocen que tienen mayor incidencia sintomática de estas enfermedades en maíces sembrados en la fecha mencionada. El empleo de fechas de siembras óptimas y cosechas anticipadas ha sido citado por diversos autores como prácticas de manejo tendientes a reducir el riesgo de exposición a la contaminación con micotoxinas (Maiorano *et al.*, 2009).

Fumonisinias: Basados en la estructura química, las fumonisinias son clasificadas en grupos A, B, C y P (Stepien *et al.*, 2011). El grupo más frecuentemente encontrado es el B y, dentro de este, la fumonisinina B₁ (FB₁) (Figura 4). La fumonisinina B₁ es tóxica en animales y seres humanos, asociada a la inhibición del metabolismo de los esfingolípidos y el ciclo de regulación celular (Desjardins, 2006). Algunos efectos tóxicos incluyen leucoencefalomalacia equina, edema pulmonar, cáncer en roedores, y estudios epidemiológicos sugieren que la fumonisinina podría estar asociada a cáncer de esófago y defectos del tubo neuronal en humanos (Rocha *et al.*, 2016).

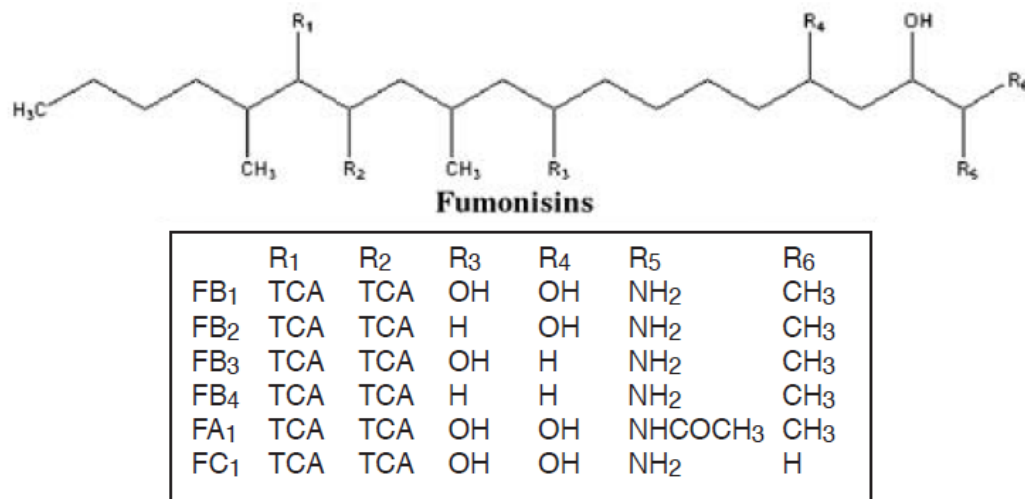
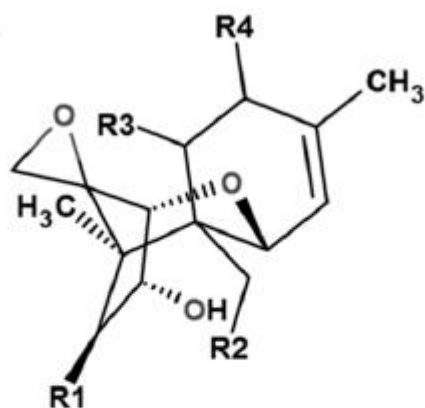


Figura 1. Estructura de las fumonisinas (Abbas *et al.*, 2007).

Tricotecenos: estos comprenden un vasto grupo de metabolitos secundarios que contienen un grupo epoxi, responsable de su actividad toxicológica. Son producidos por *Fusarium* spp. en todas las zonas de cultivo de cereales del mundo y este grupo está dividido en dos: A y B, principalmente diferenciados por la presencia de diferentes grupos funcionales en la posición C8 del tricoteceno (Shank *et al.*, 2011) (Figura 5).



DON (R₁=H; R₂=OH; R₃=OH; R₄=O)
 NIV (R₁=OH; R₂=OH; R₃=OH; R₄=O)
 T-2 (R₁=OAc; R₂=OAc; R₃=H; R₄=OIsoval)
 HT-2 (R₁=OH; R₂=OAc; R₃=H; R₄=OIsoval)

Figura 2. Estructura molecular de los tricotecenos (Ferrigo *et al.*, 2016).

El grupo A incluye principalmente a las toxinas T-2 y HT-2, diacetoxy- y monoacetoxy-scirpenol (DAS y MAS) y neosolaniol (NEO). El grupo B incluye deoxynivalenol (DON), nivalenol (NIV), 3-AcetylDON, 15-AcetylDON y fusarenone X (Abbas *et al.*, 2013; Koch, 2004). Algunas de estas toxinas fueron utilizadas como armas biológicas en la década de 1970 y 1980 en Afganistan, Laos y Camboya (Wannemacher and Wiener, 1997).

DON y NIV son los principales tricotecenos encontrados en granos infectados con *Fusarium* spp. La mayor prevalencia de DON se encuentra asociada a la especie *Fusarium graminearum* (Ward *et al.*, 2008). DON, también es conocida como vomitotoxina, es el tricoteceno más frecuentemente encontrado en cereales utilizados para la producción de alimentos para humanos y animal (Streit *et al.*, 2013). Puede producir efectos crónicos como reducción del crecimiento, anorexia, intoxicaciones agudas, inmunosupresión y efectos neuroquímicos (EFSA, 2004). En cerdos, como en vacunos, se han encontrado casos de desorden en las funciones reproductivas asociadas a efectos directos sobre la funcionalidad de los ovarios (Cortinovis *et al.*, 2014; Pizzo *et al.*, 2015).

1.4 Especies de *Fusarium* causantes de pudrición de espiga en maíz

Las especies más importantes de *Fusarium* spp. asociadas a la pudrición de la mazorca son: *Fusarium graminearum* y el grupo denominado FFSC (*Fusarium fujikuroi* species complex) compuesto por al menos cuarenta y cinco especies y ocho mating types, entre las que se mencionan a *F. verticillioides*, *F. subglutinans* y *F. proliferatum* (Al-Hatmi *et al.*, 2015). Evaluaciones realizadas sobre semillas de maíz mostraron alta incidencia de FFSC (mayor al 20% y hasta 100%), en cambio la incidencia de *F. graminearum* fue baja (Carmona y Scandiani, 2011). Relevamientos realizados en la provincia de Tucumán y Salta, en granos cosechados, también coinciden con una mayor frecuencia de *F. verticillioides* (Aguaysol *et al.*, 2013).

1.4.1 *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg: es un ascomiceto cuya fase sexual (teleomorfo) es muy difícil de encontrar en la naturaleza y se requieren condiciones especiales para observarla *in vitro*. La forma sexual recibe el nombre de *Gibberella moniliformis* Wineland, en alusión al sinónimo asexual *F. moniliformis* y es heterotálica ya que el apareamiento ocurre entre colonias de distintos grupos (Torres-Hernandez *et al.*, 2014; Leslie and Summerell, 2006).

Ciclo de infección. Este hongo es un patógeno facultativo, como otras especies del mismo género, si bien se encuentra en el suelo como saprofito solo representa el 10% o menos del *Fusarium* spp. presente en el suelo (Leslie and Summerell, 2013). Puede sobrevivir en rastrojo de maíz por al menos 630 días, principalmente porque los residuos de maíz en superficie pueden ser recolonizados por microconidios persistiendo en su ciclo saprofito, pero resulta menor la supervivencia en residuos que fueron incorporados al suelo. Estos residuos superficiales o bajo tierra son la principal fuente de inóculo y forma de persistencia de este hongo. La dispersión de esta especie es principalmente a través de microconidios los cuales se esparcen fácilmente con el viento pudiendo llegar hasta 300 o 400 km. La temperatura es aparentemente la más fuerte condición predisponente para la liberación de microconidios y cuyo óptimo estaría alrededor de 30°C (Rossi and Escandolara, 2009).

Cuando se siembra maíz en suelos infectados con este hongo, el micelio es capaz de provocar pudriciones radiculares, la muerte de los plantines, o infecciones asintomáticas dependiendo de las condiciones predisponentes asociadas principalmente a periodos de baja luminosidad (Oren *et al.*, 2003). La infección de la parte aérea del maíz comienza cuando los microconidios se depositan sobre las partes aéreas de la planta, si bien hay descritas infecciones a través de los estomas, la principal vía de ingreso es a través de los estigmas. El periodo de mayor susceptibilidad estaría alrededor 4 a 6 días posterior a la salida de los estigmas, donde

la hifa del hongo crece sobre la superficie de estos y, en los híbridos susceptibles, ingresa a través del canal estilar (Duncan and Howard, 2010). Existe una marcada diferencia de susceptibilidad entre los diferentes genotipos de maíz del mercado (Presello *et al.*, 2016). Otra vía de infección es a través de daños mecánicos. En este sentido, los insectos juegan un papel importante en la dispersión de esta especie, principalmente larvas de lepidópteros, coleópteros y trips (Munkvold, 2003; Blacutt *et al.*, 2018). Algunas de sus cepas producen infecciones asintomáticas de la semilla, las que se transmiten a la plántula afectando su emergencia (Yates *et al.*, 1997).

La sintomatología en la espiga de maíz se describe con la formación de un micelio blanquecino, disperso por la espiga y con la aparición de estrías típicas en los granos. Estas estrías de color blanquecino, están formadas por canales de aire dejados por el micelio debajo del pericarpio (Figuras 1 y 3).

Condiciones de alta humedad post floración son favorables para el desarrollo de esta enfermedad. Además, condiciones de estrés por sequía y altas temperaturas durante el llenado de grano son favorables para la producción de micotoxinas por este hongo, particularmente FBs (Levin *et al.*, 2003; Bush *et al.*, 2004).



Figura 3. Granos con estrías producidas por infección de *F. verticillioides* (Zaštita, 2018).

1.4.2 *Fusarium graminearum* Schwabe: Su forma sexual (teleomorfo) es *Giberella zae* (Schwein) Petch, es causante de la podredumbre rosada de la punta de la espiga y daños en el tallo del maíz, también está descrito como causante de la fusariosis en trigo en Argentina (Sampietro *et al.*, 2012). Esta especie es homotética y su forma sexual o perfecta es más frecuente en la naturaleza (Leslie and Summerell, 2006).

Ciclo de infección: La principal fuente de inóculo son los restos de cultivos anteriores en el suelo al igual que la especie descrita anteriormente. La infección primaria y además la mayor fuente de inóculo es a partir de ascosporas o macroconidios producidos sobre los rastrojos. Las ascosporas son liberadas de los peritecios cuando ocurren condiciones que siguen un patrón de deshidratación y rehidratación. Esta liberación normalmente ocurre durante la noche y no es necesario la ocurrencia de lluvia, inclusive la ocurrencia de fuertes lluvias puede inhibir la liberación de estas. Tanto las ascosporas como los macroconidios, son dispersados principalmente por las salpicaduras de las gotas de lluvias y en menor medida por el viento y los insectos (Munkvold, 2003; Ferrigo *et al.*, 2016).

La principal vía de infección es a través de los estigmas los cuales son susceptibles los 6 días posteriores a la emergencia de los mismos.

Los macroconidios germinan sobre los estigmas e invaden las células del parénquima del estigma o crecen superficialmente hacia la espiga en desarrollo (Miller *et al.*, 2007). La infección se inicia con la formación de un micelio blanco, que va descendiendo desde la punta de la espiga y da una coloración rojiza a rosada a los granos afectados.

Esta especie está asociada a la producción de micotoxinas, principalmente deoxinivalenol (DON), zearalenona y fusarina C. Las condiciones predisponentes son temperaturas moderadas de 16 a 28°C y condiciones de alternancia de ciclos de baja humedad relativa seguido de condiciones de alta humedad relativa (Munkvold, 2003).



Figura 4. Micelio de *Fusarium graminearum* sobre granos y espiga.

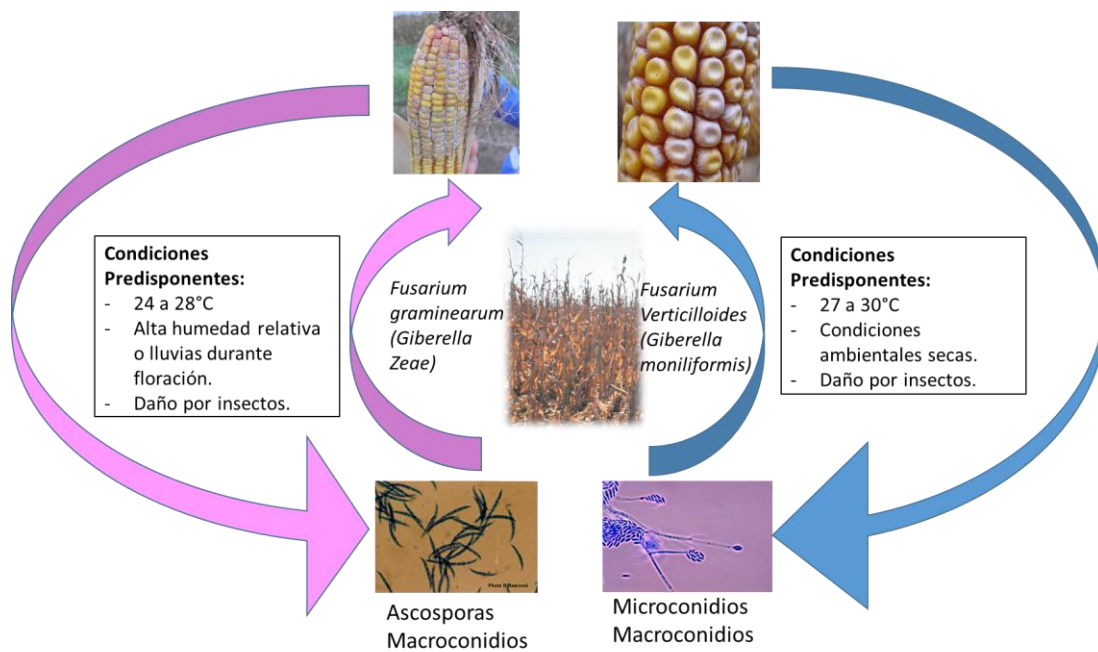


Figura 5. Ciclo de *Fusarium graminearum* y FFSC asociados a sus requerimientos ambientales favorables.

1.5 Control Químico de las podredumbres de espiga.

Es bien conocido que las micotoxinas son producidas solo por unas pocas células activas en el extremo del micelio, mientras este se desarrolla. La acumulación de micotoxinas ocurre como resultado de la acumulación de micelio nuevo sobre el tejido vegetal (Miller, 2001). Limitar el desarrollo del micelio mediante el uso fungicidas preventivos o curativos podría ser una posible estrategia para evitar la acumulación de micotoxinas por sobre los límites de seguridad establecidos por la UE y la FDA (Blandino *et al.*, 2008).

La utilización de control químico de *Fusarium* spp. en maíz no está bien documentada, existen referencias de que fungicidas sistémicos del grupo de los bencimidazoles podrían tener algún control sobre *F. graminearum* (Carmona y Scandiani, 2011). Fungicidas del grupo de los triazoles han sido mencionados como los más eficaces para el control de *F. culmorum* (W.G. Smith) Sacc. en trigo, aun cuando los controles no han sido totales a nivel de parcela (Homdork *et al.*, 2000), se han reportado muy buenos niveles de control a nivel de laboratorio en *F. graminearum* (Ramírez *et al.*, 2004). Por otra parte, lograron una reducción del 50% en el contenido de deoxynivalenol (DON) y daños por *F. graminearum* en plantas de trigo tratadas con tebuconazole (Hershman *et al.*, 2001). Además, aplicando triazoles en maíz se logró un buen control de micotoxinas en el norte de Italia asociadas a *F. verticillioides* y *F. proliferatum* (De Curtis *et al.*, 2011). Por otra parte, se reportó un control del 78% sobre el nivel de contaminación con FBs en maíz con la utilización de metconazole (Rasera *et al.*, 2010). La utilización de epoxiconazole y metconazole, fungicidas del grupo de los triazoles de la familia de los inhibidores del ergosterol con acción sistémica y de prolongada residualidad, podrían ser fungicidas que permitan controlar el desarrollo de *F. verticillioides* y *F. graminearum*. en la espiga de maíz.

El uso de estrobilurinas en maíz para el control *Fusarium* spp. presenta resultados disímiles. En Sudáfrica, la aplicación de azoxystrobin mas difenoconazole no obtuvo

resultados significantes en la reducción de FBs asociadas a *F. verticillioides* (Small *et al.*, 2012). Por otra parte, se reporta una reducción de nivel de *F. graminearum* en trigo con la utilización de estrobilurinas (Pirgozliev *et al.*, 2002). También se ha reportado que la aplicación de fungicidas como estrobilurinas, carbendazim, difenoconazole, en dosis sub letales en trigo, ha producido un aumento en la producción de DON (Obst *et al.*, 1997; Marín *et al.*, 2013). En maíz existen reportes donde no se encontró efectividad para el control con la mezcla de azoxistrobin mas propiconazole por una parte y prothioconazole o pyraclostrobin por otra. Pero en el mismo experimento tampoco se encontraron diferencias en el contenido de DON (Anderson *et al.*, 2017).

2 HIPOTESIS

H1 - Existe en el norte argentino contaminación con fumonisina (FBs) y deoxinivalenol (DON) en granos de maíz duro proveniente de siembras tardías destinado a producción alimenticia y su distribución es variable según zona.

H2 - La utilización de fungicidas del grupo de los triazoles y estrobilurinas de acción preventiva, sistémica y curativa ayudarán en la disminución y/o prevención de la contaminación de granos con micotoxinas de *Fusarium* spp. en concordancia con los niveles pre establecidos por los diversos organismos reguladores y países compradores.

3 OBJETIVOS GENERALES

Evaluar la incidencia y severidad de síntomas de infecciones causadas por *Fusarium* spp. y las concentraciones de FBs y DON presentes en maíz duro en localidades representativas del norte argentino e identificar su posible estrategia de control.

3.1 Objetivos específicos:

a) Determinar la incidencia y severidad de síntomas causados por *Fusarium* spp. y las concentraciones de FBs y DON presentes en granos de híbridos de maíz duro, en diversas localidades del Norte Argentino.

b) Evaluar la utilidad de métodos de control químico en el tratamiento de las fusariosis de espiga tanto a nivel de síntomas como a nivel de concentración de FBs y DON mediante el uso de fungicidas del grupo de los triazoles y estrobilurinas en dos momentos de aplicación.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Análisis de registros históricos de dos bases de datos.

La información de estas bases de datos fue generada a partir de datos colectados en muestreos de rutina en plantas de acopio destinadas exclusivamente a la recepción y almacenamiento de maíz duro destinado a la molienda seca en el periodo comprendido entre el 2010 y 2015. En dichas plantas, se lleva un registro preciso de la calidad al momento del recibo del grano y durante el almacenaje del mismo. Además, estas cuentan con un programa de identidad preservada asegurando la trazabilidad del maíz desde el campo hasta el producto final. Dentro de este programa de “Identidad Preservada” existen dos bases de datos de calidad vinculadas entre sí, que fueron utilizadas como fuente de información para esta tesis. Una con el registro de calidad comercial del grano que ingresa a la planta con datos específicos de daño por *Fusarium* y la segunda con registros de monitoreo de calidad del grano ya almacenado (Figura 6).

4.1.1 Bases de datos.

a) Base de datos 1: Recibo de granos en planta de acopio.

Se agruparon y normalizaron las bases de datos de tres plantas de acopio de cereales, considerando la información de los registros históricos de muestras de recibo de grano de maíz duro destinado a la molienda seca de 13.493 camiones ingresados. Los datos corresponden a seis años consecutivos desde 2010 al 2015, tres áreas geográficas y diez genotipos de maíz. Los registros provienen de muestras individuales por camión a partir de sub-muestras del calado de ocho posiciones en cada camión para formar una muestra de 3 kg. Las sub-muestras fueron mezcladas y homogeneizadas mediante un homogeneizador tipo Boerner de 56 celdas.

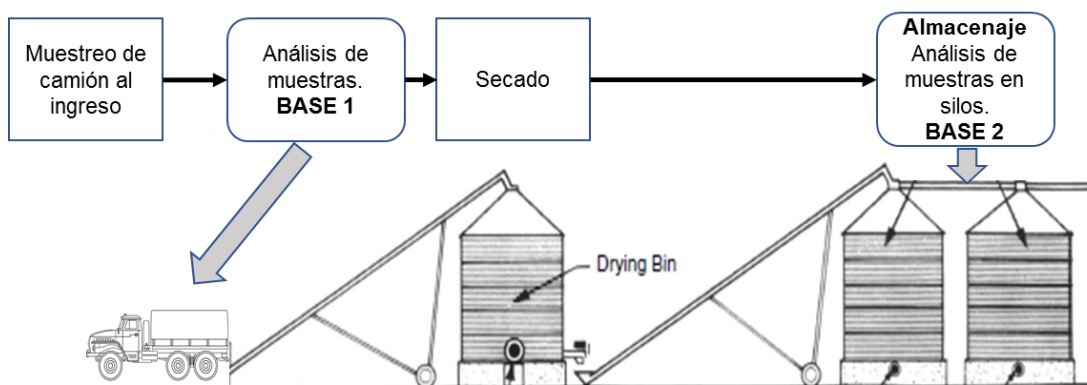


Figura 6. Flujo de granos de maíz y puntos de muestreo para bases de datos 1 y 2.

Las regiones de origen de las muestras fueron:

i) **Chaco:** con epicentro localizado en la ciudad de Charata (S 27°13,651'; O 61°11,779') tomando como zona de influencia los Departamentos 9 de Julio, 12 de Octubre, Chacabuco en la provincia del Chaco y los Departamentos Alberdi y Moreno de la provincia de Santiago del Estero;

ii) **Tucumán:** ubicada en la localidad de La Virginia (S 26°45,153; O 64°47,695) con zona de influencia en los departamentos Burreyacu y Cruz Alta de la misma provincia;

iii) **Salta:** en la localidad de Piquete Cabado (S 24°49,228'; O 64°10,771') con zona de influencia en el departamento de Anta en la Provincia de Salta (Figura 7).

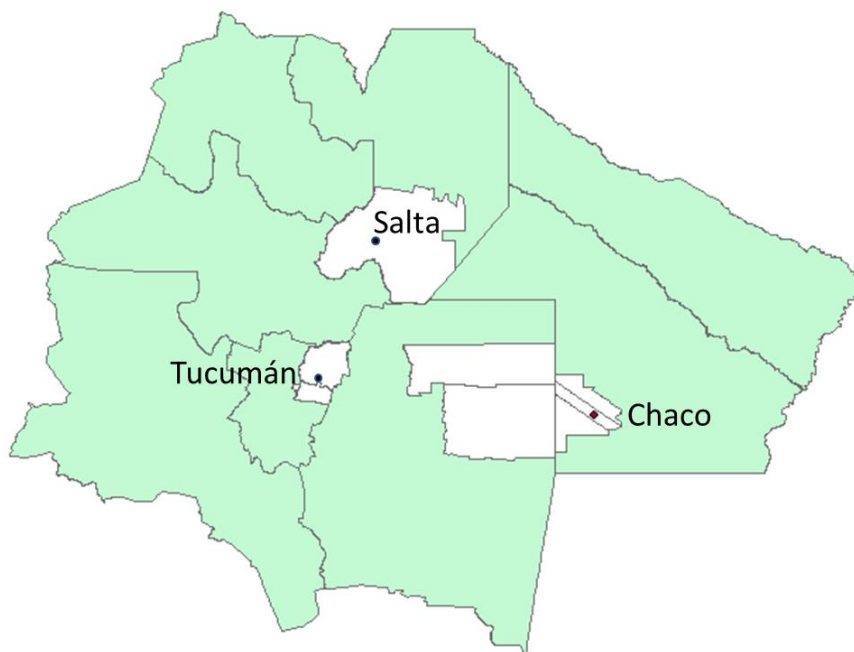


Figura 7. Localidades de origen y área de influencia de las muestras correspondientes a las bases de datos 1 y 2 para los periodos de 2010 al 2015 y 10 híbridos de maíz duro.

Los híbridos de maíz recibidos incluyeron materiales no transgénicos conformados por los híbridos comerciales AVANT y NK135 de Syngenta Semillas; P30P70 y P3041 de Pioneer Semillas; DK 910 y DK 390 de Dekalb Semillas. Un segundo grupo de híbridos con eventos transgénicos de resistencia a insectos conformado por P30P70Hx, P3115Hx de Pioneer Semillas; DK390VT3P de Dekalb Semillas y DS2A120Hx de Dow Semillas (Tabla 1)

Tabla 1: Híbridos de maíz transgénicos y no transgénicos recibidos en las 3 plantas de acopio correspondientes a la base de datos 1 y 2 del norte de Argentina para los años 2010 al 2015 en las 3 localidades.

Genotipos transgénicos	Genotipos no transgénicos
P30P70Hx (Pioneer)	P30P70 (Pioneer)
P3115Hx (Pioneer)	P3041 (Pioneer)
DK390VT3P (Dekalb)	DK910 y DK390 (Dekalb)
DS2A120Hx (Dow AgroSciences)	AVANT y NK135 (Syngenta)

Cada muestra tenía registro de año de cosecha, zona de origen e híbrido, datos de calidad comercial (humedad, % de granos infectados, % quebrados, etc.) y de granos infectados por *Fusarium* spp. Los datos correspondientes a presencia de la enfermedad fueron expresados como **prevalencia en muestra de camión expresada a partir de aquí solo como “Prevalencia”**, la cual es una variable cualitativa que se expresa en la relación entre muestras con daño por fusarium sobre el total de muestras de un mismo grupo **según las ecuaciones (1)(2)**. Las muestras fueron clasificadas en dos categorías: **0** = la muestra no presenta granos infectados por *Fusarium* spp. y **1** = la muestra presenta granos infectados por *Fusarium* spp.

$$\text{Prevalencia Zona} = \frac{\text{Mi Zona}_i}{\text{Mt Zona}_i} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Prevalencia Año}_i = \frac{\text{Mi Año}_i}{\text{Mt Año}_i} \times 100 \quad (2)$$

Mi es muestras infectadas con *Fusarium* spp.

Mt es el total de muestra.

i es grupo de muestras .

incidencia en granos: entendiéndose como la proporción de granos infectados con *Fusarium* spp. sobre el total de granos de la muestra expresado como una variable cuantitativa representada por la relación peso/peso expresada en porcentaje (Seem R.C.,1984). Para la determinación de los granos infectados por fusariosis se utilizó el

método visual en función de la sintomatología, considerando granos infectados por esta patología cuando presentaban el estriado característico o una coloración rosada o rojiza (Figura 3 y 4).

b) Base de datos 2: Contenido de Fumonisina (FBs) y deoxinivalenol (DON) en híbridos de maíz duro:

Esta base de datos se consolidó a partir de datos provenientes de lotes de granos de maíz duro almacenados en silos iguales o mayores a 1.000 ton. Estos granos corresponden a los ingresados y registrados en la base de datos 1. Se registraron las variables: tipo de híbrido (OGM o No OGM), porcentaje de granos dañado por *Fusarium* spp. expresado como porcentaje de peso en peso, contenido de FBs y DON.

Para la determinación de FBs y DON se empleó la metodología de inmunoensayos (ELISA) competitivos para lo cual se utilizó los kits AgraQuant® Total Fumonisin Quantitative Kit (0,25-5 ppm) y AgraQuant® DON Quantitative Kit (0,25-5 ppm) (Romer Labs, Inc.-America-Union, MO, USA) respectivamente. Las muestras de granos de maíz fueron molidas utilizando un molino de laboratorio Buhler-MIAG regulado para obtener una granulometría tal que permitiera pasar el 95% de la muestra a través de una malla de 20 mesh (normas A.S.T.M.), luego fueron homogeneizadas y subdivididas hasta obtener, por cada muestra, dos sub muestras de 20 g cada una.

El procedimiento siguiente fue similar para ambas determinaciones utilizando su respectivo kit de pocillos recubiertos con anticuerpo específico para cada micotoxina. Una vez finalizada se realizó la medición utilizando un espectrofotómetro (Stat Fax® 4700 Micro strip Reader) con un filtro de 450 nm. Para el análisis de las lecturas se utilizó una hoja de cálculo provista por Romer Lab provista junto al kit AgraQuant®, donde ajusta una regresión con los patrones utilizados teniendo la precaución de verificar que el valor del estadístico R^2 debe ser igual o mayor a 0,985.

4.1.2 Clasificación de los años y zonas.

El fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS) es producto de la interacción entre el clima y la zona ecuatorial del océano Pacífico (Grimm *et al.*, 1998). Variaciones en las temperaturas superficiales de esta zona del océano produce variaciones en condiciones climáticas en diferentes zonas del mundo por periodos variables en cuanto a su frecuencia y amplitud. Existen tres fases, la que da el nombre al fenómeno, denominada El Niño (EN) caracterizada por un calentamiento de la superficie oceánica respecto a la temperatura media; la fase La Niña (LN) producto de un enfriamiento de la superficie del océano Pacífico y una fase Neutra intermedia entre ambas. Las manifestaciones más conocidas son cambios en la cantidad de precipitaciones y variaciones en la temperatura dependiendo que fase se encuentra activa y que zona del mundo analizamos (Rishma and Katpatal, 2016). Sudamérica y en particular Argentina está fuertemente afectada por este fenómeno con marcadas variaciones entre regiones, inclusive ante una misma fase del fenómeno (Grimm *et al.*, 2000).

Dada la diferente expresión del fenómeno de El Niño (ENSO) en la región norte de Argentina, se clasificaron los años en función de este fenómeno.

Para el fenómeno ENSO se utilizó la tabla de clasificación por trimestres publicada por el NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration - U.S. Department of Commerce) tomando en consideración el trimestre Febrero-Marzo-Abril (NOAA) considerando este periodo como el momento crítico de la infección por *Fusarium* spp. durante la floración en las regiones en estudio (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de años en función del fenómeno ENSO a partir del Oceanic Niño Index (ONI) para el trimestre Feb-Mar-Abr (NOAA, 2018).

	Niña (LN)	Neutro	Niño (EN)
2010			0,9
2011	-0,8		
2012	-0,5		
2013		-0,2	
2014		-0,2	
2015			0,6

La utilización de imágenes satelitales espectrales y el procesamiento de estas mediante algoritmos e índices matemáticos son ampliamente utilizados para analizar el estado de los cultivos. Uno de los índices más utilizados es el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) el cual permite conocer el estado de la vegetación utilizando una relación de reflectancia entre el rojo y el infra rojo cercano. Comparando una media de estos valores, se clasificaron los años y las zonas en función del índice verde (NDVI) como una manera indirecta de analizar el estado de estrés de los cultivos en el momento crítico de la infección por *Fusarium* spp. cercano al momento de la floración (Aralova *et al.*, 2016).

Para calificar en función del índice NDVI se utilizó la relación entre el promedio del bimestre marzo-abril del año en consideración, sobre el mismo periodo de meses del promedio de 19 años (2000 al 2018), los promedios fueron calculados para cada zona considerando solamente los departamentos considerados en el punto 4.1.1.a. Tomando como criterios de clasificación los siguientes valores: HUMEDOS ≥ 1.05 ; NEUTROS <1.05 y >0.99 ; Secos ≤ 0.99 (GLAM-INTA) (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de años en función a la relación de valores de NDVI del año y el promedio de 19 años para el bimestre Marzo-Abril.

	Chaco	Tucumán	Salta
Seco	2012/2013	2012/2013 2015	2012/2013
Neutro		2014	2014/2015
Húmedo	2010/2011 2014/2015	2010/2011	2010/2011

4.1.3 Análisis estadístico.

La prevalencia, al ser una variable cualitativa, se categorizó y analizó mediante tablas de contingencia y utilizando la prueba de proporciones del estadístico Chi cuadrado. Esta herramienta permite identificar asociaciones con otras variables categóricas y ha sido utilizada en otros estudios epidemiológicos (Di Rienzo *et al.*, 2018; Beuther and Sutherland, 2007). Se tomaron las siguientes consideraciones:

- i) Las comparaciones entre zonas se realizaron utilizando como criterios de clasificación las zonas y la prevalencia (0 = la muestra no presenta daño y 1 = la muestra presenta daño en granos por *Fusarium* spp.).
- ii) Para el análisis de la prevalencia interanual se utilizó como criterio de clasificación los años y la prevalencia y luego se repitió el análisis utilizando como criterio de estratificación las zonas.
- iii) Para analizar la prevalencia en función del fenómeno ENSO (El Niño Southern Oscillation, NOAA), se utilizó la zona como criterio de estratificación y para los criterios de clasificación el fenómeno ENSO (LN-Neutro-EN) y la prevalencia.
- iv) Para analizar la prevalencia en función del NDVI (GLAM – INTA), se utilizó la zona como criterio de estratificación y como criterio de clasificación el índice NDVI (Seco-Neutro-Húmedo) junto con la prevalencia.

v) Para analizar la prevalencia en función del tipo de híbrido, se utilizó la zona como criterio de estratificación y como criterio de clasificación el tipo de híbrido (OGM y NO OGM) y la prevalencia. Solo se consideraron los años 2012 y 2013 donde estuvieron presentes ambos tipos de germoplasmas de maíz.

Para estimar la probabilidad de ocurrencia de fusariosis se utilizó un modelo similar al utilizado para describir las probabilidades de ocurrencia de enfermedades en seres humanos en función de otros factores (Beuther and Sutherland, 2007). Se utilizaron tablas de contingencia, pero se realizó la comparación de pares para poder obtener la proporción (OR = Odd Ratio):

i) Para establecer las probabilidades según el fenómeno ENSO se utilizó como criterio de estratificación la clasificación de los años según el fenómeno ENSO y como criterio de clasificación las zonas de a pares junto a la prevalencia.

ii) Para establecer las probabilidades según el cociente NDVI se utilizó como criterio de estratificación la clasificación de los años según NDVI y como criterio de clasificación las zonas de a pares junto a la prevalencia.

iii) Para establecer las probabilidades según el tipo de híbrido se utilizó como criterio de estratificación las zonas y como criterio de clasificación los tipos de híbridos (OGM y NO OGM) junto a la prevalencia.

Para el análisis estadístico de la incidencia, en la base de datos 1, sobre los valores obtenidos se realizó una transformación aplicando el Ln para normalizarlos. Tomando las siguientes consideraciones:

i) **Zona:** Se utilizó un modelo lineal mixto con zona como efecto fijo, año e híbrido como efecto aleatorio. Se comprobaron los supuestos de normalidad e independencia a través de un gráfico Q-Q Plot. El modelo presentó heterocedasticidad por lo que se modeló seleccionando la función de varianza identidad (varIdent). Se realizó una comparación múltiple entre medias de tipo LSD de Fisher. Se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

ii) **Años:** Se utilizó un modelo lineal mixto con año como efecto fijo, zona e híbrido como efecto aleatorio. Se comprobaron los supuestos de normalidad e independencia a través de un gráfico Q-Q Plot. El modelo presentó heterocedasticidad por lo que se modeló seleccionando la función de varianza identidad (varIdent). Se realizó una comparación múltiple entre medias de tipo LSD de Fisher. Se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

iii) **Clasificación ENSO:** Se utilizó un modelo lineal mixto con la interacción ENSO por zona como efecto fijo e híbrido como efecto aleatorio. Se comprobaron los supuestos de normalidad e independencia a través de un gráfico Q-Q Plot. El modelo presentó heterocedasticidad por lo que se modeló seleccionando la función de varianza identidad (varIdent). Se realizó una comparación múltiple entre medias de tipo LSD de Fisher. Se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

iv) **Clasificación NDVI:** Se utilizó un modelo lineal mixto con particionado por zonas, la clasificación según NDVI (Seco, Neutro y Húmedo) como efecto fijo y año e híbrido como efecto aleatorio. Se comprobaron los supuestos de normalidad e independencia a través de un gráfico Q-Q Plot. El modelo presentó heterocedasticidad por lo que se modeló seleccionando la función de varianza identidad (varIdent). Se realizó una comparación múltiple entre medias de tipo LSD de Fisher. Se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha=0,10$.

Todos los análisis se realizaron con el programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2018).

Para el análisis estadístico de los valores de concentración de micotoxinas se utilizó un modelo lineal mixto con las siguientes consideraciones:

i) **Zonas:** La zona como efecto fijo, año e híbrido como efecto aleatorio. Se comprobaron los supuestos de normalidad e independencia a través de un gráfico Q-Q Plot. Se realizó una comparación múltiple entre medias de tipo LSD de Fisher. Se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

ii) **Año:** La variable año como efecto fijo, zona e híbrido como efecto aleatorio. Se comprobaron los supuestos de normalidad e independencia a través de un gráfico Q-Q

Plot. Se realizó una comparación múltiple entre medias de tipo LSD de Fisher. Se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha=0,01$. **ENSO:** Para el análisis se particionó en función de la variable clasificación ENSO. Se utilizó la variable zona como efecto fijo y año e híbrido como efecto aleatorio. Se comprobaron los supuestos de normalidad e independencia a través de un gráfico Q-Q Plot. Se realizó una comparación múltiple entre medias de tipo LSD de Fisher. Se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

iii) **NDVI:** Para el análisis se particionó en función de la variable clasificación NDVI. Se utilizó la variable zona como efecto fijo y año e híbrido como efecto aleatorio. Se comprobaron los supuestos de normalidad e independencia a través de un gráfico Q-Q Plot. Se realizó una comparación múltiple entre medias de tipo LSD de Fisher. Se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

iv) **OGM/NO OGM:** Se utilizó la variable OGM como efecto fijo, año y zona como efecto aleatorio. Se comprobaron los supuestos de normalidad e independencia a través de un gráfico Q-Q Plot. Se realizó una comparación múltiple entre medias de tipo LSD de Fisher. Para el análisis de las zonas se utilizó estas como criterio de partición. En ambos casos se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

El análisis se realizó con el programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2018).

4.2 Relevamiento de daño de *Fusarium* asociadas a contaminación con FBs y DON a partir de espigas de maíz del norte argentino.

Se realizaron muestreos durante la campaña 2014 y 2015 de los híbridos de maíz duro Pioneer P30P70Hx con una menor susceptibilidad a podredumbre de espigas (Pioneer semillas 2010) y Dekalb DK390VTP caracterizado en la región por mayor susceptibilidad a podredumbre de espiga (Comunicación personal) a los fines de determinar la presencia y abundancia de especies de *Fusarium* spp., potenciales productoras de micotoxinas.

Las localidades tomadas para el muestreo representan las principales zonas de producción de maíz del norte de Argentina y se corresponden con las localidades mencionadas en la base de datos 1. La primera representada por la localidad denominada **Chaco**: Gancedo en la provincia del Chaco (S 27°29,235´; O 61°40,662´); la segunda localidad denominada **Salta**: Piquete Cabado en la provincia de Salta (S 24°49,228´; O 64°10,771´) y la tercera localidad **Tucumán**: Gobernador Piedrabuena (S 26°44,302´; O 64°39,055´) en la provincia de Tucumán (Figura 6).

Se seleccionaron al azar lotes de producción comercial representativos de cada híbrido y de cada zona. Se determinó la prevalencia de *Fusarium* spp. en los lotes. En cada lote se tomaron manualmente 50 espigas al azar cuando el grano alcanzó una humedad de 14,5% a 16,5%. Luego fueron secadas a temperatura ambiente a un contenido de humedad menor o igual a 14% antes de ser procesadas. Las variables medidas fueron: a) **Incidencia en espigas**, se tomó considerando el número de espigas afectadas sobre el total de espigas evaluadas; b) **Severidad en espigas**, entendiendo por tal la proporción de la espiga afectada considerando a la espiga como entidad de muestreo (Seem R.C., 1984), utilizando una escala diagramática, donde cada punto de la escala representa un rango de porcentaje de la espiga afectada. Siendo 1 = 0%, 2 = 1-3%, 3 = 4-10%, 4 = 11-25%, 5 = 26-50%, 6 = 51- 75% y 7 = 76-100% (Reid *et al.*, 1996) (Figura 8).

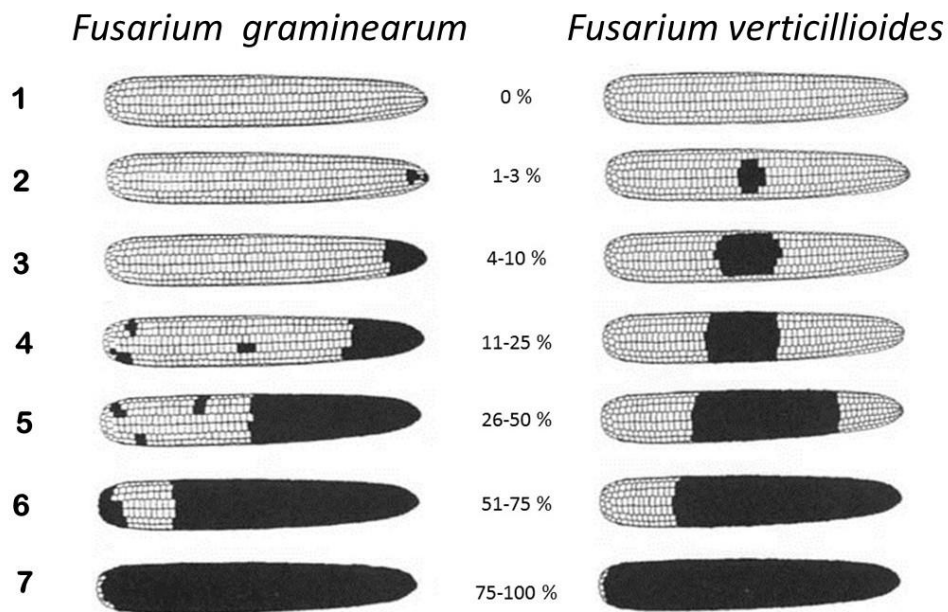


Figura 8. Escala diagramática de severidad de síntomas de Fusariosis de la espiga de maíz. Imagen tomada de Papst *et al.*, 2007, basado en Enerson y Hunter, 1980.

Se homogeneizó la muestra y se dividió hasta obtener una muestra de 1 kg para determinar micotoxinas (FBs y DON) y porcentaje de granos infectados por *Fusarium* spp.

El contenido de DON y FBs se analizó mediante la metodología de inmunoensayos como se explicó en el inciso 4.1.1.b.

La incidencia y severidad de síntomas de la enfermedad fue analizada utilizando un modelo lineal mixto con genotipo, localidad y la interacción entre ambos, como efectos fijos. Se comprobaron los supuestos de normalidad e independencia a través de un gráfico Q-QPlot realizando una correcta aleatorización durante el muestreo. El modelo presentó heterocedasticidad por lo que se modeló seleccionando la función de varianza identidad (varIdent). Se realizó una comparación múltiple entre medias de tipo LSD de Fisher y DGC (prueba de formación de grupos excluyentes). Se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$. Por otra parte, se realizó una regresión lineal utilizando como variable dependiente el porcentaje de granos infectados por

Fusarium spp. y como variable regresora la incidencia expresada como espigas afectadas para cada híbrido. Los análisis se realizaron con el programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2018).

Adicionalmente se recopilaron datos climáticos correspondientes a las estaciones meteorológicas más cercanas a los puntos de muestreo para el periodo de aparición de estigmas y madurez fisiológica (Tabla 4).

Tabla 4. Variables climáticas para las localidades Piquete Cabado (Salta), Gob. Piedrabuena (Tucumán) y Gancedo (Chaco) durante las campañas 2014 y 2015. La información fue tomada a partir de las estaciones meteorológicas más cercanas.

Variables climáticas*	2014					
	Aparición estigmas			Madurez fisiológica		
	Tucumán	Salta	Chaco	Tucumán	Salta	Chaco
Tprom (°C)	23,04	27,56	17,77	16,33	12,26	15,67
Tmin (°C)	16,62	20,95	13,03	9,68	6,55	10,32
Tmax (°C)	29,45	34,17	22,5	22,98	17,97	21,02
HR (%)	82,9	67,4	88,5	83,25	82,96	86,00
P diarias (mm)	0,42	3,81	0	0,08	0,87	0,79

Variables climáticas*	2015					
	Aparición estigmas			Madurez fisiológica		
	Tucumán	Salta	Chaco	Tucumán	Salta	Chaco
Tprom (°C)	26,05	28,41	28,04	12,59	18,27	14,86
min (°C)	20,18	23,03	21,36	4,15	14,10	9,20
Tmax (°C)	31,91	33,78	34,71	21,03	22,45	20,53
HR (%)	89,00	71,43	79,2	86,75	85,39	74,67
P. diarias (mm)	11,15	3,12	29,85	0,06	0,03	72,00

* Tprom: temperatura promedio entre la máxima y la mínima diaria, Tmin: temperatura mínima diaria, Tmax: temperatura máxima diaria, HR: humedad relativa, P: precipitaciones diarias.

4.3 Evaluación de tratamiento con fungicidas del grupo de los triazoles y estrobilurinas sobre el nivel de severidad de síntomas y la acumulación de fumonisinas causadas por *Fusarium* spp.

El ensayo fue localizado en el establecimiento Doña Carmen Norte propiedad de la firma Agropecuaria Don David S.A. (S 27° 36,862' W 62° 01,407'), próximo a la localidad de Roversi, en la provincia de Santiago del Estero. La zona está caracterizada con un clima sub-tropical o templado cálido con estación invernal seca. Las temperaturas máximas anuales promedian los 28,1°C y las mínimas 14,9°C. Tiene un periodo libre de heladas de 256 días. La precipitación promedio de 946 mm anuales con una fuerte variación interanual de 513,5 mm a 1550,1 mm con una fuerte concentración en los meses de verano, decreciendo de Este a Oeste.

La elección del lote se realizó en base a los antecedentes de ocurrencia de fusariosis en años anteriores. El lote posee un suelo franco profundo, clasificado como haplustol údico, de la serie Roversi (Herrera, 2009). La siembra se realizó el 10 de enero del 2014 con el híbrido de DKB390VT3P de Dekalb® Semillas, el mismo posee resistencia a herbicidas y a insectos incorporado en la tecnología Genuity VT Triple Pro de Monsanto®. La densidad de siembra media fue de 49.000 plantas por hectárea. Dentro del lote de 300 has se buscó un sector con condiciones predisponentes para el desarrollo de la enfermedad con bajos niveles de fertilidad y afectados por malezas (Maiorano *et al.*, 2009).

Las variables analizadas fueron: i) Incidencia de espigas; ii) Severidad, para esta variable y la anterior las espigas fueron procesadas y clasificadas como se explicó en el punto 4.2; iii) Incidencia de granos afectados por *Fusarium* spp. expresados en % p/p; iv) FBs, v) DON. Para determinar estas tres últimas variables, los granos obtenidos de cada parcela fueron homogeneizados y divididos hasta obtener una muestra de 1 kg. Se determinó el contenido de FBs y DON mediante prueba ELISA, se empleó la metodología de inmunoensayos (ELISA) competitivos para los cual se utilizó

el kit AgraQuant® Total Fumonisin Quantitative Kit (0,25 - 5 ppm) y AgraQuant® DON Quantitative Kit (0,25 - 5 ppm) (Romer Labs, Inc.-America-Union, MO, USA) respectivamente, como se explicó en 4.1.1b. Además, en cada unidad experimental se registró porcentaje de plantas volcadas y por otra parte daño por insectos y aves, expresado como porcentaje de espigas dañadas sobre el total de espigas con el fin de determinar vías alternativas de infección a la de los estigmas.

El experimento constó de un tratamiento testigo sin aplicaciones y dos tratamientos con fungicidas:

1) Metconazol 2,75% + Epoxiconazole 3,75%, marca comercial Duett Plus® de BASF a una dosis de 1500 ml/ha.

2) Una combinación de Pyraclostrobin al 26% mas Epoxiconazole al 16%, marca comercial Abacus® de BASF a una dosis de 350 ml/ha.

Ambas dosis son las recomendadas por los fabricantes, en el caso del Duett Plus® es la dosis recomendada para trigo ya que no hay registro de dicho producto para maíz. Además, dos sub tratamientos según el momento de aplicación: a) Antesis y b) 10 días posteriores a la antesis (Figura 9).

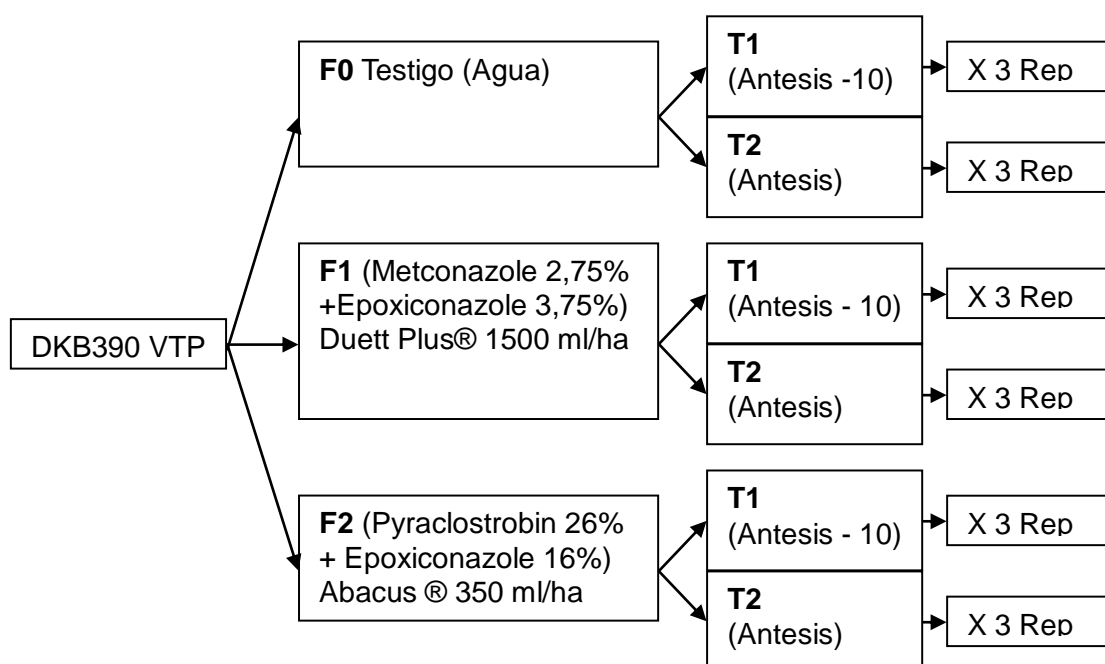


Figura 9. Diagrama de tratamientos ensayo de dos fungicidas por dos momentos de aplicación en la localidad de Roversi para la campaña 2014.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar. Las aplicaciones de fungicidas fueron realizadas utilizando una mochila de presión constante de dióxido de carbono, con barra vertical de 4 picos cónico 0,15 gal/min a 2 atm de presión.

Cada unidad experimental estuvo compuesta de 4 surcos de 7 mts, donde se tomó las espigas de los dos centrales para realizar las determinaciones. Las espigas fueron recolectadas cuando la humedad del grano alcanzó 14,6%.

El efecto de los diferentes tratamientos sobre las variables severidad e incidencia de granos infectados y contenido de micotoxinas fueron analizadas mediante ANAVA. Se realizó una comparación múltiple entre medias de tipo LSD de Fisher. Se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$. El análisis se realizó con el programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2018).

5 RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Análisis de registros históricos de recibo de granos.

La prevalencia en muestras e incidencia de grano infectado por *Fusarium* spp. y concentración de FBs y DON en híbridos de maíz duro presentó diferentes comportamientos. La prevalencia fue diferente según el análisis que incluyó zonas, años y condición de transgénesis del material vegetal que le permite evitar daños por lepidópteros.

5.1.1 Base de datos 1.

5.1.1.1 Zonas

Cuando se evaluó la variable prevalencia como promedio de las tres zonas, teniendo en cuenta los cinco años y ambos tipos de híbrido, la misma alcanzó el valor de 46%. Analizando la prevalencia entre zonas, por medio de tablas de contingencia, para determinar si las proporciones eran similares entre estas, las misma presentaron diferencias altamente significativas (Chi Cuadrado $p < 0,0001$). La menor prevalencia fue observada en Chaco, con una diferencia de 17% y 26% menor que lo encontrado en Tucumán y Salta respectivamente. Basado en estos datos podemos afirmar que las probabilidades de tener daño por *Fusarium* spp. en muestras de maíz colorado duro son menores en Chaco y mayores en Salta (Tabla 5).

Tabla 5. Prevalencia de *Fusarium* spp. en maíz duro en tres zonas del norte argentino.

Zona	n	Prevalencia (%)
Chaco	5407	30,63
Tucumán	1342	48,06
Salta	6744	57,1

(Chi Cuadrado Pearson: $p < 0.0001$)

La diferencia en la prevalencia observada entre las tres zonas, podría deberse a varios factores como ser las condiciones climáticas, diferentes especies de *Fusarium* spp. presentes en cada zona y proporciones variables de híbridos, asociado a su mayor o menor susceptibilidad a la enfermedad, en cada zona.

La incidencia para el conjunto de zonas se presenta en la Tabla 6. Se observa que existen diferencias significativas en Chaco y Tucumán con menores valores que Salta. En todas las zonas la incidencia de granos infectados por *Fusarium* spp. fue muy baja, en base a una escala de 1 a 100, sin embargo, en Salta fue un 0,47% y 0,41% más elevado que en Chaco y Tucumán respectivamente.

Tabla 6. Incidencia media de granos infectados por *Fusarium* spp. en muestras de recibo (n=13493). Medias con una letra común no son significativamente diferentes, LSD Fisher (Alfa=0,05).

Zona	Incidencia
Chaco	0,43 % c
Tucumán	0,49 % b
Salta	0,90 % a

El comportamiento de las variables prevalencia e incidencia en las tres zonas fue coincidente, siempre con menores niveles en Chaco, medios en Tucumán y mayores en Salta.

5.1.1.2 Años

El análisis de la prevalencia de muestras de grano de maíz duro con *Fusarium* spp. en función a los años se presenta en la Tabla 7. Para el período comprendido entre 2010 y 2015 se observó que la menor prevalencia de *Fusarium* spp. fue en el año 2013 y la mayor en el año 2014 con valores de 22% y 66% respectivamente. Los únicos años que no presentaron diferencias significativas fueron el 2011 y 2015 con niveles intermedios de prevalencia (49% y 47% respectivamente).

Tabla 7. Prevalencia de *Fusarium* spp. por año considerando las tres zonas (Chaco, Tucumán y Salta). (Chi Cuadrado Pearson: $p < 0,0001$)

Año	Prevalencia	Rango
2010	61%	28% a 100%
2011	49%	4% a 74%
2012	38%	7% a 69%
2013	22%	5% a 75%
2014	66%	2% a 93%
2015	47%	19% a 69%

En el análisis de prevalencia particionado por zonas durante 6 años (Tabla 8) se observaron diferencias significativas en las tres zonas, los niveles de prevalencia fueron muy diferentes entre zonas comparando un mismo año. La mayor prevalencia media por zonas fue en Salta donde se observó un comportamiento anual regular, ya que en todos los años los valores fueron superiores al 25%, aun cuando los valores máximos fueron inferiores a las otras dos zonas. Salta tuvo la mayor prevalencia en los años 2011, 2012 y 2014. La prevalencia en Tucumán fue intermedia, los mayores valores fueron de 90% y 75% en los años 2010 y 2013 respectivamente. El Chaco, por su parte presentó los menores valores medios de prevalencia, con una media de 31% proveniente de valores muy bajos en cuatro de los seis años, y solo en dos el 100% y 93% (2010 y 2014 respectivamente) siendo esta zona la que presentó los mayores valores absolutos.

Tabla 8. Prevalencia media de *Fusarium* spp. en muestras de grano considerando año y zona.

Año	Chaco	Tucumán	Salta
2010	100%	90%	28%
2011	4%	41%	74%
2012	7%	41%	69%
2013	5%	75%	36%
2014	93%	2%	70%
2015	19%	59%	60%
Media	31%	48%	57%
Chi cuadrado	p<0,0001	p<0,0001	p<0,0001

El análisis de la incidencia en grano para el mismo conjunto de años mostró una categorización similar, con los mayores valores en 2010. Los menores valores se observaron en 2012 y 2013 coincidentes con los años de menor prevalencia. El mayor valor promedio de 1,22 % se observó en el año 2011, pero con una gran dispersión de valores reflejada por un valor de desvío estándar de +/- 1,81 (Tabla 9).

Tabla 9. Incidencia interanual de *Fusarium* spp. en granos expresadas en porcentaje. Medias con una letra común no son significativamente diferentes, LSD Fisher (Alfa=0,05).

Año	n	Media	
2010	2321	0,77	a
2011	2238	1,22	b
2012	2601	0,47	c
2013	2847	0,23	d
2014	2067	0,97	b
2015	1419	0,47	b

5.1.1.3 Clasificación climática de los años y zona

Agrupando los años en función del fenómeno ENSO podemos observar que la prevalencia en la zona Chaco aumenta con la secuencia LN-neutro-EN (Chi cuadrado

$p < 0,0001$). La zona de Salta se comporta contraria a esta tendencia (Chi cuadrado $p < 0,0001$). En el caso de la zona Tucumán solo muestra un incremento en la prevalencia en los años EN no siendo significativa la diferencia entre LN y Neutro (Chi cuadrado $p < 0,0001$). Esto podría deberse a la diferente expresión, referida a la distribución de precipitaciones y temperaturas medias, que tiene el fenómeno ENSO en las diferentes zonas (Grimm *et al.*, 2000) (Figura 10).

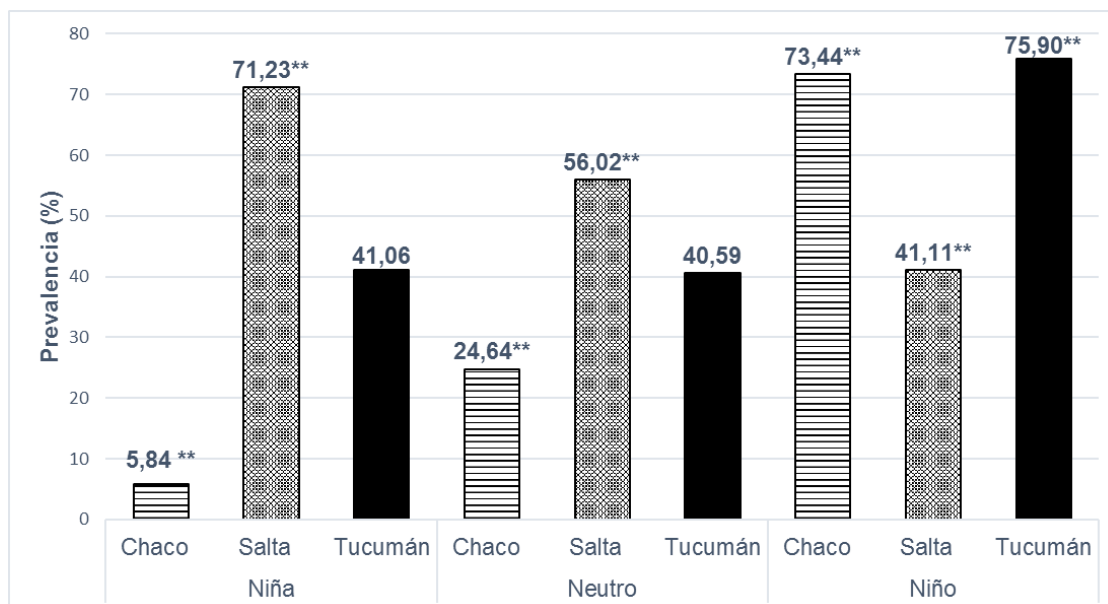


Figura 10. Prevalencia de *Fusarium* spp. por zona, clasificando los años según el fenómeno ENSO. (**) diferencia altamente significativa, Chi cuadrado $p < 0,0001$.

Los valores de incidencia tienen un incremento significativo ($\alpha > 0,05$) en los valores observados en Chaco para la secuencia LN-EN de 0,34% y 0,89% respectivamente, observándose el menor valor en años neutros. Para Salta esta relación se invierte, para la misma secuencia, con valores 1,12%, 0,70% y 0,52%. Tucumán presentó valores significativamente mayores para los años clasificados como EN, no se observa diferencias significativas entre años Neutros y LN (Figura 11).

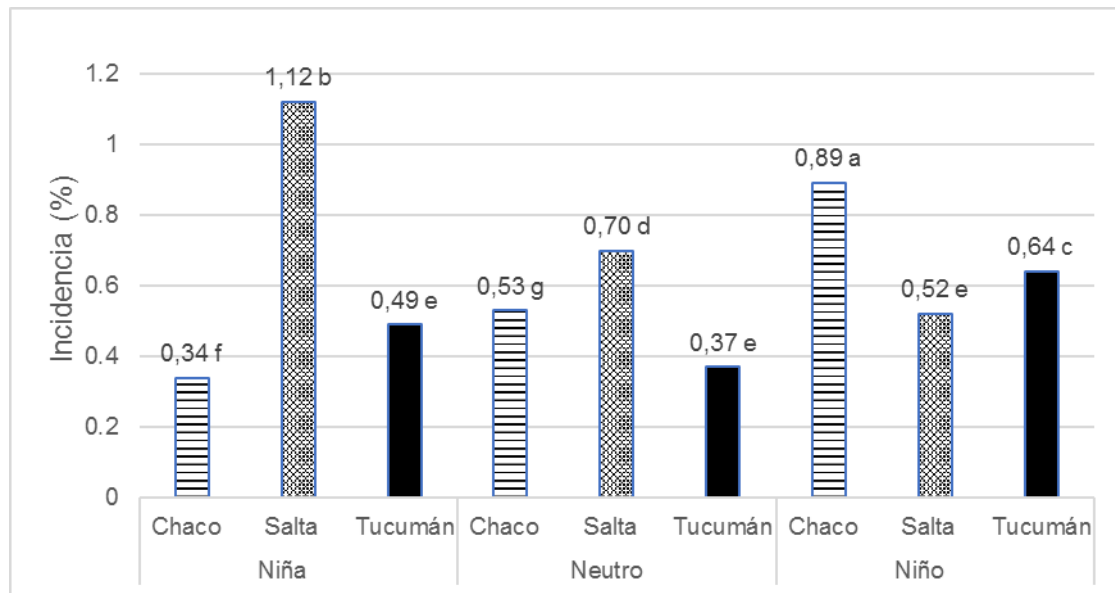


Figura 11. Incidencia de *Fusarium* spp. expresado como porcentaje de granos infectados en muestras de maíz (n=13.493). Niña = LN, Niño = EN. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (LSD Fisher, alfa > 0,05).

Agrupando los años en función de la relación NDVI_{ln}/NDVI medio y comparando entre zonas, podemos observar que para los años clasificados como secos Tucumán presenta los mayores valores de prevalencia (63,45%), seguido por Salta (55,30%) y Chaco (5,67%), presentando diferencias significativas entre ellos en la comparación de pares (CHI cuadrado $p < 0,0001$). Para el grupo de años neutros Salta (65,79%) presentó la mayor prevalencia y Tucumán (2,08 %) presentó el menor valor con diferencias altamente significativas. Para este grupo de años Chaco no contaba con datos que se encuentren en este rango. En años húmedos se observó una mayor prevalencia en Chaco (59,28%) respecto de Salta (51,25%) con diferencias altamente significativas, Tucumán (57,14%) con valores intermedios no presentó diferencias significativas con estas dos zonas (Figura 12). La prueba de Cochran-Mantel-Haenszel entre estratos de años secos, neutros y húmedos fue altamente significativa ($p < 0,0001$).

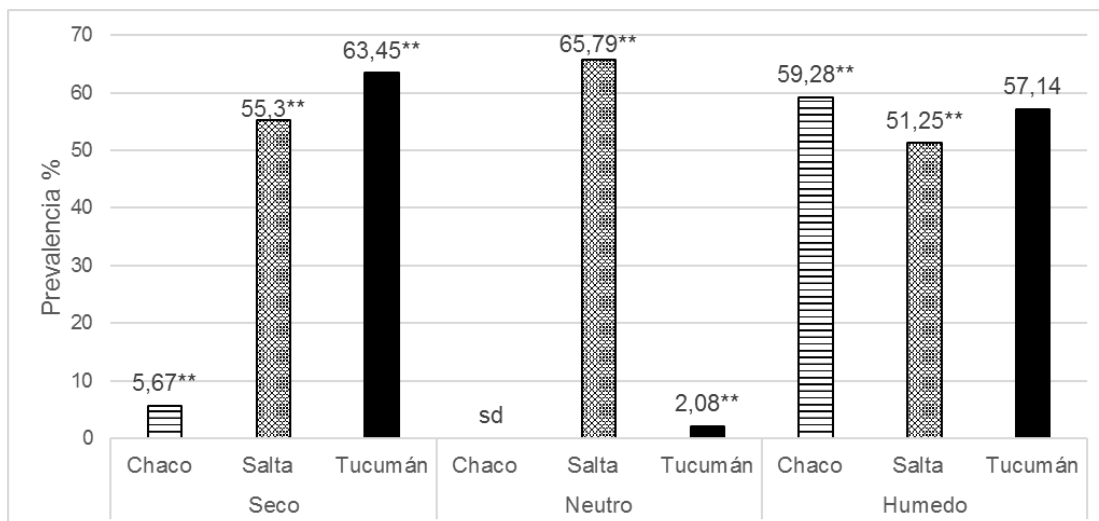


Figura 12. Prevalencia de *Fusarium* spp. en función de zonas y años agrupados por el cociente NDVI (Seco = <0,99; Neutro = 1; Húmedo =>1,1). (**) Proporciones altamente significativas para el estadístico CHI cuadrado ($p < 0,0001$). (sd) sin datos disponibles.

Analizando las proporciones de ocurrencia en función del fenómeno ENSO y comparando de a pares entre zonas podemos decir que para el par Chaco vs Salta tomando el conjunto de años solo un tercio de las muestras serán mayores en Chaco que en Salta. Solo para los años EN, Chaco tiene una probabilidad de 3,96 veces más de tener valores de prevalencia mayores que Salta. En los años Neutro y LN se invierte la relación, en todos los casos con alta significancia estadística. Para el par Chaco vs Tucumán, considerando todos los años, Chaco presenta una proporción de la mitad de casos. En años EN tienen la misma proporción, en años Neutros y LN Tucumán tiene una mayor proporción de valores mayores a Chaco, llegando a una proporción de 1 a 11. Para la comparación del par Salta vs Tucumán podemos decir, tomando el conjunto de años, que Salta presentó una proporción mayor que Tucumán, pero en años EN tiene menos proporción de valores Tucumán, revirtiéndose esta relación cuando consideramos los años Neutro o LN (Tabla 10).

Tabla 10. Comparación de pares entre zonas para la chance de encontrar granos infectados por *Fusarium* spp. en muestras de granos agrupando los años según el fenómeno ENSO.

Comparaciones	Total			Niño			Neutro			Niña		
	OR	(95%) IC	p Valor	OR	(95%) IC	p Valor	OR	(95%) IC	p Valor	OR	(95%) IC	p Valor
Chaco vs Salta	0.33	(0,31-0,36)	<0,0001	3.96	(3,42-4,59)	<0,0001	0.26	(0,23-0,29)	<0,0001	0.03	(0,02-0,03)	<0,0001
Chaco vs Tucumán	0.48	(0,42-0,54)	<0,0001	ns	ns	0.3954	0.48	(0,4-0,58)	<0,0001	0.09	(0,07-0,12)	<0,0001
Salta vs Tucumán	1.44	(1,28-1,62)	<0,0001	0.22	(0,17-0,30)	<0,0001	1.86	(1,55-2,249)	<0,0001	3.55	(2,89-4,37)	<0,0001

OR = Odd ratio; (95%)IC = Intervalo de Confianza del 95%.

Considerando la clasificación en función del índice NDVI podemos decir que, para la comparación, Chaco versus Salta se observó que hay mayor probabilidad de que la prevalencia sea mayor en Chaco que en Salta, pero con un $p=0,059$. En años Húmedos, Chaco presentó una mayor proporción de muestras positivas que Salta, en años Neutro no hubo diferencias significativas y en años secos tuvo una mayor proporción Salta, con una diferencia altamente significativa. De la comparación entre Chaco y Tucumán, tanto en años húmedos como neutros, tuvieron proporciones similares, pero en años secos estas proporciones estuvieron a favor de tener mayor prevalencia la zona de Tucumán. Para la última combinación Salta versus Tucumán, tomando el conjunto de años, Salta presentó una mayor proporción de muestras positivas, así como en años Neutros, destacándose estos últimos con 90,7 a 1 la proporción de tener mayor prevalencia. Pero en años húmedos como secos, Salta presentó una proporción levemente menor a Tucumán (Tabla 11). Esta diferencia entre zonas puede estar explicadas por las diferencias en microclimas, generado por el relieve montañoso, entre estas lo cual condiciona la especie de *Fusarium* que prevalece.

Tabla 11. Comparación de pares entre zonas para la chance de encontrar granos infectados por *Fusarium* spp. en muestras de granos agrupando los años según el cociente NDVI.

Comparaciones	Total			Húmedo			Neutro			Seco		
	OR	(95%) IC	p Valor	OR	(95%) IC	p Valor	OR	(95%) IC	p Valor	OR	(95%) IC	p Valor
Chaco vs Salta	1.09	(1,0-1,2)	0.0593	1.38	(1,24-1,55)	<0,0001	ns	ns	>0,9999	0.05	(0,04-0,06)	<0,0001
Chaco vs Tucumán	1.57	(1,38-1,80)	<0,0001	ns	ns	0.3914	ns	ns	>0,9999	0.03	(0,03-0,04)	<0,0001
Salta vs Tucumán	1.44	(1,28-1,62)	<0,0001	0.79	(0,65-0,96)	0.0195	90.7	(41,47-198,41)	<0,0001	0.71	(0,59-0,86)	0.0004

OR = Odd ratio; (95%)IC = Intervalo de Confianza del 95%.

Analizando la incidencia, función del índice relativo de NDVI, para la zona de Chaco, se observa un incremento entre años secos y húmedos. Para esta zona no se analizó años neutros, ya que ninguno de los años considerados se ubicó en esta categoría. Para las zonas de Tucumán y Salta no tuvieron una tendencia clara, no habiendo diferencias entre años secos y húmedos, observándose los mayores valores para Salta en años neutros y los menores para Tucumán en esta misma categoría de años. El valor medio observado en Salta en años húmedos no tiene diferencias significativas respecto a la misma zona en años secos por la gran dispersión de valores (Tabla 12).

Tabla 12. Incidencia de *Fusarium* spp. por zona, agrupando en función del coeficiente NDVI. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (LSD Fisher, alfa=0,10).

Zona	Clas. NDVI	n	Media
Chaco	Seco	2890	0.06 b
	Húmedo	2517	0.86 a
Tucumán	Seco	591	0.64 a
	Neutro	289	0.02 a
	Húmedo	462	0.58 a
Salta	Seco	2094	0.66 a
	Neutro	2131	0.81 a
	Húmedo	2519	1.17 a

5.1.1.4 Prevalencia de *Fusarium* spp. por tipo de híbrido: transgénico (OGM) vs no transgénico (NO OGM).

Se pudo observar que existen diferencias significativas agrupando los híbridos según sí disponen o no de eventos transgénicos de resistencia a lepidópteros. La mayor prevalencia fue observada en los materiales NO OGM con valores de 48% y de 41% para OGM.

Del análisis por zonas se desprenden diferencia significativa en esta tendencia entre zonas. La zona de Chaco presentaba mayores chances de tener prevalencia mayor para los híbridos No OGM ($p < 0,0001$), pero en Salta esta tendencia se revirtió ($p < 0,0001$) y en Tucumán si bien la tendencia fue a favor de los NO OGM, no hubo diferencias significativas para el estimador CHI cuadrado ($p > 0,9999$) (Tabla 13, Figura 13).

Tabla 13. Tabla de contingencia para zonas y si posee (OGM) o no (No OGM) eventos transgénicos.

Comparaciones	Total			Chaco			Tucumán			Salta		
	OR	(95%) IC	p Valor	OR	(95%) IC	p Valor	OR	(95%) IC	p Valor	OR	(95%) IC	p Valor
No OGM vs OGM	1.32	(1,2-1,4)	<0,0001	1.73	(1,54-1,95)	<0,0001	6.48	(4,89-8,49)	>0,9999	0.57	(0,51-0,63)	<0,0001

OR = Odd ratio; (95%)IC = Intervalo de Confianza del 95%.

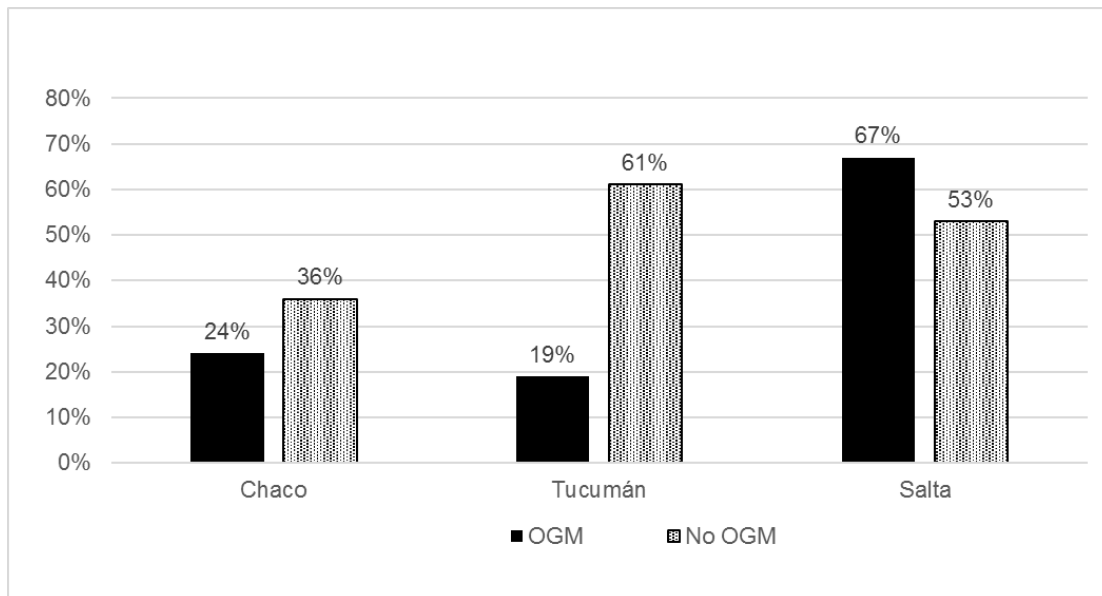


Figura 13. Prevalencia de *Fusarium* spp. por zonas y si poseen (OGM) o no (No OGM) eventos transgénicos.

Estas diferencias podrían estar explicadas según la prevalencia de las diferentes especies de *Fusarium* spp. en cada zona, el mix de híbridos con diferentes susceptibilidades a estas especies y las condiciones micro climáticas que tiene cada zona (Munkvold *et al.*, 1999).

5.1.2 Base de datos 2.

5.1.2.1 Análisis de zonas y años.

En relación a los valores medios de FBs y DON se encontró que las mismas no tuvieron diferencias significativas entre las zonas considerando el conjunto de años (Tabla 14).

Tabla 14. Valores de FBs y DON observados en la zona de Chaco, Tucumán y Salta expresados en ppm.

Zona	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
Chaco	DON	79	0,190	0,138	72	0	0,517
Chaco	FBs	79	1,483	1,176	79	0	3,892
Salta	DON	69	0,208	0,140	68	0	0,578
Salta	FBs	69	1,541	1,398	91	0	5,710
Tucumán	DON	52	0,212	0,138	65	0	0,457
Tucumán	FBs	52	1,449	1,259	87	0	3,933

En la figura 14 se presenta la frecuencia relativa de muestras de maíz duro con presencia de FBs y DON de muestras provenientes de Chaco, Tucumán y Salta en función de los límites legales máximos de 4 ppm y 1,75 ppm respectivamente establecidos por la UE (EFESA, 2014). La micotoxina FBs estuvo presente en la totalidad de las muestras para Chaco, aunque en ningún caso por encima de los límites. Para Tucumán y Salta, en el 6% y 4% de las muestras respectivamente no hubo detección de FBs, y solo en Salta el 5% de las muestras superaron el límite establecido. En el caso de DON, ninguna muestra superó los límites máximos establecidos por la UE, pero la proporción de muestras con presencia de DON en las tres zonas fue elevada, llegando a 94%, 88% y 91% para Chaco, Tucumán y Salta respectivamente.

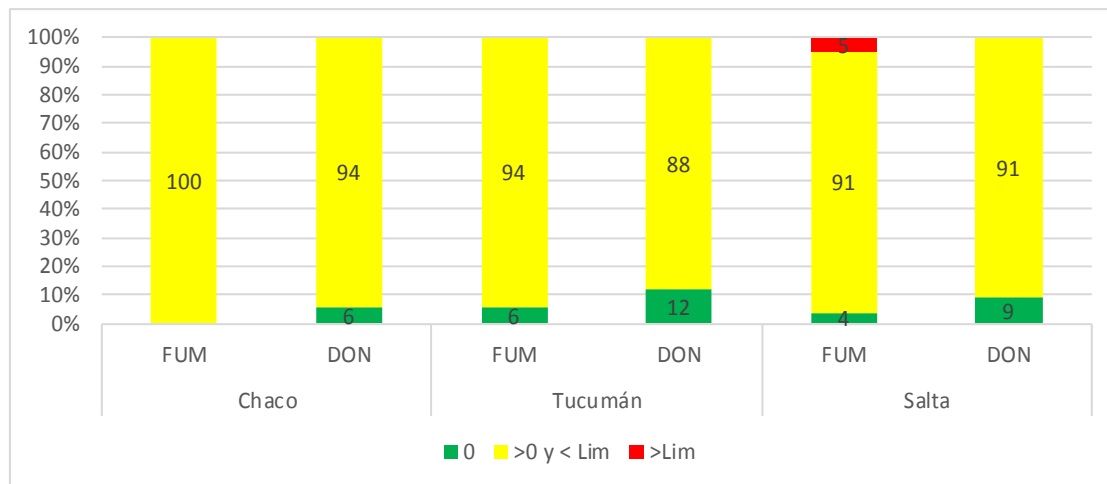


Figura 14. Frecuencia relativa de muestras de maíz duro con presencia de FBs y DON en Chaco, Tucumán y Salta. Negativas(verde); con detección y menor al límite (amarillo) y mayor al límite (rojo) establecido por la UE (FBS < 4 ppm y DON < 1,75 ppm).

Para el análisis de micotoxinas, considerando las zonas en conjunto, se observaron en todos los años la presencia de FBs y DON, con valores máximos de 5,710 ppm y 0,578 ppm respectivamente. La distribución de FBs presentó diferencias altamente significativas entre los valores medios, con los extremos en 2012 con un valor medio de 2,136 ppm y el 2011 donde se observaron los valores medios más bajos de 0,714 ppm. La distribución anual de DON presentó diferencias altamente significativas entre años, con los menores valores para el 2010 y 2013, valores medios para el 2011 los mayores en 2012 y 2014 (Figura 15).

Los valores máximos de referencia para grano entero, establecidos por la UE son 4 ppm para FBs y de 1,750 ppm para DON (EFESA, 2014). Estos solo fueron superados, en el caso de FBs, por una muestra de la zona Salta en 2012 con un valor absoluto de 5,149 ppm y dos muestras en 2014 con valores de 5,710 ppm y 5,526 ppm. Ninguna muestra superó los niveles de referencia para DON.

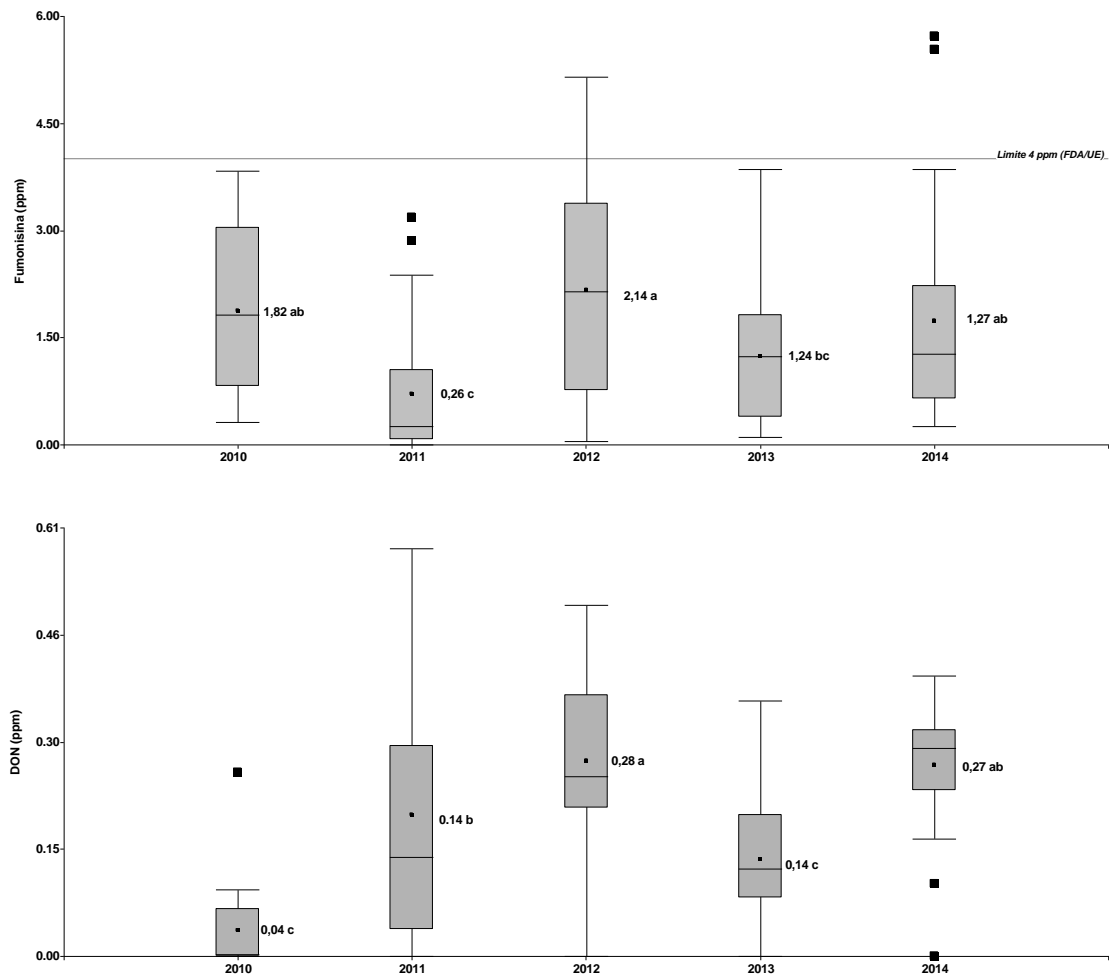


Figura 15. Valores de FBs y DON encontrados en muestras de maíz duro (n=200) en Chaco, Tucumán y Salta. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$).

5.1.2.2 Análisis en función del fenómeno ENSO y clasificación NDVI.

Los valores observados de FBs por zonas no tuvieron diferencias significativas. Tampoco se observaron diferencias cuando se segmentó por zona y se agruparon los años en función del fenómeno ENSO en LN y EN. A excepción de los años Neutros donde se observó para Salta un valor de 2,295 ppm. significativamente mayor a las otras dos zonas (Figura 16).

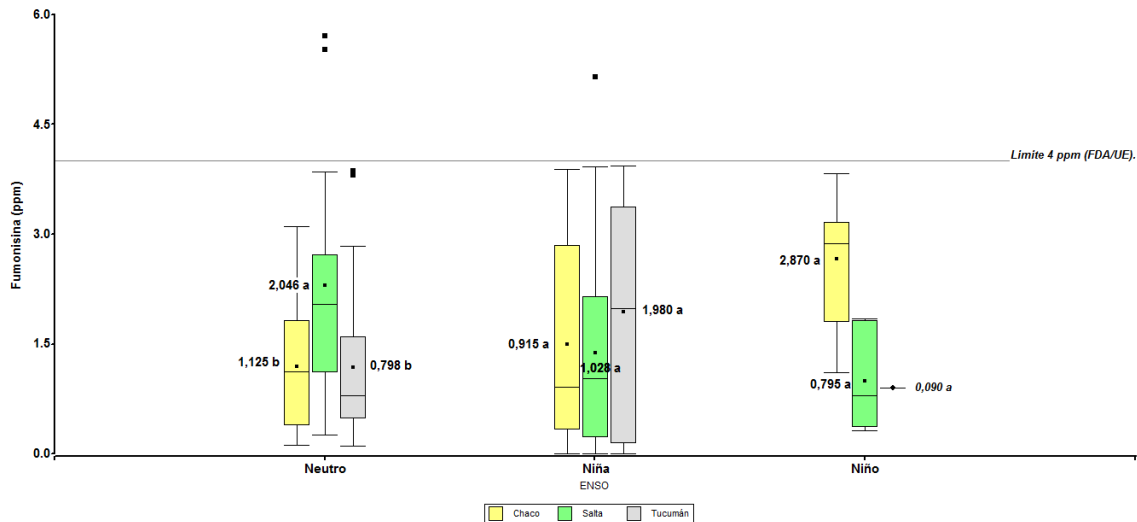


Figura 16. Niveles de FBs por zona agrupando los años en función del fenómeno climático ENSO. (---) Límite máximo establecido por la FDA y UE. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Manteniendo el concepto de zonas y agrupando los años función de cociente NDVI, las zonas de Tucumán y Salta no presentaron diferencias significativas para los valores de FBs. En años húmedos, Chaco se diferenció con valores significativamente mayores, aun cuando en ningún caso superó el límite de 4 ppm. En los años clasificados como secos no se encontraron diferencias significativas, pero se observó valores puntuales para Salta de 5,149 ppm. superiores al límite legal establecidos por la FDA y la UE. En años neutros no se disponían de datos para Chaco, pero las zonas restantes no presentaron diferencias significativas al igual que en los casos anteriores, pero también aparecieron valores para Salta en dos casos por encima del límite máximo, con valores de 5,710 y 5,526 ppm (Figura 17). Esto puede sugerir que intervienen especies distintas entre Chaco y las restantes zonas.

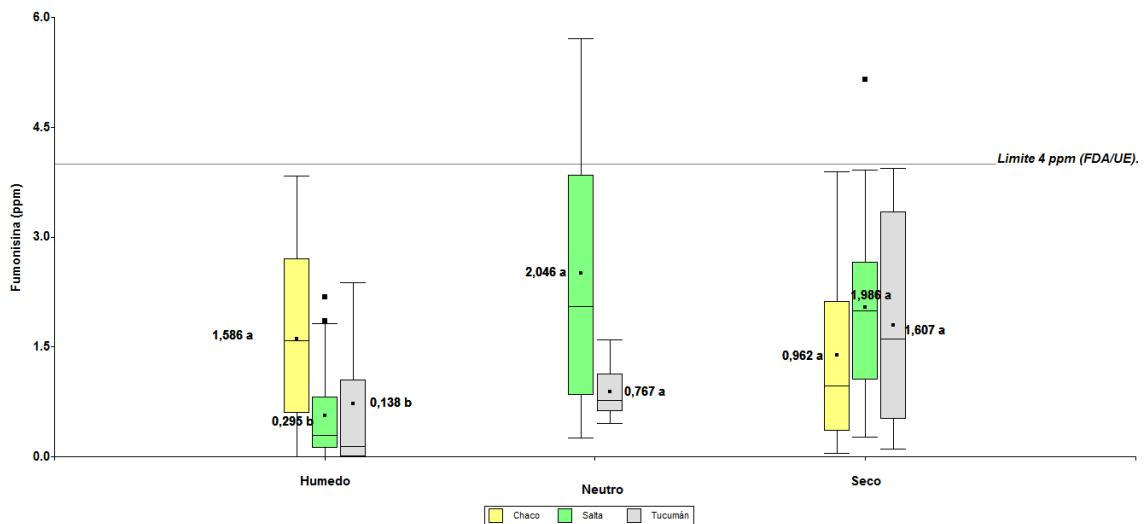


Figura 17. Contenido de FBs de en lotes de maíz almacenado por zona y años agrupados en función del coeficiente NDVI (n=200). (---) Límite máximo permitido por la FDA y la UE. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (LSD $p > 0,05$).

Considerando el mismo concepto para analizar los niveles de DON, se encontró una diferencia significativa en las medias ($p=0,05$) entre los años EN de 0,025 ppm respecto a los años neutro y LN con valores de 0,185 ppm y 0,252 ppm respectivamente. El análisis de las diferentes zonas para cada uno de estos grupos no arrojó diferencias significativas. El límite legal de DON para 1,750 ppm no fue superado en ninguno de los años considerados (Figura 18).

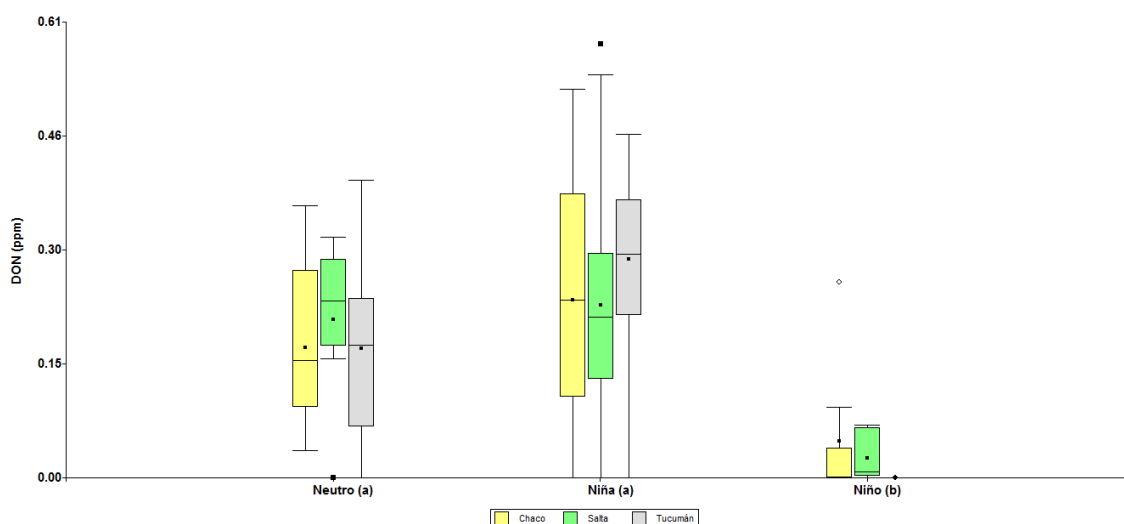


Figura 18. Contenido de DON de en lotes de maíz almacenado por zona y años agrupados en función del fenómeno climático ENSO (n=200). Medias con una letra común no son significativamente diferentes (LSD $p > 0,05$).

Agrupando los años en función del cociente de NDVI no se observaron diferencia significativa entre grupos ni zonas en los niveles de DON (Tabla15).

Tabla 15. Valores de DON en muestras de granos agrupando los años según el cociente NDVI.

NDVI clasifi.	Zona	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
Húmedo	Chaco	DON	34	0,1721	0,148	86.1	0.0	0,517
Húmedo	Salta	DON	26	0,1775	0,192	108.3	0.0	0,578
Húmedo	Tucumán	DON	9	0,1862	0,144	77.2	0.0	0,417
Neutro	Salta	DON	9	0,2255	0,099	43.7	0.0	0,321
Neutro	Tucumán	DON	9	0,2941	0,103	35.2	102.0	0,397
Seco	Chaco	DON	45	0,2042	0,129	63.4	36.0	0,497
Seco	Salta	DON	34	0,2264	0,095	42.1	0.0	0,486
Seco	Tucumán	DON	34	0,1974	1,140	70.9	0.0	0,457

5.1.3 Niveles de micotoxinas por tipo de híbrido transgénico (OGM) y no transgénico (NO OGM).

Para el análisis de niveles de micotoxinas agrupándolos en función de su condición OGM o NO OGM han sido considerado solo los años 2012 y 2013 donde estuvieron

presentes ambos tipos. No se observó diferencias significativas con valores de FBs de 1,426 ppm y 2,002 ppm respectivamente y para DON de 0,176 ppm y 0,243 ppm (Figura 19).

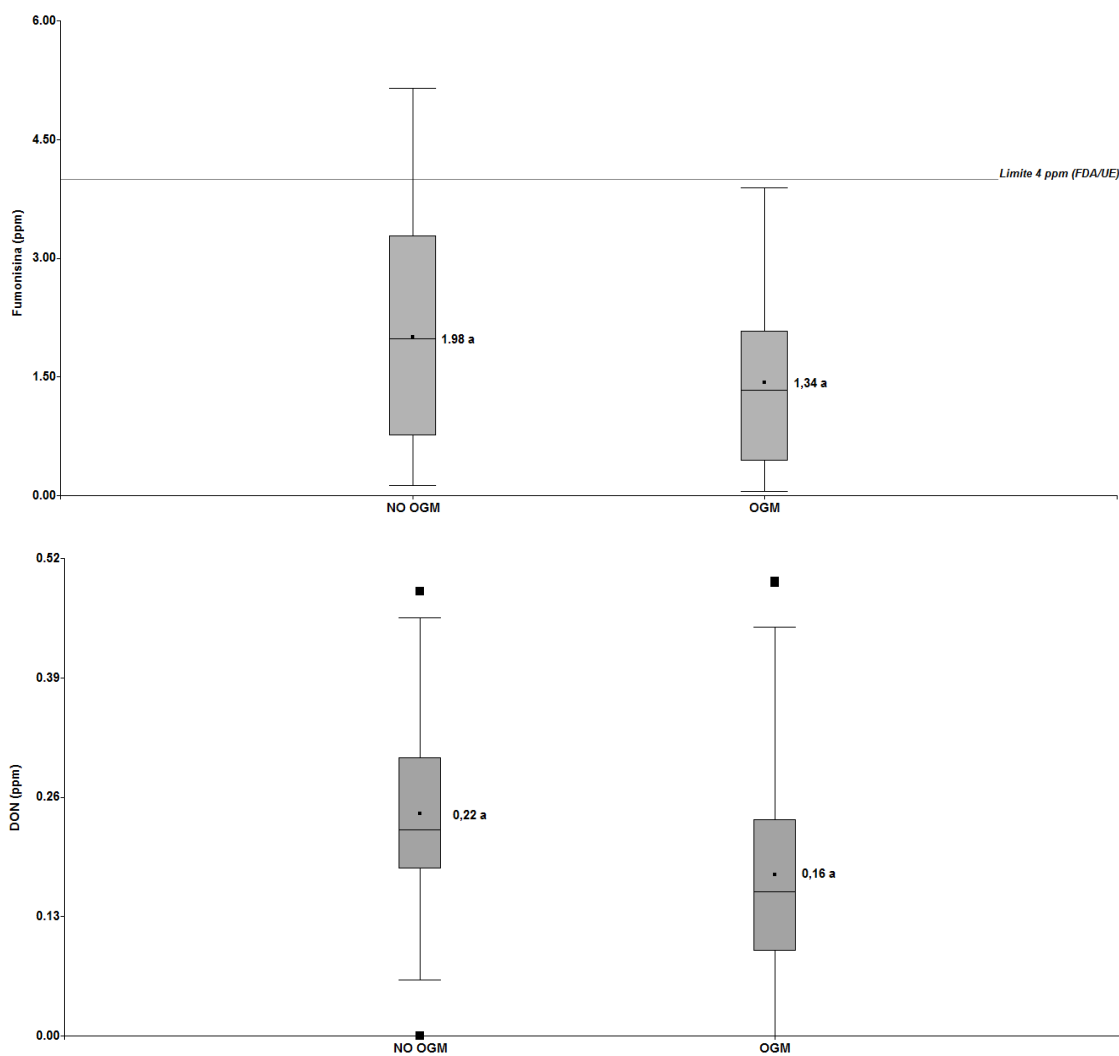


Figura 19. Niveles de FBs y DON en función del tipo OGM o No OGM. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (LSD alfa=0,05).

Cuando analizamos la apertura por zonas para FBs se encuentran diferencias significativas en Chaco entre NO OGM y OGM con valores medios de 1,896 ppm y 1,139 ppm respectivamente. Por otra parte, en las zonas de Tucumán y Salta no se encontraron diferencias significativas (Tabla 16).

Tabla 16. FBs en muestras de maíz clasificando estas por zona y clasificación OGM.

Zona	Transg	n	Media		D.E.	Mín	Máx
Chaco	NO OGM	15	1,896	b	1,367	0,327	3,857
	OGM	30	1,139	a	0,984	0,049	3,892
Salta	NO OGM	30	2,004	a	1,203	0,267	5,149
	OGM	4	2,307	a	1,107	1,375	3,892
Tucumán	NO OGM	10	2,154	a	1,544	0,130	3,933
	OGM	24	1,639	a	1,283	0,106	3,858

Medias con una letra común, dentro de cada zona, no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los valores observados para DON en función de la clasificación OGM, presentan una relación diferente, donde no hay diferencias significativas en Chaco, en Salta encontramos diferencias significativas ($p=0,10$) con valores medios de 0,237 ppm para NO OGM y 0,149 ppm para OGM. En Tucumán se encontraron valores de 0,286 ppm para NO OGM y 0,161 ppm para OGM, sugiriendo un complejo de especies o condiciones ambientales diferentes entre Chaco y las otras dos zonas (Tabla 17).

Tabla 17. Niveles de DON en muestras de maíz clasificando estas por zona y clasificación OGM.

Zona	Transg	n	Media		D.E.	Mín	Máx
Chaco	NO OGM	15	0,227	A	0,103	0,063	0,390
	OGM	30	0,193	A	0,141	0,036	0,497
Salta	NO OGM	30	0,237	B	0,091	0	0,486
	OGM	4	0,149	A	0,103	0	0,224
Tucumán	NO OGM	10	0,286	B	0,156	0	0,457
	OGM	24	0,161	A	0,117	0	0,370

Medias con una letra común, dentro de cada zona, no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

5.1.4 Discusión bases de datos 1 y 2.

Los niveles de prevalencia media de *Fusarium* spp., observados en las tres regiones bajo estudio, variaron entre un mínimo del 30% en Chaco hasta el 57% para

Salta. Estos valores están en concordancia con trabajos donde mencionan la fusariosis o pudrición de mazorcas de maíz por *Fusarium* spp., los valores de prevalencia observados fueron mayores a los reportados en climas continental húmedo como Suiza y similares o inclusive menores con respecto a otras regiones subtropicales como India o Brasil con valores del 9%, 51% y 90% respectivamente (Dorn *et al.*, 2009; Scauflaier *et al.*, 2011; Lanza *et al.*, 2014; Deepa *et al.*, 2016). El análisis de proporciones de ocurrencia de fusariosis entre las tres zonas, indica una mayor probabilidad de encontrar muestras con fusariosis de espiga en la zona de Salta y Tucumán que en la de Chaco. Esto podría estar relacionado a que en estas zonas es más frecuente la ocurrencia de condiciones predisponentes para ambas especies de *Fusarium*, descritas en la zona por otros autores (Aguaysol *et al.*, 2013). En función de los diferentes microclimas producto de su cercanía a las montañas presentes en la región del NOA como por ejemplo Tucumán (Estañol *et al.*, 2012) se pueden dar condiciones de clima más moderado donde se favorece el desarrollo de *F. graminearum* y en años más cálidos y secos el desarrollo de *F. verticillioides* (Munkvold, 2003).

La incidencia de granos dañados en muestras comerciales con fusariosis, tuvo un patrón similar, con una mayor incidencia en Salta comparada con Tucumán y Chaco. Esto no estaba descripto para la región NEA, pero si fue descripto por trabajos recientes para la región del Noroeste Argentino (NOA) con la presencia de *F. graminearum* y *F. verticillioides* (Aguaysol *et al.*, 2013), incidencia de *Fusarium verticillioides* en granos almacenados en Tucumán y su correlación con los niveles de FBs (Diaz *et al.*, 2012). Por otra parte, en trabajos de muestreo de maíces nativos para consumo humano en la Puna Jujeña (Torres *et al.*, 2001).

Los valores de incidencia en muestras de camiones que han arribado a las plantas de almacenaje no fueron elevados, pero hay que considerar que estas son muestra indirecta de lo que ocurre a campo ya que los lotes de maíz con valores mayores al 4-5% de granos infectados no se envían directamente a industria. Por otra parte, como

ha sido demostrado en trigo, las máquinas cosechadoras actuales son muy eficientes en la eliminación de granos infectados por lo cual el grano llega a los puntos de muestreo con valores más bajos a los observados a campo (Salgado *et al.*, 2011).

Estos resultados validan la prevalencia de *Fusarium* spp. en granos de maíz duro en la región Norte Argentino, como lo describen otros autores para el NOA en otros tipos de maíces, no así en el NEA donde no hay referencia sobre la prevalencia e incidencia de esta enfermedad (Diaz *et al.*, 2012; Aguaysol *et al.*, 2013).

Los niveles de FBs y DON observados no presentaron diferencias significativas entre las tres zonas considerando los 6 años en conjunto. Esto se debe a la gran dispersión de valores, coincidiendo con observaciones realizadas para otras zonas de Argentina (Ricca *et al.*, 2009). Los principales países destinatarios de las exportaciones de maíz duro argentino corresponden a miembros de la Unión Europea, motivo por el cual los límites legales máximos requeridos por esta toman principal relevancia al momento de evaluar la frecuencia con la que son superados (Cirilo *et al.*, 2003). Considerando esto para FBs, un tercio de las muestras superan el límite máximo de 2 ppm de FBs para consumo directo, esto coincide con proporciones encontradas por van Rensburg *et al.* (2015) en Sudáfrica, pero contrasta con trabajos de prospección realizados por Diaz *et al.* (2012), donde encontró en el 83% de las muestras valores superiores a estos límites para Tucumán. Esta última diferencia se puede deber a la escala del muestreo y al método de recibo donde las muestras del presente trabajo derivan de lotes comerciales donde se limitó el recibo de granos infectados con *Fusarium* spp. al 4-5%. La micotoxina DON en ninguno de los casos superó el límite máximo legal para UE, pero en todas las zonas la presencia de esta micotoxina en muestras de maíz fue superior al 88%, coincidiendo con trabajos de Ricca *et al.* (2009), para diferentes zonas de Argentina, denotando una fuerte presencia de *F. graminearum* en toda la región.

Entre los factores predisponentes, las condiciones ambientales tienen un gran peso en el desarrollo de la enfermedad, la Munk, así como en la especie que predomina en esas condiciones (De La Campa *et al.*, 2005; Munkvold 2003; van Rensburg *et al.*, 2017). Las diferencias encontradas en los niveles de prevalencia e incidencia en las tres zonas (Chaco, Tucumán y Salta) y en los 6 años de estudio podrían estar explicadas por las variaciones climáticas interanuales y entre zonas en función del fenómeno ENSO (Grimm *et al.*, 2002). Estas variaciones en patrones de precipitación, temperatura y humedad también afectan la prevalencia de cada especie de *Fusarium* de acuerdo a su condición predisponente específica, donde en años o zonas más templadas con temperaturas medias durante el momento de floración de 24-26°C se ve favorecido *F. graminearum*, y en años o zonas donde la temperatura media están más cercanas a 29-30°C se verá favorecido *F. verticillioides* (Rossi and Escandolara, 2009; Munkvold, 2003; Ferrigo *et al.*, 2016). Esto está en concordancia con trabajos sobre los hongos *Fusarium* spp. y *Aspergillus* spp. en el estado de Mississippi en Estados Unidos de América en función del nivel de precipitación anual y temperaturas donde en años con temperaturas máximas de 34,9°C se vieron favorecidas la producción de FBs asociadas a *F. verticillioides* (Abbas *et al.*, 2016). Conocer esta variabilidad permitiría generar estrategias de abastecimiento de maíz para minimizar el impacto en la industria.

Las variaciones climáticas entre zonas y el efecto que el fenómeno ENSO tiene en las diferentes zonas del norte argentino fueron descritas por otros autores (Grimm, 2000 y Hurtado *et al.*, 2013). Estos autores hacen una clara diferencia en la expresión que tiene el fenómeno en su fase EN y LN en las diferentes zonas.

Para el periodo de desarrollo del cultivo de maíz duro en el norte argentino, comprendido de Enero a Mayo, los autores mencionan para años EN, en la zona de Chaco y Tucumán, veranos con mayores precipitaciones y temperaturas mínimas mayores y temperaturas máximas menores. En Salta los patrones son similares con

una precipitación similar en primavera a las otras zonas, pero en verano estas disminuyen.

Durante la fase LN las precipitaciones disminuyen significativamente a excepción de Salta, donde las precipitaciones pueden aumentar e inclusive estar por arriba de los valores medios. Durante esta fase las temperaturas mínimas son menores a la mínima media y las máximas son mayores a la máxima media (Grimm *et al.*, 2000). Estas diferentes expresiones del fenómeno ENSO en el norte argentino en función de las distintas zonas que lo componen, pueden ser visualizadas con herramientas modernas como el seguimiento del índice verde de vegetación o NDVI como lo describen otros autores (Aralova *et al.*, 2016; Rishma *et al.*, 2016).

La zona de Chaco presenta un claro patrón para la prevalencia e incidencia de *Fusarium* spp., con una disminución de ambas en la fase LN y un incremento en la fase EN. Cuando lo analizamos utilizando el cociente de NDVI observamos un patrón similar para los años secos versus los años húmedos.

Los valores medios de FBs observados en Chaco fueron significativamente mayores durante los años clasificados en la fase EN y así como en los años Húmedos clasificados por NDVI. Aun cuando fue la única zona que demostro este comportamiento en ninguno de los años presentó valores por sobre los límites establecidos. Por otra parte, los niveles de DON son significativamente menores en años EN o Húmedos. Esta preponderancia de una micotoxina por sobre la otra podría sugerir una mayor prevalencia de las especies del grupo FFSC por la frecuencia de cada una de las micotoxinas (Van Rensburg *et al.*, 2015), pero lo observado no concuerda con trabajos sobre estas especies, particularmente en *Fusarium verticillioides* ya que estas especies normalmente predominan en condiciones de estrés hídrico y altas temperaturas (Munkvold 2003; Van Rensburg *et al.*, 2017). Por otra parte, coincide con lo descrito por Sancho *et al.* (2018) donde encuentra una correlación positiva entre la producción de FBs y las condiciones de temperaturas cálidas y abundantes precipitación en el momento de floración sumado a temperaturas

frescas y frecuentes precipitaciones posteriores a la madurez fisiológica. Un futuro estudio más detallado de las especies presentes en la zona podría explicar este comportamiento. Este patrón de producción de micotoxinas podría ser una estrategia direccionada a reducir el abastecimiento de maíz duro desde Chaco en años pronosticados como EN.

La zona de Salta, por el contrario, en años EN presenta una menor prevalencia e incidencia comparados con los años LN, aun cuando los valores fueron elevados en ambas fases. En la fase LN las temperaturas son más moderadas y la zona de afluencia de las muestras corresponde a la zona de pedemonte, aledañas a la localidad de Piquete Cabado, donde estas condiciones se acentúan aún más. Bajo estas condiciones predisponentes podría tener una gran preponderancia *Fusarium graminearum*, esto coincide con lo observado por otros autores donde describen una mayor incidencia de esta especie en la zona de Las Lajitas en la provincia de Salta (Aguaysol 2013). DON como principal micotoxina producida por esta especie estuvo presente en el 91% de las muestras aun cuando no supero el límite establecido.

Los valores de FBs, en Salta, no tuvieron diferencias significativas en los valores medios entre años LN y EN, así como entre años secos y húmedos en función de NDVI. Pero en los años LN y neutro (ENSO) o neutros y Secos (NDVI) hubo valores máximos por encima de los límites de 4 ppm establecidos por la Comunidad europea y FDA ((Food and Drug Administration [FDA] 2011) (European Commission Regulation [EC] 2007). Esto, junto a que el 95% de las muestras se detectó esta micotoxina, estaría indicando que en la zona en estudio la especie FFSC también son endémicas y su nivel de expresión estaría regulada por las condiciones ambientales. Esto coincide con trabajos anteriores en la región pampeana donde se encuentran diferencias en la expresión de FBs en función de las condiciones ambientales (De la Campa *et al.*, 2005). La estrategia para minimizar el impacto de estas micotxinas en el abastecimiento de maiz duro desde esta zona podría ser disminuir el abastecimiento

desde esta zona en años pronosticados como LN o Neutros y particularmente de las zonas pedemontanas.

La zona de Tucumán presenta una situación intermedia entre las zonas antes descritas con diferencia tanto en los valores de prevalencia e incidencia entre años LN y neutros, así como en los años secos y neutros según NDVI. Si coincidió con una mayor expresión en años EN y húmedos de estas dos variables.

La expresión de micotoxinas no presentaron diferencias significativas entre la clasificación de años a excepción de DON que presentó los menores valores en años EN, similar a las otras regiones. En ninguno de los años superó los límites establecidos por la UE y la FDA (Food and Drug Administration [FDA] 2011) (European Commission Regulation [EC] 2007).

La utilización de maíces con eventos biotecnológicos (OGM) de resistencia a lepidópteros, que permiten reducir el daño que estos insectos provocan en las espigas, está descrito por varios autores como una herramienta válida para minimizar el daño por *Fusarium spp.* en la mayoría de los casos, pero en otros esta relación no ha sido tan clara (Abbas *et al.*, 2007; Abbas *et al.*, 2016). Esta relación a favor de una menor prevalencia e incidencia de los híbridos OGM es muy clara en el presente estudio cuando consideramos el total de los años y zonas donde estuvieron presentes ambos tipos de híbridos OGM y NO OGM. Cuando analizamos las zonas por separado se observa un patrón que concuerda con esto en Chaco, asociado probablemente a la presencia de FFSC y al daño en espiga similar a lo que sucede en otras regiones del mundo asociado al daño de lepidópteros y otros insectos (Parsons *et al.*, 2010).

Contrariamente, las condiciones climáticas húmedas y templadas de la zona Salta pueden favorecer el desarrollo predisponente de *F. graminearum*, esto podría explicar por qué existe una probabilidad similar de encontrar mayor prevalencia de daño por *Fusarium spp.* en granos en ambos tipos de híbridos. Esta especie posee, bajo condiciones predisponentes, mayor virulencia que FFSC y no depende del daño provocado por insectos, pudiendo ingresar directamente a través del canal estilar

(Duncan *et al.*, 2010; Sherif *et al.*, 2016), tomando mayor preponderancia la resistencia genética intrínseca de cada híbrido a *Fusarium* spp. La zona de Tucumán, tendría condiciones ambientales intermedias entre las zonas anteriores.

Estos patrones de daños se condicen con los niveles de micotoxina donde vemos que para Chaco los híbridos NO OGM presentaron valores más altos de FBs que podrían estar asociada a FFSC (Rocha *et al.*, 2016). Por otra parte, en Tucumán y Salta no existen diferencia en los niveles de FBS denotando la fuerte prevalencia de las especies de FFSC como fuera citado por otros autores (Diaz *et al.*, 2012; Iglesias *et al.*, 2010). Analizando los niveles DON los niveles encontrados denotan la presencia de *Fusarium graminearum* en las tres regiones asociados a la producción de esta micotoxina como fuera descrito por otros autores para Tucumán (Sampietro *et al.*, 2012). En el caso particular de Salta, los mayores valores asociados a híbridos GMO sugiere que la componente de resistencia intrínseca del genotipo a este patógeno juega un rol mayor en las zonas donde se dan las condiciones predisponentes para *Fusarium graminearum* y en menor medida la condición de poseer o no tecnología de resistencia a lepidópteros. Esto concuerda con trabajos sobre la mayor virulencia de esta especie en condiciones predisponentes sin mediar el daño por insectos (Ferrigo *et al.*, 2016; Sherif *et al.*, 2016; Harris *et al.*, 1999).

Estos resultados nos permiten afirmar que la utilización de eventos transgénicos de resistencia a lepidópteros es una herramienta válida para eludir el daño causado por *Fusarium* spp. en la zona de Chaco, pero esta herramienta pierde eficacia cuando lo consideramos para la zona de Tucumán y Salta. En las tres zonas, pero particularmente en Salta, toma una importancia relevante la resistencia genética a *Fusarium* spp. como factor de manejo de dicha enfermedad, asociada a la ocurrencia de condiciones climáticas predisponentes para la infección de *F. graminearum* en los microclimas de pedemonte.

5.2 Relevamiento de daño por *Fusarium* asociadas a contaminación con FBs y DON a partir de espigas de maíz del Norte Argentino.

Sé observó un 100% de prevalencia en lotes de la enfermedad en las tres zonas y en ambos híbridos.

Considerando ambos híbridos, se determinó que la incidencia en espigas media ajustada de *Fusarium* spp., expresada en porcentaje de espigas afectadas, fue significativamente diferente en las tres zonas con valores de 60,06% en la zona de Tucumán, 56,12% en Salta y 49,13% en Chaco (Figura 20).

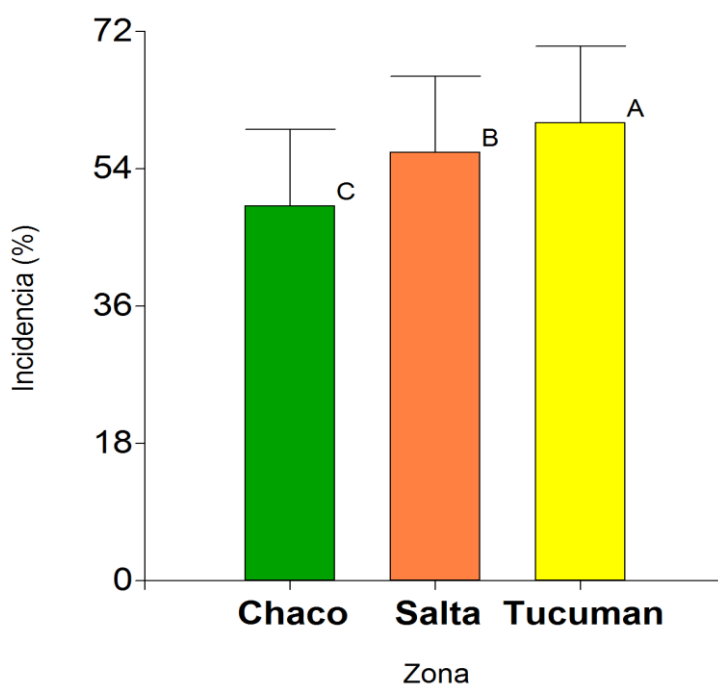


Figura 20. Niveles de incidencia de *Fusarium* spp. en espiga de dos híbridos de maíz proveniente del Chaco, Salta y Tucumán. Campaña 2014 y 2015. Medias con una letra común no son significativamente diferentes, LSD Fisher ($p > 0,05$).

En las diferentes zonas se obtuvieron espigas con diferente grado de severidad observándose la totalidad de la escala diagramática de severidad (Presello *et al.*, 2007) (Figura 21).

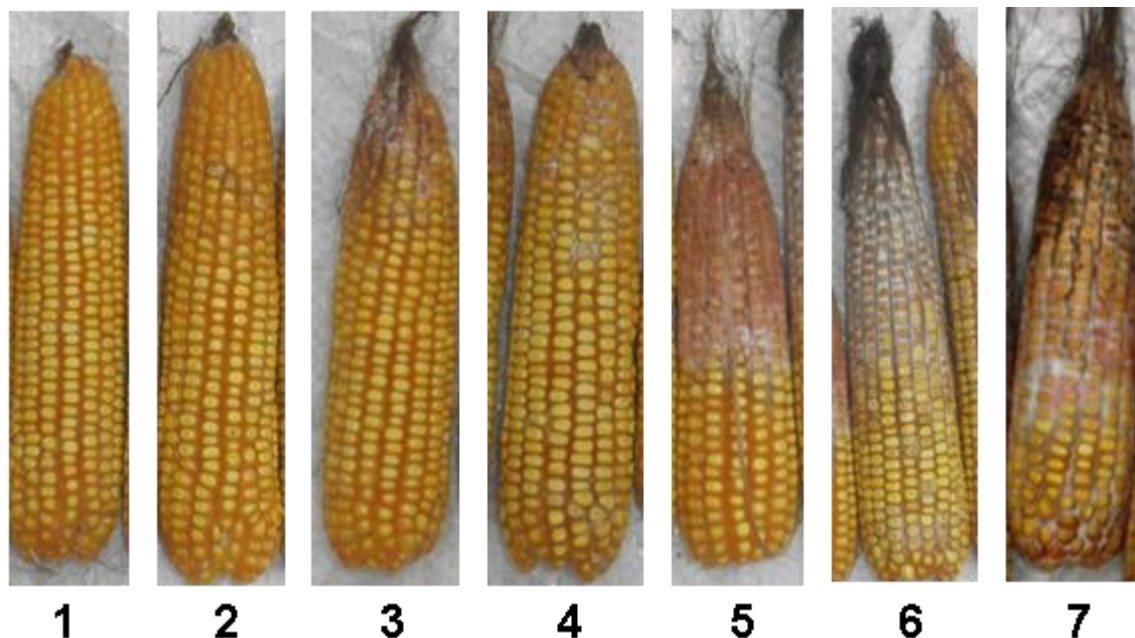


Figura 21. Representación fotográfica de la escala diagramática de severidad de fusariosis en el híbrido DKB390VT3P.

Se pudo comprobar la mayor susceptibilidad del híbrido DK390VT3P (susceptible) con valores de severidad media de 9,28% comparado con el híbrido P30P70Hx (tolerante), que presentó un valor medio de severidad de 1,74% (Figura 22).

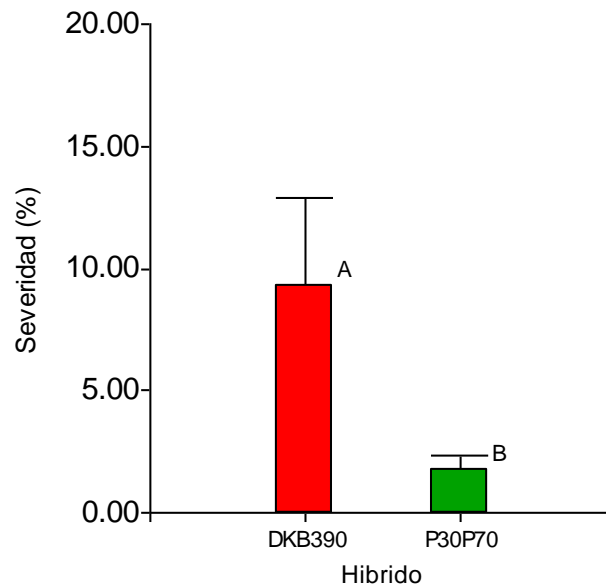


Figura 22. Niveles de severidad de *Fusarium* spp. en espigas de dos híbridos de maíz proveniente del Chaco, Salta y Tucumán. Campaña 2014 y 2015. Medias con una letra común no son significativamente diferentes, LSD Fisher ($p > 0,10$).

Los híbridos tuvieron comportamientos diferentes al analizar la severidad en espiga por zona. Se observaron valores comprendidos entre 0,54% y 20,70% para el híbrido susceptible, pero no presentó diferencias significativas en las medias entre las tres zonas. El híbrido tolerante presentó valores de severidad comprendidos entre 0,82% y 3,18% con diferencias significativas ($\alpha=0,05$) entre Chaco por una parte con un valor medio de 3,00% y las zonas de Tucumán y Salta con valores de 1,06% y 1,18% respectivamente (Figura 23).

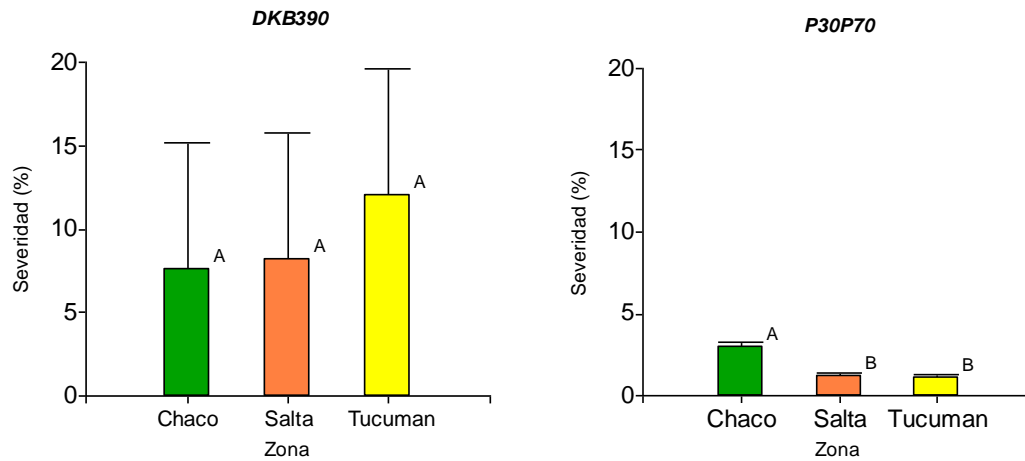


Figura 23. Severidad de fusariosis en los híbridos DKB390VT3P (susceptible) y P30P70Hx (Tolerante) para las zonas de Chaco, Salta y Tucumán. Campaña 2014 y 2015. Medias con una letra común no son significativamente diferentes, LSD Fisher ($p > 0,10$).

La correlación de incidencia de *Fusarium* spp. expresada como porcentaje de espigas afectadas y el porcentaje de granos infectados observados, fue diferente en función de la susceptibilidad del híbrido. El híbrido tolerante P30P70Hx no presentó una correlación significativa entre ambas variables. El híbrido susceptible, sí presentó un coeficiente de correlación de 0,92 (Tabla 19). Esto permitiría, en híbridos más susceptibles, establecer un método rápido de evaluación temprana de los lotes para estimar el nivel de daño en un lote a campo.

Tabla 18. Coeficientes de correlación entre la variable Incidencia de espigas a afectadas y el porcentaje de granos infectados por *Fusarium* spp.

Híbrido: DKB390VT3P susceptible

Variable dependiente: Granos infectados (%) *Fusarium* spp.; n=6

Efecto	Vía	Coeficientes	p-valor
Incidencia	Directa	0,92	
r total		0,92	0,0096

Híbrido: P30P70Hx tolerante

Variable dependiente: Granos infectados (%) *Fusarium* spp.; n=6

Efecto	Vía	Coeficientes	p-valor
Incidencia	Directa	-0,24	
r total		-0,24	0,6445

Analizando la regresión del porcentaje de granos infectados por *Fusarium* spp. sobre la variable incidencia de espigas podemos establecer una relación lineal, la relación y la pendiente de esta depende de la susceptibilidad del híbrido (Figura 24).

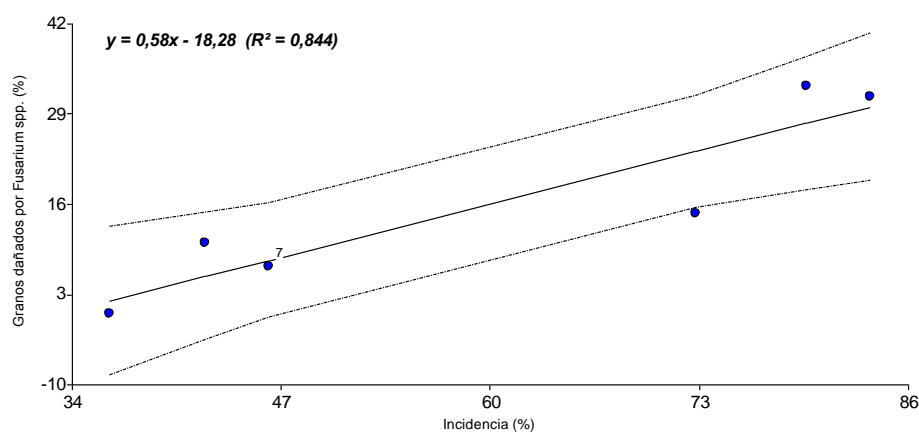


Figura 24. Relación entre la incidencia de *Fusarium* spp. expresada como porcentaje de espigas afectadas y el porcentaje de granos infectados para el híbrido DKB390VT3P susceptible.

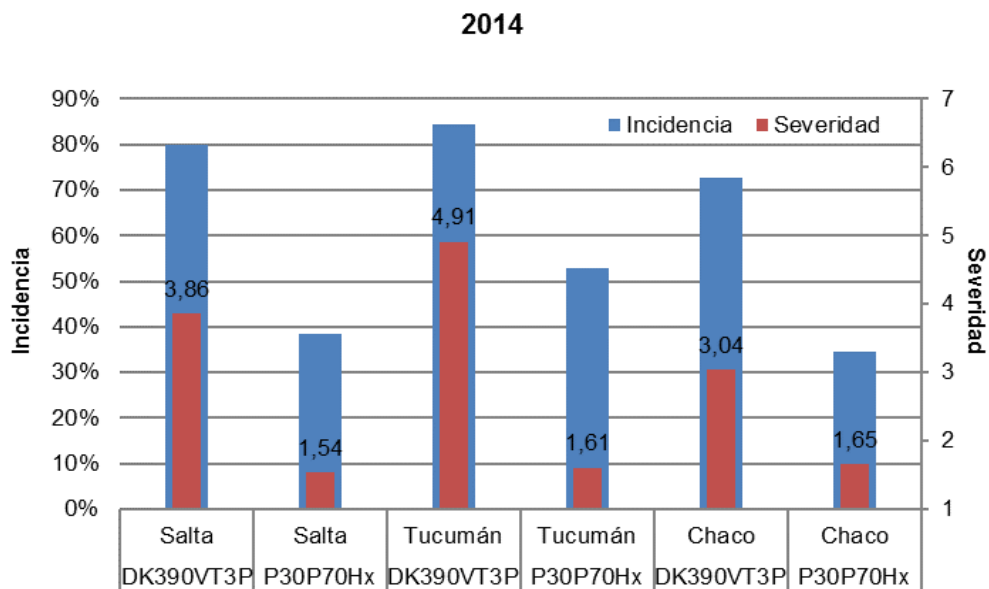
En la campaña 2014, el híbrido más susceptible DK390VT3P mostró mayor severidad de síntomas de fusariosis y concentración de micotoxinas, en comparación con el híbrido moderadamente susceptible P30P70Hx (Figura 25 A). La severidad de

Fusariosis en el híbrido susceptible DK390VT3P osciló entre los 3 y 4,9 y fue mayor a la obtenida para el híbrido moderadamente susceptible P3070Hx, cuyos valores oscilaron entre 1,54-1,65 en las tres localidades consideradas. En cuanto a la comparación entre localidades dentro de cada año, los mayores valores de incidencia y severidad para el híbrido susceptible correspondieron a Tucumán, seguido por Salta y Chaco (Figura 25 A, Tabla 20). Por otra parte, el híbrido moderadamente susceptible no mostró diferencia significativa de severidad de síntomas entre las 3 localidades consideradas.

El contenido de micotoxinas superó, en algunos casos, los niveles legales establecidos por la UE y la FDA (Figura 26 A). En este sentido, la concentración de FBs en el híbrido más susceptible fue superior a 2 ppm en Chaco mientras que la concentración de DON en el mismo híbrido superó las 2 ppm en Tucumán y Salta, poniendo de manifiesto una fuerte correlación entre la severidad de síntomas de fusariosis y la concentración de micotoxinas presentes. Si bien no fue objetivo de este trabajo la identificación de las especies presentes, se pudo llegar a identificar *F. verticillioides* y *F. graminearum*, los datos obtenidos son coherentes con las dos especies prevalentes en la región, a saber, *F. verticillioides* - FBs y *F. graminearum* - DON (Presello *et al.*, 2006, 2011; Diaz *et al.*, 2012).

En la campaña 2015, la diferencia entre híbridos y localidades fue menos contrastante (Figura 25 B, Tabla 20). La severidad en el híbrido más susceptible fue similar a la registrada en el híbrido moderadamente susceptible. Asimismo, los niveles de FBs y DON fueron moderados, ubicándose por debajo de los límites legalmente permitidos en la mayoría de los casos, excepto Tucumán donde se detectaron concentraciones de FBs >2 ppm. Los niveles de DON fueron poco importantes y menores a 0,800 ppm (Figura 26 B).

A)



B)

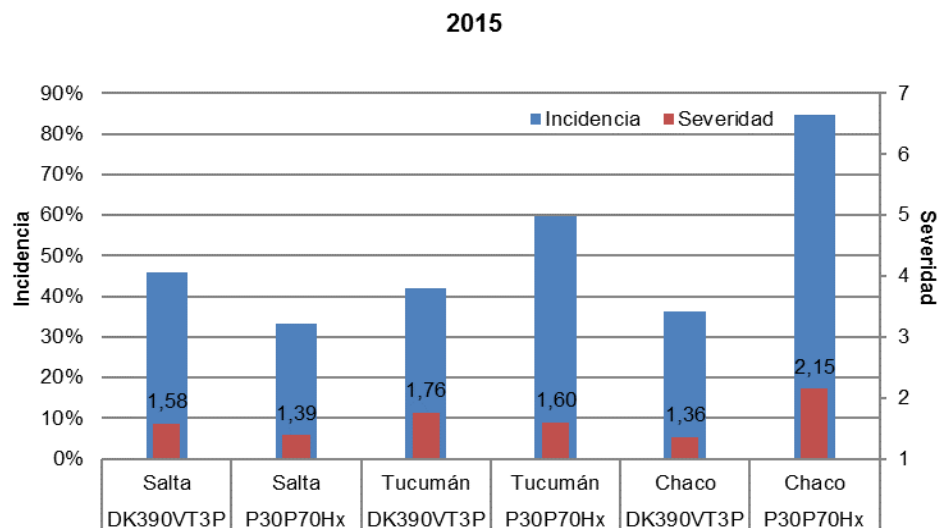
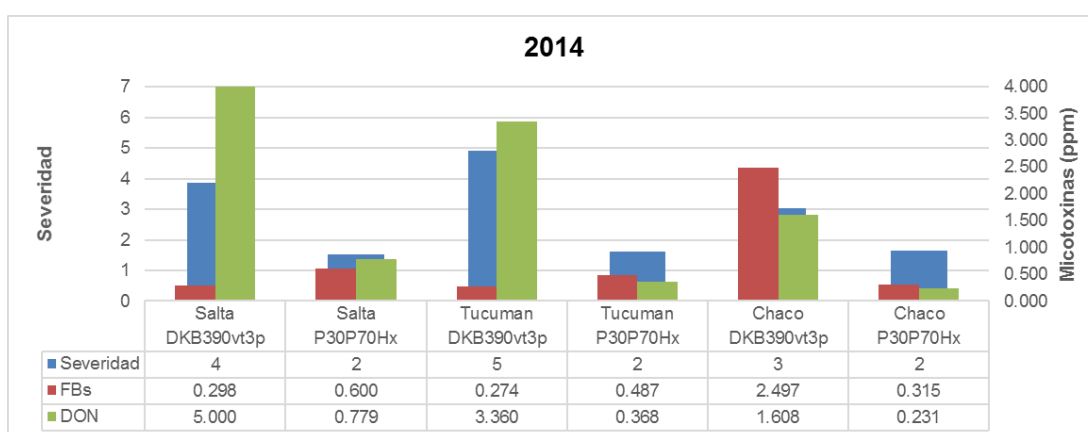


Figura 25. Valores de severidad de síntomas* e incidencia de *Fusarium* spp. a partir de la evaluación bajo infección natural de los híbridos susceptible DK390VT3P y tolerante P3070Hx, en tres localidades en las provincias de Salta, Tucumán y Chaco, durante las campañas de cultivo 2014 (A) y 2015 (B). * Basado en una escala de evaluación de severidad de Fusariosis en espiga según Papst *et al.*, 2007 (escala de 1-7 donde: 1 = sin síntomas; 2 = 1- 3%; 3 = 4-10%; 4 = 11-25%; 5 = 26-50%; 6 = 51-75%; y 7 =

76-100%). Medias que comparten al menos una letra no son estadísticamente diferentes. $p > 0.05$.

Tabla 19. Valores promedio de severidad de síntomas bajo infección natural de los híbridos DK390VT3P susceptible y P3070Hx tolerante, en tres localidades en las provincias de Salta, Tucumán y Chaco, durante las campañas de cultivo 2014 y 2015.

Año*	Localidad	Genotipo	Severidad	
2014	Salta	DK390VT3P	3,86	b
	Tucumán	DK390VT3P	4,91	a
	Chaco	DK390VT3P	3,04	c
	Salta	P30P70Hx	1,54	e
	Tucumán	P30P70Hx	1,61	e
	Chaco	P30P70Hx	1,65	e
2015	Salta	DK390VT3P	1,58	e
	Tucumán	DK390VT3P	1,76	de
	Chaco	DK390VT3P	1,36	e
	Salta	P30P70Hx	1,39	e
	Tucumán	P30P70Hx	1,6	e



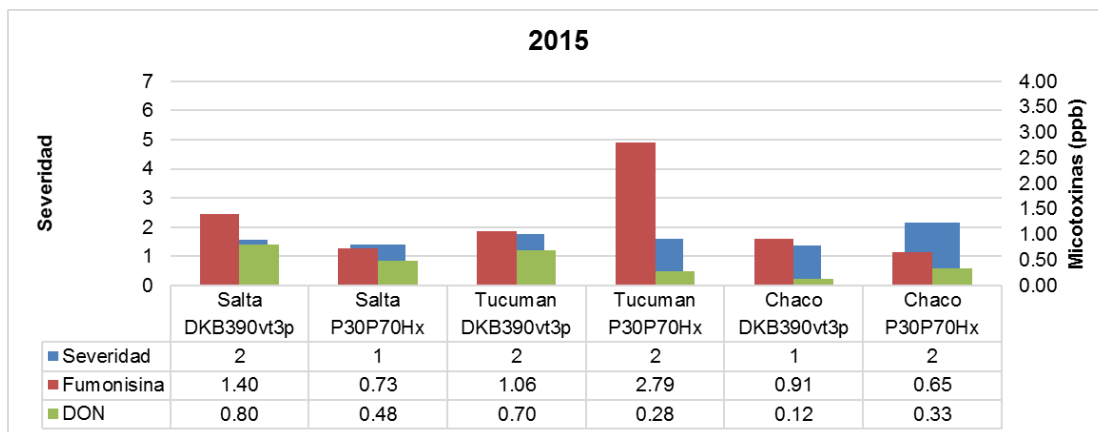


Figura 26. Valores de severidad de síntomas* de *Fusarium* spp. y concentración de micotoxinas FBs y DON a partir de la evaluación bajo infección natural de los híbridos DK390VT3P y P3070Hx, en tres localidades en las provincias de Salta, Tucumán y Chaco, durante las campañas de cultivo 2014 y 2015. * Basado en una escala de evaluación de severidad de Fusariosis en espiga según Papst *et al.*, 2007 (escala de 1-7 donde: 1 = sin síntomas; 2 = 1- 3%; 3 = 4-10%; 4 = 11-25%; 5 = 26-50%; 6 = 51-75%; y 7 = 76-100%).

Las tres localidades consideradas del Norte Argentino presentaron condiciones meteorológicas levemente predisponentes según Sancho *et al.* 2018, para la síntesis de FBs en la campaña 2014, ya que las temperaturas fueron menores (Tabla 4). Según este autor, las condiciones ambientales predisponentes para la acumulación de FBs en la región pampeana argentina para dos momentos claves del cultivo fueron: 1) floración: temperaturas cálidas, precipitaciones abundantes y alta humedad ($T_{min} > 18$ °C, $T_{max} < 32,9$ °C, HR >70%, P >0,2 mm) y 2) madurez fisiológica: temperaturas frescas, entre 13,3 °C-25°C y precipitaciones abundantes y frecuentes.

La acumulación de FBs superó los niveles legalmente permitidos en el híbrido susceptible solamente en Chaco, la localidad que registró mayor humedad relativa tanto en el momento de floración como en madurez fisiológica. Por el contrario, la micotoxina DON se detectó en niveles importantes en las tres localidades consideradas, sugiriendo una fuerte presencia de *F. graminearum* para esa campaña.

En cuanto a las condiciones predisponentes para *F. graminearum* y DON no existe demasiada información disponible para maíz en Argentina. Trabajos publicados para EE. UU y Canadá (Mansfield *et al.*, 2005, Vigier *et al.*, 2001) sugieren como condiciones predisponentes para el progreso de *F. graminearum* altos niveles de humedad (HR>80%) y temperaturas diarias entre 24-28°C. Estos trabajos también encontraron que para la producción de DON se necesitan condiciones similares que para la proliferación fúngica probablemente porque DON es un factor de virulencia importante durante el proceso de patogénesis (Audenaert *et al.*, 2013). Si las condiciones predisponentes fueran las mismas para el NOA, los valores de temperatura y humedad registrados en Salta y Tucumán no explicarían los altos niveles de DON encontrados en 2014 (Tabla 4). En estas localidades, la campaña 2014 se caracterizó por los bajos niveles de precipitaciones diarias. Teniendo en cuenta que el maíz necesita un mínimo diario de 5-6 mm de agua disponible para su crecimiento (Satorre *et al.*, 2004; Dardanelli *et al.*, 2003), la falta de disponibilidad de agua al momento de la antesis puede haber generado un estrés en la planta favoreciendo la infección primaria. Por otra parte, la alta humedad relativa en el periodo próximo a la madurez fisiológica podría haber promovido el crecimiento fúngico y la síntesis de DON. Es decir, que el incremento pudo haber estado mayormente ligado a las condiciones de déficit hídrico en las que se desarrolló el cultivo de la planta y posterior condición de alta humedad relativa a cosecha, como sugieren algunos autores (Parsons y Munkvold, 2010; Mansfield *et al.*, 2005), y no a las condiciones ambientales per se.

En 2015 las condiciones climáticas para las tres localidades fueron de mayores temperaturas y precipitaciones diarias en floración, y temperaturas frescas a moderadas con alta humedad relativa, y precipitaciones variables a madurez fisiológica, más cercanas a las condiciones predisponentes para la síntesis de FBs. Esto se vio reflejado en una tendencia hacia mayores niveles de FBs en Salta y Tucumán con respecto a 2014, aun cuando la severidad de síntomas de los patógenos

fue moderada (1,3-2,5 escala de síntomas). En Chaco, por el contrario, los niveles fueron muy bajos probablemente debido a las intensas precipitaciones ocurridas (Tabla 4). Cuando la intensidad de las precipitaciones supera los 2 mm/hora se produce un efecto de lavado del inóculo disponible limitando la dispersión de las esporas y el progreso de la enfermedad (Rossi *et al.*, 2009 citado por Sancho *et al.*, 2018) lo que pudo haber contrarrestado el avance de los síntomas y la acumulación de toxinas en esta localidad.

Otro factor que puede favorecer la infección por *Fusarium* spp. y producción de micotoxinas es la presencia de insectos. Los insectos jóvenes (larvas) y adultos que atacan la planta de maíz pueden actuar como vectores de estos patógenos y favorecer la acumulación de micotoxinas en los granos ya que actúan transportando esporas desde plantas enfermas hacia plantas sanas o con heridas (Bowers *et al.*, 2013; Cao *et al.*, 2013). En este sentido los híbridos con eventos transgénicos son muy buenos para controlar esta vía de infección. Los genotipos evaluados en este trabajo poseen eventos transgénicos para resistencia a lepidópteros, y el número de muestras que presentaron ataque por insectos no estuvo asociado al nivel de síntomas y/o toxinas. En el norte argentino existe una fuerte presión de insectos y los cultivares con eventos han facilitado notablemente el desarrollo y expansión del cultivo de maíz (Infocampo, 2016).

5.3 Evaluación de tratamientos con fungicidas del grupo de los triazoles y estrobilurinas sobre la incidencia, el nivel de severidad de síntomas y la acumulación de FBs y DON causadas por *Fusarium* spp.

Las condiciones climáticas durante el periodo de desarrollo del cultivo en la zona de Roversi fueron clasificadas según el fenómeno ENSO como un año Neutro (-0,2) y según el índice NDVI como húmedo.

Los valores observados de incidencia media en espigas fueron de 51,75%, con un mínimo de 25% y un máximo de 74,19%. La severidad en espiga tuvo una media de 2,58% con valores comprendidos entre un mínimo de 0,6% y un máximo de 11,30%. El 2014 fue uno de los años de mayor prevalencia al analizar la base de dato 1, previamente descrito para Chaco.

No fue observado daños por insecto o aves en ninguna de las parcelas.

Los valores de FBs estuvieron en un rango comprendido entre un mínimo de 0,075 ppm y un máximo de 0,807 ppm y un valor medio de 0,246 ppm. No superando los valores límites sugeridos de 2 ppm para harinas y 4 ppm para grano entero de maíz. Los valores de DON se encontraron comprendidos entre un mínimo de 0,075 ppm y un máximo de 2,454 ppm con un valor medio de 0,831 ppm. Superando en algunos casos los valores límites sugeridos de 0,500 ppm para harinas y 1,750 ppm para grano entero de maíz (EFESA, 2014) (Tabla 21).

Tabla 19. Resultados del ensayo de control de *Fusarium* spp. y nivel de micotoxinas, en maíz duro tratados con fungicidas. Abacus, Pyraclostrobin+Epoxiconazole (Abacus®); Metco, Metconazole + Epoxiconazole (Duett Plus ®); Sin, control sin fungicida. Amarillo, valores por encima de los límites fijados por la UE.

Fungicida	Momento	Rep.	Incidencia Espiga	Severidad (%)	%granos Dañados	Vuelco	FBs (ppm)	DON (ppm)
Sin	Antesis + 10	A	61%	3,8	8,0	3,33%	0,540	0,091
Sin	Antesis + 10	B	61%	4,8	5,2	6,25%	0,030	0,554
Sin	Antesis + 10	C	61%	6,5	7,8	3,13%	0,103	1,653
Sin	Antesis	A	74%	11,3	13,8	3,33%	0,424	0,371
Sin	Antesis	B	63%	8,1	6,1	9,38%	0,283	0,694
Sin	Antesis	C	65%	2,6	6,3	0,00%	0,318	0,259
Metco	Antesis + 10	A	58%	6,3	9,5	0,00%	0,040	2,454
Metco	Antesis + 10	B	60%	6,9	7,8	14,29%	0,108	0,552
Metco	Antesis + 10	C	50%	3,8	3,6	0,00%	0,059	0,075
Metco	Antesis	A	29%	0,6	6,2	3,13%	0,072	0,076
Metco	Antesis	B	41%	4,3	7,1	3,45%	0,131	1,397
Metco	Antesis	C	52%	1,9	3,9	3,13%	0,248	0,145
Abacus	Antesis + 10	A	57%	3,9	4,5	3,33%	0,209	2,061
Abacus	Antesis + 10	B	41%	1,8	8,8	6,25%	0,807	1,779
Abacus	Antesis + 10	C	25%	2,3	10,3	0,00%	0,081	0,500
Abacus	Antesis	A	30%	5,7	7,2	0,00%	0,217	0,560
Abacus	Antesis	B	66%	4,4	6,1	18,70%	0,396	1,560
Abacus	Antesis	C	37%	3,9	6,3	6,25%	0,375	0,183

El análisis ANAVA para la variable vuelco no presentó diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo. Cuando consideramos la incidencia en espiga, se observó que para la utilización de fungicidas resultó significativa la varianza entre tratamientos ($p=0,0305$). Por otra parte, ni el momento de aplicación o la interacción entre fungicida y momento de aplicación tuvieron diferencias significativas. La utilización de la mezcla de estrobilurinas más triazol (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) logró reducir la incidencia de *Fusarium* spp. en 21,39% y la mezcla de triazoles (Metconazole + Epoxiconazole) en 15,71% con respecto al testigo, no existiendo diferencias significativas entre ambos tratamientos con fungicidas (Figura 27).

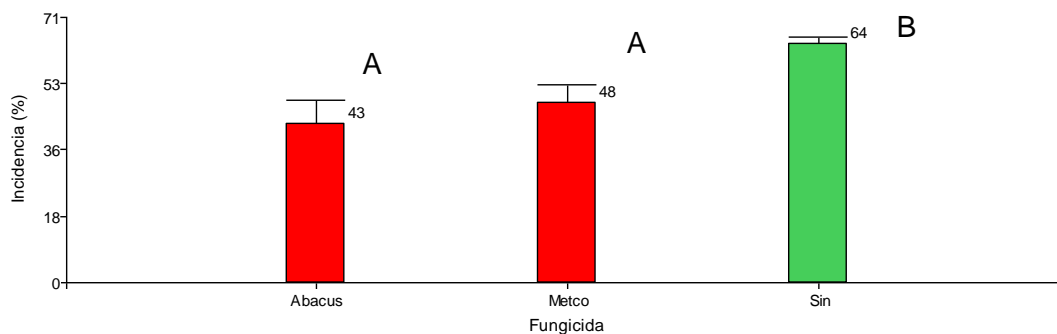


Figura 27. Incidencia en espiga de *Fusarium* spp. y tratamientos de fungicidas Abacus, metconazole y testigo. Abacus= Pyraclostrobin+Epoxiconazole (Abacus®); Metco= Metconazole+Epoxiconazole (Duett Plus ®); Sin= control sin fungicida. Medias con una letra común no son significativamente diferentes, LSD Fisher ($p > 0,10$).

Los valores de severidad en espiga observados (según la escala de Papst *et al.*, 2007), en los tratamientos fueron bajos, con valores del rango de 0,6% a 11,3%. Se pudo observar una tendencia similar a la observada para la incidencia en espiga con respecto a los tratamientos, a través del análisis de varianza no se pudo determinar diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos con Abacus y Metco (Figura 28).

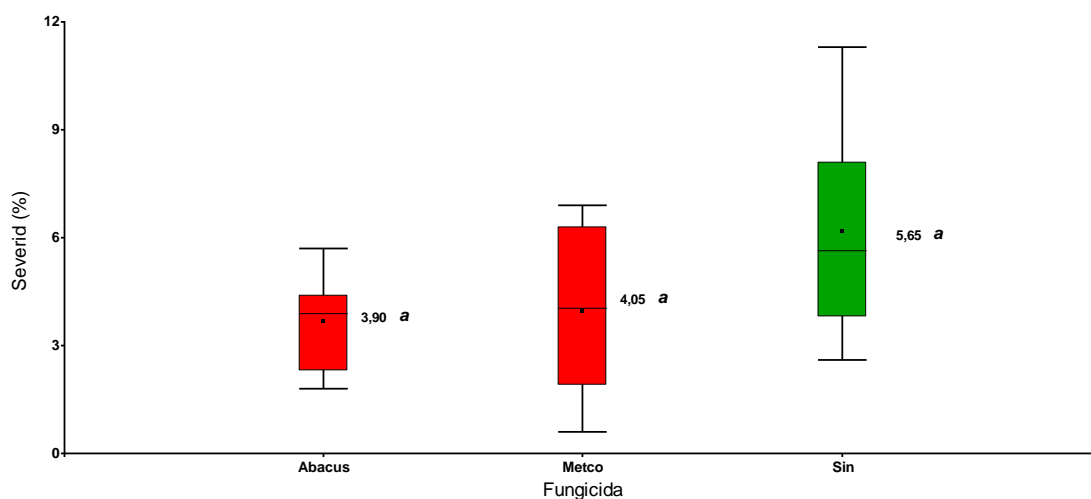


Figura 28. Severidad de *Fusarium* spp. y tratamientos de fungicidas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes, LSD Fisher ($p > 0,05$).

La incidencia en granos por *Fusarium* spp. no mostró diferencias significativas entre tratamientos (Figura 29).

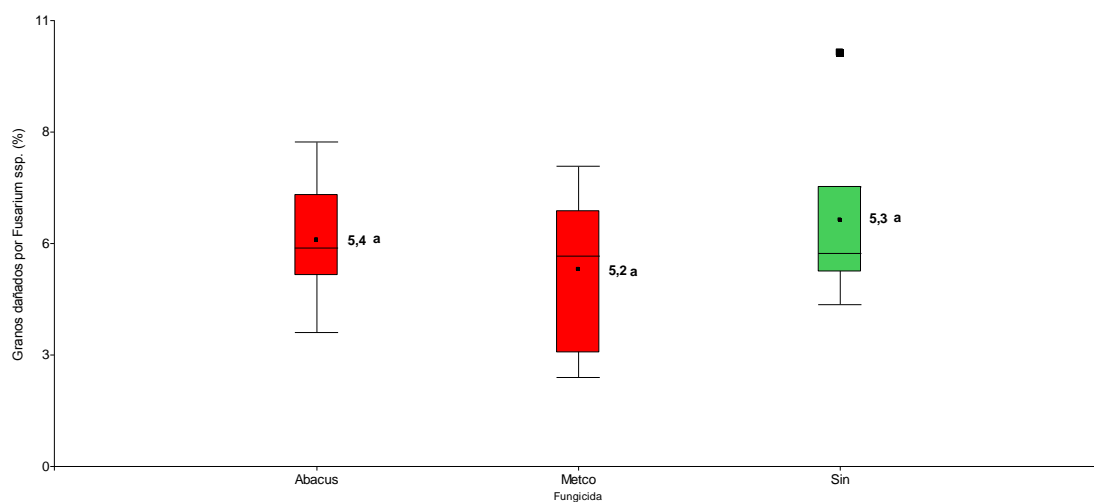


Figura 29. Granos dañados por *Fusarium* spp. y tratamientos de fungicidas. Abacus= Pyraclostrobin+Epoxiconazole (Abacus®); Metco= Metconazole+Epoxiconazole (Duett Plus ®); Sin= control sin fungicida. Medias con una letra común no son significativamente diferentes, LSD Fisher ($p > 0,05$).

Los valores de FBs no fueron significativamente diferentes entre tratamientos. En ningún caso superaron los límites establecidos para esta micotoxina y los valores medios fueron bajos (Figura 30).

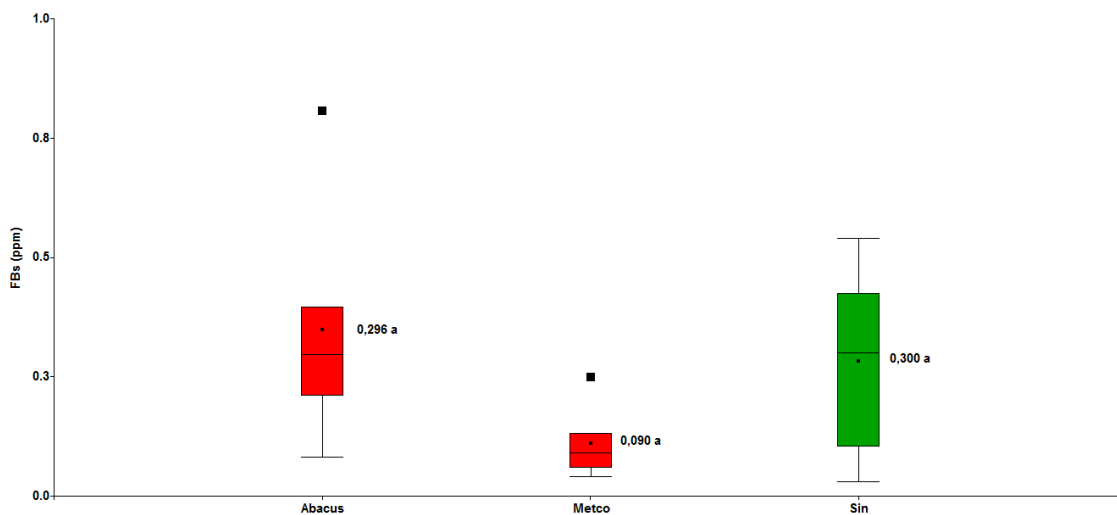


Figura 30. Niveles de FBs y tratamientos de fungicidas. Abacus = Pyraclostrobin+Epoxiconazole (Abacus®); Metco = Metconazole+Epoxiconazole (Duett Plus®); Sin = control sin fungicida. Medias con una letra común no son significativamente diferentes, LSD Fisher ($p > 0,05$).

El análisis resultante de la micotoxina DON no demostró diferencias significativas entre tratamientos. Aun así, se observó que en los tratamientos con fungicidas Abacus y Meconazole la dispersión de valores fue mayor que el tratamiento control, alcanzando valores máximos de 2,060 ppm y 2,450 ppm respectivamente. Estos valores máximos de DON se encuentran por encima de los establecidos como límite para consumo como harina (0,5 ppm) y grano entero (1,750 ppm) (Figura 31)

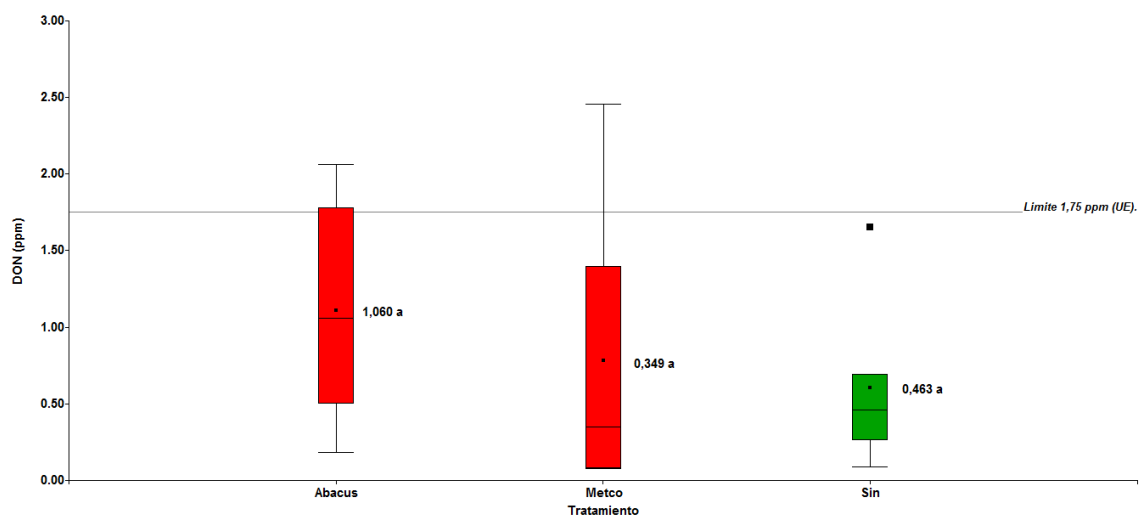


Figura 31. Niveles de la micotoxina DON y tratamientos de fungicidas. La línea horizontal representa el límite máximo de 1,750 ppm. permitido para granos enteros. Medias con una letra común no son significativamente diferentes, LSD Fisher ($p > 0,05$).

En el trabajo se confirmó una fuerte presencia de *Fusarium* spp. en la zona donde se estableció el ensayo expresado por los niveles de incidencia en espiga y severidad en espiga observados. Coincidiendo esto con los niveles encontrados en las muestras de recibo en acopio para Chaco y los muestreos por zona realizados en la misma campaña.

La aplicación de fungicidas del grupo de los triazoles y estrobilurinas utilizados en el presente trabajo y aplicados en el estado fenológico de VT a R1 redujeron la incidencia, no así sobre la severidad de la fusariosis y el porcentaje final de granos infectados. No se encontró diferencia significativa en incidencia y severidad comparando los momentos de aplicación, coincidiendo con resultados obtenidos en trabajos con la utilización de prothiaconazole sobre *F. graminearum* (Limay-Rios y Schaafsma, 2018; Anderson *et al.*, 2017).

No se encontraron diferencias significativas en el contenido de FBs y DON entre tratamientos coincidiendo con trabajos anteriores, donde los resultados no fueron concluyentes (Leslie and Logrieco, 2014) y sobre maíz duro donde tampoco se

evidenció una reducción respecto al control (Abdala *et al.*, 2018). Por otra parte, sí se observó una mayor dispersión de valores de DON en los tratamientos con fungicidas y en ambos tratamientos se observaron valores que superaron los límites establecidos por la UE. Esto podría deberse a la exposición de *F. graminearum* a dosis subagudas de dichos fungicidas que podrían generar una condición de estrés que induciría a la producción de dicha micotoxina (Marín *et al.*, 2013), dicho efecto también fue observado en triticale con la aplicación de azoxystrobin (Mankeviciene *et al.*, 2008). Si bien esto no coincide con lo observado por Anderson *et al.* 2017, este último utilizó dosis más elevadas de estrubilurinas y el momento de aplicación más tardío comparadas con el presente trabajo.

La utilización de fungicidas del grupo de los triazoles y estrubilurinas puede ser una herramienta errática para reducir el nivel de incidencia de fusariosis. Pero el efecto secundario de los fungicidas sobre la inducción de micotoxinas, debe ser estudiado en mayor profundidad ya que puede generar problemas puntuales de rechazo de partidas de maíz duro por presentar valores de DON por arriba de los límites permitidos por la UE.

6 CONCLUSIONES

La ocurrencia de infecciones con *Fusarium verticillioides* en muestras de maíz duro en la región norte de Argentina es endémica y la ocurrencia de FBs asociada a esta especie también. Aun cuando la mayoría de los años se encuentra dentro de los niveles permitidos, en algunos casos pueden superarlos ampliamente.

La ocurrencia de DON, asociada a *F. graminearum*, es menos frecuente que FBs, pero es más frecuente encontrar valores por encima de los niveles permitidos.

La utilización de pronósticos del fenómeno ENSO puede ser una herramienta válida para predecir la prevalencia e incidencia de fusariosis de espiga en las tres zonas en estudio, considerando la expresión particular de este fenómeno en cada una de ellas. De esta manera la industria puede planificar el abastecimiento de maíz duro, en la región norte de Argentina, en función de los pronósticos ENSO para reducir el impacto de estas micotoxinas.

La utilización del cociente entre los valores NDVI del año presente vs el promedio de la zona durante el bimestre Marzo-Abril pueden ser una herramienta válida para valorar los riesgos de ocurrencia de FBs durante el ciclo de cultivo en Chaco no así en Salta y Tucumán donde los microclimas producto de su geografía montañosa genera mayor variabilidad.

La utilización de híbridos con resistencia a lepidópteros (OGM) es una herramienta válida en las zonas donde, por condiciones ambientales, prevalece FFSC. No así en las zonas donde *F. graminearum* se ve favorecido por estas condiciones dada la mayor virulencia de este último.

La utilización de fungicidas es una práctica con respuestas poco seguras y en algunas condiciones puede inducir el aumento de DON por encima de los límites establecidos por la FDA y la UE.

La siembra de híbridos tolerantes a *Fusarium* spp. continúan siendo las herramientas más efectivas para reducir los valores de FBs y DON en los maíces

duros destinados a la molienda seca y la exportación en el NEA y fundamentalmente en el NOA.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Abbas H.K., Shier W.T and Cartwright R.D. 2007. Effect of temperature, rainfall and planting date on aflatoxin and Fumonisin contamination in commercial Bt and non-Bt corn hybrids in Arkansas. *Phytoprotection* 882: 41–50.
- Abbas H.K., Yoshizawa T. and Shier W.T. 2013. Cytotoxicity and phytotoxicity of trichothecene mycotoxins produced by *Fusarium* spp. *Toxicon*. 74: 68–75.
- Abbas H.K., Bellaloui N. and Brunus H.A. 2016. Investigating Transgenic Corn Hybrids as a Method for Mycotoxin Control. *Food and Nutrition Sciences* 7: 44-54.
- Abdala L.J., Gerde J.A., Gambin B.L. and Borrás L. 2018. Fungicide Applications and Grain Dry Milling Quality in Late-Sown Maize. *Crop Science* 58: 1-8.
- Aguaysol N.C., Gonzalez V., De Lisi V., Reznicov S., Stegmayer C.A., Henriquez D. and Ploper L.D. 2013. Incidencia de *Fusarium verticillioides* y *Fusarium graminearum* en granos de híbridos comerciales de maíz, cosechados en la campaña 2011/2012 en seis localidades de las provincias de Tucumán y Salta. El maíz en el NOA . *EEAOC* 46: 63-69.
- Anderson N.R., Romero Luna M.P., Ravellette k.A. and Wise K.A. 2017. Impact of foliar fungicides on Gibberella ear rot and deoxynivalenol levels in Indiana corn. *Plant Health Progress* 18:186-191.
- Al-Hatmi A.M.S., van Diepeningen A.D., Curfs-Breuker I., Sybren de Hoog G. and Meis J.F. 2015. Specific antifungal susceptibility profiles of opportunists in the *Fusarium fujikuroi* complex. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 2015; 70: 1068–1071.
- Aralova D., Toderich K., Jarihani B., Gafurov D. and Gismatulina L. 2016. Monitoring of vegetation condition using the NDVI/ENSO anomalies in Central Asia

and their relationships with ONI (very strong) phases. Proceedings Volume 10005, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VII; 1000512 Disponible en: <https://doi.org/10.1117/12.2242164>.

- Audenaert K., Vanheule A., Höfte M. and Haesaert G. 2013. Deoxynivalenol: A Major Player in the Multifaceted Response of *Fusarium* to Its Environment. *Toxins* 6: 1-19.
- Bacon C. W. and Nelson P. E. 1994. Fumonisin production in corn by toxigenic strains of *Fusarium moniliforme* and *Fusarium proliferatum*. *Journal of Food Protection* 57(6):514-521.
- Beuther D.A. and Sutherland E.R. 2007. Overweight, Obesity, and Incident Asthma-A Meta-analysis of Prospective Epidemiologic Studies. *Am J Respir Crit Care Med*. 175: 661–666.
- Blacutt A.A., Scott E., Voss K.A., Gao M. and Glenn A.E. 2018. *Fusarium verticillioides*: Advancements in Understanding the Toxicity, Virulence, and Niche Adaptations of a Model Mycotoxigenic Pathogen of Maize. *Phytopathology* 108: 312-326.
- Blandino M., Corbellini M., Scudellari D. and Vanara F. 2008. Effect of soil tillage, varieties and fungicide treatment on the deoxynivalenol contamination of soft wheat. *J. Plant Pathol.* 90: 71-76.
- Bolsa de Cereales de Buenos Aires. 2017. Indicadores de Coyuntura Agropecuaria. Año XII N°146: 1-6.
- Bowers E., Hellmich R. and Munkvold G. 2013. Vip3Aa and Cry1Ab proteins in maize reduce *Fusarium* ear rot and fumonisins by deterring kernel injury from multiple Lepidopteran pests. *World Mycotoxin Journal* 6: 127-135.
- Bush B. J., Carson M. L. Cubeta, M. A. Hagler, W. M. and Payne G. A. 2004. Infection and fumonisin production by *Fusarium verticillioides* in developing maize kernels. *Phytopathology* 94:88-93.

- Cao A., Santiago R., Ramos A.J., Marín S., Reid L.M. and Butrón A. 2013. Environmental factors related to fungal infection and fumonisin accumulation during the development and drying of white maize kernels. *International Journal of Food Microbiology* 164:15–22.
- Carmona M. and Scandiani M. 2011. Importancia y control de *Fusarium verticillioides* en semilla de maíz. Propuesta para su manejo. Aapresid, *Enfermedades Maíz*: 73-76.
- Chulze S., Ramirez M. L., Farnochi M., Pascale M., Visconti A. and March G. 1996. *Fusarium* and Fumonisin occurrence in Argentinean maize at different ear maturity stages. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 44: 2797-2801.
- Cirilo A.G., Masagué A. and Tanaka W. 2003. Influencia del manejo del cultivo en la calidad del grano de maíz colorado duro. *Revista de Tecnología Agropecuaria*. INTA Pergamino. Vol.VIII Nro. 24: 6-9.
- Cortinovis C., Caloni F., Schreiber N.B. and Spicer, L.J. 2014. Effects of Fumonisin B1 alone and combined with deoxynivalenol or zearalenone on porcine granulosa cell proliferation and steroid production. *Theriogenology* 81: 1042–1049.
- Dardanelli J., Collino D., Otegui M.E. and Sadras V.O. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. Editado por: Satorre y otros. *Producción de granos: Bases funcionales para su manejo*. Editorial Facultad Agronomía. Buenos Aires, Argentina: 325-386.
- De La Campa A., Hooker D.C, Miller J.D., Schaafsma A.W. and Hammon B.G. 2005. Modeling effects of environment, insect damage, and Bt genotypes on Fumonisin accumulation in maize in Argentina and the Philippines. *Micopathologia* 159: 539-552.
- De Curtis F., De Cicco V., Haidukowski M., Pascale M., Somma S. and Moretti A. 2011. Effects of agrochemical treatments on the occurrence of *Fusarium* ear rot

and Fumonisin contamination of maize in Southern Italy. *Field Crops Research* 123: 161–169.

- Deepa N., Nagaraja H. and Sreenivasa M.Y. 2016. Prevalence of Fumonisin producing *Fusarium verticillioides* associated with cereals grown in Karnataka (India). *Food Science and Human Wellness* 5: 156–162.
- Desjardins A.E. 2006. *Fusarium mycotoxins: chemistry, genetics and biology.* (Desjardins A.E.) APS Press. St Paul USA.
- Diaz C.G., Rodriguez R., Aguaysol C., Juarez J., Saleme P. and Ploper L.D. 2012. Relación entre incidencia de *Fusarium verticillioides* y variables de calidad de grano bajo condiciones de almacenamiento de maíz en Tucumán, Argentina. *Revista Agronomía N.O. Argentino* 32:47-53.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Doko M.B. and Visconti A. 1994. Occurrence of Fumonisin B1 and B2 in corn and corn based human foodstuff in Italy. *Food additives and contaminants* 4: 433-439.
- Dorn B., Forrer H.R., Schürch S. and Vogelgsang S. 2009. *Fusarium* species complex on maize in Switzerland: occurrence, prevalence, impact and mycotoxins in commercial hybrids under natural infection. *Eur. J Plant Pathol* 125:51-61.
- Duncan K.E. and Howard R.J. 2010. Biology of maize kernel infection by *Fusarium verticillioides*. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 23(1): 6-16.
- Egli D.B. 2018. Stability of Corn and Soybean Yield Ratios in Three Midwestern Environments. *Agron. J.* 110:311–318
- Enerson P.M. and Hunter R.B. 1980. A technique for screening maize (*Zea mays* L.) for resistance to ear mold incited by *Gibberella zeae* (Schw.) Petch. *Canadian Journal of Plant Science* 60:1123–1128.
- Estañol E., Erena S. y Figeras Roca N. 2012. Uso y percepción social de los recursos naturales en la cuenca media del río Lules, provincia de Tucumán

(Argentina). Disponible en: <https://dugi-ddoc.udg.edu/bitstream/handle/10256/7181/Proyecto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- European Food Safety Authority. 2004. Opinion of the Scientific Panel on contaminants in the food chain [CONTAM] related to Deoxynivalenol (DON) as undesirable substance in animal feed. EFSA J.73: 1–42.
- European Commission Regulation [EC] 2007. No.1126/2007 of 28 september 2007 amending regulation (EC) No.1881/2006. Setting maximum levels for certain contaminants in food stuffs as regards fusarium toxins in maize and maize products. J. Eur.Union 255: 14–17.
- European Food Safety Authority [EFESA]. 2014. Evaluation of the increase of risk for public health related to a possible temporary derogation from the maximum level of deoxynivalenol, zearalenone and fumonisins for maize and maize products. EFSA J.12:3699–3760.
- Eyhérbide G.H. 2006. Mejoramiento genético de maíz su trayectoria en la Argentina. ILSI vol II: 14-21.
- Ferrigo D., Raiola A. and Causin R. 2016. Fusarium toxin in cereals: occurrence, legislation, factors promoting the appearance and their management. Molecules 21 (627): 1-35.
- Food and Drug Administration [FDA] 2001. Back ground Paper in Support of Fumonisin Levels in Corn and Corn Products Intended for Human Consumption College Park, MD: US Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition.
- FDA. 2011. Mycotoxin Regulatory Guidance: A Guide for Grain Elevators, Feed Manufacturers, Grain Processors and Exporters. Disponible en: <https://www.ngfa.org/wpcontent/uploads/NGFAComplianceGuideFDARegulatoryGuidanceforMycotoxins8-2011.pdf>

- Gear J., 2006. El cultivo de maíz en la Argentina En: Recopilación de ILSI Argentina. Serie de Informes Especiales. Maíz y nutrición (ILSI Argentina Eds.). pp 4-8.
- GLAM – INTA. Disponible en: <http://sepa.inta.gob.ar/productos/>
- Grimm A., Ferraz S.E. and Gomez J. 1998. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. J. Climate 11: 2863–2880.
- Grimm A., Barros V. and Doyle M. 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. J. Climate, 13: 35-58.
- Greco I.A. y Martí Ribes I., 2016. Actualidad en producción, exportación y tendencias en nuestro uso del maíz Plata / Flint Argentino para el mercado europeo. En: Optimizando el manejo del cultivo de maíz flint, ed. L. Borrás, Editorial Tecnigráfica, 87 pgs.
- Harris L. J., Desjardins A. E., Plattner R. D., Nicholson P., Butler G., Young J. C., Weston G., Proctor R.H. and Hohn T.M. 1999. Possible role of trichothecene mycotoxins in virulence of *Fusarium graminearum* on maize. Plant Dis. 83: 954-960.
- Herrera G. A. 2009. Parámetros Climáticos del Sudoeste Chaqueño. Boletín EEA INTA Las Breñas (Chaco): 1-10.
- Hershman D.E., Bachi P.R., TeKrony D.M. and VanSanford D.A. 2001. Management of Fusarium head blight in wheat using selected biological control agents and foliar fungicides. National Fusarium Head Blight Forum, Erlanger, KY. 18. Homdork S., Fehrmann : 59-63.
- Homdork S., Fehrmann H. and Beck R. 2000. Effects of field application of tebuconazole on yield, yield components and the mycotoxin content of Fusarium-infected wheat grain. J. Phytopathol. 148:1-6.
- Hurtado R., Fernandez Long M.E., Serio L., Portal M.R. and Valdiviezo Corte M. 2013. Señales del ENOS sobre la región noroeste argentina. AGRARIA Vol. VII 14: 130-134.

- Iglesias J., Presello D.A., Fauguel C.M. y Botta G.L. 2008. Micotoxinas: ¿Debemos preocuparnos?. Maíz y sorgo en siembra directa 2008 – Revista Técnica Especial de AAPRESID: 221-226.
- Iglesias J., Presello D.A., Botta G.L., Lori G. and Fauguel, C. 2010. Aggressiveness of *Fusarium* section *Liseola* isolates causing maize ear rot in Argentina. *Journal of Plant Pathology* 92 (1): 205-211.
- Kakde U.B. 2017. Mycotoxins and its Impact on Human Populations. *MOJ Bioequiv Availab* 3(5): 1-2.
- Koch P. 2004. State of the art of trichothecenes analysis. *Toxicol. Lett.*, 153: 109–112.
- Lanza F.E., Zambolim L., Veras da Costa R., Queiroz V.A.V., Cota L.V., Da Silva D., Gomez Coelho de Souza A. and Fontes Figueiredo J.E. 2014. Prevalence of FBs-producing *Fusarium* species in Brazilian corn grains. *Crop Protection* 65: 232-237.
- Leslie F.J. and Summerell B.A. 2006. Species Description. En: *The Fusarium Laboratory Manual*. Leslie and Summerell Eds. Blackwell Publishing. 13: 122-278.
- Leslie J. F. and Summerell B. A. 2013. An overview of *Fusarium*. En: *Fusarium: Genomics, Molecular and Cellular Biology*. (Brown D.W. and Proctor R.H). Caister Academic Press, Norfolk, UK: 1-9.
- Leslie J.F. and Logrieco A. (Eds.). 2014. *Mycotoxin reduction in grain chains*. Hoboken, NJ: Wiley Blackwell.
- Levin L., Rida A., y Castaño F. 2003. Fusariosis de la espiga en el maíz. Facultad de Ciencias Agrarias., INTA. 20a Jornada de actualización profesional en cultivos de verano. Universidad Nacional de Mar de Plata. 165pp.
- Limay-Rios V. and Schaafsma A. 2018. Effect of Prothioconazole Application Timing on *Fusarium* Mycotoxin Content in Maize Grain. *J. Agric. Food Chem.* 66: 4809–4819.

- Maiorano A., Reyneri A., Magni A. and Ramponi, C. 2009. A decision tool for evaluating the agronomic risk of exposure to FBsonisins of different maize crop management systems in Italy. *Agricultural Systems* 102: 17–23.
- Mankeviciene A., Gaurilcikiene I. and Suproniene S., 2008. The infestation of winter rye and triticale grain with *Fusarium* fungi as affected by fungicide use. *Cereal Res. Commun.* 36: 683-687.
- Mansfield M.A., De Wolf E.D. and Kuldau G.A. 2005. Relationships Between Weather Conditions, Agronomic Practices, and Fermentation Characteristics with Deoxynivalenol Content in Fresh and Ensiled Maize. *Plant Disease* (89) 11: 1151–1157.
- Marín P., de Ory A., Cruz A., Magan N. and González-Jaén M.T. 2013. Potential effects of environmental conditions on the efficiency of the antifungal tebuconazole controlling *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum* growth rate and fumonisin biosynthesis. *International Journal of Food Microbiology* 165: 251-258.
- Miller J.D. 2001. Factor that affect the occurrence of Fumonisin. *Environmental Health Perspectives* 109: 321-324.
- Miller S.S., Reid L.M. and Harris L.J. 2007. Colonization of maize silks by *Fusarium graminearum*, the causative organism of gibberella ear rot. *Can. J. Bot.* 85: 369-376.
- Munkvold G.P., Hellmich R.L. and Showers W.B. 1997. Reduced *Fusarium* ear rot and symptomless infection in kernels of maize genetically engineered for European corn borer resistance. *Phytopathology* 87(10):1071-1077.
- Munkvold G.P., Hellmich R.L. and Rice L.G. 1999. Comparison of Fumonisin concentrations in kernels of transgenic Bt maize hybrids and nontransgenic hybrids. *Plant Disease* 83(2):130-138.
- Munkvold G.P. 2003. Epidemiology of *Fusarium* diseases and their mycotoxins in maize ears. *Eur. J. Plant Pathol.* 109: 705–713.

- Munkvold G.P. 2014. Crop Management Practices to Minimize the Risk of Mycotoxins Contamination in Temperate-Zone Maize. In: Mycotoxin Reduction in Grain Chains (Leslie J.F. and Logrieco A.F.) John Wiley & Sons. Iowa USA: 59-77.
- Nelson P.E., Toussoun T.A. and Marasas W.F.O. 1983: *Fusarium Species - An Illustrated Manual for Identification*. The Pennsylvania State University Press, University Park and London. 193pp.
- NOAA, 2018. El Niño Southern Oscillation. Disponible en: http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- Obst A., Lepschy-v Gleissenthall J. and Beck R. 1997. On the etiology of *Fusarium* head blight of wheat in South Germany— preceding crops, weather conditions for inoculum production and head infection, proneness of the crop to infection and mycotoxin production. *Cereal Res. Commun.* 25: 699-704.
- OECD/FAO. 2016. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025*, OECD Publishing, Paris. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-en.
- OECD/FAO. 2018. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025*, OECD Publishing, Paris. Disponible en: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2018-2027_agr_outlook-2018-en
- OJEU. 2005. Official Journal of the European Union. COMMISSION REGULATION (EC) No 856/2005. L143: 3-8.
- Oren L., Ezrati S., Cohen D. and Sharon A. 2003. Early events in the *Fusarium verticillioides*-maize interaction characterized by using a green fluorescent protein-expressing transgenic isolate. *Appl. Environ. Microbiol.* 69:1695-1701.
- Papst C., Zellner J., Venkataratnam S. and Eder J. 2007. *Fusarium* – Problematik bei Körnermais (*Zea Mays* L.). *Gesunde Pflanzen* 59:7-16
- Parsons M.W. and Munkvold G.P. 2010. Associations of planting date, drought stress, and insects with *Fusarium* ear rot and Fumonisin B1 contamination in California maize. *Food Addit. Contam.* 27: 591-607.

- Pirgozliev S.R., Edwards S.G., Hare M.C. and Jenkinson P. 2002. Effect of dose rate of azoxystrobin and metconazole on the development of *Fusarium* head blight and the accumulation of deoxynivalenol (DON) in wheat grain. *European Journal of Plant Pathology* 108: 469-478.
- Pizzo F., Caloni F., Schutz L.F., Totty M.L. and Spicer, L.J. 2015. Individual and combined effects of deoxynivalenol and zearalenol on cell proliferation and steroidogenesis of granulosa cells in cattle. *Environ. Toxicol. Pharmacol* 40: 722–728.
- Presello D.A., Iglesias J., Botta G., Reid L.M. Lori G & Eyhérabide H. 2006. Stability of maize resistance to the ear rots caused by *Fusarium graminearum* and *F. verticillioides* in Argentinian and Canadian environments. *Euphytica* 147: 403–407.
- Presello D.A., Iglesias J., Botta G. and Eyhérabide G.H. 2007. Severity of *Fusarium* ear rot and concentration of Fumonisin in grain of Argentinian maize hybrids. *Crop Protection* 26: 852-855.
- Presello D.A., Pereyra A.O., Iglesias J., Fauguel C.M., Sampietro D.A. & Eyhérabide G.H. 2011. Responses to selection of S5 inbreds for broad-based resistance to ear rots and grain mycotoxin contamination caused by *Fusarium* spp. in maize. *Euphytica* 178: 23–29.
- Presello D.A., Oviedo M.S., Fernandez M., Iglesias J. y Copia P.A. 2016, Resistencia a podredumbres de espiga y acumulación de micotoxinas en maíz. *RTA EEA Pergamino* 10(32): 29-32.
- Programa MRI, 2019. Disponible en: <http://www.programamri.com.ar>
- Ramirez M.L., Chulze S. and Magan N. 2004. Impact of environmental factors and fungicides on growth and deoxinivalenol production by *Fusarium graminearum* isolates from Argentinian wheat. *Crop Protection* 23:117-125.
- Rasera R. 2010. Mais e micotossine: possibilita di controllo. *Universita' Degli Studi Di Padova, Tesis doctoral*: 77-100.

- Reid L.M., Hamilton R.I. and Mather D.E. 1996. Screening maize for resistance to gibberella ear rot. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, ON. Technical Bulletin Publication 1996-5E.
- Ricca A., Balzarini M., Tablada M., Rojas D. and Sancho A.M. 2009. Argentine: Mycotoxin in Grains of Stored Corn. International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference “Technology and Management to Increase the efficiency in Sustainable Agricultural Systems”, Rosario, Argentina, 1-4 September.
- Rheeder J.P., Marasas W.F.O., Thiel P.G., Sydenham E.W., Shephard G.S. and Van Schalkwyk D.J. 1992 *Fusarium moniliforme* and FBsonisins in corn in relation to human esophageal cancer in Transkei. *Phytopathology* 82: 353–357.
- Rishma C. and Katpatal Y.B. 2016. Variability in rainfall and vegetation density as a response to ENSO events: A case study in Venna river basin of central India. *Journal of Agrometeorology* 18(2): 300-305.
- Rocha L.O., Barroso V.M., Andrade L.J., Pereira G.H.A., Ferreira-Castro F.L., Duarte A.P., Michelotto M.D. and Correa B. 2016. FBS Gene Expression Profile and Fumonisin Production by *Fusarium verticillioides* Inoculated in Bt and Non-Bt Maize. *Frontiers in Microbiology* 6: 1503.
- Rossi V. and Scandolara A. 2009. Effect of environmental conditions on spore production by *Fusarium verticillioides*, the causal agent of maize ear rot. *Eur J Plant Pathol* 123:159-169.
- Salgado J.D., Wallhead M., Madden L.V. and Paul P.A. 2011. Grain harvesting strategies to minimize grain quality losses due to *Fusarium* head blight in wheat. *Plant Dis.* 95:1448-1457.
- Scauflaire S., Mahieu O., Louvieaux J., Foucart G., Renard F. and Munaut F. 2011. Biodiversity of *Fusarium* species in ears and stalks of maize plants in Belgium. *Eur J Plant Pathol* 131:59–66.

- Sampietro D.A., Aristimuño Ficoseco M.E., Jimenez C.M., Vattuone M.A and Catalán C.A. 2012. Trichothecene genotypes and chemotypes in *Fusarium graminearum* complex strains isolated from maize fields of northwest Argentina. *Int. Journal of Food Microbiology* 153: 229-233.
- Sancho A.M., Moschini. C., Filippini S, Rojas D. and Ricca A. 2018. Weather-based logistic models to estimate total Fumonisin levels in maize kernels at export terminals in Argentina. *Tropical Plant Pathology* 43: 99-108.
- Satorre E.H. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. *Ciencia hoy*, 15(87), 24-31.
- Satorre, E.H., Benech Arnold, R.L., Slafer, G.A., de la Fuente, E.B., Miralles, D.J., Otegui M.E. y Savin, R. 2004. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. ED Facultad Agronomía Buenos Aires - Argentina.
- Seem R.C. 1984. Disease incidence and severity relationships. *Ann. Rev. Phytopathol* 22: 133-150.
- SENASA, resolución ex SAGPyA n°757/97. 2019. Disponible en: <http://www.senasa.gob.ar/tags/maiz-flint-exportacion> .
- Shank R.A.; Foroud N.A.; Hazendonk P.; Eudes F. and Blackwell B.A. 2011. Current and future experimental strategies for structural analysis of trichothecene mycotoxins - A prospectus. *Toxins* 3: 1518–1553.
- Sherif M., Splivallo R., Pfohl K. and Karlovsky, P. (2016). Role of trichothecenes and fumonisins in interaction between *Fusarium graminearum* and *F. verticillioides* in maize ears. Effect of mycotoxin production on interactions between *Fusarium* species during maize infection and on the production of volatile metabolites. Tesis Doctoral, Georg-August-University Göttingen, Germany (2): 17-47.
- Small I.M., Flett B.C., Marasas W.F.O., McLeod A. and Viljoen A. 2012. Use of resistance elicitors to reduce *Fusarium* ear rot and Fumonisin accumulation in maize. *Crop protection* 41: 10-16.

- Stepien L., Koczyk G. and Waskiewicz A. 2011. Genetic and phenotypic variation of *Fusarium proliferatum* isolates from different host species. J. Appl. Genet. 52: 487–496.
- Streit E., Naehrer K., Rodrigues I. and Schatzmayr, G. 2013. Mycotoxin occurrence in feed and feed raw materials worldwide: Long-term analysis with special focus on Europe and Asia. J. Sci. Food Agric. 93: 2892–2899.
- Torres A.M., Reynoso M.M., Rojo F.G., Ramirez M.L. and Chulze S.N. 2001. *Fusarium* species (section Liseola) and its mycotoxins in maize harvested in northern Argentina. Additive and Contaminants 18: 836-843.
- Torres Hernández M.E., Sánchez Rangel D., Galeana Sánchez E. and Plasencia de la Parra J. 2014. Fumonisin síntesis y función en la interacción *Fusarium verticillioides* - Maíz. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas 17(1):77-91.
- Van Egmond H.P, Schothorts R.C. and Jonker M.A. 2007. Regulations relating to mycotoxins in food. Anal Bioanal Chem 389:147–157.
- Van Rensburg B.J., McLaren N.W., Flett B.C. and Schoeman A. 2015. Fumonisin producing *Fusarium* spp. and Fumonisin contamination in commercial South African maize. Eur J Plant Pathol 141: 491-504.
- Van Rensburg B.J., McLaren N.W. and Flett B.C. 2017. Grain colonization by Fumonisin-producing *Fusarium* spp. and Fumonisin synthesis in South African commercial maize in relation to prevailing weather conditions. Crop Protection 102: 129-136.
- Vigier B., Reld L.M., Dwyer L.M., Stewart D.W., Sinha R.C., Arnason J.T. and Butler G. 2001. Maize resistance to Gibberella ear rot: symptoms, deoxivalenol and yield. Can. J. Plant Pathol. 23: 99-105.
- Vincelli P. 2016. Genetic Engineering and Sustainable Crop Disease Management: Opportunities for Case-by-Case Decision-Making. Sustainability 8: 1-22.

- Wannemacher R.W. and Wiener. 1997. Trichothecene mycotoxins. In: Medical aspects of chemical and biological warfare (Zajtchuk R. and Bellamy R.F.) Office of The Surgeon General Department of the Army, United States of America. Maryland USA: 655-676.
- Ward T.J., Clear R.M., Rooney A.P., O'Donnell K., Gaba D., Patrick S., Starkey D.E., Gilbert J., Geiser D.M. and Nowicki T.W. 2008. An adaptive evolutionary shift in *Fusarium* head blight pathogen populations is driving the rapid spread of more toxigenic *Fusarium graminearum* in North America. *Fungal Genet. Biol.*, 45: 473–484.
- World Health Organization. 2002. Estrategia global de la OMS sobre inocuidad de los alimentos: Alimentos más sanos para una salud mejor. Ginebra: Organización Mundial de la Santé. Disponible en: <http://www.who.int/iris/handle/10665/42705>
- Yates, I. E., Bacon, C. W., and Hinton, D. M. 1997. Effects of endophytic infection by *Fusarium moniliforme* on corn growth and cellular morphology. *Plant Dis.* 81:723-728.
- Zaštita bilja u ratarstvu. 2018. Foto de *Fusarium verticillioides* Dominio público. Disponible en: http://4.bp.blogspot.com/-cvRyGR9yo9E/U5_rkB80ksI/AAAAAAAAARdg/WxGY-DJktoM/s1600/Fusarium+spp_corn_7.jpg