

Efecto de la dosis de N en la incidencia de *Fusarium* spp. en raíces de trigo bajo camas permanentes*

Effect of the dose of N in the incidence of *Fusarium* spp. in wheat roots under permanent beds

Agustín Limón Ortega^{1§}, Deyxi Pelaez Cruz², Gerardo Leyva Mir² y Catalina Espinosa Barreto²

¹INIFAP-CEVAMEX, km 13.5 Los Reyes-Texcoco, Estado de México, C. P. 56250. ²Universidad Autónoma Chapingo. (dayxi_22@hotmail.com; lsantos@correo.chapingo.mx; caty.espinosa@gmail.com). [§]Autor para correspondencia: limon.agustin@inifap.gob.mx.

Resumen

La aplicación de sistemas de labranza de conservación como el de camas permanentes tiene ventajas importantes sobre la producción de cultivos. Sin embargo, los residuos de cultivo que se dejan sobre el suelo promueven el desarrollo de enfermedades. En este estudio se evaluó la incidencia de hongos en la raíz de trigo con cuatro dosis de N (0, 20, 40 y 60 kg ha⁻¹) en rotación con maíz en tres dosis de N (0, 60 y 120 kg ha⁻¹) bajo camas permanentes. La identificación se realizó por observación microscópica directa encontrándose siete especies de *Fusarium* y tres de *Helminthosporium*. La incidencia de la mayoría de estas se afectó por la aplicación de N. La incidencia de *Fusarium moniliforme* se relacionó negativamente con rendimiento, espigas por m² y absorción total de N. La tasa de reducción (pendiente) de cada uno de estos parámetros y su efecto a baja incidencia (intercepto) dependió de la dosis de N. El efecto de la incidencia en estos parámetros fue menor para la aplicación de 40 kg N ha⁻¹ que para 60 kg N ha⁻¹. El resto de las especies identificadas no presentaron un patrón definido. Por otra parte, el índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI) colectado en tratamientos con la aplicación de 60 kg N ha⁻¹ en tres etapas de desarrollo presentó una asociación negativa con la incidencia de *Fusarium moniliforme*. Estos resultados indican la importancia de la aplicación adecuada de N para

Abstract

The application of conservation tillage systems like permanent beds has important advantages over the production of crops. However, crop residues are left on the ground promote disease development. In this study the incidence of fungi in the root of wheat was evaluated with four doses of N (0, 20, 40 and 60 kg ha⁻¹) in rotation with maize in three doses of N (0, 60 and 120 kg ha⁻¹) under permanent beds. The identification was made by direct microscopic observation was found seven species of *Fusarium* and *Helminthosporium* three. The incidence of most of these were affected by the application of N. The incidence of *Fusarium moniliforme* was negatively related to performance spikes per m² and total absorption of N. The reduction rate (slope) of each of these parameters and their effect low incidence (intercept) dose dependent N. The effect of these parameters on the incidence was lower for the application of 40 kg N ha⁻¹ to 60 kg N ha⁻¹. The rest of the identified species did not show a definite pattern. Moreover, the differential normalized vegetation index (NDVI) collected in treatments with the application of 60 kg N ha⁻¹ in three stages of development presented a negative association with the incidence of *Fusarium moniliforme*. These results indicate the importance of proper application of N to reduce the effect of impact on plants. The NDVI readings proved to be a potential tool for indirect detection of disease at the root.

* Recibido: marzo de 2016
Aceptado: mayo de 2016

reducir el efecto de la incidencia en plantas. Las lecturas NDVI demostraron ser una herramienta potencial para la detección indirecta de enfermedades en la raíz.

Palabras clave: camas permanentes, enfermedades de la raíz, nitrógeno, NDVI, trigo.

Introducción

La práctica del cultivo de trigo de temporal bajo el sistema de siembra en camas permanentes se ha venido incrementando. El éxito de esta tecnología se ha sustentado en la aplicación apropiada de tres principios básicos; movimiento mínimo de suelo, rotación de cultivos y cubierta de suelo permanente con residuos de cultivo (Hobbs *et al.*, 2010; Sommer *et al.*, 2014). Los beneficios por la aplicación de estos principios generalmente se relacionan con el mejoramiento del rendimiento (Govaerts *et al.*, 2005) y atributos físicos, químicos y biológicos del suelo (Limón-Ortega *et al.*, 2002).

Sin embargo, investigaciones previas han demostrado que los sistemas de labranza de conservación pueden generar condiciones que incrementan la incidencia de especies de hongos en el suelo (Steinkellner y Langer, 2004). La razón es que los residuos de cultivo son fuente importante de inóculo para algunas enfermedades tales como *Fusarium* spp. (Dill-Macky, 2008; Wegulo *et al.*, 2015). Por ejemplo, dependiendo de la rotación de cultivos, Dill-Macky y Jones (2000) encontraron que la incidencia y severidad de *Fusarium* spp. es mayor con trigo en rotación con maíz que en rotación con soya. De la misma manera, se ha demostrado que la rotación continua de trigo- maíz en combinación con condiciones climáticas favorables pueden resultar en la acumulación de inóculo (Landschoot *et al.*, 2013). En contraste, otros reportes de investigación han concluido que el papel de la labranza sobre las enfermedades no es claro reconociendo que un suelo sano con alta diversidad microbiológica juega un papel antagonico a los patógenos del suelo (Hobbs *et al.*, 2010).

Por otro lado, la mayoría de las pérdidas en rendimiento tanto en trigo como en cebada es causada por especies de hongos del genero *Fusarium*, del cual las especies *Gibberella zeae* (*Fusarium graminearum*) *culmorum*, y *Gibeberela avenacea* (*Fusarium avenaceum*) son las más importantes (Landschoot *et al.*, 2013; Wegulo *et al.*, 2015). Asimismo, estas especies pueden sobrevivir de manera saprofita por varios años en el suelo, particularmente en los residuos

Keywords: nitrogen, NDVI, permanent beds, root diseases, wheat.

Introduction

The practice of rainfed wheat crop under the system of permanent bed planting has been increasing. The success of this technology has been based on the proper application of three basic principles; minimal movement of soil, crop rotation and permanent soil cover crop residues (Hobbs *et al.*, 2010; Sommer *et al.*, 2014). The benefits from the application of these principles generally relate to performance improvement (Govaerts *et al.*, 2005) and physical, chemical and biological soil attributes (Limón-Ortega *et al.*, 2002).

However, previous research has shown that conservation tillage systems can create conditions that increase the incidence of fungal species in the soil (Steinkellner and Langer, 2004). The reason is that the crop residues are important source of inoculum for ailments such as *Fusarium* spp. (Dill-Macky, 2008; Wegulo *et al.*, 2015). For example, depending on the crop rotation, Dill-Macky and Jones (2000) found that the incidence and severity of *Fusarium* spp. is higher wheat in rotation with corn in rotation with soybeans. Similarly, it has been shown that the continuous rotation of wheat-corn in combination with favorable climatic conditions can result in the accumulation of inoculum (Landschoot *et al.*, 2013). In contrast, other research reports have concluded that the role of tillage on diseases is not clear recognition that a healthy soil with high microbial diversity plays an antagonistic role to soil-borne pathogens (Hobbs *et al.*, 2010).

On the other hand, most yield losses in both wheat and barley is caused by species of *Fusarium* fungi, which species *Gibberella zeae* (*Fusarium graminearum*), *culmorum* and *Gibeberela avenacea* (*Fusarium avenaceum*) are the most important (Landschoot *et al.*, 2013; Wegulo *et al.*, 2015). Also, these species can survive saprophyte way for several years in the soil, particularly in crop residues (Leplat *et al.*, 2013). In contrast, the system of permanent bed planting beds with conventional tillage or show a marked reduction in some foliar diseases as a possible consequence of micro climatic conditions resulting from the change in the orientation of plants (Sayre and Hobbs, 2004).

de cultivo (Leplat *et al.*, 2013). En contraste, el sistema de siembra en camas permanentes o camas con labranza convencional presentan una marcada reducción en algunas enfermedades foliares como posible consecuencia de las condiciones micro climáticas que resultan del cambio en la orientación de las plantas (Sayre y Hobbs, 2004).

Otros factores de manejo que también pueden promover o inhibir el desarrollo de comunidades específicas de *Fusarium* spp. es el control de malezas herbicidas a base de glifosato y fuente de N como fertilizante (Leplat *et al.*, 2013). Por otra parte, algunos estudios han reportado que la evaluación del NDVI a partir de mediciones de reflectancia a diferentes etapas de desarrollo empleando el sensor GreenSeeker, está relacionado con las concentración de N y rendimiento final (Teal *et al.*, 2006). Como resultado, el rendimiento potencial de trigo se ha podido predecir desde la etapa tempranas de desarrollo con la finalidad de maximizar la eficiencia de las aplicaciones de fertilizante a base de N (Teal *et al.*, 2006; Martin *et al.*, 2007). Sin embargo, no hay reportes que indiquen una relación directa entre lecturas NDVI y enfermedades en la raíz.

Debido a la naturaleza devastadora de *Fusarium* spp., es esencial para los productores contar con estrategias para mitigar las pérdidas en rendimiento por este patógeno. Estas estrategias incluyen una combinación de prácticas culturales tales como manejo de N, siembra de variedades resistentes o tolerantes, control químico y biológico, empleo de sistemas de pronóstico y estrategias de cosecha. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue valorar la incidencia de poblaciones de hongos en raíces de trigo bajo siembra en camas permanentes y dosis de N y su influencia en el rendimiento de trigo, componentes de rendimiento y absorción de N.

Materiales y métodos

Se colectaron raíces de plantas de trigo en el ciclo 2014 en un ensayo de campo bajo siembra en camas permanentes establecidas en el ciclo 2008, después de nueve ciclos agrícolas en el campo experimental "Valle de México" (CEVAMEX) del INIFAP. La incidencia de enfermedades se estimó en muestras de raíces colectadas de cuatro plantas a los 15, 30, 60, 90 and 120 días después de la emergencia y cuatro tratamientos de N (0, 20, 40 and 60 kg ha⁻¹). Cada uno de estos tratamientos estuvo anidado dentro de tres dosis de N (0, 60, 120 kg ha⁻¹) aplicadas a maíz en el ciclo anterior lo

Other factors may also handling promote or inhibit the development of specific communities *Fusarium* spp. is weed control herbicide glyphosate and source of N fertilizer (Leplat *et al.*, 2013). Moreover, some studies have reported that the assessment of NDVI from reflectance measurements at different stages of development using the GreenSeeker sensor is related to the concentration of N and final performance (Teal *et al.*, 2006). As a result, the potential wheat yields have been predicted from the early stage of development in order to maximize the efficiency of applications based fertilizer N (Teal *et al.*, 2006; Martin *et al.*, 2007). However, no reports of a direct relationship between NDVI readings and root diseases.

Because of the devastating nature of *Fusarium* spp., is essential for producers to have strategies to mitigate yield losses by this pathogen. These strategies include a combination of cultural practices such as N management, planting resistant or tolerant varieties, chemical and biological control, use of forecasting systems and harvesting strategies. Therefore, the objective of this study was to assess the incidence of fungal populations in wheat roots under permanent bed planting and doses of N and its influence on wheat yield, yield components and absorption of N.

Materials and methods

The wheat plant roots were collected in the 2014 cycle in a field trial under permanent bed planting cycle established in 2008, after nine agricultural cycles in the experimental field "Valle de México" (CEVAMEX) of INIFAP. The incidence of disease was estimated in samples collected four plants roots 15, 30, 60, 90 and 120 days after the emergency treatment and four N (0, 20, 40 and 60 kg ha⁻¹). Each of these treatments was nested within three doses of N (0, 60, 120 kg ha⁻¹) applied to corn in the previous cycle which resulted in a total of nine experimental units per dose of N applied to wheat. The incidence of each species was determined as the number of infected roots through sampling. To identify the species present, the roots were rinsed after sampling with distilled water, dipped in a solution of 5% NaOCl for 30 s and rinsed again for a time equal in distilled water. The samples were dried in sterile filter paper and placed in Petri dishes in a medium with PCNB agar 50 mg streptomycin sulfate and 18 g per liter of abamectin (Agrimec™) within growth chambers. After six days, the Petri dishes were examined when fungus species could be identified by direct microscopic observation according to the morphological description of Zyllinsky (1984).

cual resultó en un total de nueve unidades experimentales por cada dosis de N aplicadas a trigo. La incidencia de cada especie fue determinada como el número de raíces infectadas a través de los muestreos. Para identificar las especies presentes, las raíces fueron enjuagadas después del muestreo con agua destilada, sumergidas en una solución de NaOCl al 5% durante 30 s y enjuagadas nuevamente por un tiempo igual en agua destilada. Posteriormente, las muestras fueron secadas en papel filtro estéril y puestas en cajas Petri en un medio agar PCNB con 50 mg de sulfato de estreptomicina y 18 g por litro de abamectina (Agrimec™) dentro de cámaras de crecimiento. Después de seis días, las cajas Petri fueron examinadas cuando las especies de hongo pudieron ser identificadas por observación microscópica directa de acuerdo con la descripción morfológica de Zyllinsky (1984).

El experimento de campo consistió en la siembra de trigo después de maíz en una rotación bianual en condiciones de temporal bajo el sistema de siembra en camas permanentes con los residuos de ambos cultivos como rastrojo sobre la superficie. Se empleó urea granular (46-0-0) como fuente de N. Los tratamientos de N se mantuvieron en la misma parcela cada año y se aplicó en banda sobre las camas e incorporado parcialmente durante la operación de siembra. Para el control de maleza antes de la siembra se aplicó anualmente un herbicida a base de glifosato. En posemergencia el control de hoja ancha y pastos se realizó durante el amacollamiento con la aplicación de 10 g ha⁻¹ de prosulfuron (sulfunilurea) y 300 g ha⁻¹ de clodinafop (ariloxifenoxipropionatos), respectivamente.

La estimación de rendimiento de grano se realizó mediante la cosecha de las dos camas centrales. La absorción total de N se estimó en 50 tallos colectados aleatoriamente en cada tratamiento. Estas muestras fueron secadas y trilladas para determinar el porcentaje de N en grano y paja con un espectrofotómetro NIR's 6500 (FOSS, Denmark). La reflectancia de las plantas fue evaluada en tres etapas de desarrollo (embuche, anthesis y llenado de grano) empleando el sensor óptico GreenSeeker™ (NTech Industries Inc.) para estimar el NDVI. Las lecturas se tomaron sobre las dos camas centrales a una altura aproximada de 0.9 m sobre las plantas y orientadas de manera perpendicular a las hileras de plantas.

Los datos se analizaron empleando el programa SAS. Las relaciones estimadas entre incidencia con las mediciones en plantas y lecturas NDVI fueron analizadas empleando la opción PROC MIXED y se consideraron significativas cuando $p < 0.05$.

The field experiment consisted of planting wheat after corn on a biannual rotation under rainfed conditions under the system of permanent bed planting with residue of both crops and stubble on the surface. The granular urea (46-0-0) was used as a source of N. The N treatments were maintained in the same plot each year and applied in-band over the beds and incorporated partially during the seeding operation. For weed control before planting annually it applied herbicide glyphosate. Postemergence control of broadleaf and grass tillering was conducted during the application of 10 g ha⁻¹ of prosulfuron (sulfunilurea) and 300 g ha⁻¹ clodinafop (aryloxyphenoxypropionates), respectively.

The grain yield estimate was performed by harvesting the two central beds. The total N uptake was estimated at 50 stalks randomly collected in each treatment. These samples were dried and threshed to determine the percentage of N in grain and straw with NIR 6500's spectrophotometer (FOSS, Denmark). The reflectance of the plants was evaluated in three stages of development (boot stage, anthesis and grain filling) using the optical sensor GreenSeeker™ (NTech Industries Inc.) to estimate the NDVI. Readings were taken on two central beds at a height of 0.9 m on plants and oriented perpendicular to the rows of plants.

The data were analyzed using the SAS program. The estimated incidence relations with measurements in plants and NDVI readings were analyzed using the PROC MIXED option and were considered significant when $p < 0.05$.

Results and discussion

The weather conditions for the agricultural cycle in which this study was conducted were a little cold and rainy than the historical average. The historical average maximum temperature in the study area assessed from July to September is 25.1 °C and while the average for the cycle 2010 was 24.2 °C. The amount of historical rainfall for this period is 331 mm while for 2010 cycle was 375 mm. Under these weather conditions the resulting average yield was 1 590 kg ha⁻¹.

The 14 species of fungi (Table 1) were identified; ten of these were pathogens patógenos (*Fusarium* spp. and *Helminthosporium* spp.) and four saprophytes (*Alternaria*, *Rhizopus*, *Verticillium* y *Penicillium*). Among the pathogenic species that had the highest incidence was found mainly

Resultados y discusión

Las condiciones climáticas para el ciclo agrícola en que se desarrolló este estudio fueron un poco más frías y lluviosas que el promedio histórico. El promedio histórico de temperatura máxima en la zona de estudio evaluada de julio a septiembre es de 25.1 °C y mientras que el promedio para el ciclo 2010 fue de 24.2 °C. La cantidad de precipitación histórica para este mismo periodo es de 331 mm mientras que para el ciclo 2010 fue de 375 mm. Bajo estas condiciones climáticas el rendimiento promedio resultante fue de 1 590 kg ha⁻¹.

Se identificaron 14 especies de hongos (Cuadro 1); diez de éstos fueron patógenos (*Fusarium* spp. and *Helminthosporium* spp.) y cuatro saprofitos (*Alternaria*, *Rhizopus*, *Verticillium* y *Penicillium*). Entre las especies patógenas que presentaron la mayor incidencia se encontró principalmente *Cochliobolus sativus* (*Helminthosporium sativum*) y *Fusarium moniliforme*; sin embargo, la primera especie fue la más frecuentemente aislada. A la incidencia de estas dos especies le siguió la de *Helminthosporium turcicum* y *Fusarium oxysporum* y *F. graminearum*. Estos asilamientos se lograron después de nueve años de establecimiento del sistema de siembra en camas cuando ya se esperaba una disminución considerable en la incidencia (Govaerts *et al.*, 2006).

Cochliobolus sativus (*Helminthosporium sativum*) and *Fusarium moniliforme*; however, the first species was the most frequently isolated. The incidence of these two species was followed *Helminthosporium turcicum* and *Fusarium oxysporum* and *F. graminearum*. These isolations were achieved after nine years of establishment of bed planting system when a significant decline was already expected in the incidence (Govaerts *et al.*, 2006).

The incidence of these five pathogenic species was significantly affected by the dose of N applied to wheat while the previous cycle maize had no effect on any of them (Table 2). However, the incidence of most of these fungi through N rates applied to wheat was inconsistent, except for *Fusarium moniliforme* and *F. oxysporum*. In the case of the first, the incidence increased with application of N from 0 to 40 kg ha⁻¹ and declined from 40 to 60 kg ha⁻¹ (Figure 1). Conversely, the incidence of *Fusarium oxysporum* was consistently reduced to the extent that the dose of N was increased from 0 to 60 kg ha⁻¹ which coincides with the report Warren and Kommendahl (1972). These results indicate that the N source is not the only factor affecting management community *Fusarium* spp. (Leplat *et al.*, 2013) but also the dose of N applied as urea. Moreover, the irregularity in the incidence through N rates for the rest of the species identified indicated that it depends on factors other than the amount of fertilizer applied.

Cuadro 1. Incidencia total de 14 especies de hongos identificados en las raíces de trigo bajo siembra en camas permanentes en rotación con maíz.

Table 1. Total Incidence of 14 identified species of fungi in the roots of wheat under permanent bed planting in rotation with corn.

Hongo	Incidencia total (conteo)
<i>Cochliobolus sativus</i> (<i>Helminthosporium sativum</i>)	252
<i>Helminthosporium turcicum</i>	43
<i>Pyrenophora avenae</i> (<i>Helminthosporium avenae</i>)	2
<i>Fusarium moniliforme</i>	150
<i>Fusarium oxysporum</i>	90
<i>Gibberella zeae</i> (<i>Fusarium graminearum</i>)	21
<i>Fusarium equiseti</i>	8
<i>Fusarium poae</i>	8
<i>Gibberella avenacea</i> (<i>Fusarium avenaceum</i>)	7
<i>Fusarium nivale</i>	7
<i>Alternaria</i>	105
<i>Rhizopus</i>	16
<i>Verticillium</i>	5
<i>Penicillium</i>	6

La incidencia de estas cinco especies patógenas estuvo afectada de manera significativa por la dosis de N aplicada a trigo mientras que la del ciclo anterior a maíz no tuvo efecto en ninguna de ellas (Cuadro 2). Sin embargo, la incidencia de la mayoría de estos hongos a través de las dosis de N aplicada a trigo fue inconsistente, excepto para *Fusarium moniliforme* y *F. oxysporum*. Para el caso de la primera, la incidencia aumentó con la aplicación de N de 0 a 40 kg ha⁻¹ y declinó de 40 a 60 kg ha⁻¹ (Figura 1). De manera inversa, la incidencia de *Fusarium oxysporum* se redujo consistentemente en la medida que la dosis de N se aumentó de 0 a 60 kg ha⁻¹ lo cual coincide con el reporte de Warren y Kommendahl (1972). Estos resultados indican que la fuente de N no es el único factor de manejo que afecta la comunidad de *Fusarium* spp. (Leplat *et al.*, 2013) sino también la dosis de N que se aplica en forma de urea. Por otra parte, la irregularidad en la incidencia a través de las dosis de N para el resto de las especies identificadas indicó que ésta depende de factores distintos a la cantidad de fertilizante que se aplica.

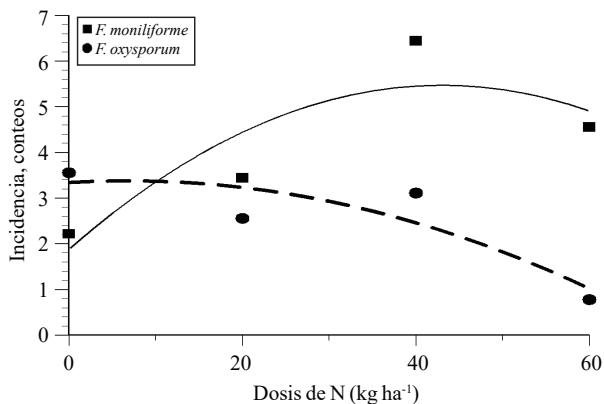


Figura 1. Incidencia de *Fusarium moniliforme* y *F. oxysporum* en trigo en rotación con maíz como respuesta a la aplicación de cuatro dosis de N bajo camas permanentes.

Figure 1. Incidence of *Fusarium moniliforme* and *F. oxysporum* on wheat in rotation with maize in response to the application of four doses of N under permanent beds.

Cuadro 2. Valores de P del análisis de varianza aplicado a cinco especies de patógenos en trigo bajo rotación con maíz afectados por dosis de N.

Table 2. Values of P variance analysis applied to five species of pathogens in wheat under rotation with corn affected by doses of N.

Fuente de variación	<i>Helminthosporium</i>		<i>Fusarium</i>		
	<i>sativum</i>	<i>turcicum</i>	<i>moniliforme</i>	<i>oxysporum</i>	<i>graminearum</i>
Rep	0.0005	0.063	0.074	0.228	0.157
Dosis N a trigo	<0.0001	0.004	<0.0001	0.064	0.015
Dosis de N a maíz en ciclo anterior	0.089	0.274	0.631	0.886	0.857
Interacción	0.478	0.133	0.147	0.922	0.384

Con el propósito de identificar el efecto sobre el rendimiento de estas dos especies, *Fusarium moniliforme* y *F. oxysporum*, se realizó un análisis de regresión entre estas variables para cada dosis de N. Los resultados con *Fusarium moniliforme* indicaron en general una diferencia significativa para el coeficiente de intercepción y pendientes entre dosis de N (Cuadro 3). Lo opuesto se obtuvo para *Fusarium oxysporum* cuya incidencia no se relacionó con ninguno de los parámetros de planta evaluados. Esta falta de relación, incluyendo la incidencia de *F. graminearum* que ha sido reportada como patógeno devastador (Wegulo *et al.*, 2015), sugiere que el N y las condiciones ambientales del ciclo no fueron factores que promovieran la incidencia de estas dos especies. Otra sugerencia es que el efecto del sistema de siembra en la reducción de la incidencia (Govaerts *et al.*, 2006) es específico solo para algunas especies.

In order to identify the effect on the performance of these two species, *Fusarium moniliforme* and *F. oxysporum*, a regression analysis of these variables for each dose of N. The results *Fusarium moniliforme* was conducted they indicated generally a significant difference for the intercept coefficient and slopes between doses of N (Table 3). The opposite was obtained for *Fusarium oxysporum* whose incidence was not related to any of the parameters evaluated plant. This lack of relationship, including the incidence of *F. graminearum* has been reported as devastating pathogen (Wegulo *et al.*, 2015) suggests that the N and cycle environmental conditions were not factors that promote the occurrence of these two species. Another suggestion is that the effect of the system is planted in reducing the incidence (Govaerts *et al.*, 2006) is specific only for some species.

Cuadro 3. Diferencias entre intercepto y pendiente de cuatro líneas de regresión (0, 20, 40 y 60 kg N ha⁻¹) para la incidencia entre *Fusarium moniliforme* y rendimiento de trigo, espigas por m² y absorción total de N.

Table 3. Differences between four intercept and slope of regression lines (0, 20, 40 and 60 kg N ha⁻¹) for the incidence among *Fusarium moniliforme* and yield of wheat spikes per m² and total absorption of N.

Parámetro	Intercepto		Pendiente	
	Valor <i>F</i>	<i>P</i> > <i>F</i> [†]	Valor <i>F</i>	<i>P</i> > <i>F</i> [†]
Rendimiento	13.4	0.001	3.9	0.02
Espigas por m ²	8.36	0.007	1.5	0.24
Absorción total de N	10.3	0.003	2.5	0.07

[†]Probabilidad de un valor mayor a *F*.

De acuerdo al análisis de regresión, la pendiente entre la incidencia de *Fusarium moniliforme* y el rendimiento indicó que la tasa de reducción de éste fue mayor para la dosis de 60 kg N ha⁻¹ (Figura 2). Asimismo, es importante hacer notar que aunque la dosis de 40 kg N ha⁻¹ resultó en una mayor incidencia de este patógeno, su efecto en el rendimiento fue prácticamente nulo. Coincidentemente, esta última dosis de N se ha reportado previamente como la adecuada para obtener rendimientos aceptables de trigo de temporal en Valles Altos de México (Limón-Ortega y Sayre 2012). Por tanto, las estrategias para tratar algunas de las enfermedades de la raíz causadas por *Fusarium* spp. deberán incluir prácticas culturales (Wegulo *et al.*, 2015) tales como manejo de N (Lori *et al.*, 2009).

El manejo de N, por otra parte, se ha identificado como la estrategia que promueve el número de espigas el cual es uno de los componentes de rendimiento más importantes en este cultivo (Phillips *et al.*, 2004). En este estudio, los resultados indicaron que la incidencia de los patógenos identificados no tuvo ningún efecto substancial en el número de espigas, excepto el *Fusarium moniliforme* (Cuadro 3). En general, la mayor tasa de reducción en este componente, según la pendiente de regresión, se observó a la dosis más alta de N (Figura 3) mientras que para la dosis de 40 kg ha⁻¹ la tasa fue nula a pesar de que la incidencia fue mayor para esta dosis. Este resultado indica la importancia de la dosificación de N para reducir el efecto de la incidencia en las plantas.

According to regression analysis, the slope between the incidence of *Fusarium moniliforme* and performance indicated that the cup this reduction was greater for the dose of 60 kg N ha⁻¹ (Figure 2). It is also important to note that although the dose of 40 kg N ha⁻¹ resulted in a higher incidence of this pathogen, its effect on the yield was virtually null. Coincidentally, the last dose of N has been previously reported as adequate to obtain acceptable yields of rainfed wheat in Valles Altos de México (Limón-Ortega and Sayre 2012). Therefore, strategies to address some of the root diseases caused by *Fusarium* spp. should include cultural practices (Wegulo *et al.*, 2015) such as N management (Lori *et al.*, 2009).

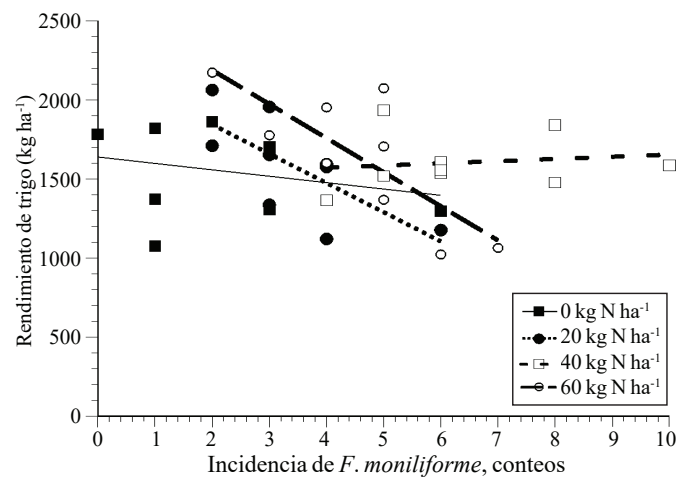


Figura 2. Relación entre rendimiento de trigo e incidencia de *Fusarium moniliforme* en cuatro dosis de N (0, 20, 40 y 60 kg ha⁻¹).

Figure 2. Relationship between wheat yield and incidence of *Fusarium moniliforme* in four doses of N (0, 20, 40 and 60 kg ha⁻¹).

The N handling, moreover, has been identified as the strategy that promotes the number of pins which is one of the most important components of this crop performance (Phillips *et al.*, 2004). In this study, the results indicated that the incidence of the pathogens identified had no substantial effect on the number of spikes, except *Fusarium moniliforme* (Table 3). In general, the higher rate of reduction in this component, according to the regression slope was observed at the highest dose of N (Figure 3) while for the dose of 40 kg ha⁻¹ rate was zero even though the incidence was higher for this dose. This result indicates the importance of dosing of N to reduce the incidence effect in plants.

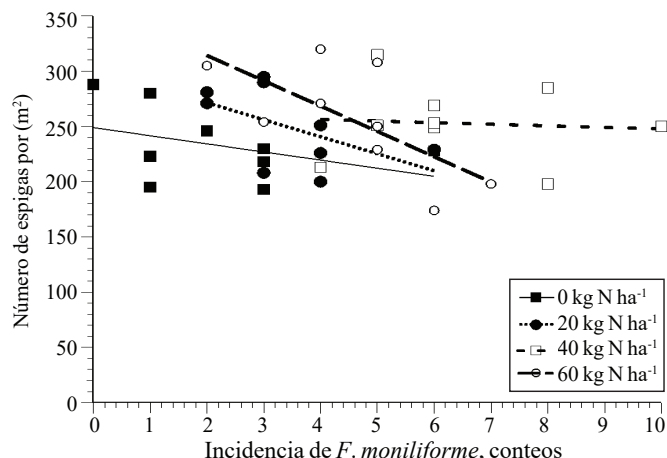


Figura 3. Número de espigas por m² y su relación con incidencia de *Fusarium moniliforme* en cuatro dosis de N (0, 20, 40 y 60 kg ha⁻¹).

Figure 3. Number of spikes per m² and its relationship with incidence of *Fusarium moniliforme* in four doses of N (0, 20, 40 and 60 kg ha⁻¹).

Por otra parte, la evaluación de la cantidad total de N que un cultivo absorbe se emplea para estimar la eficiencia de uso de este elemento (Samonte *et al.*, 2006). Esta eficiencia se estima de manera global 33% (Raun y Johnson, 1999) dependiendo de la definición operacional que se aplique. En general, esta eficiencia de uso se reduce en la medida que la dosis de N se incrementa como resultado de la reducción en la absorción de este elemento (Halvorson *et al.*, 2004). El análisis de regresión en este estudio reveló que la incidencia de *Fusarium moniliforme* está asociada negativamente a la absorción de N de acuerdo a la dosis que se aplicó (Cuadro 3). La absorción de N a la incidencia más baja (intercepto) y tasa de reducción más alta (pendiente) fue observada para la dosis de 60 kg N ha⁻¹. En contraste, la dosis de 40 kg N ha⁻¹ tuvo una absorción inicial intermedia pero sin efecto por el incremento en la incidencia (Figura 4). Según estos resultados, la aplicación de urea como fuente de N a una dosis distinta a las necesidades del cultivo, promueve el desarrollo de enfermedades en la raíz lo cual impide la absorción apropiada de N afectando la eficiencia de uso (Lori *et al.*, 2009). De acuerdo a la Figura 4, la diferencia entre 60 y 40 kg N ha⁻¹ a incidencias bajas de *Fusarium moniliforme*, representa un incremento en la absorción de 35 kg N ha⁻¹ aproximadamente lo cual es una mejora substancial a la eficiencia de uso de N.

Otros factores que también afectan las comunidades de hongos son las condiciones del clima (Lori *et al.*, 2009) las cuales se combinan con los residuos de cultivo en labranza de conservación (Wegulo *et al.*, 2015). De acuerdo a las condiciones climáticas del área de este estudio, la relativa

Moreover, evaluation of the total amount of N absorbed a crop is used to estimate the efficiency of use of this element (Samonte *et al.*, 2006). This efficiency is estimated globally 33% (Raun and Johnson, 1999) depending on the operational definition applied. In general, this efficiency is reduced by the use as the dose of N is increased as a result of the reduction in absorption of this element (Halvorson *et al.*, 2004). Regression analysis in this study revealed that the incidence of *Fusarium moniliforme* is negatively associated with the absorption of N according to the dose applied (Table 3). The absorption of N to the lowest incidence (intercept) and cup highest reduction (slope) was observed for the dose of 60 kg N ha⁻¹. In contrast, the dose of 40 kg N ha⁻¹ had an intermediate initial absorption but without effect by the increased incidence (Figure 4). According to these results, the application of urea as a source of N to a different crop needs doses, promotes the development of diseases in the root which prevents proper absorption of N affecting the efficiency of use (Lori *et al.*, 2009). According to Figure 4, the difference between 60 and 40 kg N ha⁻¹ to low incidences of *Fusarium moniliforme*, an increase in the absorption of 35 kg N ha⁻¹ about which is substantial to the use efficiency improves N.

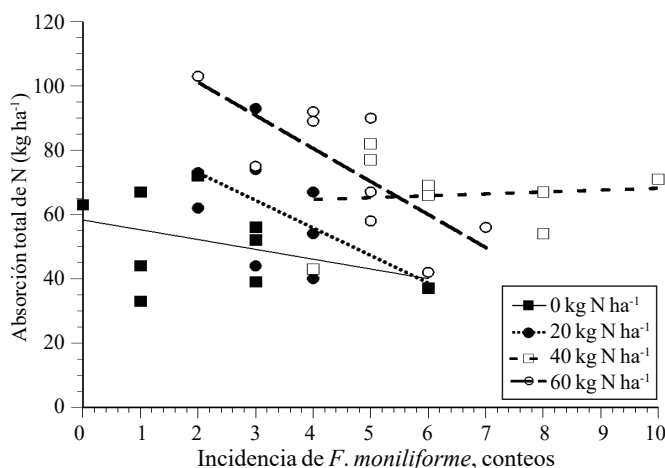


Figura 4. Absorción total de N y su relación con la incidencia de *Fusarium moniliforme* en cuatro dosis de N (0, 20, 40 y 60 kg ha⁻¹).

Figure 4. Total absorption of N and its relationship with the incidence of *Fusarium moniliforme* in four doses of N (0, 20, 40 and 60 kg ha⁻¹).

Other factors also affect communities of fungi are weather conditions (Lori *et al.*, 2009) which are combined with crop residues in conservation tillage (Wegulo *et al.*, 2015). According to the climatic conditions of the area of this study, the relatively high precipitation and low average temperatures, may have been the conditions that promoted

alta precipitación y bajas temperaturas promedio, pudieron haber sido las condiciones que promovieron la incidencia en mayor o menor grado, según la dosis de N, de las especies de *Fusarium* identificadas (Steinkellner y Langer 2004).

Por otra parte, la asociación entre la incidencia de *Fusarium moniliforme* y las lecturas NDVI colectadas en tres etapas de desarrollo (embuche, floración y llenado de grano), indicó que es factible pronosticar la presencia de esta patógeno a partir de la reflectancia del cultivo. Este resultado se observó únicamente para el tratamiento con 60 kg N ha⁻¹ (Figura 5) con diferencias significativas únicamente en el coeficiente de intercepción (Cuadro 4). En general, en la medida en que las lecturas de reflectancia fueron mayores, la incidencia de este patógeno fue menor. Sin embargo, aunque generalmente las lecturas NDVI se han empleado para monitorear el estatus de N en las plantas y pronosticar el rendimiento (Raun *et al.*, 2005), los resultados de este estudio indican que la reflectancia evaluada como NDVI del cultivo también puede ser empleada para asociarla con la incidencia de hongos patógenos en las raíz cuando la dosis de N sea excesiva.

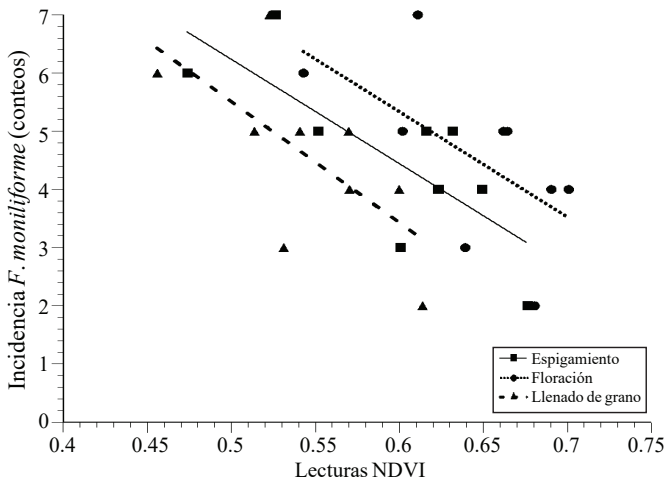


Figura 5. Relación entre lecturas NDVI colectadas en tres etapas de desarrollo (embuche, floración y llenado de grano) con la incidencia de *Fusarium moniliforme* a 60 kg N ha⁻¹.

Figure 5. Relationship between NDVI readings collected at three stages of development (boot stage, flowering and grain filling) with the incidence of *Fusarium moniliforme* to 60 kg N ha⁻¹.

Conclusión

Las especies de patógenos que se identificaron con mayor frecuencia corresponden a los géneros *Fusarium* spp. y *Helminthosporium* spp. La incidencia en la mayoría de las

the incidence greater or lesser degree, depending on the dose of N of *Fusarium* species identified (Steinkellner and Langer 2004).

Moreover, the association between the incidence of *Fusarium moniliforme* and NDVI readings collected at three stages of development (boot stage, flowering and grain filling) indicated that it is feasible to predict the presence of this pathogen from the reflectance of the crop. This result was observed for treatment only 60 kg N ha⁻¹ (Figure 5) with significant differences only in the intercept coefficient (Table 4). In general, to the extent that reflectance readings were greater, the incidence of this pathogen was lower. However, although generally the NDVI readings have been used to monitor the status of N in plants and forecast performance (Raun *et al.*, 2005), the results of this study indicate that the reflectance evaluated as NDVI crop can also be used to be associated with the incidence of pathogens in the root when the dose of N is excessive.

Cuadro 4. Diferencias entre intercepto y pendiente en tres líneas de regresión (embuche, floración y llenado de grano) para la incidencia entre *Fusarium moniliforme* y lecturas NDVI en tratamiento con 60 kg N ha⁻¹.

Table 4. Differences between intercept and slope in three regression lines (boot stage, flowering and grain filling) for incidence between *Fusarium moniliforme* and NDVI readings treated with 60 kg N ha⁻¹.

Parámetro	Intercepto		Pendiente	
	Valor <i>F</i>	<i>P</i> > <i>F</i> [†]	Valor <i>F</i>	<i>P</i> > <i>F</i> [†]
NDVI	17.6	0.0004	0.04	0.96

[†]Probabilidad de un valor mayor a *F*.

Conclusion

Pathogen species were identified most frequently correspond to *Fusarium* spp. and *Helminthosporium* spp. The incidence in most species are affected by the application of N, however, only a regular consistency was observed across the dose of N in the species of *Fusarium moniliforme* and *F. oxysporum*. The incidence of the first species is maximized at the dose of 40 kg N ha⁻¹ but this issue did not have substantial effects on performance, spikes per m² or absorption of N. According to previous studies, this dose of N has been considered the right to obtain acceptable yields of rainfed wheat in Valles

especies se afectó por la aplicación de N, sin embargo, solo se observó una consistencia regular a través de las dosis de N en las especies de *Fusarium moniliforme* y *F. oxysporum*. La incidencia de la primera especie se maximizó a la dosis de 40 kg N ha⁻¹ pero esta incidencia no tuvo efectos substanciales en rendimiento, espigas por m² o absorción de N. De acuerdo a trabajos previos, esta dosis de N se ha considerado como la adecuada para obtener rendimientos aceptables de trigo de temporal en Valles Altos. Los efectos negativos por la incidencia de *Fusarium moniliforme* sobre estas variables en plantas se observaron a la dosis de 60 kg N ha⁻¹ indicando la importancia del manejo de N como factor para reducir el efecto de la incidencia sobre el rendimiento. En contraste a esta especie, la incidencia de *Fusarium oxysporum* se redujo en la medida que la dosis de N se incrementó de 0 a 60 kg ha⁻¹ sin presentar algún efecto substancial en rendimiento, espigas por m² o absorción total de N.

Por otra parte, este estudio demostró que la incidencia de *Fusarium moniliforme* a altas dosis de N reduce la absorción total de este elemento lo cual puede ser una de las causas de la baja eficiencia de uso de N. Por otra parte, la colecta de lecturas NDVI en diferentes etapas de desarrollo y altas dosis de N demostró ser una herramienta promisoría para detectar posibles problemas patológicos en el sistema radicular.

Literatura citada

- Dill-Macky, R. and Jones, R. K. 2000. The effect of previous crop residues and tillage on *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Dis.* 84:71-76.
- Dill-Macky, R. 2008. Cultural control practices for *Fusarium* head blight: problems and solutions. *Cereal Res. Com.* 36:1-5.
- Govaerts, B.; Sayre, K. D. and Deckers, J. 2005. Stable high yields with zero tillage and permanent bed planting? *Field Crops Res.* 94:33-42.
- Govaerts, B.; Mezzalama, M.; Sayre, K.D.; Crossa, J.; Nicol, J.M. and Deckers, J. 2006. Long-term consequences of tillage, residue management and crop rotation on maize/wheat root rot and nematode populations in subtropical highlands. *Appl. Soil Ecol.* 32:305-315.
- Halvorson, A. D.; Nielsen, D. C. and Reule, C. A. 2004. Nitrogen fertilization and rotation effects on no-till dryland wheat production. *Agr. J.* 96:196-1201.
- Hobbs, P. R.; Sayre, K. and Gupta, R. 2010. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. Biol.* 363:543-555.
- Altos. The negative effects on the incidence of *Fusarium moniliforme* on these variables in plants were observed at the dose of 60 kg N ha⁻¹ indicating the importance of N management as a factor to reduce the effect of impact on performance. In contrast to this species, the incidence of *Fusarium oxysporum* was reduced to the extent that the N rate increased from 0 to 60 kg ha⁻¹ without presenting any substantial effect on performance, spikes per m² or total absorption of N.
- Moreover, this study demonstrated that the incidence of *Fusarium moniliforme* to high doses of N reduces the total absorption of this element which can be a cause of the low efficiency of use of N. Moreover, the collection of readings NDVI at different stages of development and high doses of N proved to be a promising tool to detect pathological problems in the root system.

End of the English version



- Landschoot, S.; Audenaert, K.; Waegeman, W.; De Baets, B. and Haesaer, G. 2013. Influence of maize-wheat rotation systems on *Fusarium* head blight infection and deoxynivalenol content in wheat under low versus high disease pressure. *Crop Protection.* 52:14-21.
- Limon-Ortega, A.; Sayre, K. D.; Drijber, R. A. and Francis, C. A. 2002. Soil attributes in a furrow-irrigated bed planting system in northwest Mexico. *Soil and Till. Res.* 63:123-132.
- Limon-Ortega, A. and Sayre, K. 2012. Rainfall as a limiting factor for wheat grain yield in permanent raised-beds. *Agron. J.* 104:1171-1175.
- Leplat, J.; Friberg, H.; Abid, M. and Steinberg, C. 2013. Survival of *Fusarium graminearum*, the causal agent of *Fusarium* head blight. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33:97-111.
- Lori, G. A.; Sisterna, M. N.; Sarandon, S. J.; Rizzo, I. and Chidichimo, H. 2009. *Fusarium* head blight in wheat: Impact of tillage and other agronomic practice under natural infection. *Crop Protection.* 28:495-502.
- Phillips, S. B.; Keahey, D. A.; Warren, J. G. and Mullins, G. L. 2004. Estimating winter wheat tiller density using spectral reflectance sensors for early-spring, variable-rate nitrogen applications. *Agr. J.* 96:591-600.
- Raun, W. R. and G. V. Johnson. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agron. J.* 91:357-363.
- Raun, W. R.; Solie, J. B.; Stone, M. L.; Martin, K. L.; Freeman, K. W.; Mullen, R. W.; Zhang, H.; Schepers, J. S. and Johnson, G. V. 2005. Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. *Com. Soil Sci. Plant A.* 36:2759-2781.
- Samonte, S. O. P. B.; Wilson, L. T.; Medley, J. C.; Pinson, S. R. M.; McClung, A. M. and Laes, J. S. 2006. Nitrogen utilization efficiency: relationships with grain yield, grain protein, and yield-related traits in rice. *Agr. J.* 98:168-176.

- Sayre, K. D. and Hobbs, P. R. 2004. The raised-bed system of cultivation for irrigated production conditions. *In: sustainable agriculture and the rice-wheat system*. Lal, R.; Hobbs, P.; Uphoff, N. and Hansen, D. O. (Eds.). Ohio State University, Columbus. 337-355 pp.
- Sommer, R.; Thierfelder, C.; Tottonell, P.; Hove, L.; Mureithi, J. and Mkomwa, S. 2014. Fertilizer use should not be a fourth principle to define conservation agriculture. *Field Crops Res.* 169:145-148.
- Steinkellner, S. and Langer, I. 2004. Impact of tillage on the incidence of *Fusarium* spp. in soil. *Plant and Soil.* 267:13-22.
- Wegulo, S. N.; Baenziger, P. S.; Nopsa, J. H.; Bockus, W. W. and Hallen-Adams, H. 2015. Management of *Fusarium* head blight of wheat and barley. *Crop Protection.* 73:100-107.
- Zyllinsky, F. J. 1984. Guía para la identificación de enfermedades en cereales de grano pequeño. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y trigo. CIMMYT. Texcoco, Estado de México, D. F. 141 p.