

# Potencial de la escoria siderúrgica en la inducción de resistencia a enfermedades foliares del trigo (*Triticum aestivum* L.)

Potential of steel slag in the induction of resistance to foliar disease on wheat (*Triticum aestivum* L.)

Karen Denisse Pereira Báez<sup>1</sup> y Cristhian Javier Grabowski Ocampos<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Área de Protección Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción (FCA-UNA). San Lorenzo, Paraguay.

\* Autor para correspondencia (cgrabowski@agr.una.py)

Recibido: 14/07/2015; Aceptado: 20/10/2015.

<http://dx.doi.org/10.18004/investig.agrar.2015.diciembre.98-107>

## RESUMEN

Las enfermedades foliares del trigo reducen 20 a 30% la productividad del cultivo. Con el fin de encontrar nuevas alternativas de manejo se evaluó el grado de inducción de resistencia de la escoria siderúrgica sobre la intensidad de las enfermedades foliares. Se realizó un experimento en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción que consistió en identificar los patógenos asociados a esta etiología, determinar la intensidad de la enfermedad (% severidad) con la ayuda de escalas diagramáticas, el índice de área foliar (IAF), el contenido de clorofila y el rendimiento. Los tratamientos utilizados fueron dosis crecientes de escoria siderúrgica, un testigo absoluto y un testigo químico, que fueron dispuestos en un diseño completamente al azar con 4 repeticiones. Los datos obtenidos fueron sometidos al análisis de varianza al 5% de probabilidad de error. Las plantas sintomáticas fueron llevadas al laboratorio y se identificaron los patógenos: *Drechslera tritici-repentis*; *Bipolaris sorokiniana*; *Septoria tritici* y *Puccinia triticina*. El IAF se cuantificó mediante el equipo medidor AAC-100, el contenido de clorofila mediante el medidor portátil SPAD® y el rendimiento expresado en kg ha<sup>-1</sup>. Se determinó el potencial efecto inductor en la dosis de 500 kg ha<sup>-1</sup> al presentar menor severidad de enfermedades, aunque no se encontró diferencias significativas tanto en el rendimiento como en el IAF al aumentar la dosis de escoria siderúrgica. La concentración de clorofila aumenta al utilizar dosis bajas de escoria siderúrgica en el suelo.

**Palabras clave:** *Triticum aestivum* L., enfermedades foliares, escoria siderúrgica, inducción de resistencia.

## ABSTRACT

Foliar diseases reduce 20-30% of crop productivity. In order to find new management options, steel slag's resistance induction degree on wheat plants (*Triticum aestivum* L.) foliar disease intensity was assessed. A research, using diagrammatic scales, was carried out at the FCA-UNA Experimental Field with the aim of identifying pathogens associated to this aetiology and of determining disease intensity (severity %). The variables evaluated were Leaf area index (LAI) chlorophyll content and yield. Treatments consisted of increasing steel slag doses with an absolute control and a chemical one. The experimental design was completely randomized with four replications. Data was subjected to analysis of variance with 5% error probability. Laboratory analysis of symptomatic plants identified the pathogens *Drechslera tritici-repentis*; *Bipolaris sorokiniana*; *Septoria tritici* and *Puccinia triticina*. Leaf area index (LAI) was measured by an AAC-100 measuring device; chlorophyll content was assessed by SPAD® portable meter and yield was expressed by kg ha<sup>-1</sup>. Potential inducing effect was determined to be at a 500 kg ha<sup>-1</sup> dose given that it exhibited the lowest disease severity. No significant difference in either yield or Leaf area index were found when increasing steel slag doses. Chlorophyll concentration increased when lowering steel slag content in soil

**Key words:** *Triticum aestivum* L., foliar diseases, resistance induction, steel slag.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) es un cereal importante a nivel mundial, considerando tanto la superficie sembrada y la producción, como en su significancia para la alimentación humana y animal (FAO 2014). Como cualquier otro cultivo presenta varios problemas fitosanitarios que aparecen en las etapas del ciclo evolutivo de las plantas reduciendo el rendimiento final (Reis y Casa 2005).

Se estima que el 20% de las pérdidas registradas es atribuido a las enfermedades foliares por estar ampliamente distribuidas a nivel mundial y poner en riesgo la productividad del cultivo al disminuir el rendimiento del material cosechado (FAO 2014). Son conocidos varios factores que pueden ser manejados con la intención de disminuir la severidad de las enfermedades foliares, los cuales tienen que ver con el uso de variedades resistentes, control químico e inducción de resistencia.

Algunos elementos como el silicio, son utilizados actualmente en todo el mundo como inductores de resistencia contra hongos fitopatógenos para un control natural y de bajo impacto químico en las plantas (Carmona 2010). Una opción válida y poco estudiada constituye la escoria siderúrgica de alto horno, residuo de la industria del acero que se destaca por su alto contenido en silicio, elemento que se acumula en la epidermis de la hoja endureciendo el tejido y protegiendo así a la planta contra la penetración de patógenos.

Actualmente se generan 600 kg de escoria siderúrgica por cada tonelada de acero producido en Paraguay, siendo fácilmente imaginable el problema que supone una cantidad tan elevada de cualquier residuo y la necesidad de encontrar soluciones para su eliminación o reciclaje (López 1995).

Con esta investigación se busca evaluar el grado de inducción de resistencia influenciado por la aplicación de escoria siderúrgica sobre la intensidad de las enfermedades foliares en plantas de trigo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) perteneciente a la Universidad Nacional de Asunción (UNA) ubicada en la ciudad de San Lorenzo, Departamento Central, en el periodo de julio a diciembre de 2014.

Para el desarrollo del experimento se utilizó semillas de trigo de la variedad Codetec 150 con 80% de poder germinativo, procedente de la Colonia Fram (Itapúa), obtenidas en la zafra 2012-2013. Como potencial inductor se utilizó escoria siderúrgica de alto horno proveniente de ACEPAR S.A. ubicada en la ciudad de Villa Hayes, Paraguay.

Los tratamientos utilizados fueron cuatro dosis crecientes de escoria siderúrgica, un tratamiento absoluto y un tratamiento químico al cual se le incorporó una dosis de cal agrícola y una aplicación de fungicida Tebuconazole, en el momento de la emergencia de la hoja bandera (Tabla 1). Estos fueron dispuestos en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones, totalizando 24 unidades experimentales (UE), cada una constituida por siete hileras de 4 m de largo separadas por 0,25 m.

**Tabla 1.** Tratamientos y dosis de escoria siderúrgica empleados en el experimento. FCA – UNA, San Lorenzo, Paraguay. 2015.

Tratamiento	Descripción	Dosis (kg ha <sup>-1</sup> )
T1	Absoluto	0
T2		500
T3	Escoria siderúrgica de alto horno	1.000
T4		1.500
T5		2.000
T6	Calcáreo del suelo + Control químico de enfermedades	Carbonato de Calcio (1.500) + Tebuconazole (750 mL ha <sup>-1</sup> ).

Luego de la preparación del suelo con rastra mecanizada, se procedió a la siembra de las semillas de trigo que fueron previamente tratadas con el fungicida: Carboxim 20% + Thiram 20%, en una dosis de 350 mL/100 kg de semilla, y el insecticida Fipronil en una dosis de 150 mL kg<sup>-1</sup> de semillas, dosis indicadas para el cultivo. Esta actividad se realizó a chorrillo continuo en surcos de 5 cm de profundidad, determinando la cantidad de semillas depositadas por hilera mediante el peso en gramos de semillas.

La fertilización se realizó en todas las unidades experimentales con una fórmula equivalente a 60-40-60 kg ha<sup>-1</sup> de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O aplicados en bandas laterales a los 30 días después de la siembra (DDS) y las labores de

mantenimiento de la parcela se realizaron una vez por semana.

Una vez que la escoria siderúrgica fue triturada hasta quedar en forma de polvo fino, se incorporó manualmente la dosis correspondiente para cada tratamiento a los 30 DDS al igual que el calcáreo.

Las variables evaluadas fueron: la identificación de patógenos asociados a manchas foliares y roya en trigo, Intensidad de la enfermedad por severidad (IE) que fue calculado con el porcentaje promedio de severidad producido por los patógenos foliares acumulado durante el ciclo del cultivo, el índice de área foliar (IAF), el contenido de clorofila y el rendimiento del cultivo.

La primera variable se evaluó mediante la observación microscópica de las estructuras reproductivas de los patógenos provenientes de hojas sintomáticas de las UE, y el empleo de claves taxonómicas de Menezes y Oliveira (1993).

Para determinar el IE se marcó una hoja en el estrato inferior, medio y superior de 10 plantas al azar a partir de las cuatro hileras centrales de cada UE evaluadas una vez por semana. Para las manchas foliares se utilizó el diagrama de evaluación visual propuesto por James (1971) en las cuales las notas representaron el grado de severidad en cada nivel, mientras que para la evaluación de la roya se utilizó la escala modificada de Cobb (Peterson et al. 1948) que evalúa el porcentaje de severidad observando en la hoja bandera (HB) y la hoja que la precede (HB-1) de las plantas seleccionadas. Con los datos obtenidos de porcentaje de severidad se calculó el IE utilizando la siguiente fórmula adaptada de French y Hebert (1980):

$$IE = n(0) + n(1) + n(2) + n(3) + n(4) + n(5) / \sum n \times 5$$

Donde:

IE = Intensidad de la enfermedad por severidad o índice de severidad

n: frecuencia de la severidad observada correspondiente a la nota

$\sum$ n: sumatoria de las observaciones

En cuanto al IAF, se tomaron aleatoriamente dos plantas/UE transformadas a plantas por m<sup>2</sup> por la

densidad de plantas por metro lineal a las cuales se les extrajeron todas las hojas. Éstas fueron sometidas a un equipo medidor AAC-100 de área foliar que cuantifica automáticamente su superficie en cm<sup>2</sup>. Esta variable se midió a la emergencia de la hoja bandera, donde el IAF llega al valor máximo debido a la expansión de la mencionada hoja. La evaluación del contenido de clorofila mediante el medidor portátil SPAD® se realizó en el estado de emergencia de la hoja bandera y para ello se marcaron plantas al azar en las hileras centrales.

El rendimiento fue determinado cuando los granos alcanzaron 13% de humedad aproximadamente, se cosechó 1 m<sup>2</sup> de las hileras centrales, se realizó el trillado de los granos de forma mecánica y los mismos fueron tamizados a fin de eliminar las impurezas y partículas extrañas. Finalmente los granos fueron pesados en gramos en una balanza electrónica de precisión extrapolando los resultados a kg ha<sup>-1</sup>.

Los datos obtenidos fueron sometidos al análisis de varianza (ANOVA) y a la prueba de Tukey al 5% de probabilidad del error.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Patógenos causantes de enfermedades foliares en trigo

Los patógenos asociados a enfermedades foliares identificados fueron: *Drechslera tritici-repentis*; *Bipolaris sorokiniana*; *Septoria tritici* y *Puccinia triticina*.

Los síntomas observados en las hojas en este experimento coinciden con las descripciones realizadas por Reis y Casa (1998) quienes describen a los patógenos *Drechslera tritici-repentis*, *Bipolaris sorokiniana*, *Septoria tritici* y *Puccinia triticina* como los principales patógenos asociados a las enfermedades foliares del trigo. De igual manera, Verges (2007) menciona que las principales enfermedades foliares del trigo registradas en los últimos años en la región productora de Argentina y cono sur, son las causadas por *Drechslera tritici-repentis*, *Bipolaris sorokiniana*, *Septoria tritici* y *Puccinia triticina*, patógenos que también fueron identificados en este experimento y por lo tanto se puede afirmar que son patógenos causantes de enfermedades foliares en trigo.

### Efecto de la escoria siderúrgica sobre la severidad de las manchas foliares y de la roya en trigo

El análisis de varianza para las variables severidad de manchas foliares y la roya en tres estratos de la planta no presentó diferencias significativas, los resultados obtenidos se observan en el Tabla 2.

**Tabla 2.** Efecto de la escoria siderúrgica sobre las manchas foliares/estrato en plantas de trigo. FCA-UNA, San Lorenzo, Paraguay. 2015.

Tratamiento	Descripción	Dosis (kg ha <sup>-1</sup> )	Índice de Severidad (%)		
			EI <sup>ns</sup>	EM <sup>ns</sup>	ES <sup>ns</sup>
T1	Absoluto	0	92 a <sup>†</sup>	42 a	11,5 a
T2		500	80 a	30 a	4,2 a
T3	Escoria siderúrgica de alto horno	1.000	82 a	32 a	5,2 a
T4		1.500	85 a	34 a	5,5 a
T5		2.000	87 a	37 a	6,4 a
T6	Calcaéreo + Fungicida	1.500 + 750 mL ha <sup>-1</sup>	88 a	38 a	7 a
CV (%)			40,1		

<sup>ns</sup>: no significativo, <sup>†</sup>Medias seguidas por la misma letra en las columnas no difieren entre sí por el Test de Tukey al 5% de probabilidad de error, EI: estrato inferior, EM: estrato medio, ES: estrato superior, CV: coeficiente de variación.

Respecto a las dosis crecientes de escoria siderúrgica, la severidad de las manchas foliares fue menor en comparación a ambos testigos. Entre las diferentes dosis de escoria utilizadas, la menor severidad de 4,2 y 5,2% se observó en las dosis de 500 y 1.000 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente.

La mayor severidad se verificó en el estrato inferior (EI) del tratamiento absoluto con 92% seguido del testigo químico con 88% de manchas foliares.

En relación a las diferentes dosis de escoria siderúrgica, éstas presentaron la menor área con manchas foliares en comparación a los testigos absoluto y químico. La menor severidad de manchas foliares se evidenció con la dosis de 500 kg ha<sup>-1</sup> de escoria siderúrgica, con 80%, en contraste al 87% de la dosis de 2.000 kg ha<sup>-1</sup>.

En cuanto al estrato medio (EM) la mayor severidad se verificó en el testigo absoluto con 42%, en contraste con el químico con 38% de severidad. Respecto a las dosis crecientes de escoria siderúrgica, la severidad se mantuvo en rangos de 30 a 37% de manchas foliares, las cuales fueron menores en comparación a ambos testigos. Todas las plantas evaluadas mostraron una tendencia de disminución de la severidad de las manchas foliares por el uso de escoria siderúrgica en el primer año de aplicación en comparación al testigo absoluto, esto podría ser consecuencia de la composición química de la misma ya que es abundante en calcio (42-48%) y silicio (26-34%). Agrios (2005) menciona que el calcio proporciona a la pared celular estabilidad y rigidez lo cual genera una mayor resistencia a agentes externos, por su parte el

silicio es depositado en las paredes de las celulares epidérmicas aumentando la resistencia mecánica en las hojas y tallo (Datnoff 1999). Para el control de las manchas foliares en trigo se consideran varias estrategias, como la variedad, rotación de cultivo, fertilidad de suelo y el control químico (Formento 2014). Pero, además de las mencionadas medidas de control se encuentra una menos estudiada: la nutrición mineral. Sin embargo, ésta podría influir en la resistencia o tolerancia de la planta dependiendo del nutriente mineral disponible en el suelo o de la fertilización realizada, del estado nutricional de las plantas, de la especie de planta y del tipo de patógeno (Riveros et al. 2011).

En el caso de las manchas foliares, Annone (2000) menciona que el desarrollo de patógenos foliares del trigo es más intenso en suelos con baja fertilidad ya que existe mayor espacio para la dispersión de agua y aire entre plantas y por consiguiente para los propágulos de infección secundaria, además de la menor expresión de resistencia. De acuerdo a lo mencionado por Carmona y Sautua (2011) los mecanismos por los cuales los nutrientes pueden influir en el proceso de infección son de variada naturaleza e involucran aspectos relacionados con la promoción de crecimiento, cambios en el pH de suelo, generación de barreras físicas para la infección o inducción a la acumulación de compuestos antifúngicos, etc. Estos mecanismos de defensa pueden ser adquiridos por las plantas con el uso de escoria siderúrgica de alto horno, lo que le atribuye la tendencia de ser un potencial inductor de resistencia en plantas (Borda et al. 2007).

A pesar de no existir diferencias significativas entre las distintas dosis de escoria siderúrgica y los testigos, se observó la menor severidad de manchas foliares en los tratamientos con 500 y 1.000 kg ha<sup>-1</sup> de escoria siderúrgica en los tres estratos evaluados. Similares resultados fueron obtenidos por Mello Prado et al. (2002) quienes en el cultivo de caña de azúcar no encontraron diferencias significativas en la reducción de la severidad de las manchas foliares entre el uso de cal agrícola y escoria siderúrgica en el primer año de aplicación. Los mismos autores atribuyen este resultado a la presencia de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) en la composición de la escoria siderúrgica actuando de la misma manera que la

cal agrícola, además del tiempo que requiere el dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) de la escoria siderúrgica para estar disponibles a las plantas especialmente en suelos Ultisoles y Oxisoles representados por suelos muy intemperizados, de baja fertilidad natural. Por su parte Novais et al. (1993) mencionan que la reactividad de la escoria varía conforme a su granulometría, dosis utilizada, tipo de suelo y con el tiempo de contacto entre la escoria y el suelo.

En relación a la roya de la hoja, no se observó diferencias significativas en la reducción de la intensidad utilizando la severidad entre las medias de los tratamientos como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Efecto de la escoria siderúrgica sobre la roya de la hoja en plantas de trigo. FCA-UNA, San Lorenzo, Paraguay. 2015.

Tratamiento	Descripción	Dosis (kg ha <sup>-1</sup> )	Índice de Severidad (%)	
			HB-1 <sup>ns</sup>	HB <sup>ns</sup>
T1	Testigo absoluto	0	25,5 a <sup>†</sup>	27,5 a
T2		500	15,5 a	16,5 a
T3	Escoria siderúrgica de alto	1.000	16,6 a	16,9 a
T4	horno	1.500	17,5 a	19,7 a
T5		2.000	17,0 a	19,1 a
T6	Calcáreo + Fungicida	1.500 + 750 mL ha <sup>-1</sup>	18,0 a	20,0 a
<b>CV (%)</b>		41,2		

<sup>ns</sup>: no significativo, <sup>†</sup> Medias seguidas por la misma letra en las columnas no difieren entre sí por el Test de Tukey al 5% de probabilidad de error. HB: hoja bandera, HB-1: hoja que precede a la hoja bandera, CV: coeficiente de variación.

En la hoja bandera (HB) la mayor severidad se observó en el testigo absoluto con 27,5% en comparación con el testigo químico con 20% de roya de la hoja. Respecto a las dosis crecientes de escoria siderúrgica se verificó la menor severidad en un rango de 16,5 a 19,1% en comparación a ambos testigos. En relación a la hoja que precede a la bandera (HB-1) el testigo absoluto presentó la mayor severidad (25,5%) a diferencia de los tratamientos con escoria siderúrgica y fungicida + cal agrícola, los cuales se encontraron en un rango de 15 a 18% de severidad.

Comparando el tipo de hojas evaluadas, la HB presentó mayor severidad en comparación a la HB-1 coincidiendo con lo mencionado por Carrasco et al. (2012) quienes afirman que la roya de la hoja al ser causada por un patógeno de esporas livianas dispersadas por el viento causa importantes reducciones del área verde de la hoja bandera de los cereales en comparación a las demás hojas que la preceden.

Estudios realizados por Datnoff (1999) demuestran que los hongos *Bipolaris* spp., *Blumeria* sp., *Erysiphe* sp., *Leptosphaeria* sp., *Septoria* spp. y *Magnaporthe* spp. se

suprimen con silicio, no citando al género *Puccinia* spp. Por su parte, Conejero y Solla (2012) mencionan que la Resistencia Sistémica Inducida ofrece protección a las plantas frente a una amplia gama de patógenos, generalmente los necrotrofos.

Finalmente, en la reducción de la severidad en la roya de la hoja se observó lo expresado por Méndez et al. (2010) quienes manifiestan que en el caso de poblaciones extremadamente dinámicas de patógenos como el de *Puccinia triticina* una determinada situación nutricional o un nutriente en particular puede influir en la disminución de la severidad, en el incremento de su intensidad o puede no generar ningún cambio.

#### Índice de área foliar, contenido de clorofila y rendimiento del trigo

En la Tabla 4 se observa el índice de área foliar (IAF), la concentración del contenido de clorofila y el rendimiento del trigo obtenido en el experimento para cada tratamiento.

**Tabla 4.** Efecto de la escoria siderúrgica sobre el índice de área foliar (IAF), contenido de clorofila y rendimiento del trigo. FCA-UNA, San Lorenzo, Paraguay. 2015.

Tratamiento	Descripción	Dosis (kg ha <sup>-1</sup> )	IAF <sup>ns</sup>	Clorofila*	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>ns</sup>
T1	Testigo absoluto	0	3,3 a <sup>†</sup>	57,7 ab	1.311 a
T2		500	4,6 A	78,0 a	1.980 a
T3	Escoria siderúrgica de alto horno	1.000	4,3 A	69,8 ab	1.843 a
T4		1.500	3,8 A	57,2 ab	1.833 a
T5		2.000	3,1 A	55,0 b	1.358 a
T6	Calcáreo + Fungicida	1.500 kg ha <sup>-1</sup> + 750 mL ha <sup>-1</sup>	3,6 A	61,6 ab	1.604 a
<b>CV (%)</b>			10,1	12,3	13,6

<sup>ns</sup>:no significativo, \*Significativo al 0,05 nivel de probabilidad, <sup>†</sup>Medias seguidas por la misma letra en las columnas no difieren entre sí por el Test de Tukey al 5% de probabilidad de error. CV: coeficiente de variación.

El crecimiento del hospedero puede ser cuantificado para correlacionar con la intensidad de las enfermedades. Así, la mayor parte de los estudios epidemiológicos utilizan al área foliar para estimar el crecimiento del vegetal. El menor valor se observó en el tratamiento con 2.000 kg ha<sup>-1</sup> de escoria siderúrgica con un IAF de 3,1, seguido por el testigo absoluto con 3,3 y el testigo químico con 3,6. Mientras que los mayores valores fueron 4,6; 4,3 y 3,8, los cuales se presentaron en los tratamientos de 500, 1.000 y 1.500 kg ha<sup>-1</sup> de escoria siderúrgica respectivamente.

Para las dosis crecientes de escoria siderúrgica no hubo diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. No obstante se apreció una tendencia de incrementar este parámetro con el uso de la misma. Además de la luz, temperatura y humedad, el crecimiento y desarrollo de las plantas dependen de la condición nutricional del suelo. Los resultados obtenidos evidenciaron que el IAF está estrechamente relacionado con la nutrición mineral ya que la absorción de un nutriente en particular puede por sí mismo condicionar el crecimiento de la planta considerando los elementos presentes en la escoria.

Según Sánchez (1984) el exceso de un nutriente en el suelo puede evitar que la planta absorba otros nutrientes y como resultado las hojas se tornan amarillas y el crecimiento se detenga o retrase. En ese sentido, la escoria siderúrgica es abundante en calcio (42-48%) y la cantidad de este elemento aumenta en forma sostenida conforme aumenta la dosis de escoria aplicada al suelo (Pintos 1995) y el exceso de este nutriente puede evitar que las plantas absorban hierro y magnesio tornándose las hojas cloróticas disminuyendo el área fotosintética.

Además de calcio, Bastos et al. (2009) mencionan que la escoria siderúrgica también contiene zinc (0,01%), manganeso (5,4%) y cobre (0,005%) en su composición, por lo que el exceso de estos nutrientes puede bloquear al hierro en el suelo, evitando que las plantas lo absorban adecuadamente.

La escoria siderúrgica actúa como un encalante y cuando se modifica el pH del suelo también se modifica la cantidad de nutrientes disponibles, en ese sentido, el nitrógeno es el nutriente con mayor influencia sobre el IAF no estando disponible para las plantas de trigo cuando en el suelo el pH no se encuentra en un rango de 5-6 (ligeramente ácido).

Además, el exceso de calcio en el suelo puede dañar las raíces de las plantas, reduciendo su capacidad para absorber los nutrientes del suelo (Malavolta 1981). Es necesario destacar que por lo explicado anteriormente, el tratamiento con 2.000 kg ha<sup>-1</sup> de escoria siderúrgica al presentar el menor IAF se ajusta a la ley del mínimo o de Liebig que establece que el crecimiento de una planta depende de los nutrientes disponibles sólo en cantidades mínimas (Marengo 2009). Tanto el testigo absoluto como el testigo químico presentaron valores óptimos de IAF para el cultivo de trigo. El rango de IAF de todos los tratamientos se ajusta al estimado por Inzunza et al. (2010) quienes sostienen que el óptimo para el trigo va de 3 a 5 el cual coincidió con los obtenidos en este experimento. El contenido de clorofila puede estar influenciado por varios factores como la intensidad luminosa, las condiciones genéticas, nutricionales y patológicas, por eso puede ser utilizado para correlacionar su valor con la intensidad de las enfermedades. La clorofila en la hoja está estrechamente relacionada con la

concentración de nitrógeno y por lo tanto, refleja el estado nutricional con respecto a este importante nutriente. El nitrógeno es necesario para la síntesis de la clorofila y como parte de esta molécula, está involucrado en el proceso de la fotosíntesis (Castillo y Ligarreto 2010). Asimismo, el hierro resulta esencial para la síntesis de clorofila. Cuando este nutriente se encuentra en cantidades óptimas en la planta, se observa una buena correlación entre contenido de hierro y clorofila (Sánchez 1984). Los resultados obtenidos en la valoración del contenido de clorofila mostraron valoración de SPAD de 57,7 para el testigo absoluto y 61,6 para el testigo químico. Con respecto a la escoria siderúrgica se obtuvo valores de 78; 69,8; 57,2 y 55 respectivamente conforme aumentaba la dosis de la misma presentando los mayores valores.

En ese sentido se determinó diferencias significativas entre el tratamiento con menor y mayor dosis de escoria siderúrgica (500 y 2.000 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente) observándose que al aumentar las dosis de escoria siderúrgica el contenido de clorofila de las plantas de trigo disminuye (Tabla 3), concordando con los resultados del experimento realizado por Stocco et al. (2014) quienes obtuvieron mayores tenores de nitrógeno en la parte aérea de las gramíneas *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria brizantha* cv. *marandu* solo cuando fueron tratadas con dosis bajas de 200, 250 y 500 kg ha<sup>-1</sup> de escoria siderúrgica. Los mismos autores atribuyen este fenómeno a que la aplicación de escoria siderúrgica en dosis bajas al suelo ofrece una menor alcalinización del mismo facilitando la absorción de nitrógeno por parte de la planta.

Según Sánchez (1984) el exceso de calcio en el suelo frena la absorción de magnesio (componente central de la molécula de clorofila) y dependiendo de la cantidad de magnesio absorbido la planta intensifica o disminuye su actividad fotosintética. Otro efecto del exceso de calcio en el suelo mencionado por Abadia (1991) hace referencia a que inhibe la absorción de hierro y la producción de clorofila por parte de la planta no es normal, así las hojas adquieren una coloración amarilla característica coincidiendo con lo observado en este experimento.

Tanto en el testigo absoluto como el testigo químico se observó valores óptimos de clorofila para el cultivo de trigo. El rango de todos los tratamientos se ajusta al de Castillo y Ligarreto (2010) quienes sostienen que un valor adecuado de clorofila debe ser superior a las 50 unidades SPAD (Soil Plant Analysis Development).

En el parámetro rendimiento no se observó diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 3). Las comparaciones de medias permiten detectar que los rendimientos superiores de 1.980, 1.843 y 1.833 kg ha<sup>-1</sup> se presentaron en los tratamientos con 500, 1.000 y 1.500 kg ha<sup>-1</sup> de escoria siderúrgica respectivamente, los testigos químico y absoluto presentaron rendimientos de 1.604 y 1.311 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. La mayor dosis de escoria siderúrgica, (2.000 kg ha<sup>-1</sup>) presentó el menor rendimiento con 1.358 kg ha<sup>-1</sup> detectándose que a medida que las dosis de escoria siderúrgicas aumentan el rendimiento disminuye. Esto concuerda con Sephu (2012) quien en un experimento similar en el cultivo de arroz con dosis de 500 a 1.000 kg ha<sup>-1</sup> de escoria siderúrgica obtuvo los mejores rendimientos en comparación a la utilización de dosis altas de 1.500, 2.000 y 2.500 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. Asimismo, indiferentemente a las dosis de escoria siderúrgica utilizada se verifica una tendencia de aumento en el rendimiento en comparación al testigo absoluto.

Esta tendencia observada de resultados concuerdan con Dalmaso (2011) quien demostró el aumento del rendimiento por el uso de escoria siderúrgica (1.000, 2.000 y 3.000 kg ha<sup>-1</sup>) aplicadas al cultivo de trigo, con incremento del 19, 46 y 52% respectivamente, en comparación al testigo en el primer año de aplicación.

Los nutrientes cobre (0,005%), magnesio (7,9%), manganeso (5,4%) y fósforo (2,1%) presentes en la escoria siderúrgica poseen una influencia determinante sobre el rendimiento de los cereales, siendo necesario que se encuentren en niveles óptimos dentro de las plantas para que el cultivo exprese su máximo rendimiento (Bastos et al. 2009). Si uno o más nutrientes se presenta en niveles inadecuados, resultará en una disminución del rendimiento (Sánchez 1984). Considerando que estos nutrientes aumentan en la mayor dosis de escoria siderúrgica (2.000 kg ha<sup>-1</sup>) se correlaciona esta afirmación con los resultados expuestos para la investigación en comparación a las dosis menores, ya que al aumentar la dosis de la misma también aumentaba la cantidad de calcio añadido al suelo y el exceso de este nutriente produce un efecto antagónico sobre la absorción de potasio, elemento fundamental para el incremento en el rendimiento del cultivo de trigo (Díaz et al. 2005).

Además del potasio, Malavolta (1981) menciona que el exceso de calcio en el suelo también produce un efecto antagónico sobre la absorción del magnesio y manganeso. Es necesario destacar que debido a lo explicado

anteriormente, el tratamiento con 2.000 kg ha<sup>-1</sup> de escoria siderúrgica al presentar el menor rendimiento se ajusta a la ley de los rendimientos decrecientes o de Mitscherlich, que establece que la adición de un elemento es favorable hasta un cierto punto de inflexión, si se pasa ese punto ocurre un desbalance en la planta (Marengo 2009).

Correlacionando el rendimiento con el IAF y el contenido de clorofila, se evidenció que a medida que aumentan el IAF y el contenido de clorofila, también aumenta el rendimiento de los tratamientos con escoria siderúrgica. Se observó una tendencia de aumento de este parámetro, datos que concuerdan con Camacho et al. (1995) quienes afirman que el rendimiento de los cereales aumenta a medida que lo hace el IAF y la actividad fotosintética es intensa.

El uso de la escoria siderúrgica es una alternativa limpia y sustentable, con un gran potencial para reducir el uso de agroquímicos y aumentar la productividad de los cultivos a través de una nutrición más equilibrada y fisiológicamente más eficiente, lo que significa plantas más productivas, con menor intensidad de enfermedad y más vigorosas (Lima 2011).

## CONCLUSIONES

Los patógenos identificados causantes de las manchas foliares en trigo son *Drechslera tritici-repentis*; *Bipolaris sorokiniana*; *Septoria tritici* y roya de la hoja, *Puccinia triticina*.

Las dosis crecientes de escoria siderúrgica aplicadas al suelo no reducen significativamente la intensidad de las enfermedades foliares en plantas de trigo, y no afectan el rendimiento ni el índice de área foliar en el primer año de aplicación.

El potencial efecto inductor de la escoria siderúrgica se observa en las dosis menores a 500 kg ha<sup>-1</sup> al presentar menor intensidad de manchas foliares y roya de la hoja.

La concentración del contenido de clorofila aumenta significativamente al utilizar la dosis menor de escoria siderúrgica en el suelo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abadía, A. 1991. La formación de clorofila en caso de deficiencia inducida de Hierro (en línea). *Scientia Agricola* 53(2): 214-218 Zaragoza, ES. Consultado 11 ene. 2015. Disponible en:

<http://digital.csic.es/bitstream/10261/37115/1/P%C3%A1ginas%20desdeVOL.4%203-4-Abad%C3%ADa%2044-91.pdf>

Agrios, GN. 2005. *Plant Pathology* 5 ed., California, US, Academic Press 635 p.

Annone, JG. 2000. Siembra directa en el Cono sur (en línea). Consultado 10 ene. 2015. Disponible en: <https://books.google.com.py/books>

Bastos, L; Oliveira, A de; Freire de Aquino, B. 2009. Micronutrientes e silício nas folhas da cana-de-açúcar: escória siderúrgica aplicado no solo (en línea). *Engenharia Ambiental* 6(1):27-37. Consultado 3 nov. 2014. Disponible en: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental>

Borda, OA; Barón, FH; Gómez, MI. 2007. El silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa* L.): respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo (en línea). *Agronomía Colombiana* 2(25):25-29. Consultado 8 ene. 2015. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/scielo>.

Camacho, RG; Garrido, O; Lima, MG. 1995. Caracterización de nueve genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en relación a área foliar y coeficiente de extinción de luz. *Scientia Agricola* 52(2):294-298.

Carmona, M; Sautua, F. 2011. Impacto de la nutrición y los fosfitos en el manejo de enfermedades en cultivos extensivos de la región pampeana (en línea). Rosario, AR. *Fertilizar* p. 73-82. Consultado 15 oct. 2014. Disponible en: <http://www.agroconsultasonline.com.ar>

Carmona, C. 2010. Pudriciones del tallo y raíces del cultivo de maíz (en línea). Consultado 3 ago. 2014. Disponible en <http://www.google.com.py/url?s>

Carrasco, RG; Garrido, O; Lima, MG. 2012. Caracterización de nueve genotipos de maíz (*Triticum aestivum* L.) en relación a área foliar y coeficiente de extinción de luz. *Scientia Agricola*, Piracicaba 52(2):294-298.

Castillo, A; Ligarreto, G. 2010. Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano (en línea). *Corpoica* 11(2):122-128. Consultado 10 oct. 2014. Disponible en: <http://www.corpoica.org.co/>

- Conejero, MV; Solla, A. 2012. Aplicaciones de BABA y BTH en brinzales de *Pinus pinaster* para la inducción de resistencia ante *Fusarium circinatum* (en línea). Cáceres, ES. Sanidad forestal 36:55-60. Consultado 28 oct. 2014. Disponible en: <http://www.fabinet.up.ac.za/publication>
- Dalmaso, D. 2011. Utilización de escorias siderúrgicas en suelos agrícolas de la región Pampeana Argentina (en línea). La Pampa, AR. Consultado 3 nov. 2014. Disponible en: <http://www.construccionenacero.com>
- Datnoff, L. 1999. Productos de Silicio: Ayudan a las plantas a superar estrés biótico y abiótico (en línea). Consultado 21 nov. 2014. Disponible en: <http://www.redagricola.com>
- Díaz, M; Duarte, G; Fernández Canigia, M; Brambilla, C. 2005. Uso de Cloruro de Potasio y producción de trigo en la Pampa arenosa (en línea). La Pampa, AR. Consultado 11 ene. 2015. Disponible en: <http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg>
- FAO (Food and Agriculture Organization, US). 2014. Trigo (en línea). Washington, US. Consultado 3 ene. 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/007/y5143s/y5143s09.htm>
- Formento, N. 2014. Cultivo de trigo (en línea). Buenos Aires, AR. Consultado 20 nov. 2014. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/aparicion-temprana-de-enfermedades-foliares>
- French, ER; Hebert, TT. 1980. Métodos de investigación fitopatológica. San José, CR. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 289 p.
- Inzunza, MA; Catalán, E; Sánchez, I; Villa-Castorena, M; Román, A. 2010. Modelo de producción de trigo bajo déficit hídrico en dos periodos de crecimiento (en línea). Terra Latinoamericana 28(4):335-344. Consultado 9 oct. 2014. Disponible en: <http://www.redalyc.org>
- James, C. 1971. A manual of assessment keys for plant diseases. Key no. 1.7
- Lima, OF de. 2011. Uso de escórias de siderurgia na agricultura (en línea). Mato Grosso do Sul, BR. Consultado 3 nov. 2014. Disponible en: <http://www.campograndenews.com.br/artigos/uso-de-escorias-de-siderurgia-na-agricultura>
- López, FA. 1995. Problemática actual de las escorias siderúrgicas (en línea). Madrid, ES. Consultado 12 ene. 2015. Disponible en: [http://www.nasdap.ejgv.eu.kadi.net/r50-public2/eu/contenidos/informe\\_estudio/informes\\_tecnicos/eu\\_agripes/adjuntos/IT-081.pdf](http://www.nasdap.ejgv.eu.kadi.net/r50-public2/eu/contenidos/informe_estudio/informes_tecnicos/eu_agripes/adjuntos/IT-081.pdf)
- Malavolta, E. 1981. Manual de química agrícola. 3 ed. San Pablo, BR. Ceres. 594 p.
- Marengo, A. 2009. Efecto de la fertilización con Zinc sobre el área foliar y el rendimiento del cultivo de maíz (en línea). Tesis Ing. Agr. Córdoba, AR, URC. 33 p. Disponible en: <http://www.produccionvegeta.lunrc.org>
- Mello Prado, R de; Ferandes, FM; Natale, W. 2002. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. Scientia Agrícola 59:129-135.
- Méndez, W; Arauz, L; Ríos, R. 2010. Evaluación de fungicidas convencionales e Inductores de Resistencia para el combate de mildiú vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*) en melón (*Cucumis melo*). Agronomía Costarricense (CR) 34(2): 153-164.
- Menezes, M; Oliveira, S. 1993. Fungos fitopatogênicos. Recife, BR. Imprensa Universitária da UFRPE. 277 p.
- Novais, RF; Barros, NF; Leite, FP; Teixeira, JL; Leal, PGL. 1993. Eficiência agrônômica de escórias da Siderúrgica Pains. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 110 p.
- Pintos, M. 1995. Utilización de escorias siderúrgicas como enmienda en agricultura (en línea). Gobierno Vasco, ES. Consultado 11 ene. 2015. Disponible en: [https://www.google.com.py/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&capublic2%2Feu%2Fcontenidos%2Finforme\\_estudio%2Finformes\\_tecnicos%2Feu\\_agri](https://www.google.com.py/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&capublic2%2Feu%2Fcontenidos%2Finforme_estudio%2Finformes_tecnicos%2Feu_agri)
- Peterson, R. F., A. B. Campbell, and A. E. Hannah. 1948. A diagramatic scale for estimating rust intensity of leaf and stems of cereals. Can. J. Res. Section C. 26: 496-500.
- Reis, EM; Casa, RT. 1998. Patologia de sementes de cereais de inverno. Passo Fundo, BR. 88 p.
- Reis, EM; Casa, RT. 2005. Doença do trigo. In Kimati, H; Amorim, L; Rezende, JAM; Bérghamin Filho, A;

- Camargo, LEA. Manual de fitopatología. Doenças das Plantas cultivadas. 4 ed. Sao Paulo, BR. p. 631-637.
- Riveros, C; Adams, M; Gamboa, O. 2011. Uso de escorias básicas de siderúrgica en la recuperación de suelos sulfatoácidos del delta del rio (en línea). VeneSuelos (23):1-16. Consultado 24 nov. 2014. Disponible en: <http://www.sciary.com/journal>
- Sánchez, L. 1984. La alimentación mineral de las plantas (en línea). Salamanca, MX. 37 p. Consultado 11 ene. 2015. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream>
- Sephu, J. 2012. El Silicio en el cultivo de arroz (en línea). Zaragoza, ES. no 74:1-8. Consultado 25 ene. 2015. Disponible en: <http://www.interempresas.net/FeriaVirtual/>
- Stocco, FC; Ribeiro, R; Vaz Andrade; F. 2014. Escórias de siderurgia na nutrição de gramíneas cultivadas em latossolo vermelho-amarelo. Biosci Uberlandia 4(30):1095-1107.
- Verges, R. 2007. Cultivos de invierno (en línea). Programa Nacional Cultivos de Secano. Mejoramiento Genético de Trigo. 83 p. Santa Fe, AR. Consultado 10 ene. 2015. Disponible en: <http://www.inia.uy>