

EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DE LÍNEAS DE TRIGO FRENTE A *Puccinia striiformis f. sp. tritici*, EN LA PARROQUIA LICTO DEL CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO

EVALUATION OF RESPONSE OF WHEAT LINES AGAINST Puccinia striiformis f. sp. tritici, IN LICTO PARISH, RIOBAMBA CANTON, CHIMBORAZO

Alexis Fabian Riofrio Proaño ¹

¹ Investigador independiente. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8347-62200>

Álvaro Mauricio Rivera Casignia ²

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur km 1 ½, Riobamba. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8541-1826>.

Fernando José Rivas Figueroa ^{3*}

³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur km 1 ½, Riobamba. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1728-2716>. Correo: frivas@esepoch.edu.ec

Pablo Israel Álvarez Romero ⁴

⁴ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur km 1 ½, Riobamba. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0743-5210>

Michel Leiva Mora ⁵

⁵ Laboratorio de Biotecnología, Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, Cantón Cevallos vía a Quero, sector el Tambo la Universidad, 1801334, Cevallos, Ambato, Tungurahua, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1846-4060>

* Autor para correspondencia: fejorivas@hotmail.com

Resumen

El objetivo de esta investigación es evaluar la respuesta de líneas de trigo frente a *Puccinia striiformis f. sp. tritici*, agente causal de la roya amarilla del trigo en la Parroquia Licto del Cantón Riobamba, Provincia de

Chimborazo. El experimento se efectuó bajo el diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones para 39 líneas de trigo, implementadas en parcelas pequeñas (PCs) de 1 m², las variables analizadas fueron: porcentaje de incidencia y severidad de los primeros síntomas de cada tratamiento mediante el uso de la escala diagramática modificada de Cobb, curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), caracterización de los uredos y uredosporas a nivel de laboratorio, tamaño y forma del grano, rendimiento final del cultivo en gramos/parcela.

Palabras clave: líneas diferenciales; respuesta hipersensible; resistencia parcial; roya amarilla; uredosporas.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the response of wheat lines against Puccinia striiformis f. sp. tritici, causing wheat stripe rust in Licto Parish, Riobamba Canton, Chimborazo Province. The experiment was carried out under a Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications for 39 wheat lines, sampled area of 1 m² per plot, the variables analyzed were: incidence and severity expressed as percentage using the modified Cobb diagrammatic scale, disease progress curve (AUDPC), uredinia and urediniospore characterization at laboratory, grain size and shape and grams per plot.

Keywords: *diferenciales lines; hypersensitive response; partial resistance; urediniospore; yellow rust.*

Fecha de recibido: 29/10/2022

Fecha de aceptado: 04/12/2022

Fecha de publicado: 05/12/2022

Introducción

El trigo (*Triticum aestivum* L.) junto a los demás cereales, es el principal cultivo en el mundo y los alimentos hechos con este cereal son la base de la alimentación para muchas poblaciones. En el año 2019 se importaron 1 295 424 toneladas de granos de trigo alcanzando un precio de USD 396 877 794 (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019), pero la producción de trigo actual en Ecuador es relativamente inferior a las 6 mil toneladas obtenidas en una superficie de 3085 ha, encontrándose entre los valores más bajos de Latinoamérica y el mundo. (FAOSTAT, 2019).

En nuestro país, las enfermedades más importantes del trigo que se pueden observar en la Sierra Ecuatoriana son: roya amarilla o lineal (*Puccinia striiformis*), roya de la hoja (*Puccinia triticina*), Fusariosis de la espiga (*Fusarium* spp.) y el carbón volador (*Ustilago* spp.), varios estudios han demostrado que *P. striiformis* puede ocasionar una reducción del rendimiento que puede variar entre el 35 al 70 % en variedades susceptibles (Ponce et al., 2011).

En Ecuador *Puccinia striiformis* f. sp. tritici, por su gran capacidad de dispersión se ha convertido en una enfermedad prácticamente incontrolable, aumentando el porcentaje de pérdidas en las cosechas cada año, lo cual reduce su rentabilidad lo cual provoca que los productores emprendan con otros cultivos que generen mejores fuentes de ingresos (INIAP, 2020).

Una de las principales estrategias utilizadas para controlar esta enfermedad de una forma económica y respetable con el medio ambiente es el control genético, mediante el desarrollo de variedades de trigo resistentes. Sin embargo, no basta con desarrollar variedades que tengan genes Yr para conferir resistencia a la roya amarilla, sino que se requiere realizar evaluaciones multisitios para verificar si en alguna localidad prevalecen razas del patógeno que puedan romper la resistencia conferida por dichos genes. Basado en esta problemática el presente trabajo se propuso como objetivo evaluar la respuesta de líneas diferenciales de trigo frente a *Puccinia striiformis* f. sp. tritici, en la Parroquia Licto del Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

Materiales y métodos

Sitios de estudio y materiales de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó dentro de los predios de la Estación Experimental Tunshi, de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la Parroquia Licto perteneciente al cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo. Se utilizaron 5g de semilla de trigo de cada una de las 39 líneas diferenciales provenientes de la Universidad de Saskatchewan (Canadá).

La ubicación geográfica de la Estación Experimental Tunshi es la siguiente: Latitud 1°44' 59" S, Longitud 78°54,3' 7" O y una altitud de 2740 m.s.n.m. Las condiciones climáticas del sitio donde se desarrolló el experimento tuvo los siguientes valores promedios: temperatura máxima de 17,3°C, temperatura mínima de 10°C, temperatura media de 14,3, humedad relativa de 62% y una precipitación media anual de 510 mm.

Metodología

Para la evaluación de la respuesta de las 39 variedades de líneas diferenciales de trigo se desarrollaron tres etapas de investigación:

Etapa 1: Etapa de campo

Se realizó dentro de los predios de la Estación Experimental Tunshi perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la parroquia Licto; donde se instalaron parcelas demostrativas con dimensiones de 1m² para cada una de las líneas, repartidas al azar en tres repeticiones.

Etapa 2: Recolección de datos

Se evaluó la respuesta de las líneas diferenciales en 15 plantas seleccionadas aleatoriamente de cada repetición y cada tratamiento. Se evaluó la incidencia severidad y reacción de las líneas.

Para la evaluación de la incidencia que permite calcular el número de plantas afectadas por la roya amarilla por cada tratamiento se utilizó la fórmula propuesta por la Sociedad Inglesa de Micología (ecuación 1)

$$I(\%) = \frac{n}{N} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

I= Incidencia

n= cantidad de plantas afectadas

N= Total de plantas

La evaluación de la intensidad o severidad de ataque de la roya amarilla en las plantas de trigo de los diferentes tratamientos, se utilizó la fórmula de Mckinney (1923) (ecuación 2) aplicada en la escala modificada de Cobb (Peterson *et al.*, 1948) (Tabla 1, Figura 1).

$$IA(\%) = \frac{\sum(n \times v)}{G \times N} \times 100 \quad (2)$$

Se empleó la escala diagramática cuantitativa modificada por Cobb (figura 1) con la cual se cuantificó el porcentaje de daño en cada línea y posteriormente se utilizó una escala para clasificar el tipo de reacción en cada línea diferencial (tabla 2).

Donde:

I= Intensidad o severidad de ataque

n= Número de plantas por cada escala

v= Grado de ataque según la escala

G= Número total de grados

N= Número total de plantas observadas

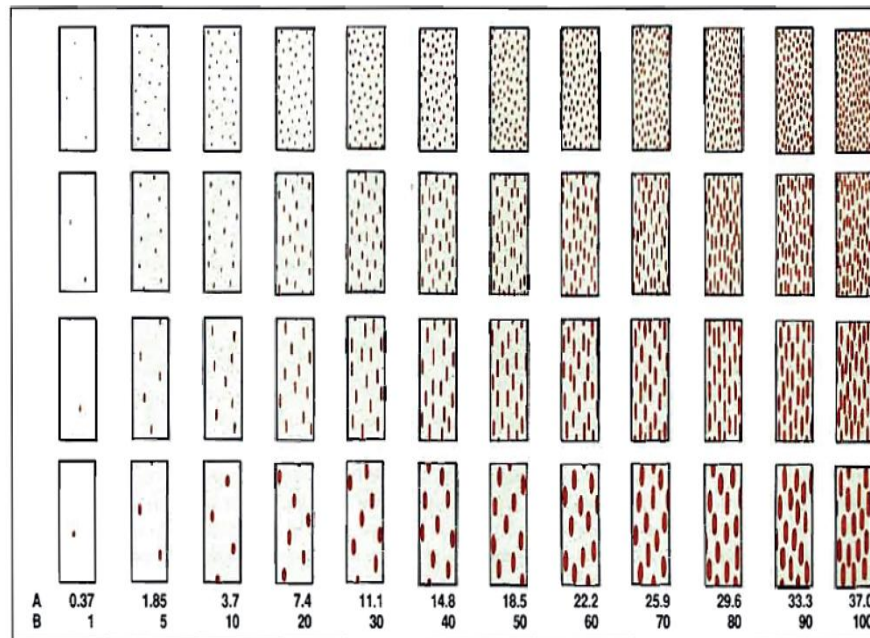


Figura 1. Escala modificada de Cobb, para estimar la severidad de las líneas diferenciales de trigo frente a *Puccinia striiformis f. sp. Tritici*.

Fuente: Stubbs R.W et al., 1986

Tabla 1. Escala Modificada de Cobb, para severidad en royas

A: Porcentaje real ocupados por uredos de roya amarilla
B: Grado de severidad de la roya %

A	0,37	1,85	3,7	7,4	11,1	14,8	18,5	22,2	25,9	29,6	33,3	37
B	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Fuente: Ponce-Molina et al. 2019

Tabla 2. Escala para determinar el tipo de reacción de las líneas diferenciales de trigo frente a *Puccinia striiformis* f. sp. tritici

Reacción	Descripción
0	Ningún síntoma visible en la planta.
R	Clorosis o necrosis visibles sin presencia de uredosoros.
MR	Pequeñas uredosoros rodeados por áreas cloróticas o necróticas.
M	Uredosoros de variados tamaños, algunos con clorosis, necrosis o ambos.
MS	Uredosoros de tamaño medio posiblemente rodeados de clorosis.
S	Grandes uredosoros generalmente con poca o ninguna clorosis ni necrosis.

Fuente: CIMMYT, 2012.

Determinación del ABCPE

El ABCPE se calculó mediante la fórmula propuesta por Shanner y Finney (1977) y aplicando la siguiente fórmula:

$$ABCPE = \frac{[(Y_i + n1) + Y_i]}{2} * (X_{i+1} - X_i)$$

Donde:

Y_i= intensidad de la enfermedad (%) en la primera evaluación.

Y_{i+1}= intensidad de la enfermedad (%) en la siguiente evaluación.

X_i= Tiempo en que se realizó la primera evaluación.

X_{i+1}= Tiempo en que se realizó la siguiente evaluación.

Etapas de caracterización de las estructuras de *P. striiformis*

Se colectaron 3 muestras por repetición línea diferencial de trigo correspondiente con la presencia de la enfermedad, luego se trasladaron al Laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Recursos Naturales donde se realizaron el proceso caracterización visual a través del uso del estereoscopio Steimi 508 Carl Zeiss a 100 aumentos. Con el microscopio óptico Axiolab 5 Carl Zeiss a 400 aumentos se caracterizó la forma, tamaño, disposición y orientación de los uredosoros y uredosporas.

Se realizó su observación a nivel del estereoscopio para determinar la disposición en la que se encontraban los uredosoros, posteriormente se registró el tamaño de los uredosoros utilizando el microscopio óptico con el lente óptico de 4x y un ocular de calibración donde se realizaron mediciones de la longitud de un total de 10 uredosoros, por cada tratamiento, obteniendo un promedio del tamaño de los uredosoros presentados en cada tratamiento.

Tipos de genes Yr presentes en cada línea diferencial de trigo

En la tabla 5 se describe la procedencia de cada línea de trigo diferencial (Pedigree) así como los genes Yr mayores presentes/ausentes los cuales son los responsables de conferir resistencia a la roya amarilla (tabla 3).

Tabla 3. Procedencia de cada línea de trigo diferencial, así como la presencia/ausencia de genes Yr en las 39 líneas de trigo.

Tratamiento	Pedigree de cada línea	Genes Yr presentes
L1	Avocet-YRA	Nula (Control susceptible sin genes Yr)
L2	Avocet+YRA	
L3	YR/6*AOC	Avocet + YrA
L4	Siete Cerros T66	Yr1
L5	YR5/6*AOC	Yr2
L6	YR6/6*AOC	Yr5
L7	YR7/6*AOC	Yr6
L8	YR8/6*AOC	Yr7
L9	YR9/6*AOC	Yr8
L10	YR10/6*AOC	Yr9
L11	YR15/6*AOC	Yr10
L12	YR17/6*AOC	Yr15
L13	YR18/3*AOC	Yr17
L14	YR24/3*AOC	Yr18 (APR)
L15	YR26/3*AOC	Yr24
L16	YR27/6*AOC	Yr26
L17	YRSP/6*AOC	Yr27
L18	YRCV/6*AOC	YrSP
L19	Yr28	Yr32
L20	Yr29	Yr28
L21	Yr31	Yr29 (APR)
L22	ACBarrie	Yr31
L23	CDCTeal	unknown
L24	Lillian	Yr18 (APR)
L25	AC Avonlea	Yr18, Yr36, Yr30? Yr36 is HTAPR
L26	CDC Alsask	Desconocido
L27	CDC GO	Yr18 (APR)
L28	AC Interpid	Yr29 gen R planta adulta

L29	Carberry	Desconocido
L30	Produra - durum wheat	Yr18 + others?
L31	Yr26/6*Avocet S	YrPr1, YrPr2
L32	AC Certa – triticales	Yr26/YrUnk
L33	Ultima – Triticales	Desconocido
L34	Pronghorn – Triticales	Desconocido
L35	Bunker – Triticales	Desconocido
L36	Brevis – Triticales	Desconocido
L37	Zak	Desconocido
L38	Yr43	
L39	Yr44	

Resultados y discusión

En base a la reacción de las líneas diferenciales de trigo frente a *P. striiformis* se observaron 11 líneas indicadoras susceptibles (S) cuyos nombres fueron: Entry-89, CDC Austenson, Entry-93, Entry-86, J08050168, Entry-88, Entry-90, J08043022, Entry-94, Legacy, Vivar; otras 12 líneas fueron medianamente susceptibles (MS): Formosa, Mcleod, J08043011, I11727, I11808, Entry-91, J06022012, J08051028, I70034, J06026013, I11729, J080501029; 3 líneas fueron medianamente resistentes (MR): Entry-85, Celebration, Bentley y finalmente 9 líneas de trigo fueron resistentes: Entry-83, Conlon, I11730, I11726, Entry-87, CDC Kendall, CDC Meredith, CDC Mindon y J07122022 y 4 líneas isogénicas de Triticales: Entry-95, Entry-29, Entry-31 y Entry-114.

Incidencia de la roya amarilla

La incidencia de la roya amarilla a diferencia de otras royas se asocia con la aparición de manchones y pústulas alrededor de la hoja, donde frecuentemente la enfermedad se incrementa desde el primer nudo hasta la aparición de la hoja bandera. En ocasiones se observan áreas donde el color verde que pierden su intensidad, tornándose amarillentas, siendo estas áreas idóneas para recolectar las plantas que serán objeto de evaluación para incrementar las probabilidades de observar la enfermedad (figura 2).



Figura 2. Incidencia de *Puccinia striiformis* f. sp. tritici. Alteración de la coloración de hojas verdes a tonalidades claras (a). Aparición de pústulas anaranjadas en hojas inferiores y en la hoja bandera (b). Coloración amarilla en hojas bajera, bandera y espigas (c).

A los 73 días los tratamientos con mayores porcentajes de incidencia fueron las líneas: Entry-93, Entry-89, J08043011, Entry-90, Entry-94, Entry-91 y J08043022 con respecto a los demás tratamientos y se mantuvo un progreso en el porcentaje mostrado hasta la penúltima y última evaluación es decir a los 119 y 136 dds, donde la mayoría de los tratamientos alcanzaron el 100 % de incidencia, mostrando un progreso acelerado de la enfermedad (Figura 3).

Por otra parte, los menores porcentajes de incidencia de la enfermedad fueron para las siguientes líneas diferenciales: J07122022, CDC Mindon, CDC Kendall, Colon, Entry-83, Entry-114, I11730, CDC Meredith, Entry-87, I11726, Entry-31, Entry-29 y Entry-95, quienes alcanzaron la menor incidencia al no mostrar síntomas. Además, los tratamientos Entry-85, Bentley y Mcleod no aumentaron el porcentaje de incidencia debido a que su sintomatología solo se presentó durante el macollamiento y no en la fase de espigado (Figura 3).

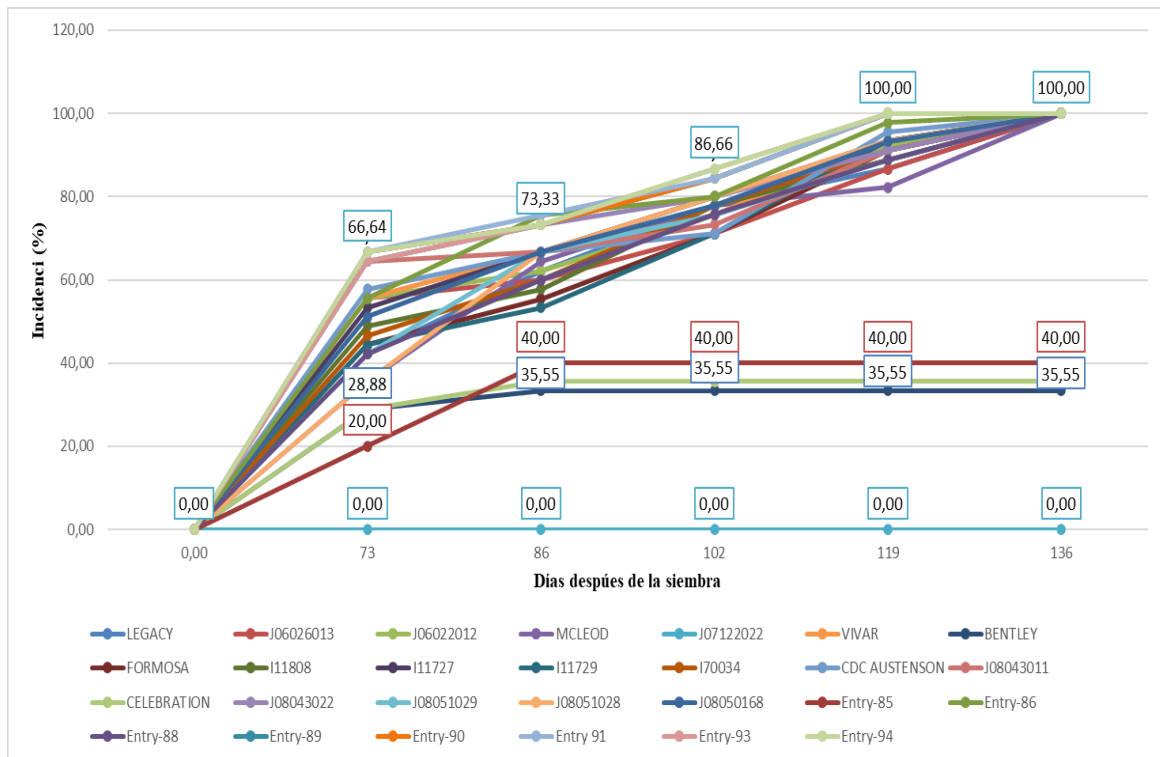


Figura 3. Incremento de la incidencia expresada en porcentaje de *Puccinia striiformis f. sp. tritici* en las líneas diferenciales de trigo.

Porcentajes de severidad de *Puccinia striiformis f. sp. tritici*

Las plantas con índice de infección leve (1-20%) presentaron una colorosis visible con presencia de pústulas uniformes en las hojas inferiores. Para el nivel intermedio (30-50%) se observó el tamaño de las pústulas y estaban acompañadas de un amarillamiento poco generalizado en las hojas infectadas. El progreso de la enfermedad fue rápido para un nivel de infección severo (60-80%), la cuales las pústulas fueron adquiriendo un color anaranjado, mismas que se rompieron y liberaron un polvo naranja-amarillento que son las esporas dando ese color amarillamiento, las pústulas aparecieron alineadas en bandas o estrias en las hojas más viejas para potesrior infectar las hojas jóvenes, conforme avanzó la enfermedad.

Para un nivel muy severo (90-100%) las pústulas adquirieron tamaños generalmente grandes (18-26 µm), y se desarrollaron en toda la superficie foliar, esto ocasionó el secado de la hoja (SENASICA, 2019, p. 1-7) y las plantas adquirieron una tonalidad amarillenta (Figura 4).

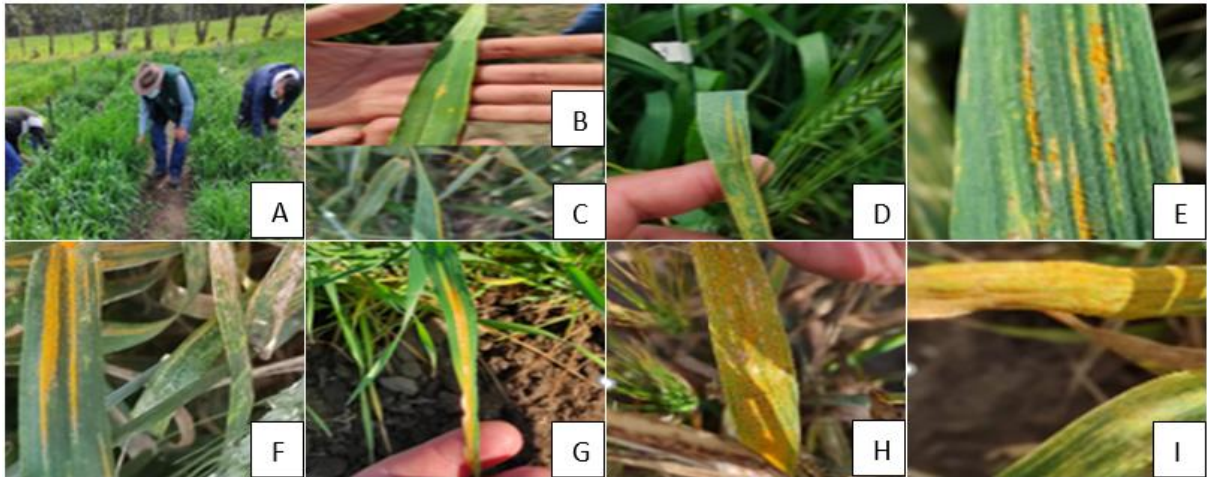


Figura 4. Severidad causada por *Puccinia striiformis f. sp. tritici* en las líneas diferenciales de trigo (a). Severidad 1-20% (b-c). Severidad 30-50% (d-e). Severidad severa 60-80% (f-g). Severidad muy severa 90-100% (h-i).

Para el porcentaje de severidad tomado durante la última evaluación principalmente en la hoja bandera de cada tratamiento, las líneas que menor grado de afectación alcanzaron fueron: Bentley, CDC Kendall, CDC Meredith, CDC Mindon, Celebration, Conlon, Entry-114, Entry-29, Entry-31, Entry-83, Entry-85, Entry-87, Entry-95, I11726, I11730 y J07122022, esto posiblemente debido a la activación de los distintos genes de resistencia constituyentes de cada tratamiento frente a la roya amarilla.

La severidad expresada en porcentaje de las variedades Enty-94, I70034, Entry-86, I11808, Entry-91, J08050168, Entry-90, J08043022, CDC Austenson, J06022012, Entry-93, Vivar y Entry-88 fueron de: 90,89%, 87,11%, 87,33%, 87,77%, 88,22%, 89,11% 89,56%, 90,44%, 90,67%, 92%, 92%, 93,78%, 95,35%, respectivamente, lo cual representa severidades muy altas.

Por otra parte, las líneas I11727, I11729, J08051029, J0804311, Formosa, J08051028, Mcleod, LEGACY, Entry-89 y J06062013 alcanzaron los siguientes promedios de severidad expresada en porcentaje: 77,33%, 78,44%, 81,78%, 82%, 82,44%, 85,11%, 85,33%, 85,56%, 86%, 86%, respectivamente, lo cual se consideran como severidades altas.

Finalmente las variedades Bentley, CDC Kendall, CDC Meredith, CDC Mindon, Celebration, Conlon, Entry-114, Entry-29, Entry-31, Entry-83, Entry-85, Entry-87, Entry-95, I11726, I11730 y J07122022; mostraron bajo porcentaje de severidad.

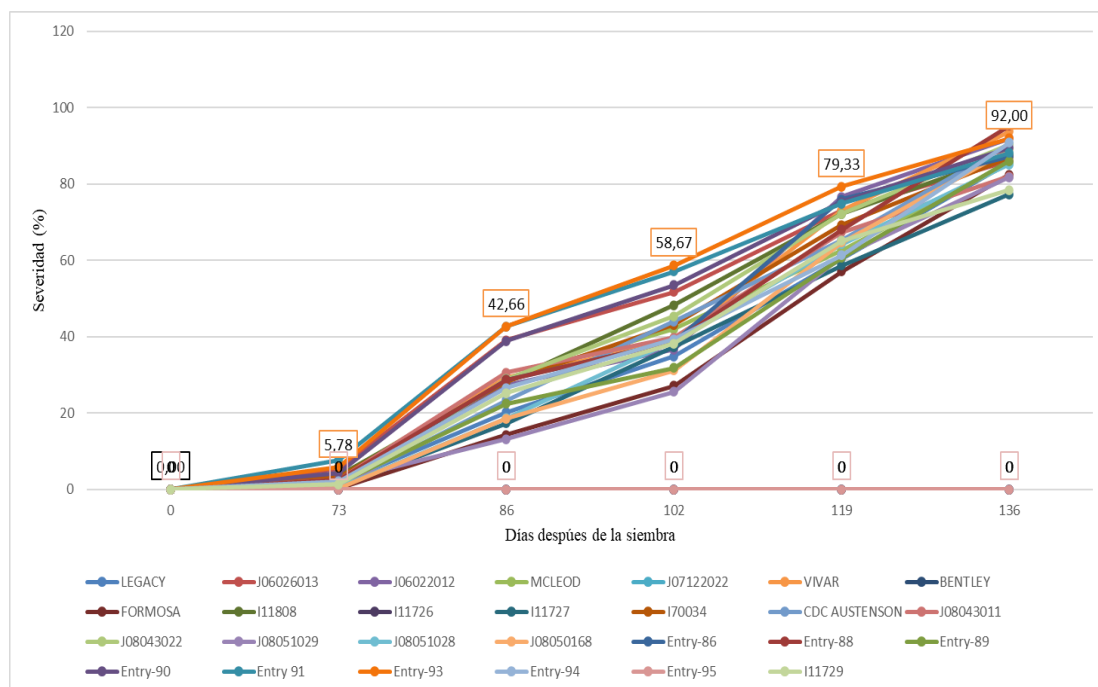


Figura 5. Curva del progreso de la enfermedad de la variable severidad de los tratamientos evaluados.

Área bajo la curva del progreso de la enfermedad

Con relación al área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) para la severidad, la expresión de los primeros síntomas asociados con la roya amarilla del trigo se manifestó a los 73 días en todos los tratamientos en donde el desarrollo de la enfermedad se dio gradualmente durante todo el ciclo y periodo de evaluación del cultivo. Los tratamientos: Entry-89, CDC AUSTENSON, Entry-93, Entry-86, J08050168, Entry-88, Entry-90, J08043022, Entry-94, LEGACY, mostraron mayor nivel de daño asociado a la roya amarilla del trigo con relación a los demás tratamientos, esto posiblemente estuvo relacionado a la no presencia de genes de resistencia capaces de reconocer a las razas de roya presentes y a su vez, los tratamientos: BENTLEY, CDC KENDALL, CDC MEREDITH, CDC MINDON, CELEBRATION, CONLON, Entry-114, Entry-29, Entry-31, Entry-83, Entry-85, Entry-87, Entry-95, I11726, I11730 y J07122022 alcanzaron un área bajo la curva de progreso de la enfermedad de 0, presentando el menor nivel de daño de la enfermedad (Figura 7-3).

Tabla 4: Promedios del área bajo la curva del progreso de la enfermedad de los tratamientos de trigo.

PBI	Severidad Roya DDT						Área bajo la curva
	0	73	86	102	119	136	
LEGACY	0	1,58	20,2	34,9	60,4	85,6	4128,66
J06026013	0	5,4	39,1	51,8	73,1	86	3351,66
J06022012	0	1,6	27,3	36,7	76,7	92	3453,55
MCLEOD	0	3,38	29,1	42	62,7	85,3	3830,66

Evaluación de la respuesta de líneas de trigo frente a *Puccinia striiformis f. sp. tritici*

J07122022	0	0	0	0	0	0	0
VIVAR	0	2,51	29,3	38,9	73,1	93,8	3960,83
BENTLEY	0	0	0	0	0	0	0
CDC KENDALL	0	0	0	0	0	0	0
CDC MEREDITH	0	0	0	0	0	0	0
CDC MINDON	0	0	0	0	0	0	0
CONLON	0	0	0	0	0	0	0
FORMOSA	0	0,24	14,2	27,1	57,1	82,4	4089
I11808	0	3,51	28,1	48,2	72,2	87,8	3627,66
I11726	0	0	0	0	0	0	0
I11727	0	0,8	17,3	37,3	58,7	77,3	3642,5
I11729	0	1,31	25,2	38,2	65,1	78,4	3322,5
I11730	0	0	0	0	0	0	0
I70034	0	3,22	28,2	43,1	69,3	87,1	3317,25
CDC AUSTENSON	0	0,87	23,3	44	65,3	90,7	4518
J08043011	0	2,51	30,6	39,8	67,3	82	3830,66
CELEBRATION	0	0	0	0	0	0	0
J08043022	0	0,82	28,9	45,3	72,2	90,4	4219,33
J08051029	0	2,2	13,2	25,6	61,1	81,8	4167,33
J08051028	0	0,53	18,7	38,9	64,2	85,1	3325,45
J08050168	0	0,33	18,5	31,1	64,7	89,1	4319,33
Entry-83	0	0	0	0	0	0	0
Entry-85	0	0	0	0	0	0	0
Entry-86	0	2,27	28,7	38,7	76	87,3	4347
Entry-87	0	0	0	0	0	0	0
Entry-88	0	2,4	28,7	38,7	68	95,3	4255,33
Entry-89	0	1,69	22,4	31,8	60,7	86	4531,66
Entry-90	0	4,36	38,9	53,6	75,3	89,6	4231,55
Entry 91	0	7,56	42,7	57,1	74,9	88,2	3534,22
Entry-93	0	5,78	42,7	58,7	79,3	92	4362,66
Entry-94	0	2,09	26,6	39,3	61,3	90,9	4178,33
Entry-95	0	0	0	0	0	0	0
Entry-114	0	0	0	0	0	0	0
Entry-31	0	0	0	0	0	0	0
Entry-29	0	0	0	0	0	0	0

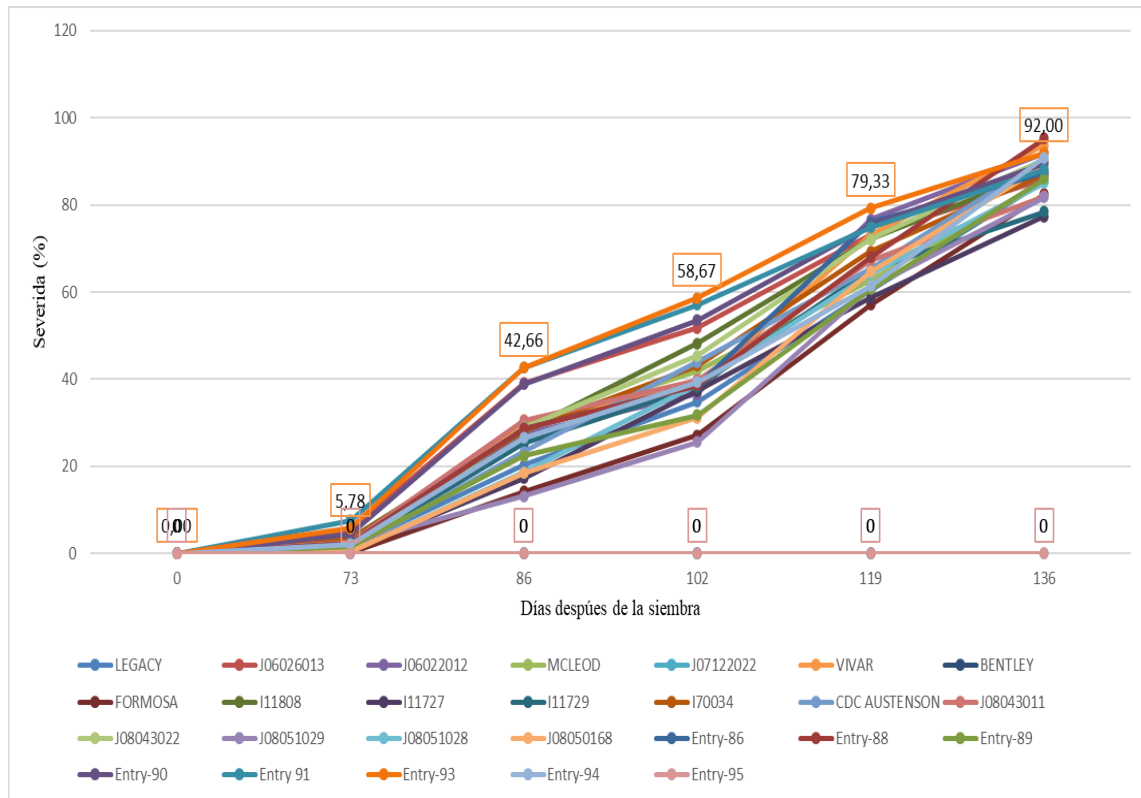


Figura 6. Área bajo la curva de la enfermedad de los tratamientos de trigo frente a la roya amarilla *Puccinia striiformis f. sp. tritici*

**Caracterización de la roya amarilla
Medición de uredosoros**



Figura 7. Caracterización de los uredosoros. Selección de la muestras con la presencia de signos y síntomas (a). Observación a nivel del estereoscopio.

El tamaño de los uredosoros varió de 0,5 a 1 mm con un valor promedio de 0,75mm por pústula, al agruparse desarrollan series lineales estiradas y a largadas que pueden llegar a medir más de 10 cm a lo largo de la

superficie de la hoja, generando áreas de tonalidades amarillentas.

Medición de uredosporas

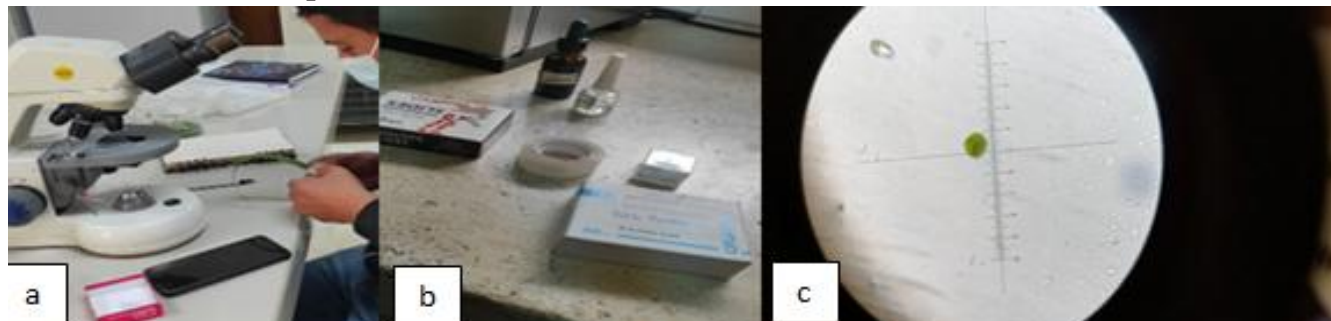


Figura 8. Caracterización de las uredosporas. Selección de los tratamientos con signos y síntomas (a). Preparación de placas con impregnación de esporas (b). uredosporas de *Puccinia striiformis* f. sp. tritici (c).

Las uredosporas cuales no presentaron diferencias ya que se las medias de cada tratamiento por esporas se encontraban en diámetros de de 20 - 26 x 17 – 26 μm , sobresaliendo una forma ovalada (Figura 9)

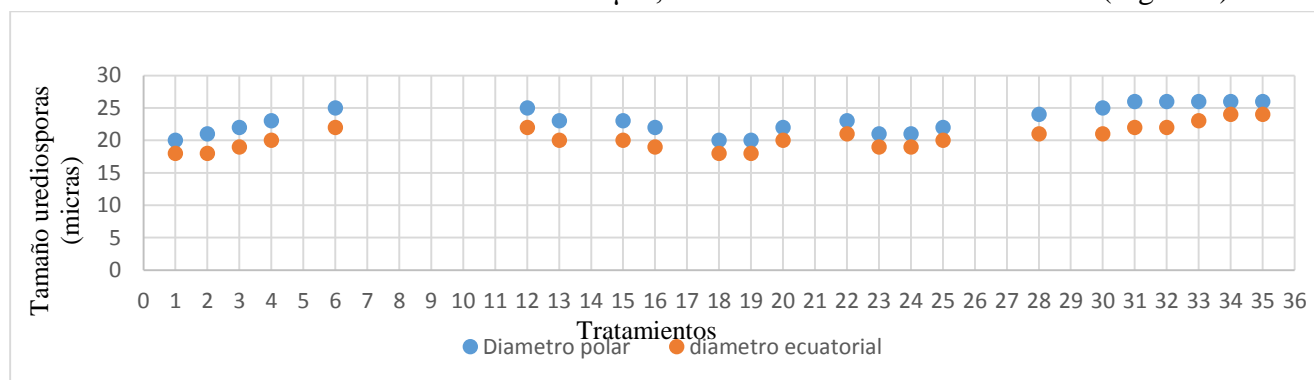


Figura 9. Tamaño uredosporas (micras) de *Puccinia striiformis* f. sp. Tritici.

Tipo de reacción a roya amarilla

Ponce-Molina et al., (2019, p. 38), mencionaron que otro de los parámetros evaluados en materiales resistentes principalmente a royas, es el tipo de reacción que tiene asociado el material genético en campo frente al ataque de patógenos, la cual dependiendo de su nivel de resistencia permite o no el desarrollo de la enfermedad.



Figura 10. Tipo de reacción a *Puccinia striiformis* f. sp. tritici. Ningún síntoma visible (a), clorosis visible sin presencia de uredosoros (b), Pequeños uredosoros (c), Uredosoros de variados tamaños (d), Uredosoros de tamaño medio (e), Grandes uredosoros (f).

Tomando en cuenta como principal criterio el porcentaje de severidad así como la presencia de uredosoros sobre la superficie de la hoja de las líneas Entry-89, CDC Austenson, Entry-93, Entry-86, J08050168, Entry-88, Entry-90, J08043022, Entry-94, Legacy, Vivar; mostraron una alta incidencia, severidad por lo cual se establecieron como las líneas de reacción susceptible (S).

Por otra parte, el tipo de reacción para las líneas: Formosa, Mcleod, J08043011, I11727, I11808, Entry-91, J06022012, J08051028, I70034, J06026013, I11729, J080501029 fue medianamente susceptible (MS); mientras que las líneas Entry-85, Celebration y Bentley, debido a que presentaron sintomatología de la enfermedad durante el macollamiento se clasificaron como moderadamente resistentes (MR).

Finalmente, las variedades Entry-83, Colon, I11730, I11726, Entry-87, Entry-95, Entry-29, Entry-31, Entry-114, CDC Kendall, CDC Meredith, CDC Mindon y J07122022 no presentaron síntomas visibles durante las evaluaciones de la enfermedad a nivel de campo por lo cual se clasificaron como altamente resistentes (AR).

Conclusiones

Se determinó el porcentaje de severidad alcanzado por las líneas de trigo evaluadas en relación con las principales enfermedades, se demostró que la enfermedad con mayor incidencia fue la roya amarilla, obteniéndose promedios de severidad del 90 - 95% para los tratamientos: Enty-94, I70034, Entry-86, I11808, Entry-91, J08050168, Entry-90, J08043022, CDC AUSTENSON, J06022012, Entry-93, VIVAR, Entry-88, tomando en cuenta que los genes Yr de algunas líneas son desconocidos y los otros genes Yr no presentaron resistencia a las poblaciones de *P. striiformis* presentes durante el ensayo, mientras que los tratamientos: BENTLEY, CDC KENDALL, CDC MEREDITH, CDC MINDON, CELEBRATION, CONLON, Entry-114, Entry-29, Entry-31, Entry-83, Entry-85, Entry-87, Entry-95, I11726, I11730 y J07122022 los cuales presentan genes: Yr7; Yr8; Yr9; Yr10, Yr31, Yr15, Yr44, Yr43, Yr44, Yr29 gen R de planta adulta, Yr18 (APR), Yr18, Yr24 y YrSP; respectivamente que han sido adecuados al presentar resistencia a las diferentes razas de *P. striiformis* presentes durante el ensayo, con un porcentaje de 0% de severidad durante el ciclo del cultivo.

Por medio del ABCPE se pudo establecer que ninguna de las líneas mostro una resistencia parcial a *P. striiformis*. Debido a que los valores de ABCPE no presentaron niveles intermedios o bajos de severidad. Mediante la reacción a *P. striiformis* se obtuvieron: 11 líneas indicadoras (S) susceptibles: Entry-89, CDC AUSTENSON, Entry-93, Entry-86, J08050168, Entry-88, Entry-90, J08043022, Entry-94, LEGACY, VIVAR; 12 líneas isogénicas de trigo (MS): FORMOSA, MCLEOD, J08043011, I11727, I11808, Entry-91, J06022012, J08051028, I70034, J06026013, I11729, J080501029; 3 líneas isogénicas (MR): Entry-85, CELEBRATION, BENTLEY; al final se determinó 9 líneas isogénicas de trigo: : Entry-83, CONLON, I11730, I11726, Entry-87, CDC KENDALL, CDC MEREDITH, CDC MINDON y J07122022; y 4 líneas isogénicas de Triticale: Entry-95, Entry-29, Entry-31, Entry-114, (R) que llegaron a ser resistentes

Agradecimientos

Se agradece a la oficina internacional de investigación y asociaciones (IRPO) de la Universidad de Saskatchewan por el financiamiento del proyecto IDIPI-228. A los colegas del INIAP el Dr. Luis Ponce, que facilitaron del material biológico indispensable para el desarrollo del proyecto de investigación. Finalmente, una mención especial para el Professor Randy Kutcher investigador del departamento de las ciencias de las plantas de la Universidad de Saskatchewan por su apoyo y colaboración en el desarrollo de la investigación.

Referencias

- Almacellas, J Y Sanchez. La roya amarilla del trigo: características, situación actual y claves para el control. [en línea]. Cataluña-España, 2015. [Consultado el: 5 de Octubre de 2021]. Disponible en <https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/131497-La-roya-amarilla-del-trigo-caracteristicas-situacion-actual-y-claves-para-el-control.html>.
- Brar, g. S. Y kutcher. Race Characterization of *Puccinia striiformis* f. sp. tritici, the Cause of Wheat Stripe Rust, in Saskatchewan and Southern Alberta, Canada and Virulence Comparison with Races from the United States. [en línea] United States 2016. [Consultado el: 10 de Octubre de 2021]. Disponible en <https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PDIS-12-15-1410-RE>.
- Carmona, M Y Sauta, F. Roya amarilla, Nuevas razas en el mundo, monitoreo y uso de funguicidas. FAUBA. [en línea] Buenos Aires-Argentina, 2017, pp. 6-7, [Consultado: 15 de Diciembre de 2021]. Disponible en: https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/wp-content/uploads/2016/03/CARMONA-SAUTUA_Roya-amarilla-2017_FAUBA.pdf.
- Chen, W; Wellings, C; Chen, X; Kang, Z; Liu, T . Wheat stripe (yellow) rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. tritici. Molecular Plant Pathology. [en línea] United States, 2010. [Consulta: 25 de Diciembre de 2021]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6638732/>.
- CIMMYT. 2010. Partes de la planta de Trigo. [en línea]. D.F. México, 2010. [Consulta: 9 de Dicimbre de 2021]. Disponible en: <http://wheatdoctor.org/es/partes-de-la-planta-del-trigo>.
- Coronel, A. Comportamiento agronómico de 6 variedades de Trigo en dos zonas de la provincia de Bolivar. [en línea] (Trabajo de titulación).Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

1989. pp. 45-47 [Consulta: 7 de Diciembre de 2021.] <http://biblioteca.esepoch.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=39220>.
- Cropcheck Chile. Manual de recomendaciones cultivo de trigo. Fundación Chile. [en línea] Santiago-Chile, 2011. [Consulta: 5 de Diciembre de 2021]. Disponible en: <https://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/manual-trigo.pdf?sfvrsn=0>.
- De Wolf, E; Murray , T; Paul , P; Osborne, L; Tenuta, A., et al. Identificando a las Royas de Trigo y Cebada. Universidad Estatal de Oklahoma. [en línea] Oklahoma-United States 2010. [Consulta: 1 de Octubre de 2021]. Disponible en: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/identificando-a-las-royas-del-trigo-y-cebada.html>.
- Dirección general de sanidad vegetal. Roya Amarilla del Trigo. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. [en línea] México, 2020. [Consulta: 5 de Octubre de 2021]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/600886/Roya_amarilla_del_trigo.pdf.
- Palama, E. Evaluación de fungicidas para el control de roya amarilla.. [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2014. pp 12-35 [Consulta: 15 de Septiembre de 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2478/1/T-UCE-0004-65.pdf>.
- Faostat. Area cosechada, Produccion y Rendimiento de trigo en Ecuador. [en línea] 2019 [Consulta: 1 de Diciembre de 2021]. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>.
- Garófalo, j.; Ponce-Molina, l.; Abad, S. Guía del cultivo de trigo, Boletín divulgativo N° 411. [en línea] Pichincha-Quito-Ecuador, 2011, p. 20 [Consulta: 17 de Septiembre de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/381>
- Gutierrez, A, Saldaña, C & Puertas, J. El desarrollo de la roya amarilla en los trigos de castilla y león. [en línea] Catilla-España 2018. [Consulta: 2021 de Septiembre de 5]. Disponible en: https://nanopdf.com/download/el-desarrollo-de-la-roya-amarilla-en-los-trigos-de-castilla-y-leon-1_pdf#.
- Infoagro. El cultivo de trigo primera parte. [en línea] México, 2000, p. 1 [Consulta: 13 de Septiembre de 2020] Disponible en: <https://infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm>.
- INIAP. Inventario tecnológico del Programa de Cereales del INIAP. [en línea] Quito-Ecuador 2013. [Consulta: 20 de Septiembre de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/955/1/iniapscP.G896e2013.pdf>.
- Miralles, D. Consideraciones sobre ecofisiología y manejo de Trigo. INTA. [en línea] Buenos Aires-Argentina, 2004, pp 1-5 [Consulta: 25 de Septiembre de 2020]. Disponible en: http://rafaela.inta.gov.ar/info/miscelaneas/101/trigo2004_n1.pdf.
- Ochoa, J; Danial, D; Paucar , B. Virulence of wheat yellow rust races and resistance genes of wheat cultivars in Ecuador. INIAP. [en línea] Quito-Ecuador 2007. [Consulta: 10 de Octubre de 2021.] <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4378>.

- Pieterse, C; Zamioudis, C; Berendsen, R. "Induced Systemic Resistance by Beneficial Microbes". Revisión anual de Fitopatología. [en línea] 2014, (United States) 52(347), pp. 347-375 [Consulta: 23 de Diciembre de 2021.] ISSN 082712-102340 Disponible en: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-phyto-082712-102340>.
- Ponce-Molina, L; Campaña, D; Noroña, P; Garófalo, J. Parametros de Evaluación y Selección en Cereales. Manual No. 111. INIAP. Quito-Ecuador, 2019, pp. 16-41
- Ponce-Molina, L; Campaña, D; Noroña, P; Garófalo, J. Actividades de Investigación en cereales año 2019. Boletín Técnico No. 175. INIAP. Quito-Ecuador, 2020, p. 36-40
- Rodriguez-García, María, et al. "Genética de la resistencia a roya amarilla causada por puccinia striiformis f. sp. tritici w. en tres genotipos de trigo (triticum aestivum l.). [en línea] 2019, (México) 42(1), pp, 31-38[Consulta: 9 de Octubre de 2021.] ISSN 0187-7380 Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000100031.
- Roelfs, A.P., Singh, R.P. Y Saari, E.E. Las royas del trigo: Conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. México, DF : CYMMYT, pp. 81
- Schuster, J ; Paulsrud, B. Enfoque: Plantas y Enfermedades. Departamento de Agricultura. [en línea] Illinois-United States, 2015, p 2. [Consulta: 22 de Diciembre de 2021] Disponible en: https://web.extension.illinois.edu/focus_sp/chlorosis.cfm#:~:text=La%20clorosis%20es%20el%20amarillamiento,deficiencias%20nutricionales%20de%20la%20planta..
- Senasica. 2019. Guía de síntomas y daños del roya lineal amarilla del trigo (*Puccinia striiformis f. sp. tritici*). Programa de Vigilancia Epidemiologica Fitosanitaria. [en línea] México, 2019, pp, 1-7, [Consulta: 16 de Diciembre de 2021.] Disponibel en: [https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Vigilancia%20pasiva/Guias%20de%20síntomas/Roya%20lineal%20amarilla%20del%20trigo%20\(Puccinia%20striiformis%20f.%20sp.%20tritici\).pdf](https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Vigilancia%20pasiva/Guias%20de%20síntomas/Roya%20lineal%20amarilla%20del%20trigo%20(Puccinia%20striiformis%20f.%20sp.%20tritici).pdf).
- Rodriguez-García, María, et al. "Genética de la resistencia a roya amarilla causada por puccinia striiformis f. sp. tritici w. en tres genotipos de trigo (triticum aestivum l.). [en línea] 2019, (México) 42(1), pp, 31-38[Consulta: 9 de Octubre de 2021.] ISSN 0187-7380 Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000100031.
- Roelfs, A.P., Singh, R.P. Y saari, E.E. Las royas del trigo: Conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. México, DF : CYMMYT, pp. 81
- Schuster, J ; Paulsrud, B. Enfoque: Plantas y Enfermedades. Departamento de Agricultura. [en línea] Illinois-United States, 2015, p 2. [Consulta: 22 de Diciembre de 2021] Disponible en: https://web.extension.illinois.edu/focus_sp/chlorosis.cfm#:~:text=La%20clorosis%20es%20e%20amarillamiento,deficiencias%20nutricionales%20de%20la%20planta