UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE

UNIDAD REGIONAL LOS MOCHIS

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

MAESTRÍA EN FITOPATOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

T E S I S

SUSCEPTIBILIDAD DEL TRIGO (*Triticum* spp.) A RAZAS DE ROYA LINEAL AMARILLA Y ROYA DE LA HOJA EN SINALOA

PRESENTA:

LUIS ALBERTO CALDERÓN GARCÍA

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN FITOPATOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

DIRECTORES DE TESIS:

DRA. ELIZABETH GARCÍA LEÓN

DR. HUGO BELTRÁN PEÑA

Los Mochis, Sinaloa. Septiembre de 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE

VICERRECTORÍA ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Asunto: **carta conclusión de tesis para opción de grado.**
Los Mochis, Sinaloa, 20 de septiembre de 2021.

Dra. Karla Mariela Sandoval Cota
Jefa del Departamento de Investigación y Posgrado
Unidad Regional Los Mochis

Presente

Habiendo constatado que las observaciones realizadas por el comité revisor han sido atendidas en la obra, el suscrito en la calidad de director de tesis, doy por concluido el trabajo siguiente:

Nombre del maestrante: **Luis Alberto Calderón García** Matrícula: **19021492.**

Nombre de Tesis: **"SUSCEPTIBILIDAD DEL TRIGO (*Triticum* spp.) A RAZAS DE ROYA LINEAL AMARILLA Y ROYA DE LA HOJA EN SINALOA"**

Nombre del Programa Educativo: **Maestría en Fitopatología y Medio Ambiente.**

Atentamente.

Dra. Elizabeth García León
Directora de Tesis

El presente trabajo de investigación titulado **SUSCEPTIBILIDAD DEL TRIGO (*Triticum* spp.) A RAZAS DE ROYA LINEAL AMARILLA Y ROYA DE LA HOJA EN SINALOA** realizado por el **Ing. Luis Alberto Calderón García** con matrícula **19021492**, dirigido por los integrantes del Comité de Tesis abajo indicados, ha sido aprobado por el mismo y aceptado como requisito parcial, para la obtención del grado de Maestro en Ciencias.

COMITÉ DE TESIS:

Dra. Elizabeth García León
Directora de Tesis

Dr. Hugo Beltrán Peña
Director de Tesis

Dra. Karla Yeriana Leyva Madrigal
Asesora de Tesis

Dr. Bardo Heleodoro Sánchez Soto
Asesor de Tesis

Los Mochis, Sinaloa, Septiembre de 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Los Mochis, Sinaloa, el día 13 del mes de agosto del año 2021, quien suscribe Luis Alberto Calderón García alumno del Programa Educativo de Maestría en Fitopatología y Medio Ambiente (Registro CONACyT 004128) con número de matrícula 19021492, de la Unidad Regional Los Mochis manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dra. Elizabeth García León y Dr. Hugo Beltrán Peña cede los derechos del trabajo titulado "Susceptibilidad del Trigo (*Triticum* spp.) a Razas de Roya Lineal Amarilla y Roya de la Hoja en Sinaloa", a la Universidad Autónoma de Occidente para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Luis Alberto Calderón García

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento de mis estudios de Maestría.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias; Campo Experimental Valle del Fuerte (INIFAP-CEVAF) por brindar las facilidades para el establecimiento en campo del presente trabajo de investigación.

A la Dra. Elizabeth García León por su amistad, apoyo e invaluable dirección en la planeación, ejecución y culminación de esta investigación.

Al Dr. Hugo Beltrán Peña por su apoyo, orientación e innumerables muestras de sencillez y amistad.

Al Dr. Bardo Heleodoro Sánchez Soto y Dra. Karla Yeriana Leyva Madrigal, por sus valiosas aportaciones y sugerencias para el enriquecimiento del presente trabajo de investigación.

Al Campo Experimental Valle de México (INIFAP-CEVAMEX) y al Laboratorio Nacional de Royas y Otras Enfermedades de los Cereales (LANAREC) por brindar las facilidades para desarrollar el trabajo de laboratorio.

Al Dr. Julio Huerta Espino y Dra. María Florencia Rodríguez García, por su invaluable conocimiento y apoyo brindado en la fase de laboratorio.

A mis compañeros y amigos del Postgrado en Fitopatología que hicieron de mi estancia en la Universidad Autónoma de Occidente una grata experiencia.

DEDICATORIA

A mis padres: Virginia García Barraza y José Luis Calderón Mendivil

y

A mi hermana: Dulce María Calderón García

RESUMEN

El trigo (*Triticum* spp.) es el segundo cultivo de importancia económica y de mayor producción a nivel mundial después del maíz (*Zea mays* L.). Sin embargo, ésta se ve afectada de forma constante por factores bióticos y abióticos que demeritan su rendimiento y calidad industrial. Entre los primeros, las royas son las enfermedades que causan las mayores pérdidas económicas en el cultivo de trigo en México; de éstas, la roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.) es considerada la más importante en el noroeste del país, debido a su amplia distribución. Más aún, la roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) es una enfermedad que ocurre en zonas templadas y húmedas. Sin embargo, en los últimos años se ha encontrado en zonas cálidas como las predominantes en el noroeste de México. El uso de la resistencia genética, es la estrategia que mejor combate a las royas del trigo; basada en sembrar variedades con genes de resistencia efectivos a la diversidad de razas fisiológicas presentes en una zona productora. El objetivo de esta investigación fue monitorear e identificar las principales razas fisiológicas de royas del trigo que inciden en el norte de Sinaloa, con la finalidad de conocer su frecuencia y distribución; lo cual permite la detección de líneas y/o variedades aptas para siembra en esta región. En campo, se evaluaron 150 genotipos de trigo constituidos por variedades y líneas experimentales; para lograr una alta incidencia de las enfermedades, en la periferia del experimento se sembró el genotipo susceptible Morocco, el cual actuó como agente dispersante natural de las royas. Bajo condiciones de invernadero, se evaluaron 50 genotipos élite de trigo con las razas de roya de la hoja CBJ/QQ y MST/TP; y con el aislado de roya lineal amarilla 14.2020. Se determinó en los genotipos de reciente liberación, que poseen mayor resistencia en etapa de planta adulta; lo cual comprueba los avances obtenidos por parte de los programas de mejoramiento genético del trigo. Sin embargo, es necesario realizar más evaluaciones para monitorear la constante variación de razas de royas del trigo prevalentes en la región, debido que la región norte de Sinaloa es por excelencia una zona productora con alto potencial productivo.

Palabras clave: Identificación, Razas fisiológicas, Resistencia, Roya de la hoja, Roya lineal amarilla

ABSTRACT

Wheat (*Triticum* spp.) is the second crop of economic importance and the highest production worldwide after Corn (*Zea Mays* L.). However, it is constantly affected by biotic and abiotic factors that detract from its yield and industrial quality. Among the former, rusts are the diseases that cause the greatest economic losses in wheat cultivation in Mexico; of these, leaf rust (*Puccinia triticina* E.) is considered the most important in the northwest of the country, due to its wide distribution. Even more, stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) is a disease that occurs in temperate and humid areas. But, in recent years it has been found in warm areas such as those prevalent in northwestern Mexico. The use of genetic resistance, is the strategy that best combats wheat rusts; based on sowing varieties with effective resistance genes to the diversity of physiological races present in a producing area. The aim of this research was to monitor and identify the main physiological races that affect northern Sinaloa, in order to know its frequency and distribution; which allows the detection of lines and/or varieties suitable for planting in this region. In the field, 150 genotypes of wheat consisting of varieties and experimental lines were evaluated; to achieve a high incidence of diseases, the susceptible genotype Morocco was planted in the periphery of the experiment, which acted as a natural dispersing agent of rusts. Under greenhouse conditions, 50 elite wheat genotypes were evaluated with leaf rust races CBJ/QQ and MST/TP; and with the isolate of stripe rust 14.2020. It was determined in recent releases genotypes, have greater resistance in adult plant stage; which confirms the progress made by the plant breeding programs of wheat. Nevertheless, further evaluations are needed to monitor the constant variation of wheat rust races prevalent in the region, because the norther region of Sinaloa is for excellence a producing area with high productive potential.

Keywords: Identification, Physiological races, Resistance, Leaf rust, Stripe rust

ÍNDICE **Página**

RESUMEN 1

ABSTRACT 2

ÍNDICE 3

ÍNDICE DE CUADROS 6

ÍNDICE DE FIGURAS 8

1. INTRODUCCIÓN 10

2. ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA 12

2.1. Roya de la hoja (*Puccinia triticina*) 12

2.2. Roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) 13

3. REVISIÓN DE LITERATURA 14

3.1. El cultivo de trigo 14

3.2. Clasificación taxonómica del trigo 15

3.3. Importancia del cultivo 15

3.3.1. Nivel Mundial 15

3.3.2. Nivel nacional 16

3.4. Enfermedades del cultivo 17

3.5. Antecedentes del patógeno 17

3.5.1. Roya común o roya de la hoja del trigo 18

3.5.2. Clasificación taxonómica del agente causal de roya de la hoja del trigo 19

3.5.3. Morfología 19

3.5.4. Ciclo biológico 20

3.6. Roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) 23

3.6.1. Importancia y distribución 24

3.6.2. Clasificación taxonómica del agente causal de la roya lineal amarilla del trigo….. 24
3.6.4. Ciclo biológico..... 25
3.7. Estrategias de manejo de las royas del trigo 28
3.7.1. Resistencia genética..... 28
3.7.2. Control químico..... 29
3.8. Herencia de la resistencia 30
3.9. Viveros para identificación de enfermedades 31
3.9.1. Identificación de razas fisiológicas..... 32
3.9.2. Nomenclatura de razas fisiológicas de roya de la hoja..... 33
3.9.3. Nomenclatura de razas fisiológicas de roya lineal amarilla 35
4. JUSTIFICACIÓN 37
5. OBJETIVOS 38
5.1. Objetivo general 38
5.2. Objetivos específicos 38
6. HIPÓTESIS..... 38
7. MATERIALES Y MÉTODOS 39
7.1. Sitio de estudio 39
7.1.1 Monitoreo de royas (Primera etapa) 40
7.2. Establecimiento de viveros trampa de royas (VTR)..... 42
7.3. Establecimiento de ensayos de líneas experimentales..... 46
7.4. Monitoreo de royas (Segunda etapa)..... 49
7.4.1 Identificación de razas fisiológicas de roya de la hoja 49
7.5 Identificación de razas fisiológicas de roya lineal amarilla..... 54

7.6 Evaluación de líneas y variedades de trigos harineros y macarroneros por su resistencia en plántula a razas de royas que prevalecen en el norte de Sinaloa 59

7.6.1 Evaluación de genotipos en plántula 59

7.7. Evaluación de la incidencia y severidad a royas del trigo bajo condiciones de campo 62

8. RESULTADOS 65

8.1. Identificación de razas fisiológicas de *Puccinia triticina* 65

8.2. Identificacion de razas de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* en el LANAREC 67

8.3. Evaluación en plántula en el LANAREC a las principales razas de Puccinia triticina y Puccinia striiformis f. sp. tritici identificadas en el norte de Sinaloa 68

8.4. Registro de severidad en campo a *Puccinia triticina* y *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* en el vivero trampa de royas (VTR) durante el ciclo O-I/ 2019-2020 71

8.4.1. Registro de severidad en campo a *P. triticina* y *P. striiformis* f. sp. *tritici* en el vivero trampa de royas (VTR) durante el ciclo O-I/ 2020-2021 75

8.5. Evaluación de severidad en ensayos de líneas experimentales durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021 78

8.5.1. Evaluación de genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en campo a la roya lineal amarilla y roya de la hoja 78

8.5.2. Evaluación de genotipos de trigo cristalino (*Triticum durum* L.) en campo a la roya lineal amarilla y roya de la hoja 80

9. DISCUSIÓN 82

10. CONCLUSIÓN 88

LITERATURA CITADA 89

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Condiciones ambientales requeridas para el desarrollo de *Puccinia triticina* E. 22
Cuadro 2. Condiciones ambientales requeridas para el desarrollo de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici W.* 27
Cuadro 3. Fungicidas químicos para el manejo de las royas del trigo 30
Cuadro 4. Códigos y juegos de diferenciales usados en México para la designación de razas de roya de la hoja del trigo (*Puccinia triticina* E.) 34
Cuadro 5. Códigos y juegos de diferenciales usados en México en la designación de razas de roya lineal amarilla del trigo (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* W.) 36
Cuadro 6. Muestras de roya de la hoja del trigo (*Puccinia triticina* E.), recolectadas durante el ciclo O-I/2018-2019 en el norte de Sinaloa 40
Cuadro 7. Establecimiento del VTR en tres sitios ubicados en el norte de Sinaloa, durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021 42
Cuadro 8. Genotipos de trigo (*Triticum* spp.) evaluados en viveros trampa de royas, durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021 43
Cuadro 9. Listado de genotipos de trigo duro (*Triticum durum* L.) evaluados en ensayos de líneas experimentales, durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021 47
Cuadro 10. Listado de genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) evaluados en ensayos de líneas experimentales, durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021 48
Cuadro 11. Genotipos de trigo utilizados en México para la designación de razas fisiológicas de roya de la hoja del trigo (*Puccinia triticina* E.) 51
Cuadro 12. Respuesta del hospedante y descripción de reacción de infección en plántula a roya de la hoja del trigo (*Puccinia triticina* E.) 53
Cuadro 13. Genotipos de trigo usados en México para la designación de razas fisiológicas de roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) 56
Cuadro 14. Respuesta del hospedante y descripción del tipo de infección en plántula de trigo (*Triticum* spp.) a RLA (*Puccinia striifomis* f. sp. *tritici*) 58

Cuadro 15. Listado de genotipos evaluados de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) por su resistencia en plántula, a las principales razas de royas del trigo presentes en el norte de Sinaloa 60
Cuadro 16. Listado de genotipos evaluados de trigo duro (*Triticum durum* L.) por su resistencia en plántula, a las principales razas de royas presentes en el norte de Sinaloa 61
Cuadro 17. Razas fisiológicas de *Puccinia triticina* que se presentaron en variedades de trigo harinero y cristalino en el norte de Sinaloa, durante el ciclo O-I/2018-2019 66
Cuadro 18. Aislados de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* identificados en el norte de Sinaloa durante el ciclo O-I/2019-2020, en plantas diferenciales de trigo 67
Cuadro 19. Evaluación en plántula de genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), a las principales razas de RLA y RH que inciden en el norte de Sinaloa 69
Cuadro 20. Evaluación en plántula de genotipos de trigo cristalino (*Triticum durum* L.), a las principales razas de RLA y RH que inciden en el norte de Sinaloa 70
Cuadro 21. Evaluación de genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), por su resistencia de campo a las razas de RH y RLA presentes en el norte de Sinaloa, durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021 79
Cuadro 22. Evaluación de genotipos de trigo cristalino (*Triticum durum* L.), por su resistencia de campo a las razas de RH y RLA presentes en el norte de Sinaloa, durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021 81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sintomas de roya de la hoja del trigo y morfología de las esporas de *Puccinia triticina* E. 20
Figura 2. Ciclo biológico de *Puccinia triticina* E.. 21
Figura 3. Etapas de desarrollo de la roya de la hoja del trigo 23
Figura 4. Ciclo biológico de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* W... 26
Figura 5. Primeros síntomas de infección (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*). 28
Figura 6. Monitoreo de razas fisiológicas de royas del trigo, en cinco sitios ubicados en el norte de Sinaloa durante el ciclo O-I/2018-2019 39
Figura 7. Escala de severidad para medir la reacción de infección en plántula de trigo (*Triticum* spp.) a roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.). 53
Figura 8. Escala de severidad para medir reacción de infección en plántula de trigo (*Triticum* spp.) a roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*). 58
Figura 9*.* Escala modificada de Cobb. 63
Figura 10. Respuesta de infección del trigo (*Triticum* spp.) a roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.)..... 64
Figura 11. Respuesta de infección del trigo (*Triticum* spp.) a roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* W.)..... 64
Figura 12. Razas fisiológicas de roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.) identificadas en el norte de Sinaloa, durante el ciclo O-I/2018-2019 65
Figura 13. Razas fisiológicas de *Puccinia triticina* E. identificadas en cinco sitios ubicados en el norte de Sinaloa, durante el ciclo O-I/2018-2019 66
Figura 14. Genotipos de trigo que mostraron resistencia a *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, en tres localidades evaluadas en el norte de Sinaloa, durante el ciclo O-I/2019-2020 72
Figura 15. Genotipos de trigo que mostraron susceptibilidad a *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, en tres localidades evaluadas en el norte de Sinaloa, durante el ciclo O-I/2019-2020 73

Figura 16. Genotipos de trigo que mostraron susceptibilidad a *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, en tres localidades evaluadas en el norte de Sinaloa, durante el ciclo O-I/2019-2020 (2...continuación). 74
Figura 17. Evaluación de severidad de genotipos de trigo a roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.), en tres localidades ubicadas en el norte de Sinaloa, durante el ciclo O-I/2019-2020 75
Figura 18. Evaluación de severidad de genotipos de trigo a roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) en la localidad de Juan José Ríos, durante el ciclo O-I/2020-2021 76
Figura 19. Evaluación de severidad de genotipos de trigo a roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.) en la localidad de Juan José Ríos, durante el ciclo O-I/2020/2021. 77

1. INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum* spp. L.) es el segundo cultivo de importancia económica y de mayor producción a nivel mundial después del maíz (*Zea mays* L.). Alrededor del 60% de la producción de este cereal es utilizada en la alimentación humana, debido a su alto aporte energético y contenido de proteínas (CANIMOLT, 2016). Los principales países productores de trigo en el mundo son: China, con 133, 601,131 millones de toneladas (Mt), India (103,596,230 **Mt**), Rusia (74,452,692 **Mt**) y EE.UU. (52,257,620 **Mt**) (FAOSTAT, 2019). En México, la producción nacional de trigo se ubica alrededor de 2.98 Mt (SIAP, 2020), lo cual coloca a nuestro país en el lugar número 31 a nivel mundial en la producción de este cereal (Atlas Agroalimentario, 2020).

En la actualidad, la producción mundial de trigo es de 761.5 **Mt** (FAOSTAT, 2020). De acuerdo a estimaciones futuras realizadas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la producción de este cereal tendrá un incremento de solo el 0.9 % en el año 2021, esto es, 768.5 Mt (USDA, 2020).

La demanda mundial de trigo para el año 2050 se estima que se incrementará un 70 % con respecto al nivel actual, debido a distintas circunstancias como crecimiento demográfico y cambios en los hábitos alimenticios. Sin embargo, los problemas que afectan la producción de este cereal van en aumento (CIMMYT, 2016), agrupándolos en factores bióticos y abióticos (Beddow *et al.*, 2015); entre los primeros, destacan las enfermedades fúngicas como las royas, carbones, mildiús, manchas foliares, pudriciones de raíz y espiga (Duveiller *et al.,* 2012). De éstos, las royas son las enfermedades más destructivas de los cereales, debido a que afectan desde etapa de plántula hasta llenado de grano, lo que ocasiona pérdidas del 51 hasta 100 % bajo alta presión del patógeno (Herrera-Foessel *et al.*, 2005; Lan *et al.*, 2017).

Existen tres royas que perjudican al trigo: roya de la hoja (RH), roya negra del tallo (RNT) y roya lineal amarilla (RLA) ocasionadas por *Puccinia triticina* Eriks. (Pt), *P.*

graminis Pers.: Pers. f. sp. *tritici* Eriks. & E. Henn. (Pgt), y *P. striiformis* f. sp. *tritici* W. (Pst), de forma respectiva (Singh *et al.,* 2016).

En México, la RLA y RH son una amenaza para la producción de trigo de temporal y de riego, debido a que no sólo tienen la capacidad de vencer la resistencia específica de variedades nuevas, a través de la evolución hacia nuevos biotipos del patógeno o razas fisiológicas con nuevos genes de virulencia, sino también porque se reproducen de forma exponencial y se dispersan a grandes distancias (Huerta-Espino y Singh, 2000; Singh *et al.,* 2001). Por ello, la estrategia que mejor combate las royas del trigo en el mundo es el control genético, basado en utilizar variedades con resistencia a las diversas razas fisiológicas de royas (Rodríguez-García *et al.*, 2019).

El monitoreo e identificación de las principales razas fisiológicas de royas del trigo que inciden en la región norte de Sinaloa, permitirá conocer su frecuencia y distribución; lo cual ayudará a los programas de mejoramiento genético del trigo a identificar fuentes de resistencia durable a la enfermedad. Además, de generar conocimiento para la selección de variedades aptas para siembra en esta zona productora. Por lo antes descrito, los objetivos del presente trabajo de investigación son: recolectar, identificar y conservar las razas fisiológicas de *Puccinia triticina* y *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* que prevalecen en la región, y evaluar la severidad a royas en campo y laboratorio de líneas experimentales y variedades comerciales de trigo, con el propósito de determinar aquellas con resistencia para el norte de Sinaloa. Esto permitirá a los agricultores obtener una mayor productividad y rentabilidad de sus cultivos; así mismo, la reducción en el uso de fungicidas sintéticos para el manejo de estas enfermedades, disminuirá los niveles actuales de contaminación ambiental en esta zona productora.

2. ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA

2.1. Roya de la hoja (*Puccinia triticina*)

Desde la liberación de la variedad de trigo cristalino Altar C84, la raza de RH más común identificada en muestras de trigos cristalinos fue la BBG/BN, con virulencia parcial en la variedad Mexicali C75 y otros trigos harineros, cuya resistencia se basa en los genes *Lr10*, *Lr23* o en la combinación de ambos, pero avirulenta en Altar C84 (Singh, 1991).

En el año 2000, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) liberó la variedad de trigo Atil C2000, con alto potencial de rendimiento, desarrollada en cooperación con el programa de mejoramiento del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Sin embargo, años más tarde una nueva raza de RH designada como BBG/BN de origen exótico, venció la resistencia no solo de Atil C2000 y Altar C84, sino también en más del 80 % del germoplasma disponible de trigos cristalinos en México (Singh *et al.,* 2004).

Huerta-Espino *et al.* (2009) identificaron en el sur de Sonora, una nueva variante de la raza BBG/BN, la cual fue designada como BBG/BP, virulenta a los genes *Lr27+31* y *Lr12*; como resultado, las variedades Júpare C2001 y Banamichi C2004 se tornaron susceptibles.

Durante el ciclo agrícola otoño-invierno (O-I/2008-2009), surge la aparición en el centro de México de una variante de BBG/BP, la cual fue designada como CBG/BP; virulenta al gen *Lr3a*, lo cual originó la pérdida de la resistencia de la línea experimental Storlom (Huerta-Espino *et al.,* 2011).

Pérez-López *et al.* (2017) reportan la presencia de una epidemia de RH en el sur de Sonora en la variedad Cirno C2008; como consecuencia de la aparición de la raza BBG/BP_Cirno, que afectó a la variedad con mayor superficie sembrada y de mayor producción en el noroeste de México, lo cual se reflejó en pérdidas económicas para los productores.

2.2. Roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*)

En México, hasta el verano del 2000 todas las variedades recomendadas por el INIFAP para siembras de temporal y riego tenían resistencia a las razas presentes de roya lineal 14E14 y MEX96.11, a excepción de la variedad Temporalera M87, que era de susceptibilidad moderada (Villaseñor-Mir *et al.,* 2007).

Huerta-Espino *et al.* (2011) reportan la aparición de la raza MEX08.11 en El Bajío, México; caracterizada por su virulencia para el gen *Yr31*, lo cual originó la ruptura de la resistencia en Pastor F2000 y Rebeca F2000, y redujo el potencial productivo de estas variedades en un 40 a 50 %.

En el ciclo agrícola O-I/2012-2013, se reportó la presencia de un foco de infección de RLA en el sur de Sonora, en la variedad de trigo cristalino Cirno C2008; lo cual indica la ruptura de la resistencia de una de las variedades de trigo cristalino con mayor distribución en el noroeste de México (Fuentes-Dávila *et al.*, 2014)

En el ciclo primavera-verano del año 2014, en los Valles Altos de México se presentó una fuerte incidencia de dos nuevas razas de RLA, las cuales fueron designadas como MEX14.141 y MEX14.146; las nuevas combinaciones de virulencia a los genes *Yr27* y *Yr31*, las cuales ocasionaron la pérdida de la resistencia en la variedad Nana F2007, recomendada para siembras de temporal en México; y en la variedad Luminaria F2012, recomendada para siembras bajo condiciones de riego en El Bajío (Huerta-Espino *et al.*, 2015).

Huerta-Espino y Singh (2017) reportan la presencia de dos razas emergentes de RLA en la meseta central de México; en líneas isogénicas de trigos harineros, consideradas con antelación como resistentes. Dichas razas fueron designadas como MEX16.03 y MEX16.04, virulentas hacia los genes *Yr24* y *Yr26,* de forma respectiva. Como consecuencia de ello, en México solo permanecen efectivos los genes *Yr5a*, *Yr15* y *Yr5b.*

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. El cultivo de trigo

El trigo es un cultivo universal y es una de las pocas plantas de importancia económica que se ha dispersado a casi todo el mundo, y se originó en las tierras fértiles de la antigua Mesopotamia, en un área localizada en lo que ahora es el Medio Oriente (Huerta-Espino y Skovmand, 2000). Todas las especies de trigo, ya sean cultivadas o silvestres pertenecen al género *Triticum* de la tribu Triticeae (Hordeae), de la subfamilia Festucoideae y de la familia Poaceae (Gramineae) (Feldman y Levy, 2015). *Triticum* difiere de los otros géneros de la tribu Triticeae por mostrar de dos a cinco espiguillas multiflorales, solitarias y localizadas en forma plana en cada unión o articulación del raquis; la raquilla se desarticula por arriba de las glumas, en medio de las florecillas o en forma total. Las glumas son rígidas, aquilladas, con más de tres nervaduras y su pico termina en forma dentada con una o varias aristas; las lemas son anchas, aquilladas, muy asimétricas, con nervaduras múltiples y con una terminación en forma de pico o arista (Huerta-Espino y Skovmand, 2000). Al género *Triticum* pertenecen las plantas cultivadas y silvestres que se clasifican dentro del grupo de los trigos. Este género está constituido por especies diploides, tetraploides, hexaploides y octaploides, respecto al número de genomas que constituyen su número básico duplicado de siete cromosomas (Goncharov *et al.*, 2007). *Triticum aestivum* (especie hexaploide), en la actualidad es la especie más cultivada en el mundo, debido a su alta calidad para la industria panificadora. Las variedades de trigo harinero están adaptadas a una amplia diversidad de ambientes agroecológicos, por lo que son cultivadas alrededor del mundo (Singh *et al.*, 2016).

Las especies de trigo son plantas anuales con hojas gruesas y espigas compactas, con tallos erectos y ramificación múltiple en la base de la corona, con alturas variables en las especies y variedades modernas cultivadas (Moreno *et al*., 2001). Las láminas de las hojas son de 1 a 2 cm de ancho; las espigas en su mayoría miden de 5 a 12 cm de largo y en ocasiones se presentan espigas superiores a los

12 cm. Los entrenudos del raquis son de 3 a 6 mm de largo; sus espiguillas son anchas, glabras o pubescentes, de aristas largas a ausentes en su totalidad (Huerta-Espino y Skovmand, 2000). De igual forma que otras especies de zacates presenta una estructura básica de raíz, tallos, hojas e inflorescencias. Las flores se encuentran protegidas por escamas o brácteas y se encuentran agrupadas en estructuras muy características conocidas como espiguillas. En el caso específico del trigo, las espiguillas se encuentran presentes dentro de un tallo principal conocido como raquis que forma la cabeza o espiga (Moreno *et al*., 2001).

3.2. Clasificación taxonómica del trigo, de acuerdo con Angiosperm Phylogeny Group (APG IV, 2016)

Reino: Plantae
Phylum: Spermatophyta
Subphylum: Angiospermae
Clase: Monocotyledonae
Orden: Poales
Familia: Poaceae
Género: *Triticum*
Especie: *Triticum* spp.

3.3. Importancia del cultivo

3.3.1. Nivel Mundial

El trigo es un importante componente de la canasta básica, por lo que su cultivo se encuentra distribuido a escala global. La superficie de siembra de este cereal a nivel mundial oscila en 225 millones de hectáreas, encontrándolo desde la línea del ecuador a latitudes que van de 60°N a 44°S, así como en regiones desde el nivel del mar a altitudes superiores a los 3000 m (Aquino *et al.,* 2002).

Hasta finales de 2010, el trigo contaba con la mayor superficie sembrada a nivel mundial y su volumen de producción era mayor que cualquier otro cereal (FAOSTAT, 2013); no obstante, en años recientes su cultivo ha sido superado por

el maíz y arroz. Sin embargo, a causa de su importancia alimentaria; el trigo es de amplia distribución mundial, debido a que este cereal se considera un alimento completo y de alto aporte energético (Delgado-Sánchez *et al.,* 2016).

El trigo harinero o común (*Triticum aestivum* L.), es la especie más distribuida y de mayor importancia económica (FAOSTAT, 2018). Su cultivo se extiende a todas las regiones del mundo, desde áreas con sequía moderada como la cuenca del Mediterráneo hasta ambientes húmedos, como los predominantes en el Cono Sur de América y el norte de Europa (Villaseñor-Mir, 2000).

3.3.2. Nivel nacional

En México, el trigo es el tercer cultivo de importancia económica y de mayor producción nacional después del maíz y sorgo (Atlas Agroalimentario, 2019). La producción de trigo grano, se clasifica de acuerdo a su utilidad industrial: harinero o panificable en la elaboración de harinas, panes y galletas; y cristalino o macarronero en la fabricación de pastas alimenticias (Villaseñor-Mir *et al.,* 2007).

En nuestro país, las exportaciones de trigo cristalino oscilan entre 0.5 y 1.5 **Mt** por año agrícola, lo cual posiciona a nuestro país en el tercer exportador de trigo a nivel mundial. En contraste, la producción nacional de trigo harinero es deficitaria debido a que ésta solo satisface el 25 % de los requerimientos nacionales, por lo que existe dependencia de las importaciones; en ambos casos, EE.UU. y Canadá son los principales proveedores de estos productos agrícolas (SFA, 2011).

En México, los cinco principales estados productores de trigo son: Sonora (55 %), Guanajuato (14 %), Sinaloa (8 %), Baja California (7 %) y Michoacán (6 %); los cuales en conjunto concentran el 90 % de la producción nacional (SIAP, 2020). Durante el ciclo agrícola 2019-2020, la producción nacional de trigo fue de 2.7 **Mt** en una superficie cosechada de 463,934 ha con un rendimiento promedio de 5.8 t $ha^{-1,}$ con un valor de $12,020 millones (SIAP, 2020). El 95 % de la producción nacional, corresponde al ciclo agrícola (O-I), el cual se cultiva bajo condiciones de riego en las regiones del noroeste de México y El Bajío; mientras que el 5 % restante

se obtiene durante el ciclo primavera-verano (P-V) bajo condiciones de temporal, en las regiones productoras de Valles Altos de México y otras zonas del sureste del país (CANIMOLT, 2016).

En el estado de Sinaloa, la zona triguera comprende a los municipios de Ahome, Angostura, El Fuerte, Guasave y Sinaloa de Leyva. El municipio de Ahome concentra más del 80 % de la producción total del estado, donde, la región del Valle del Carrizo destaca con una superficie de siembra de 33,350 ha durante el ciclo O-I/2018-2019 (CESAVESIN, 2019).

3.4. Enfermedades del cultivo

La producción mundial de trigo, en los últimos años se ha visto afectada por factores bióticos (plagas y enfermedades) y en gran parte por factores abióticos (suelo y clima) (Beddow *et al.*, 2015). Dentro de los factores bióticos los hongos son los principales agentes causales de enfermedades como royas, carbones, tizones foliares y pudriciones radiculares (Zillinsky, 1984), donde el género *Puccinia* es el más destructivo y causante de las mayores pérdidas en el mundo (Singh *et al*., 2016).

3.5. Antecedentes del patógeno

Las royas son consideradas como las enfermedades más devastadoras de la agricultura, horticultura y silvicultura. El orden Pucciniales (Phylum Basidiomycota) es el grupo más diverso y complejo de hongos fitopatógenos, conformado por más de 8000 especies (Aime *et al.*, 2018).

Estos organismos poseen la habilidad de parasitar a una amplia diversidad de plantas, desde helechos a angiospermas (monocotiledóneas) y de angiospermas a gimnospermas, lo cual sugiere una adaptación ancestral al estilo de vida biotrófico (Aime *et al.*, 2014). La roya ampulante del pino blanco (*Cronartium ribicola*), roya del tallo del trigo (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*), roya asiática de la soya (*Phakopsora pachyrhizi*) y roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*), son ejemplos de notorias amenazas a cultivos de importancia económica (Mohanan, 2010).

Las royas han afectado al trigo durante cientos de años, algunas referencias de éstas pueden ser encontradas en la Biblia y en la literatura clásica de la antigua Grecia y Roma (Chester, 1946).

Las royas han obstaculizado la producción mundial de trigo desde la domesticación del cultivo, y afectan el suministro mundial de este cereal (Roelfs *et al.*, 1992).

3.5.1. Roya común o roya de la hoja del trigo

La RH es la enfermedad del trigo más común de las royas y es posible que sea la más distribuida tanto en México como en el mundo (Huerta-Espino *et al.,* 2011).

3.5.1.1. Importancia y distribución

Puccinia triticina se encuentra en casi todos los lugares en donde se siembra trigo en condiciones no áridas (Saari y Prescott, 1985; Samborski, 1985); en la actualidad es la principal limitante a nivel mundial en la producción de trigo en lo que a enfermedades respecta (Savary *et al.,* 2019). El daño de la RH tiende a ser menos severo que el causado por las otras royas del trigo pero, debido a su ocurrencia más frecuente y generalizada, es posible que se generen mayores pérdidas económicas (Huerta-Espino *et al.,* 2011). El patógeno reduce la capacidad fotosintética de la hoja bandera y hojas inferiores, ya que utiliza asimilados que se trasladarían al grano en desarrollo. Esto demerita el potencial de rendimiento en hasta 84%, ya que infecciones tempranas provocan una disminución significativa en el número de granos por espiga, peso hectolítrico y calidad del grano (Singh y Huerta-Espino, 1997; Bolton *et al.,* 2008).

En México, la RH es la enfermedad más importante en trigos duros o cristalinos (*Triticum turgidum* var. *durum*), y la población de *P. triticina* es muy variable, compuesta por diversas razas fisiológicas, con distinta combinación de genes de virulencia/avirulencia (Huerta-Espino *et al.,* 2011).

3.5.2. Clasificación taxonómica del agente causal de roya de la hoja del trigo, de acuerdo con National Center for Biotechnology Information (NCBI, 2020)

Reino: Fungi
División: Basidiomycota
Subdivisión: Pucciniomycotina
Clase: Pucciniomycetes
Orden: Pucciniales
Familia: Pucciniaceae
Género: *Puccinia*
Especie: *Puccinia triticina*

3.5.3. Morfología

Las urediniosporas varían en color, y van desde un naranja claro a naranja oscuro, pero el color más común es café rojizo (Prescott *et al.,* 1986). Las urediniosporas son más o menos esféricas, equinuladas; las cuales miden de 20-30 micras de diámetro (Figura 1) (Zillinsky, 1984). En el caso de las urediniosporas del hongo causante de roya de la hoja en trigos duros o cristalinos; el color de las esporas es de un café muy oscuro, casi pueden ser confundidas con la roya del tallo (Singh *et al.,* 2002). A medida que la planta hospedante madura y se desarrollan las infecciones uredinales, surgen teliosporas bicelulares dicarióticas de color café oscuro, de 16 micras de diámetro, las cuales se caracterizan por poseer paredes gruesas y lisas (Bolton *et al.*, 2008).

Roya de la hoja

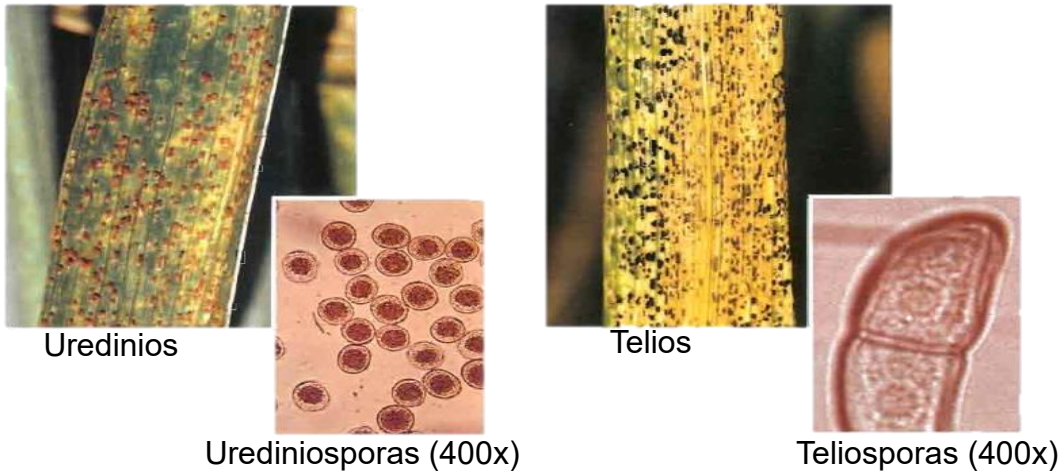

Figura 1. Sintomas de roya de la hoja del trigo y morfología de las esporas de *Puccinia triticina E.* (Roelfs *et al.*, 1992).

3.5.4. Ciclo biológico

Puccinia triticina es una roya macrocíclica, con cinco tipos de esporas: urediniosporas, teliosporas y basidiosporas en hospedantes de cereales; y picniosporas y aeciosporas en hospedantes alternos (Kolmer, 2013). Las urediniosporas son formadas durante la etapa asexual del patógeno y son las que causan la infección en las plantas de trigo, ésta es considerada la fase más perjudicial y la de importancia económica (Figura 2); así mismo al final del ciclo de cultivo de trigo, aparecen estructuras denominadas teliosporas en las mismas lesiones en donde se encontraban las urediniosporas. Las teliosporas contienen una masa de esporas de color negro o café oscuro intenso las cuales son bicelulares y presentan paredes gruesas y una terminación o corona más o menos achatada o de forma redondeada. Las teliosporas se forman bajo la epidermis de la hoja ya sea en la hoja o en la vaina, por lo general se encuentran en el envés de la hoja, esto sucede cuando la temperatura aumenta de forma radical, y se produce la senescencia o la planta alcanza la madurez fisiológica. Las teliosporas permanecen adheridas a las hojas y parte de los tejidos foliares pueden ser dispersados o trasladados a distancias considerables por el viento, los animales o el hombre. Las

teliosporas no germinan de manera inmediata, y es ésta la etapa de sobrevivencia del hongo. Al germinar, lo pueden hacer cualquiera de las dos células o pueden germinar al mismo tiempo. Después de la germinación, se forma una estructura denominada metabasidia, después una basidia con cuatro basidiosporas; las cuales pueden infectar solo al hospedante alterno para completar el ciclo sexual del hongo, estas esporas; sin embargo, no pueden infectar a la planta de trigo. En México, no se encuentra la especie de *Thalictrum speciosissimum* (hospedante alterno de la roya de la hoja del trigo) de la familia Ranunculaceae en que se lleva a cabo la fase sexual, por lo que esta etapa del ciclo biológico del hongo causante de la enfermedad no ocurre y las nuevas formas de virulencia, han evolucionado por mutación o por introducción. En la región del noroeste de México, la roya de la hoja no sobrevive el verano, por lo que todo el inóculo presente durante el ciclo de invierno y parte de la primavera en que el trigo alcanza la madurez es exógeno (Huerta-Espino *et al.,* 2020).

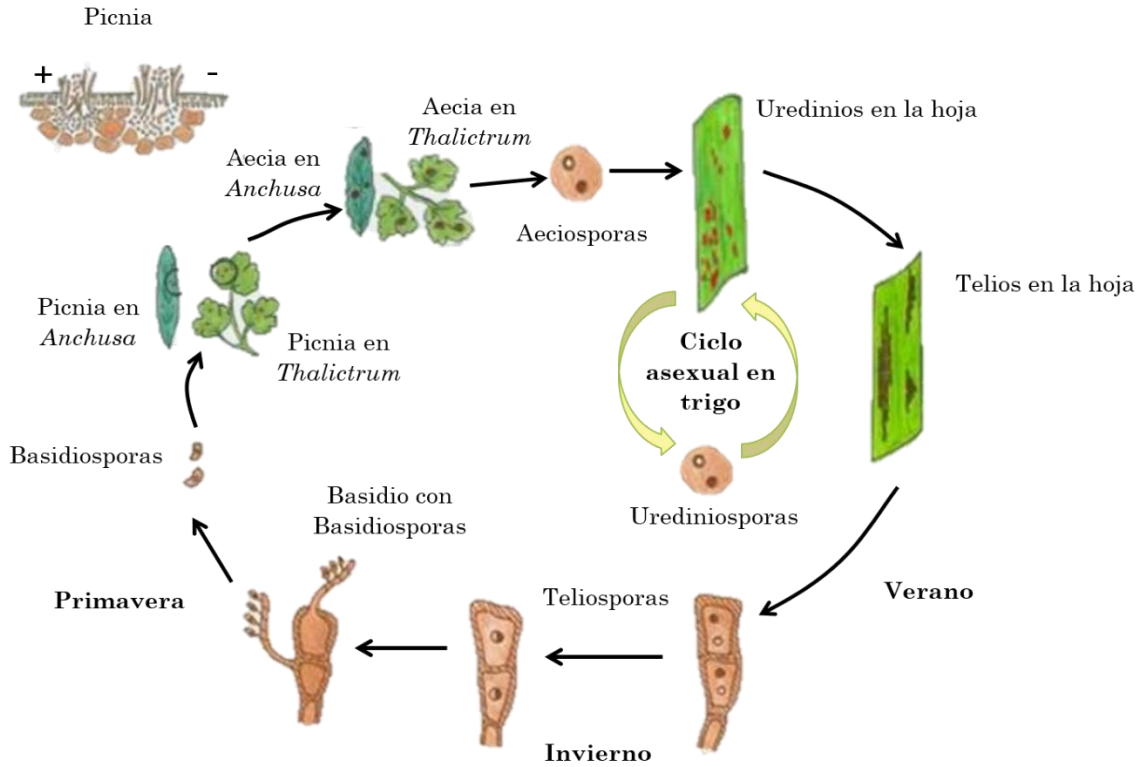

Figura 2. Ciclo biológico de *Puccinia triticina E.* (Huerta-Espino et al., 2014a).

3.5.4.1. Epidemiología

Las urediniosporas son diseminadas por el viento, y depositadas a través de la lluvia en plantas hospedantes cercanas y en plantas hospedantes lejanas por medio del viento. En la planta de trigo susceptible a la RH, las esporas inician la germinación dentro de los 30 min después que han hecho contacto con la superficie de la hoja y una pequeña gota de rocío. El periodo entre la germinación de las esporas, la penetración, el establecimiento de la colonia y el momento de esporulación en el campo puede abarcar de ocho a 10 días bajo temperaturas óptimas y constantes, es decir, entre los 20 a 24 °C (Cuadro 1), alargándose este proceso si la temperatura está por debajo de los 16 °C (Roelfs *et al.,* 1992; Huerta-Espino *et al.,* 2020).

Cuadro 1. Condiciones ambientales requeridas para el desarrollo de *Puccinia triticina* E. (Roelfs *et al.*, 1992).

Estadío	Temperatura (°C)			Luz	Agua libre
	Mínima	Óptima	Máxima		
Germinación	2	20	30	Poca	Esencial
Esporofito	5	15-20	30	Poca	Esencial
Apresorio	.	15-20	.	Ninguna	Esencial
Penetración	10	20	30	Ningún efecto	Esencial
Crecimiento	2	25	35	Mucha	Ninguna
Esporulación	10	25	35	Mucha	Ninguna

3.5.4.2. Síntomas y signos de roya de la hoja en campo

Los primeros síntomas que causa la RH es la aparición de pequeñas pecas o diminutas manchas de color blanco después de siete a 10 días de que ocurre la

infección (Figura 3). Estas lesiones pronto se convertirán en pequeñas pústulas rodeadas de clorosis en el caso que la interacción sea incompatible o reacciones de resistencia; o pústulas de tamaño mediano a grande sin clorosis o necrosis, después de los 10-14 días después de la infección (McIntosh *et al*., 1995; Singh *et al*., 2002). Los síntomas de la enfermedad aparecerán más rápido cuando la temperatura sea alta, en comparación a bajas temperaturas; debido que la expresión de muchos genes de resistencia es afectada por la temperatura (Dick y Johnson, 1983).

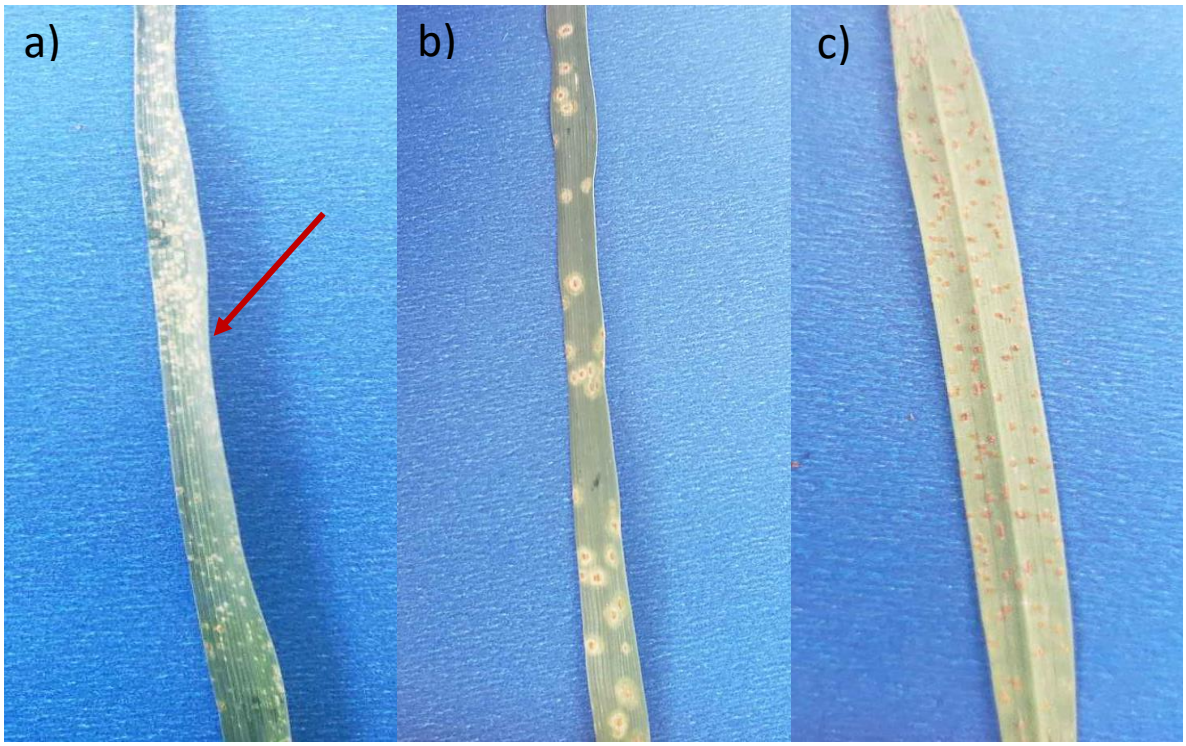

Figura 3. Etapas de desarrollo de la roya de la hoja del trigo***;*** a) primeros síntomas de infección; b) pústulas o uredinias rodeadas de clorosis; c) uredinias maduras de color café rojizo (Imágenes propias).

3.6. Roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*)

La RLA es considerada la enfermedad más devastadora del cultivo de trigo, debido a que genera pérdidas en rendimiento de hasta 100 % en variedades susceptibles (Chen, 2005). En la actualidad, se estima que el 88 % de las variedades comerciales de trigo en el mundo son susceptibles a esta enfermedad (Schwessinger, 2017).

3.6.1. Importancia y distribución

La RLA es una enfermedad que predomina en regiones con condiciones climáticas húmedas y frías, considerándola como la principal limitante biótica en la producción de este cereal en estas áreas (Devadas *et al.*, 2009; Chen *et al.,* 2014).

Esta enfermedad ha sido reportada en más de 60 países y evidencia sugiere una expansión global de la enfermedad durante los últimos 50 años (Chen, 2005; Beddow *et al.*, 2015). Diversos investigadores señalan que la RLA puede llegar a ser tan importante como la RH, debido a que su prevalencia en zonas productoras ha aumentado; encontrándola en los últimos años en regiones cálidas, lo cual representa una potencial amenaza para la producción de este cultivo (Huerta-Espino y Singh, 2000; Hovmøller *et al.,* 2011; Luo *et al.*, 2015).

3.6.2. Clasificación taxonómica del agente causal de la roya lineal amarilla del trigo, de acuerdo con National Center for Biotechnology Information (NCBI, 2020)

Reino: Fungi
- División: Basidiomycota
  - Subdivisión: Pucciniomycotina
    - Clase: Pucciniomycetes
      - Orden: Pucciniales
        - Familia: Pucciniaceae
          - Género: *Puccinia*
            - Especie: *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*

3.6.3. Morfología

Las urediniosporas varían en color, y van desde un amarillo claro a naranja oscuro, pero el color más común es amarillo brillante, de ahí el nombre de la enfermedad (Prescott *et al.,* 1986; Huerta-Espino *et al.,* 2014). Las urediniosporas son más o menos esféricas, equinuladas y miden de 20-30 micras de diámetro (Zillinsky, 1984). El hongo puede sobrevivir en forma de micelio hasta por un mes cuando las

temperaturas están aproximándose al punto de congelación, y también sobrevive a temperaturas altas; siempre y cuando la hoja del trigo sobreviva a las condiciones de calor extremo (Singh *et al.*, 2002).

3.6.4. Ciclo biológico

Puccinia striiformis f. sp. *tritici,* es una roya macrocíclica, con cinco tipos de esporas: urediniosporas, teliosporas y basidiosporas en hospedantes de cereales; y picniosporas y aeciosporas en hospedantes alternos. Las urediniosporas se forman durante la etapa asexual del patógeno y son las que causan la infección en las plantas de trigo, y dan origen a la fase más perjudicial de la enfermedad y la de importancia económica (Chen *et al.*, 2014).

En la planta de trigo, se forman otro tipo de esporas en las mismas lesiones donde se encontraban las urediniosporas, esto ocurre cuando la planta alcanza la etapa de madurez fisiológica o las condiciones climáticas son inapropiadas para el desarrollo del patógeno; éstas contienen una masa de esporas de color negro o café oscuro intenso, las cuales son bicelulares y presentan paredes gruesas y una terminación o corona más o menos achatada o un poco redondeada. Las teliosporas se forman bajo la epidermis de la hoja o en la vaina, aunque por lo general pueden ser ubicadas en el envés de la hoja, esto sucede cuando la temperatura aumenta de manera rápida, y se produce la senescencia o la planta alcanza la madurez fisiológica. Las teliosporas permanecen adheridas a las hojas y parte de los tejidos foliares pueden ser dispersados o trasladados a distancias considerables por el viento, los animales o el hombre. Las teliosporas no germinan al instante, por lo cual es la etapa de sobrevivencia del hongo. Su germinación puede ocurrir en cualquier célula o en forma simultánea. Después de la germinación, se forma una estructura denominada metabasidia, luego una basidia con cuatro basidiosporas, las cuales pueden infectar solo al hospedante alterno para completar el ciclo sexual del hongo; sin embargo, estas esporas no pueden infectar a la planta de trigo (Roelfs *et al*., 1992) (Figura 4).

En México, se desconoce si *Berberis vulgaris* u otra especie (del hospedante alterno) juegan un papel importante en la epidemiología de la enfermedad, en esta especie se lleva a cabo la fase sexual. Esta etapa del ciclo biológico del hongo causante de la enfermedad quizá no ocurre y las nuevas formas de virulencia, han evolucionado por mutación o por introducción; existen otras plantas del género *Mahonia* de la familia de las rosáceas donde el hongo puede completar su ciclo biológico, pero se desconoce su distribución en México (Huerta-Espino *et al.,* 2020).

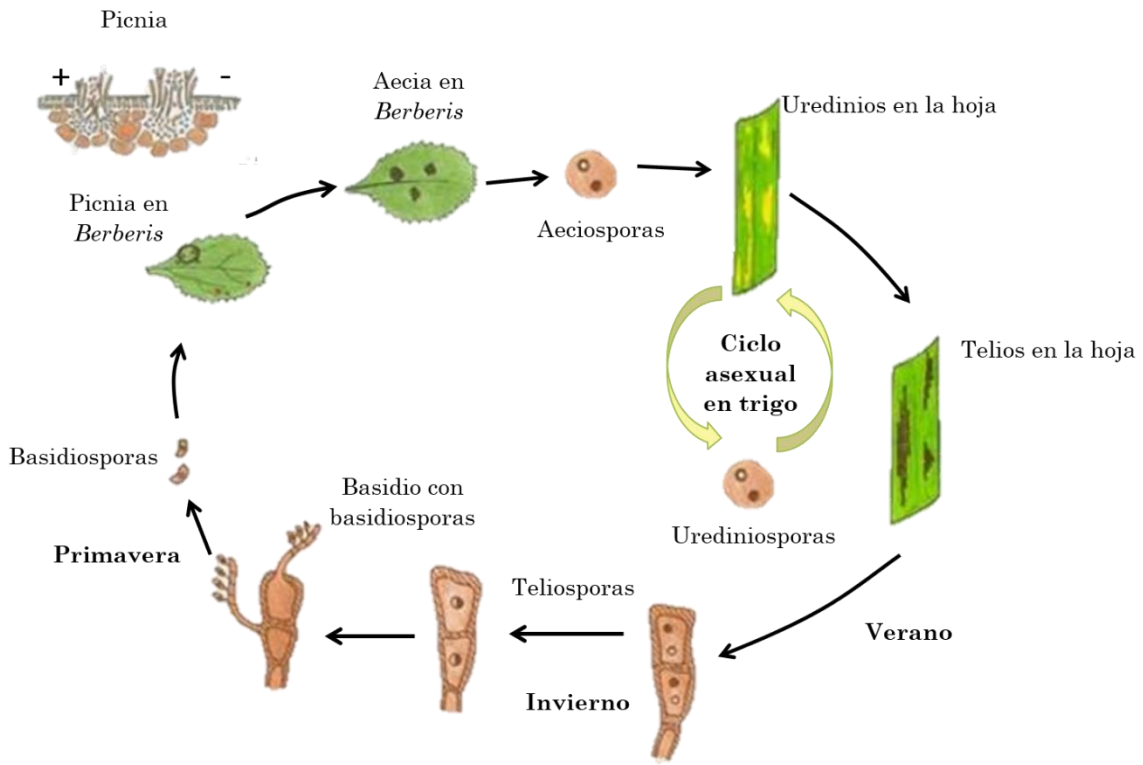

Figura 4. Ciclo biológico de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* W. (Huerta-Espino *et al.,* 2014b).

3.6.4.1. Epidemiología

Las urediniosporas son diseminadas por el viento y depositadas a través de lluvia, en plantas hospedantes en las inmediaciones y tal vez en plantas hospedantes a cientos de kilómetros de distancia. En la planta de trigo susceptible a la RLA, las esporas germinan 30 min después de entrar en contacto con la superficie de la hoja

y una pequeña gota de rocío. El periodo que ocurre desde la germinación de las esporas, la penetración, el establecimiento de la colonia y la esporulación en el campo puede abarcar de ocho a 10 días bajo temperaturas óptimas y constantes. La temperatura óptima para la mayoría de las razas de RLA presentes en México es de 7 °C (Cuadro 2), pero para razas o aislados tolerantes a altas temperaturas; el rango varía de los 7 a los 25 °C (Huerta-Espino *et al.,* 2020b).

Cuadro 2. *Condiciones ambientales requeridas para el desarrollo de* Puccinia striiformis *f. sp.* tritici (Roelfs *et al.*, 1992).

Estadío	Temperatura (°C)			Luz	Agua libre
	Mínima	Óptima	Máxima		
Germinación	0	9 – 13	23	Poca	Esencial
Esporofito		10 – 15		Poca	Esencial
Apresorio			(No formado)		
Penetración	2	8 - 13	23	Poca	Esencial
Crecimiento	3	12 - 15	20	Mucha	Ninguna
Esporulación	5	12	20	Mucha	Ninguna

3.6.4.2. Síntomas y signos de roya lineal amarilla en campo

Los primeros síntomas que causa la RLA, es la aparición de pequeñas pecas o diminutas manchas de color blanco alrededor de los siete a 10 días después de que ocurre la infección; estas lesiones se convertirán en pequeñas pústulas rodeadas de clorosis en caso de que ocurra la infección de tipo compatible o reacciones de resistencia como estrías cloróticas y necróticas; cuando la colonia del hongo se establece y madura, alrededor de los ocho días después de la infección, se hacen

visibles manchas o lesiones de color amarillo brillante o naranja oscuro (Figura 5), si estas lesiones llegan a madurez, el crecimiento de la colonia rompe la epidermis de la hoja y permite la exposición de las urediniosporas de color amarillo brillante (Huerta-Espino *et al.,* 2020b).

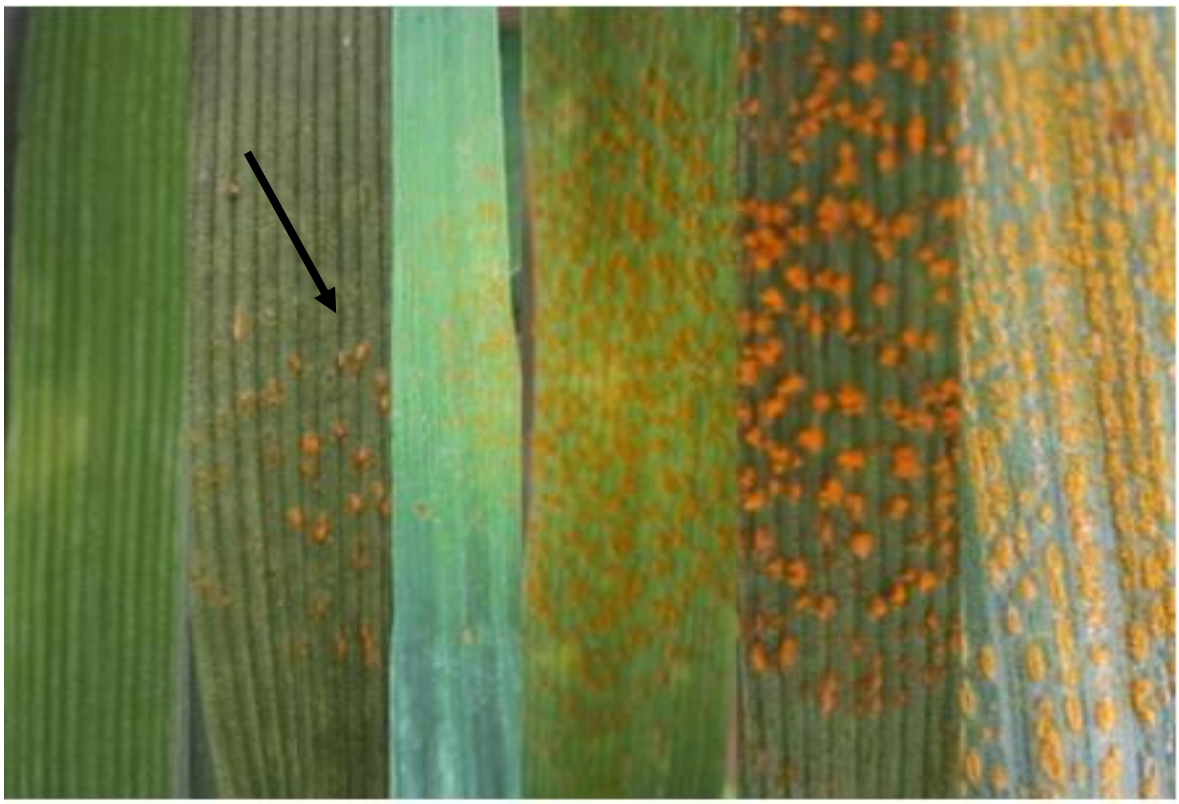

Figura 5. Primeros síntomas de infección (*Puccinia striiformis* f. sp*. tritici*)*;* hoja a la izquierda, y subsecuente desarrollo de pústulas de roya lineal amarilla que contienen masas de urediniosporas (Huerta-Espino *et al.*, 2020b).

3.7. Estrategias de manejo de las royas del trigo

3.7.1. Resistencia genética

La resistencia genética es la estrategia que mejor combate las royas del trigo en todo el mundo, basado en utilizar variedades con un mayor espectro de resistencia a la mayoría de razas fisiológicas. La selección se realiza para obtener resistencia máxima a las royas y lograr un nivel cercano a la inmunidad. Sin embargo, en la

mayoría de los casos este tipo de resistencia es de herencia simple (Huerta-Espino *et al*., 2002).

Por lo general, las variedades con este tipo de resistencia pueden permanecer viables de tres a cinco años bajo producción intensiva, antes de dejar de ser efectiva cuando el patógeno evoluciona a nuevas formas de virulencia (Singh y Dubin, 1997). Por esta razón, se busca generar variedades que posean resistencia durable (poligénica, multigénica, horizontal o cuantitativa) basada en genes que confieren resistencia de patogenia lenta o *slow rusting* (Singh *et al.*, 2001). La variación significativa para la virulencia a genes de raza específica en poblaciones muy especializadas de royas, combinado con la rápida evolución hacia nuevas formas de virulencia a través de migración, mutación o recombinación y selección de virulencias ya existentes han complicado y seguirán obstaculizando la estrategia del control genético a través del mejoramiento (Singh *et al*., 2004).

3.7.2. Control químico

Esta estrategia de manejo se utiliza cuando se siembran variedades susceptibles a la enfermedad y consiste en realizar por lo menos una aplicación de fungicidas, lo cual dependerá de la etapa fenológica del cultivo (Huerta-Espino *et al.*, 2014).

Singh *et al.* (2004) mencionan que la aplicación de fungicidas puede proporcionar un control adecuado de la enfermedad, pero su uso incrementa los costos de producción, además de ser considerados como poco amigables para el medio ambiente.

Algunos de los productos recomendados para el control de estas enfermedades se observan en el Cuadro 3; para asegurar una aplicación exitosa de los fungicidas se recomienda la adición de un adherente para lograr una buena cobertura del tejido foliar (Rodríguez-García, 2018).

Cuadro 3. Fungicidas químicos para el manejo de las royas del trigo

Producto comercial*	Ingrediente activo	Dosis
Folicur®	Tebuconazole	0.5 L ha^{-1}
Daconil®	Clorotalonil	2.5 L ha^{-1}
Amistar®	Azoxystrobin	0.5 L ha^{-1}
Tilt®	Propiconazole	0.5 L ha^{-1}
Quilt®	Azoxystrobin + Propiconazole	1 L ha^{-1}
Headline®	Pyraclostrobin	1 L ha^{-1}

*La mención de productos comerciales no significa que se recomiende su uso

3.8. Herencia de la resistencia

La resistencia genética a las royas está condicionada por factores genéticos o genes que se heredan en forma Mendeliana como caracteres cualitativos. Estos genes actúan en una relación gen por gen, es decir, que por cada gen de resistencia que posee una variedad, existe un gen de avirulencia correspondiente en las poblaciones del patógeno (Huerta-Espino *et al*., 2002).

La resistencia específica, otorgada por un gen de efecto mayor, a menudo es superada por el fitopatógeno en un periodo corto de tiempo. Sin embargo, se ha observado que la resistencia durable a las royas del trigo se logra mediante la interacción de genes menores o de efecto aditivo (Solís-Moya *et al.*, 2014).

La introducción de genes de efecto mayor condujo al éxito inicial, pero originaron que el patógeno evolucionara a nuevas formas de virulencia. Algunas variedades resistentes fracasaron en poco tiempo después de su introducción, mientras que otras no lo hicieron y permanecieron efectivas a pesar de su uso amplio y

prolongado, por lo cual se consideran fuentes de resistencia durable a la enfermedad (Johnson, 2000).

3.9. Viveros para identificación de enfermedades

Los viveros trampa de royas (VTR) están constituidos por germoplasma internacional útil para la detección temprana de enfermedades y monitoreo de poblaciones o razas de patógenos. En México, los VTR son distribuidos en gran parte por el CIMMYT. El propósito de su establecimiento es: detectar el desarrollo de enfermedades, evaluar la virulencia de los patógenos presentes en donde se siembra el vivero y ayudar a identificar los genes (o combinaciones de genes) de resistencia más efectivos en cada localidad (Park *et al.,* 2011).

El VTR incluye las principales variedades comerciales cultivadas en el mundo, líneas avanzadas seleccionadas y/o variedades con resistencia a enfermedades específicas y testigos susceptibles. Estas fuentes de resistencia pueden o no ser efectivas en todas las localidades, pero aun así proporcionan a los fitomejoradores un buen punto de partida en la búsqueda de germoplasma resistente y/o genes de resistencia efectivos, al igual que una clasificación de la virulencia de la población patógena (Prescott *et al.,* 1988; Dubin y Brennan, 2009).

Los viveros para la identificación de enfermedades se componen de viveros sin repeticiones, pero se sugiere a los fitomejoradores que establezcan más de uno de ellos en las principales zonas trigueras, con el fin de identificar las enfermedades presentes. Los VTR se siembran en parcelas a doble surco de un metro de longitud, con un espacio entre surcos de 80 cm. Sin embargo, puede ser útil incrementar el espacio entre las parcelas de dos surcos, al dejar un surco vacío y así reducir el acame. También puede resultar útil rodear el vivero con cuatro a seis surcos de las variedades locales más susceptibles y sembrar una o dos hileras de variedades locales susceptibles en los bordos de la parcela, en México se emplea la variedad susceptible Morocco para estudios de resistencia y dispersión natural de royas (García-León, comunicación personal).

Zadoks (1961) por primera vez condujo un experimento de VTR para estudiar la genética de la patogenicidad de la RLA (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*). Los VTR están diseñados para colectar información sobre la epidemiología y especialización fisiológica de las royas, evaluación del comportamiento de variedades resistentes y susceptibles probadas bajo diferentes condiciones ambientales (Natsarishvil *et al.*, 2016).

El control genético de royas ha tenido un éxito considerable en regiones donde los estudios de razas están ligados con los esfuerzos previos al fitomejoramiento dirigido a los estudios de resistencia a royas, previos a la liberación de variedades de trigo (Park *et al.,* 2009). El establecimiento de VTR es una estrategia útil, para la detección rápida en campo, de la fórmula de virulencia/avirulencia en los genes conocidos, ante la presencia de razas fisiológicas que inciden con frecuencia; el monitoreo de los VTR permite la postulación de razas emergentes de royas a través del análisis de las mismas en instalaciones especializadas (Nazari, 2017).

3.9.1. Identificación de razas fisiológicas

Debido a que las royas son parásitos obligados, cualquier gen de resistencia en el hospedante que restrinja o elimine la reproducción de las royas colocará una alta presión de selección en las variantes que son virulentas a los genes de resistencia (Kolmer, 2013). Entonces, podemos definir raza fisiológica como el conjunto de individuos (aislados puros) de una *formae specialis* con morfología similar, pero que difieren en su capacidad para infectar una serie de genotipos de la misma especie, denominadas plantas diferenciales (Huerta-Espino *et al.*, 2014).

Las *formae specialis* son separadas en razas fisiológicas basadas en avirulencia o virulencia a las variedades o genotipos de trigo. Las razas son diferenciadas por los tipos de infección producidos en un set de genotipos de plantas seleccionados o por líneas isogénicas (Chen, 2005). El objetivo de estudio fue determinar la variación patogénica presente en las poblaciones de royas y detectar nuevas razas que puedan significar una amenaza a las variedades comerciales más prevalentes (Kolmer, 2013).

3.9.2. Nomenclatura de razas fisiológicas de roya de la hoja

No existe un sistema de clasificación de razas que sea ideal o perfecto, pues en cada caso es necesario saber que diferenciales se utilizan o cuales son las combinaciones de avirulencia/virulencia. Los investigadores de royas de EE.UU. Canadá y México se han puesto de acuerdo para utilizar un sistema homogéneo para la denominación de razas de RH (Huerta-Espino *et al*., 2014). La nomenclatura se basa en un sistema de códigos, al hacer uso de las primeras 16 consonantes del alfabeto inglés. Cada una de las consonantes, de la B a la T, describe la respuesta de cuatro diferenciales en un juego de diferenciales dado. Una vez determinado el tipo de infección en las plantas diferenciales se le asigna “R” fueron resistentes o “S” si fueron susceptibles (Huerta-Espino *et al.,* 2020a); después de esto, se usa la tabla de códigos para asignar la letra correspondiente. La designación de la raza entonces será tres, cinco o seis consonantes del alfabeto inglés, en función del número de los juegos de diferenciales que se consideren (Cuadro 4). Dentro de cada juego, la respuesta de un diferencial puede ser resistente o susceptible, lo cual da origen a 16 combinaciones posibles (Kolmer, 2013). Para RH se usan seis juegos de cuatro diferenciales. Los primeros tres son comunes para Canadá y EE.UU. (Long y Kolmer, 1989), los juegos cuatro y cinco se agregaron para describir la variación de las poblaciones de la RH en México (Singh, 1991). El sexto juego se propone para describir la variación presente en trigos cristalinos en México con las diferenciales *Lr14a, 28, 61* y *72* (Delgado-Sánchez *et al*., 2016).

Cuadro 4. Códigos y juegos de diferenciales usados en México para la designación de razas de roya de la hoja del trigo (*Puccinia triticina* E.) *(Huerta-Espino et al., 2020a)*

	Reacción en diferencial o gen				
Código de Raza	*Lr1*	*Lr2a*	*Lr2c*	*Lr3*	Juego 1
	Lr9	*Lr16*	*Lr24*	*Lr26*	Juego 2
	Lr3ka	*Lr11*	*Lr17*	*Lr30*	Juego 3
	Lr3bg	*Lr13*	*Lr15*	*Lr18*	Juego 4
	Lr10	*Lr19*	*Lr23*	*Lr27+31*	Juego 5
	Lr14a	*Lr28*	*Lr61*	*Lr72*	Juego 6
B	R	R	R	R	
C	R	R	R	S	
D	R	R	S	R	
F	R	R	S	S	
G	R	S	R	R	
H	R	S	R	S	
J	R	S	S	R	
K	R	S	S	S	
L	S	R	R	R	
M	S	R	R	S	
N	S	R	S	R	
P	S	R	S	S	
Q	S	S	R	R	
R	S	S	R	S	
S	S	S	S	R	
T	S	S	S	S	

R= Resistente; S= Susceptible

3.9.3. Nomenclatura de razas fisiológicas de roya lineal amarilla

En México, para la designación de razas fisiológicas de RLA no existe una nomenclatura definida debido a la poca variación existente hasta el año 2005, en donde solo se usaba el número del aislado y el año en que éste fue identificado, además de la fórmula de avirulencia/virulencia de los genes usados como diferenciales (Rodríguez-García, 2009).

En la actualidad, se utiliza la nomenclatura propuesta por Huerta-Espino *et al.* (2020b) (Cuadro 5). La nomenclatura para designar razas de RLA en trigo, se basa en un sistema de códigos, al utilizar las primeras 16 consonantes del alfabeto inglés. Cada una de las consonantes, de la B a la T, describe la respuesta de cuatro genes en un juego de diferenciales dado; los cuales difieren de los juegos de diferenciales utilizados en la designación de razas de RH del trigo (Cuadro 4). Una vez determinado el tipo de infección en las plantas diferenciales se le asigna “R” si fueron resistentes o “S” si fueron susceptibles. Después de esto se utiliza el sistema de códigos para asignar el código de raza correspondiente. La patogenicidad de una raza es codificada mediante el uso de cinco de las 16 consonantes, cada una éstas señalan la fórmula de virulencia/avirulencia en un juego de diferenciales dado.

Cuadro 5. Códigos y juegos de diferenciales usados en México en la designación de razas de roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* W.) (Huerta-Espino *et al.*, 2020b).

	Reacción en diferencial o gen				
Código de Raza	*Yr1*	*Yr2*	*Yr3*	*Yr5a*	Juego 1
	Yr6	*Yr7*	*Yr8*	*Yr9*	Juego 2
	Yr10	*Yr15*	*Yr17*	*Yr24*	Juego 3
	Yr27	*Yr31*	*Yr32*	*Yr5b*	Juego 4
	Yr54	*YrF*	*YrPoll*	*Yr60*	Juego 5
B	R	R	R	R	
C	R	R	R	S	
D	R	R	S	R	
F	R	R	S	S	
G	R	S	R	R	
H	R	S	R	S	
J	R	S	S	R	
K	R	S	S	S	
L	S	R	R	R	
M	S	R	R	S	
N	S	R	S	R	
P	S	R	S	S	
Q	S	S	R	R	
R	S	S	R	S	
S	S	S	S	R	
T	S	S	S	S	

R= Resistente; S= Susceptible

4. JUSTIFICACIÓN

Las royas son las enfermedades que causan las mayores pérdidas económicas en el cultivo de trigo en México; de éstas, la roya de la hoja del trigo es la más importante en el norte y noroeste del país debido a su amplia distribución. Ésta se presenta en condiciones climáticas cálidas propias como las de la región norte de Sinaloa, y como consecuencia del daño de este patógeno se ve afectado el rendimiento y la calidad industrial del grano. Más aún, la roya lineal amarilla es una enfermedad que ocurre en la mayoría de las zonas templadas y húmedas, considerándola como la principal limitante biótica en estas áreas. No obstante, la roya lineal amarilla puede llegar a ser tan importante como la roya de la hoja debido a que su prevalencia en zonas productoras ha aumentado, encontrándola en zonas cálidas como la predominante en el noroeste de México. La estrategia que mejor combate a las royas del trigo, es la resistencia genética; basada en sembrar variedades con genes de resistencia efectivos a la diversidad de razas fisiológicas, presentes en las distintas zonas productoras. Por falta de precedentes en la zona objeto de estudio; el monitoreo e identificación de las principales razas fisiológicas de royas del trigo que prevalecen en la región norte de Sinaloa, permitirá conocer su frecuencia y distribución. El presente estudio, es uno de los primeros trabajos realizados en esta zona productora respecto a esta problemática fitopatológica. Por lo antes descrito, la investigación generará información fundamental para los programas de mejoramiento genético de este cereal, para detectar líneas y/o variedades con resistencia genética a royas en esta región agrícola; y con ello, se busca lograr una reducción significativa en la aplicación de pesticidas químicos para el manejo de estos problemas fitosanitarios, y a la vez aumentar la productividad y rentabilidad de los productores agrícolas en la zona norte de Sinaloa.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Identificar las principales razas fisiológicas de las royas del trigo prevalentes en el norte de Sinaloa, con la finalidad de conocer su frecuencia y distribución.

5.2. Objetivos específicos

- Monitorear e identificar las principales razas de royas del trigo presentes en el norte de Sinaloa, a través del establecimiento de viveros trampa de royas.
- Determinar los materiales de trigos duros y harineros con resistencia a royas, aptos para siembra en el norte de Sinaloa.

6. HIPÓTESIS

Las razas fisiológicas de *Puccinia triticina* y *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* presentes en el norte de Sinaloa, difieren de las poblaciones de estos patógenos en relación a otras zonas trigueras del país.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Sitio de estudio

La región norte de Sinaloa (Figura 6) es un área geográfica ubicada en el noroeste de México, esta zona se localiza en las coordenadas geográficas 25°33′50″ N y 108°46′00″ O. El clima predominante en la región es húmedo cálido, con temperatura media anual de 33 °C y precipitación pluvial promedio de 302 mm anuales (INAFED, 2010).

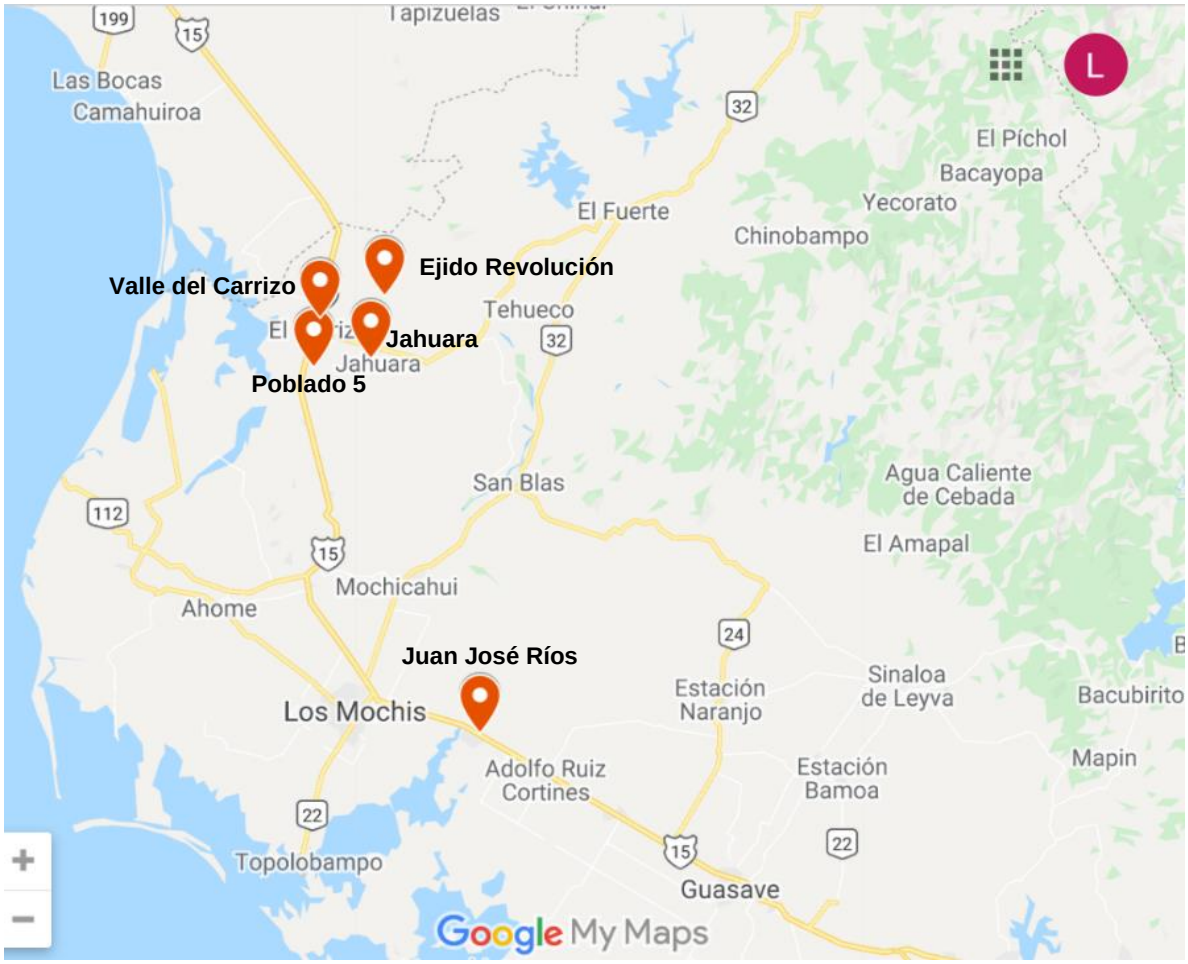

Figura 6. Monitoreo de razas fisiológicas de royas del trigo, en cinco sitios ubicados en el norte de Sinaloa durante el ciclo O-I/2018-2019 (Tomado de Google Maps, 2021).

7.1.1 Monitoreo de royas (Primera etapa)

En el ciclo agrícola O-I/ 2018-2019, durante los meses de febrero a mayo, se recolectaron un total de 27 muestras de hojas de trigo con signos de RH en lotes comerciales y experimentales, en cinco sitios ubicados en el Valle del Fuerte y Valle del Carrizo (Cuadro 6), se tomaron datos de georreferencia en cada sitio de recolección con ayuda de un GPS.

Cuadro 6. Muestras de roya de la hoja del trigo (*Puccinia triticina* E.), recolectadas durante el ciclo O-I/2018-2019 en el norte de Sinaloa

			Coordenadas	
No.	Genotipo	Localidad	Latitud N	Longitud O
1	BORLAUG 100 F2014	Valle del Carrizo	26°13´9.7752´´	109°2´59.0856´´
2	BORLAUG 100 F2014	Valle del Carrizo	26°13´9.7752´´	109°2´59.0856´´
3	BORLAUG 100 F2014	Valle del Carrizo	26°13´9.7752´´	109°2´59.0856´´
4	BORLAUG 100 F2014	Valle del Carrizo	26°13´9.7752´´	109°2´59.0856´´
5	CIRNO C2008	Valle del Carrizo	26°13´9.4022´´	109°2´59.0212´´
6	CIRNO C2008	Valle del Carrizo	26°13´9.4022´´	109°2´59.0212´´
7	CIRNO C2008	Valle del Carrizo	26°13´9.4022´´	109°2´59.0212´´
8	NORMAN F2008	Ejido Revolución, Valle del Carrizo	26°13´9.4022´´	109°2´59.0212´´
9	NORMAN F2008	Ejido Revolución, Valle del Carrizo	26°13´9.4022´´	109°2´59.0212´´
10	BORLAUG 100 F2014	Jahuara	26°13´9.4022´´	109°2´59.0212´´
11	BORLAUG 100 F2014	Jahuara	26°13´9.4022´´	109°2´59.0212´´
12	NORMAN F2008	Poblado 5, Valle del Carrizo	26°13´12.5076´´	109°3´2.664´´
13	NORMAN F2008	Poblado 5, Valle del Carrizo	26°13´12.5076´´	109°3´2.664´´
14	NORMAN F2008	Poblado 5, Valle del Carrizo	26°13´12.5076´´	109°3´2.664´´

15	BORLAUG 100 F2014	Juan José Ríos, Guasave	25°45´47.3256´´	108°48´42.5628´´
16	BORLAUG 100 F2014	Juan José Ríos, Guasave	25°45´47.3256´´	108°48´42.5628´´
17	SOKOLL	Juan José Ríos, Guasave	25°45´47.3256´´	108°48´42.5628´´
18	PASTOR	Juan José Ríos, Guasave	25°45´47.3256´´	108°48´42.5628´´
19	68.111/RGB-U//WARD/3/FGO/4/RABI…	Juan José Ríos, Guasave	25°45´45.3168´´	108°48´43.8516´´
20	68.111/RGB-U//WARD/3/FGO/4/RABI…	Juan José Ríos, Guasave	25°45´45.3168´´	108°48´43.8516´´
21	CETA/AE.SQUARROSA (435) /7/2*…	Juan José Ríos, Guasave	25°45´45.3168´´	108°48´43.8516´´
22	BORLAUG 100 F2014	Juan José Ríos, Guasave	25°45´45.3168´´	108°48´43.8516´´
23	SERI/BAV92//PUB94.15.1.12/WBLL1	Juan José Ríos, Guasave	25°45´45.3168´´	108°48´43.8516´´
24	68.111/RGB-U//WARD/3/FGO/4/RABI…	Juan José Ríos, Guasave	25°45´45.3168´´	108°48´43.8516´´
25	68.111/RGB-U//WARD/3/FGO/4/RABI…	Juan José Ríos, Guasave	25°45´45.3168´´	108°48´43.8516´´
26	68.111/RGB-U//WARD/3/FGO/4/RABI…	Juan José Ríos, Guasave	25°45´45.3168´´	108°48´43.8516´´
27	KRONSTAD F2004	Juan José Ríos, Guasave	25°45´45.3168´´	108°48´43.8516´´

7.2. Establecimiento de viveros trampa de royas (VTR)

Durante el ciclo O-I/2019-2020, en los meses de diciembre a enero, se estableció el VTR en las localidades de Jahuara, Juan José Ríos y Poblado 5; y durante el ciclo O-I/2020-2021, se sembró de nueva cuenta el VTR en el Campo Experimental Valle del Fuerte (CEVAF-INIFAP) ubicado en la localidad de Juan José Ríos, municipio de Guasave (Cuadro 7).

Cuadro 7. Establecimiento del VTR en tres sitios ubicados en el norte de Sinaloa, durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021

	Coordenadas	
Localidad	Latitud N	Longitud O
Juan José Ríos, Guasave	25°45´45.3168´´	108°48´43.8516´´
Poblado 5, Ahome	26°13´12.5076´´	109°3´2.664´´
Jahuara, El Fuerte	26°13´9.4022´´	109°2´59.0212´´

Los genotipos incluidos en el VTR fueron otorgados por el CIMMYT. El VTR fue constituido por 100 genotipos diferenciales (Cuadro 8) que permiten monitorear la diversidad de razas fisiológicas de royas del trigo presentes en esta zona productora. Se estableció un diseño experimental serie sencilla, sin repeticiones; es decir, se tomó a la localidad como repetición. Por este propósito, se sembraron 100 parcelas a doble surco de 1 m de longitud y ancho de surco de 0.8 m, distanciamiento entre surcos de 0.8 m y entre parcelas de 1 m. El área total destinada al establecimiento del VTR fue de 720 m^2.

Cuadro 8. Genotipos de trigo (Triticum spp.) evaluados en viveros trampa de royas, durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021

No.	Genotipo	Yr gene
1	MOROCCO	
2	AVOCET-YRA	
3	AVOCET+YRA	YrA
4	YR1/6*AOC	Yr1
5	SIETE CERROS T66	Yr2
6	TATARA	Yr3,9,27
7	YR5/6*AOC	Yr5
8	YR6/6*AOC	Yr6
9	YR7/6*AOC	Yr7
10	YR8/6*AOC	Yr8
11	YR9/6*AOC	Yr9
12	YR10/6*AOC	Yr10
13	YR15/6*AOC	Yr15
14	YR17/6*AOC	Yr17
15	YR18/3*AOC	Yr18
16	YR24/3*AOC	Yr24
17	YR26/3*AOC	Yr26
18	YR27/6*AOC	Yr27
19	YRSP/6*AOC	YrSp
20	PAVON F 76	Yr6+7+29+Yr30
21	SERI M 82	Yr2+Yr7+Yr9+Yr29
22	OPATA M 85	Yr27 +
23	SUPER KAUZ	Yr9 +Yr18+Yr27
24	YRCV/6*AOC	Yr32
25	PBW343	Yr3+Yr9+Yr27+Yr29
26	AOC-YR*3/3/ALTAR 84/AE.SQ//OPATA	Yr28

No.	Genotipo	Yr gene
27	AOC-YR*3//LALBMONO1*4/PVN	Yr29
28	AOC-YR*3/PASTOR	Yr31
29	POLLMER	YrPollmer
30	PASTOR	Yr30 + Yr31
31	REBECA F2000	Yr30 + Yr31
32	FRANCOLIN #1	YrF
33	ORIZABA	
34	OPATA/PASTOR	Yr27+Yr31
35	OPATA/PASTOR	Yr27+Yr31
36	CHUAN NONG 19	Yr41
37	IRAGI	Yr59
38	KOELZ W 11192:AE	Yr52
39	WL711	
40	CONASIST C2015	
41	ALTAR 84	
42	DW 7276	
43	IUMILLO	
44	STAMUBO	
45	JUPATECO 73R	
46	JUPATECO 73S	
47	FUERTEMAYO F2016	
48	SUPER SERI #2	
49	NORESTE F2018	
50	BAROBAMPO C2015	
51	BACOREHUIS F2015	
52	Lr19 MOROCCO	
53	LALBAHADUR	
54	LALB PRL 7D	
55	LALB PVN 46	

No.	Genotipo	Yr gene
56	TEPOCA R	
57	TEPOCA S	
58	JUPARE	
59	ATIL	
60	RIO BRAVO F2018	
61	QUAIU	
62	ATRED 1.	
63	SAWALI	
64	DON CARLOS M2015	
65	TEXCOCO F2016	
66	CONATRIGO F2015	
67	CIRNO	
68	QUETCHEHUECA	
69	BAROYECA	
70	BORLAUG100	
71	KASUKO ROJO	
72	MARROQUI 588	
73	CI8155	
74	ST464	
75	TRIDENT	
76	BANAMICHI	
77	VALLES F2015	
78	Yr28	20Y
79	Yr28	32Y
80	Yr28	33Y
81	YR33	
82	YR34	
83	Yr35 98M71	
84	Yr37	

No.	Genotipo	Yr gene
85	Yr4BL	
86	Yr51	
87	Yr54	
88	Yr57	
89	YrKK	
90	YrAld	
91	NASMAR267	
92	NASMAR267	
93	HUITES	
94	LR28	
95	ATRED 2	
96	RAMIFICADO	
97	GATCHER	
98	MUGAMI	
99	MICH 93.1.4	
100	CACUKE	

Para lograr una alta incidencia de la enfermedad, el genotipo susceptible Morocco se sembró en bordos a doble surcos en la periferia del VTR, los cuales actuaron como agente dispersante natural de las royas. La temperatura durante los ciclos de evaluación fluctuó entre 20 y 25 °C y la humedad relativa fue ≥80 %, condiciones que fueron propicias para el desarrollo de las royas.

7.3. Establecimiento de ensayos de líneas experimentales

Durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021, en el mes de diciembre, se establecieron ensayos de líneas experimentales y variedades comerciales en la localidad de Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa. Se evaluaron 20 líneas experimentales de trigos duros (Cuadro 9) y 25 de trigos harineros (Cuadro 10), con dos repeticiones.

Cuadro 9. Listado de genotipos de trigo duro (*Triticum durum* L.) evaluados en ensayos de líneas experimentales, durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021

No.	Genealogía/Pedigrí
1	CIRNO C2008
2	ANATOLY C2011
3	MOVAS C2011
4	CONASIST C2015
5	BAROBAMPO C2015
6	RÍO BRAVO C2018
7	TADIZ/9/USDA595/3/D67.3/…../HUI/YAV79/8/POD_9
8	DON GOYO C2019
9	CAMAYO//HYDRANASSA30/…...12/2*RASCON_21
10	AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO…./8/SOOTY_9/RA
11	SILVER_14/MOEWE//BISU…../4/GREEN_14//Y
12	SILVER_14/MOEWE//BISU…..9/RASCON_37//JUP
13	E90040/MFOWL_13//…../3/GUANAY/4/GREEN_14//
14	E90040/MFOWL_13//…...135.85)//PLATA_13/3/
15	TARRO1/2*YUAN....SNITAN/6/SOOTY9/RASCON_
16	QUETCHEHUECA ORO C2013
17	BAROYECA ORO C2013
18	ATIL C2000
19	BANAMICHI C2004
20	ALTAR C84

Cuadro 10. Listado de genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) evaluados en ensayos de líneas experimentales, durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021

No.	Genealogía/Pedigrí
1	KRONSTAD F2004
2	ROELFS F2007
3	VILLA JUAREZ F2009
4	BORLAUG 100 F2014
5	BACOREHUIS F2015
6	CONATRIGO F2015
7	NORESTE F2018
8	HANS F2019
9	NS.732/HER/3/PRL/…../FRET2/5/WHEAR/SOKOLL
10	KSW/SAUAL//SAUAL/3/REEDLING #1
11	ROLF07/SAUAL/3/……./KACHU/4/ROLF07/SAUAL
12	NELOKI//SOKOLL/EXCALIBUR
13	SAUAL/MUTUS/4/…./KUKUNA/3/BRBT1*2/KIRITATI
14	SUP152/BLOUK#1/3/...VORB/4/SUP152/BLOUK#1
15	KSW/SAUAL//SAUAL/3/2*BORL14
16	SUP152/BAJ#1/4/BAJ…..PASTOR/5/SUP152/BAJ#1
17	WBLL1*2/BRAM//…./BRAMBLING/3/2*BORL14
18	BECARD/FRNCLN//BORL14
19	KACHU/BECARD//……/3/FRNCLN*2/TECUE #1
20	STALION/MUNAL#1//2*BORLG14
21	SUP152*2/TECUE #1//2*BORL14
22	SUP152*2/HUIRIVIS…..../4/SUP152*2/HUIRIVIS #1
23	BORL14*2/NAVJ07
24	KACHU#1//WBLL1*2/KUKUNA*2/6/…./BOW//KAUZ
25	ÓNAVAS F2009

Los ensayos de líneas experimentales, fueron establecidos bajo un diseño experimental Alfa látice. El trigo duro y trigo harinero se sembraron en 20 y 25 parcelas, de forma respectiva. Cada parcela consistió de cuatro surcos de 3 m de longitud y anchura de surco de 0.8 m, con distancia entre surcos de 0.8 m y entre parcelas de 1 m. El área experimental total fue de 700 m^2 para trigos harineros y de 700 m^2 para trigos duros.

7.4. Monitoreo de royas (Segunda etapa)

En los ciclos O-I/ 2019-2020 y O-I/ 2020-2021, durante febrero a mayo, se recolectaron 75 muestras de hojas de trigo con signos de RLA, y 66 muestras con RH en los VTR y ensayos de líneas experimentales (Cuadro 7). Las muestras recolectadas fueron colocadas en bolsas de papel glassine, sometiéndolas a un periodo de secado de 24 h a temperatura ambiente (25 - 30 °C) y luego se preservaron en refrigeración a 4 °C. Las muestras se trasladaron al Laboratorio Nacional de Royas y otras Enfermedades de Cereales (LANAREC) del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX-lNIFAP) ubicado en Coatlinchán, Texcoco, Estado de México.

7.4.1 Identificación de razas fisiológicas de roya de la hoja

Las urediniosporas de las muestras de hojas se recolectaron mediante boquillas recolectoras conectadas a un compresor de aire (FE-1500L, Felisa), se almacenaron en cápsulas de gelatina y se preservaron en refrigeración a 4 °C (TSU600A63; Thermo Fisher Scientific). El inóculo se incrementó en plantas de Morocco, genotipo susceptible a todas las razas existentes de RH. Para obtener las plántulas, se sembraron de 12 a 14 semillas de Morocco en vasos de poliestireno expandido (200 mL) que contenían suelo esterilizado, cinco días después de la siembra (dds), todas las plántulas fueron tratadas con una solución de ácido maleico (MH30®) a una concentración de 400 mg mL^{-1}; el cual suprime el crecimiento de las plántulas y permite el máximo desarrollo de la hoja primaria, lo que facilita la infección del patógeno (Huerta-Espino *et al.,* 2014a). Diez dds, las plántulas fueron fertilizadas con una solución de triple 19 (19N-19P-19K) (Polyfeed; Haifa), a una

concentración de 10 g L^{-1}. Las urediniosporas recolectadas en campo se suspendieron en aceite mineral (Soltrol® 170; Chevron Phillips Chemical Company), asperjándose una concentración de $1x10^6$ urediniosporas mL^{-1} sobre la lámina foliar de plántulas de 10 días de edad, con la finalidad de obtener aislados puros de cada una de las muestras recolectadas en campo (Huerta-Espino *et al.*, 2020a). Las plántulas inoculadas se dejaron secar en laboratorio a temperatura ambiente (20 - 25 °C), por un período de 20 min, para después pasarlas a una cámara bioclimática por 16 h, sin luz y a temperatura ambiente (20 - 22 °C). Después de este período, las plántulas se trasladaron a un invernadero con temperatura entre 18 - 24 °C. Cada uno de los tratamientos (variedad + aislado) fueron depositados en jaulas de plástico individuales con el fin de evitar la contaminación entre ellos. A los quince días después de la inoculación (ddi), las urediniosporas se recolectaron de cada aislado monopostular; éstos fueron identificados y almacenados en cápsulas de gelatina transparente, para preservarlos bajo refrigeración a 4 °C.

Cada aislado se incrementó en Morocco para tener esporas suficientes, tanto para inocular las líneas diferenciales como para futuros estudios de identificación de razas fisiológicas. Para esto último, se utilizó un conjunto de 52 líneas diferenciales (Cuadro 11), de acuerdo a Huerta-Espino *et al.* (2020a). Todas las líneas diferenciales se sembraron en charolas de plástico de 20 x 30 x 6 cm, con suelo esterilizado y Peat Moss en una proporción de 2:1 (v/v); con una plancha de acero se realizaron pequeños orificios de 1 cm de diámetro por 2 cm de profundidad. La disposición de siembra fue de seis columnas y ocho hileras, se depositaron de ocho a nueve semillas de izquierda a derecha; las charolas se colocaron en un invernadero separado de plantas infectadas con roya hasta que la segunda hoja se extendió por completo.

Los grupos diferenciales se inocularon con la misma técnica descrita con antelación, para incrementar las urediniosporas y purificar los aislados. La reacción de infección en estado de plántula se tomó a los 10 ddi; para ello, se utilizó la escala visual de 0

- 4 propuesta por Roelfs *et al*. (1992) como se indica en la (Figura 7), basándose en la escala propuesta por Huerta-Espino *et al.* (2014) (Cuadro 12).

La nomenclatura empleada en la designación de razas de RH se basó en la propuesta de Long y Kolmer (1989), modificada por Singh (1991) y descrita para México por Huerta-Espino *et al.* (2020a), la cual se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 11. Genotipos de trigo utilizados en México para la designación de razas fisiológicas de roya de la hoja del trigo (*Puccinia triticina* E.) (Huerta-Espino *et al.*, 2020a).

No.	Diferencial Lr	No.	Diferencial Lr
1	THATCHER	27	NIL-THATHCHER-Lr26-ST-1-25
2	NIL-THATHCHER-Lr1-CTR	28	GATCHER
3	NIL-THATHCHER-Lr2A-WST	29	CS2D-2M-Lr28
4	NIL-THATHCHER-Lr2B-CARINA	30	NIL-THATHCHER-Lr29-CS7AG11
5	NIL-THATHCHER-Lr2C-LOROS	31	NIL-THATHCHER-Lr30-TZIO
6	NIL-THATHCHER-Lr3-DEMOCRAT	32	NIL-THATHCHER-Lr32-AE.TA
7	NIL-THATHCHER-Lr3KA-AIV	33	NIL-THATHCHER-Lr33-PI58548
8	NIL-THATHCHER-Lr3BG-BAGE	34	NIL-THATHCHER-Lr34-PI58548
9	NIL-THATHCHER-Lr9-TRANSFER	35	NIL-MARQUIS-Lr35-T. SP
10	NIL-THATHCHER-Lr10-EX	36	NIL-MANITOU-Lr36-T.SP2-9
11	HUSSAR	37	NIL-THATHCHER-Lr37-VPM

12	NIL-THATHCHER-Lr12-EX	38	NIL-THATHCHER-LrB-CARINA
13	MANITOU	39	WL711
14	NIL-THATHCHER-Lr14A-SK	40	GAZA
15	RL 6006	41	ALTAR C84
16	NIL-THATHCHER-Lr15-K1483	42	DW7276
17	NIL-THATHCHER-Lr16-EX	43	IUMILLO
18	NIL-THATHCHER-Lr17-KLLU	44	LOCAL RED
19	NIL-THATHCHER-Lr18-AF43	45	Lr41/6*TC
20	NIL-THATHCHER-Lr19-TR	46	TC*6/T.SPELTA 783
21	THEW	47	TC/4*ST-1
22	NIL-THATHCHER-Lr21-RL5406	48	PAVON+ Lr47
23	NIL-THATHCHER-Lr22A-RL5404	49	Lr51
24	NIL-THATHCHER-Lr23-LEE310	50	Lr53
25	NIL-THATHCHER-Lr24-AGENT	51	TC Lr28 (RL6079)
26	TRANSEC (AWNED)-Lr25	52	MOROCCO

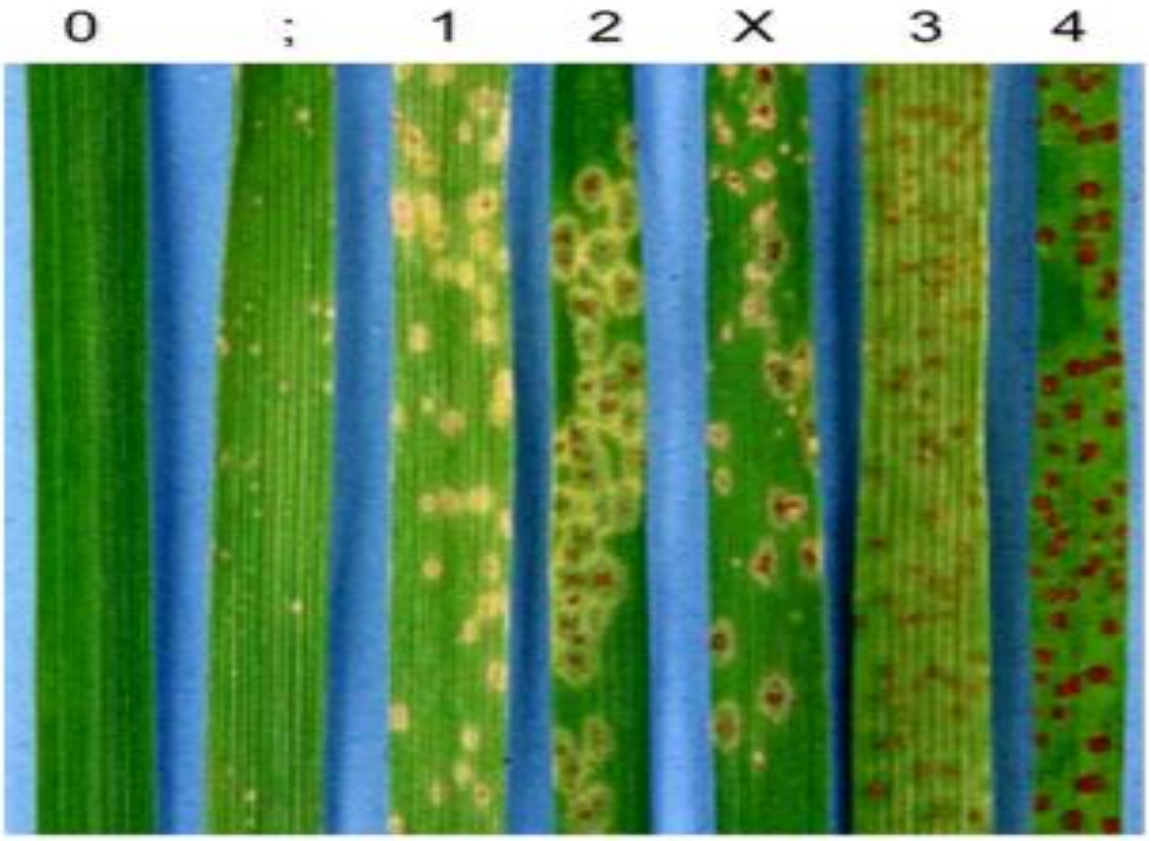

Figura 7. Escala de severidad para medir la reacción de infección en plántula de trigo (*Triticum* spp.) a roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.) (Roelfs *et al.*, 1992).

Cuadro 12. Respuesta del hospedante y descripción de reacción de infección en plántula a roya de la hoja del trigo (*Puccinia triticina* E.) (Huerta-Espino *et al.*, 2014).

Respuesta del hospedante*	Escala de 0 – 4	Tipo de infección
Inmune	0	Ninguna uredinia presente
Casi inmune	;	No uredíneas, pecas cloróticas o necróticas presentes que indican hipersensibilidad
Muy resistente	1	Uredinias pequeñas rodeadas por necrosis

Moderada resistencia	2	Uredinias pequeñas o de tamaño mediano a menudo rodeadas por clorosis o necrosis; se pueden encontrar una isla verde rodeada por un borde clorótico o necrótico
Heterogénea	X	Uredinias de tamaño variable distribuidas al azar en una sola hoja
Moderada susceptibilidad	3	Uredinias de tamaño mediano que están asociadas con cierta clorosis
Susceptible	4	Uredinias grandes sin clorosis

*En la escala los valores 0,;, 1, 2 y X son resistentes, 3 y 4 son susceptibles. Las reacciones de infección se detallan de la siguiente forma: = uredinias muy pequeños; - uredinias algo pequeños; + uredinios grandes; ++, uredinias muy grandes; C indica más clorosis de lo normal; N presencia.

7.5 Identificación de razas fisiológicas de roya lineal amarilla

Las urediniosporas de las muestras de hojas de trigo se recolectaron mediante boquillas recolectoras conectadas a un compresor de aire (Fe-1500L, Felisa), éstas se almacenaron en cápsulas de gelatina y se preservaron en refrigeración a 4 °C (TSU600A63; Thermo Fisher Scientific). Para el incremento del inóculo, se utilizó la variedad de trigo Morocco + *Lr19* que es un genotipo resistente a todas las razas de RH existentes en México a excepción de CBJ/QQ, pero susceptible a las razas de RLA. Para la producción de plántulas, se sembraron de 12 a 14 semillas de Morocco + Lr 19 por cada vaso de poliestireno expandido de 200 Ml que contenía suelo esterilizado.

Cinco dds, todas las plántulas de Morocco + *Lr19* fueron tratadas con una solución de ácido maleico (MH30®) a una concentración de 300 mg mL^{-1}; el cual suprime el crecimiento de las plántulas y permite el máximo desarrollo de la hoja primaria, facilita la infección del patógeno y la producción abundante de esporas (Huerta-Espino *et al.,*

2014b). Diez dds, las plántulas fueron fertilizadas con una solución de triple 19 (19N-19P-19K) (Polyfeed; Haifa), a una concentración de 10 g L^{-1}.

Las urediniosporas recolectadas en campo se suspendieron en aceite mineral (Soltrol® 170; Chevron Phillips Chemical Company), asperjándose una concentración de $1x10^6$ urediniosporas mL^{-1} sobre la lámina foliar de plántulas de Morocco + *Lr19* de 10 días de edad, con la intención de obtener aislados de cada una de las muestras recolectadas en campo (Huerta-Espino *et al.*, 2020b).

Las plántulas inoculadas se dejaron secar en laboratorio a temperatura ambiente (20 - 25 °C) por un período de 20 min, para luego trasladarlas a una cámara bioclimática por 24 h a 4 - 7 °C; después de este período se trasladaron a un invernadero con temperatura de 15 - 18 °C.

Cada uno de los tratamientos se colocaron en jaulas individuales para evitar la contaminación entre ellos. Quince ddi, se recolectaron las urediniosporas de cada aislado monopostular; estos se identificaron, se almacenaron en cápsulas de gelatina y se preservaron en refrigeración a 4 °C.

Cada aislado se incrementó en Morocco + Lr19 para tener esporas suficientes, tanto para inocular las líneas diferenciales como para incrementar en futuros estudios de identificación de razas fisiológicas. Para esto, se utilizó un conjunto de 51 líneas diferenciales (Cuadro 13), de acuerdo a Huerta-Espino *et al.* (2020b). Todas las diferenciales se sembraron en charolas de plástico de 20 x 30 x 6 cm con suelo esterilizado y Peat Moss en una proporción de 2:1 (v/v); con una plancha de acero se realizaron pequeños orificios de 1 cm de diámetro por 2 cm de profundidad. La disposición de siembra fue de seis columnas y ocho hileras, se depositaron de ocho a nueve semillas de izquierda a derecha; las charolas se colocaron en un invernadero separado de plantas infectadas con roya hasta que la segunda hoja se extendió por completo.

Los grupos diferenciales se inocularon con la misma técnica descrita con antelación para incrementar las urediniosporas y purificar los aislados. La reacción de infección

en estado de plántula se tomó a los 15 a 18 ddi; con el uso de la escala propuesta por McNeal *et al*. (1971) como se indica en la (Figura 8), basándose en la escala propuesta por Huerta-Espino *et al.* (2014) (Cuadro 14).

Para la designación de razas fisiológicas de RLA en trigo en México, no existe una nomenclatura definida debido a la poca variación existente hasta el año 2005, en donde sólo se usaba el número del aislado y el año en que éste fue identificado, además de la fórmula de avirulencia/virulencia de los genes usados como diferenciales. En el presente estudio, se emplea la nomenclatura propuesta por Huerta-Espino *et al*. (2020b), la cual se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 13. Genotipos de trigo usados en México para la designación de razas fisiológicas de roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) (Huerta-Espino *et al.*, 2020b).

No.	Diferencial Yr	No.	Diferencial Yr
1	MOROCCO	27	Yr35 98M71
2	AVOCET-YRA	28	Yr37
3	AVOCET+YRA	29	CHUAN NONG 19
4	Yr1/6*AOC	30	Yr51
5	SIETE CERROS T66	31	KOELZ W11192: AE
6	TATARA	32	AOC-Yr/QUAIU #3
7	Yr5/6*AOC	33	QUAIU #3
8	Yr6/6*AOC	34	Yr57
9	Yr7/6*AOC	35	IRAGI
10	Yr8/6*AOC	36	AOC-Yr*3/LALBMONO1*4/PVN
11	Yr9/6*AOC	37	KENYA KUDU

12	Yr10/6*AOC	38	ALONDRA
13	Yr15/6*AOC	39	Yr4BL
14	Y17/6*AOC	40	M10 (MUTATED C-306)/AOC-Yr
15	Yr18/3*AOC	41	SUJATA
16	Yr24/3*AOC	42	PAVON F76
17	Yr26/3*AOC	43	SERI M82
18	Yr27/3*AOC	44	OPATA M85
19	AOC-Yr*3/3/ALTAR84/AE.SQ//OPATA	45	SUPER KAUZ
20	AOC-Yr3*//LALBMONO01*4/PVN	46	PBW343
21	AOC-Yr*3/PASTOR	47	FRANCOLIN #1
22	PASTOR	48	OPATA/PASTOR
23	YrSP/6*AOC	49	ORIZABA
24	YrCV/6*AOC	50	POLLMER
25	Yr33	51	BICENTENARIO TCL2010

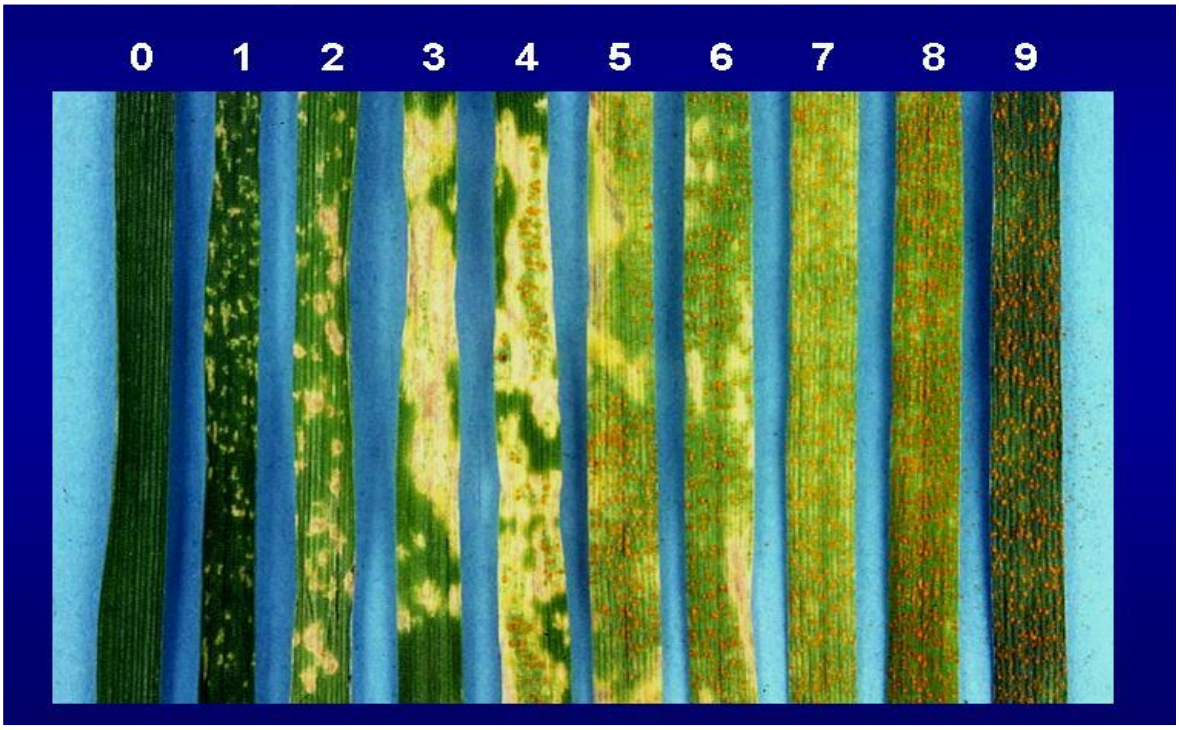

Figura 8. Escala de severidad para medir reacción de infección en plántula de trigo (*Triticum* spp.) a roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) (McNeal *et al.*, 1971).

Cuadro 14. Respuesta del hospedante y descripción del tipo de infección en plántula de trigo (*Triticum* spp.) a RLA (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) (Huerta-Espino *et al.*, 2014).

Respuesta del hospedante*	Escala de 0-9	Tipo de infección
Inmune	0	No hay infección visible
Muy resistente	1	Pecas cloróticas/necróticas, sin esporulación
Resistente	2	Estrías cloróticas/necróticas, sin esporulación

Moderadamente resistente	3	Trazas de esporulación estrías cloróticas/necróticas, sin esporulación
Ligeramente moderada	4	Ligera esporulación estrías cloróticas/necróticas
Moderada	5	Esporulación intermedia, estrías cloróticas/necróticas
Muy moderada	6	Esporulación moderada, estrías cloróticas/necróticas
Moderadamente susceptible	7	Esporulación abundante, estrías cloróticas/necróticas
Susceptible	8	Esporulación abundante, con clorosis
Muy susceptible	9	Esporulación abundante, sin clorosis

*****En la escala los valores de 0 - 6 se consideran resistentes y de 7 - 9 susceptibles

7.6 Evaluación de líneas y variedades de trigos harineros y macarroneros por su resistencia en plántula a razas de royas que prevalecen en el norte de Sinaloa

7.6.1 Evaluación de genotipos en plántula

La resistencia en plántula de 24 genotipos de trigos harineros y 26 genotipos de trigos cristalinos (Cuadro 15 y Cuadro 16), provenientes del programa nacional de mejoramiento genético de trigo del INIFAP, se evaluó bajo condiciones de invernadero (18 - 24 °C) en el LANAREC, durante los meses de enero a abril de 2021.

Cuadro 15. Listado de genotipos evaluados de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) por su resistencia en plántula, a las principales razas de royas presentes en el norte de Sinaloa

No.	Genealogía/Pedigrí
1	KRONSTAD F2004
2	ROELFS F2007
3	VILLA JUAREZ F2009
4	BORLAUG 100 F2014
5	BACOREHUIS F2015
6	CONATRIGO F2015
7	NORESTE F2018
8	HANS F2019
9	NS.732/HER/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5…
10	KSW/SAUAL//SAUAL/3/REEDLING #1
11	ROLF07/SAUAL/3/TRCH/SRTU//KACHU…
12	NELOKI//SOKOLL/EXCALIBUR
13	SAUAL/MUTUS/4/KACHU#1//WBLL1*2…
14	SUP152/BLOUK#1/3/PRL/2*PASTOR*2…
15	KSW/SAUAL//SAUAL/3/2*BORL14
16	SUP152/BAJ#1/4/BAJ#1/3/KIRITATI…
17	WBLL1*2/BRAMBLING//WBLL1*2…
18	BECARD/FRNCLN//BORL14
19	KACHU/BECARD//WBLL1*2…
20	STALION/MUNAL#1//2*BORLG14
21	SUP152*2/TECUE #1//2*BORL14
22	SUP152*2/HUIRIVIS#1/3/WBLL1*2…
23	BORL14*2/NAVJ07
24	KACHU #1//WBLL1*2/KUKUNA*2…

Cuadro 16. Listado de genotipos evaluados de trigo duro (*Triticum durum* L.) por su resistencia en plántula, a las principales razas de royas presentes en el norte de Sinaloa

No.	Genealogía/Pedigrí
1	CIRNO C2008
2	ANATOLY C2011
3	MOVAS C2011
4	CONASIST C2015
5	BAROBAMPO C2015
6	RIO BRAVO C2018
7	DON GOYO C2019
8	TADIZ/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA…
9	CAMAYO//HYDRANASSA30/SILVER_5…
10	AJAIA_12/F3LOCAL (SEL.ETHIO.135.85) …
11	SILVER_14/MOEWE//BISU_1/PATKA_3…
12	SILVER_14/MOEWE//BISU_1/PATKA_3…
13	E90040/MFOWL_13//LOTAIL_6/3/PROZANA…
14	E90040/MFOWL_13//LOTAIL_6/3/PROZANA…
15	TARRO_1/2*YUAN_1//AJAIA_13/YAZI…
16	KACHU/DANPHE/3/SWSR22T.B./KACHU…
17	KACHU/DANPHE/3/SWSR22T.B./KACHU…
18	CHEWINK #1/MUTUS//MUTUS*2/HARIL#1
19	TRCH*2//ND643/2*WBLL1/3/BORL14
20	HUW234+LR34/PRINIA*2//KIRITATI*2…
21	ATTILA/3*BCN//BAV92/3/PASTOR…
22	FRANCOLIN#1*2//ND643/2*WBLL1/3/…
23	MUTUS*2//ND643/2*WBLL1/3/BORL14
24	MUTUS*2//ND643/2*WBLL1/4/KACHU/3/…
25	FRET2*2/KIRITATI//KIRITATI/2*TRCH…
26	KAUZ//ALTAR84/AOS/3/MILAN/KAUZ…

Para la evaluación en plántula, los genotipos se sembraron en charolas de plástico de 20 x 30 x 6 cm, con suelo esterilizado y Peat Moss en una proporción de 2:1 (v/v); con una plancha de acero se realizaron pequeños orificios de 1 cm de diámetro por 2 cm de profundidad y se colocaron de ocho a nueve semillas de cada genotipo por cavidad. Diez dds, las plántulas se inocularon por separado con una suspensión de urediniosporas de las razas de RH identificadas como CBJ/QQ y MST/TP; y con el aislado 14.2020 de RLA a una concentración de 1 x 10^6 urediniosporas mL^{-1}. Estas esporas fueron suspendidas en aceite mineral (Soltrol® 170; Chevron Phillips Chemical Company) y asperjadas con un atomizador conectado a un compresor de aire. Las plántulas inoculadas con RH y RLA se transfirieron a una cámara bioclimática. Para las primeras, las condiciones fueron de 24 °C y rocío al 100 % por 24 h, mientras que para las segundas fueron de 4 a 7 °C y rocío al 100 % por 2 h. Luego las plántulas se trasladaron al invernadero y diez ddi se registró la reacción de infección a RH con la escala propuesta por Roelfs *et al.* (1992), en donde las lecturas de 0 a 2 se consideran resistentes y de 3 a 4 susceptibles. Para RLA, se utilizó la escala de 0 a 9 propuesta por McNeal *et al.* (1971), en donde las lecturas de 0 a 6 se consideran resistentes y de 7 a 9 susceptibles, basándose en la escala descrita por Huerta-Espino *et al.* (2014) (Cuadro 12 y Cuadro 14), (Figura 7 y Figura 8).

7.7. Evaluación de la incidencia y severidad a royas del trigo bajo condiciones de campo

Durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021, se registró el porcentaje de severidad a RH y RLA; en los VTR, ensayos de líneas experimentales, en las localidades pertenecientes a la región norte de Sinaloa; para este propósito se usó la escala modificada de Cobb, la cual va de 0 - 100 % (Figura 9), y la respuesta del hospedante para cada enfermedad se determinó de acuerdo con Roelfs *et al.* (1992), donde: R= resistente, uredinios diminutos; MR= moderada resistencia, uredinios pequeños; MS= moderada susceptibilidad, uredinios pequeños de tamaño moderado; y S= susceptible, uredinios grandes (Figura 10 y Figura 11).

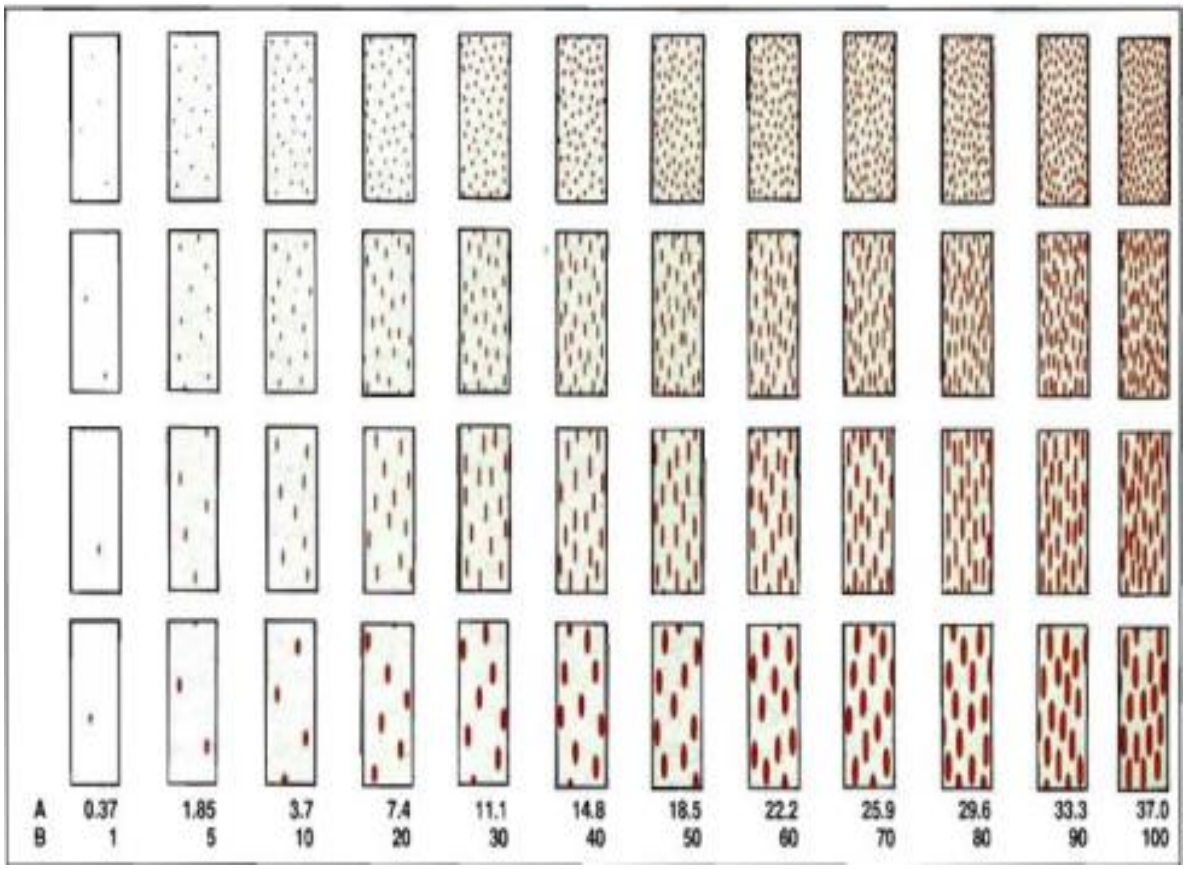

Figura 9. Escala modificada de Cobb: A, porcentaje real ocupado por uredíneas de la roya; B, grado de severidad de la roya de acuerdo con la escala modificada de Cobb, según Peterson *et al.* (1948).

Los monitoreos en campo iniciaron a los 40, 50 y 60 dds para RLA, RH y RNT, de forma respectiva. El primer registro de severidad se efectuó una vez que el genotipo susceptible Morocco alcanzó de 80 a 100% de severidad en la hoja bandera. Por localidad se realizaron tres lecturas, con los datos de severidad se compararon los niveles de resistencia de cada genotipo al examinar los porcentajes obtenidos.

Figura 10. Respuesta de infección del trigo (*Triticum* spp.) a roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.) en donde R: Resistente, MR: Moderada resistencia, MS: Moderada susceptibilidad y S: Susceptible (Roelfs *et al.*, 1992).

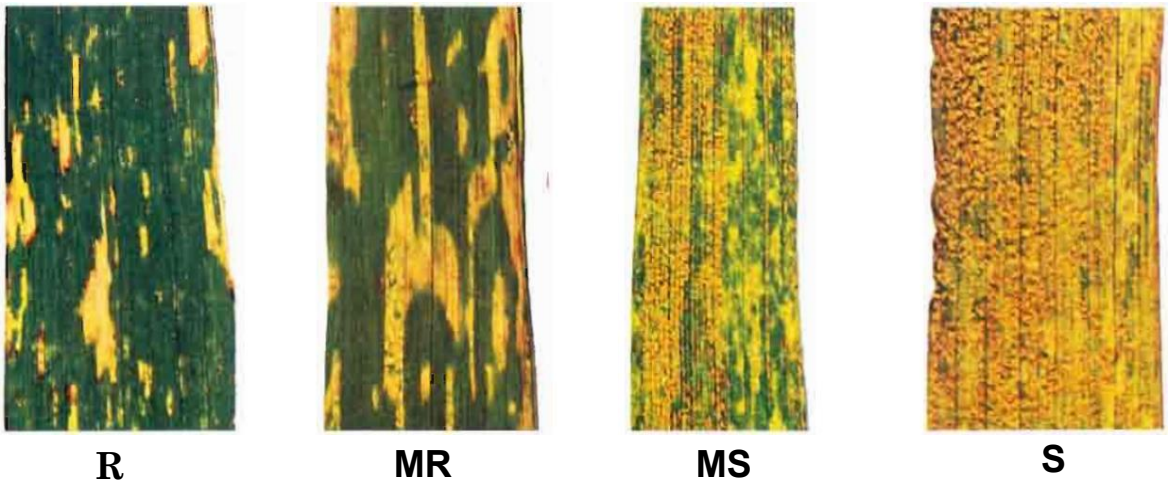

Figura 11. Respuesta de infección del trigo (*Triticum* spp.) a roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* W.) en donde R: Resistente, MR: Moderada resistencia, MS: Moderada susceptibilidad y S: Susceptible (Roelfs *et al.*, 1992).

8. RESULTADOS

8.1. Identificación de razas fisiológicas de *Puccinia triticina*

De las muestras procesadas en el ciclo O-I/2018-2019, se identificaron 15 razas fisiológicas de *P. triticina* (Figura 12). La raza CBJ/QQ, es la que se detectó con la mayor frecuencia (21%), en las variedades Borlaug 100 F2014, Cirno C2008 y Norman F2008, en localidades del Valle del Carrizo, Mpio. de Ahome y Jahuara, Mpio. de El Fuerte, seguida de la raza MST/TP con una frecuencia de 13%, detectada en muestras de trigo recolectadas en las variedades Morocco y Pastor F2000, así como en la línea experimental 68.111/RGB-U//WARD/3/FGO/4/RABI…9 (Figura 13) y (Cuadro 17).

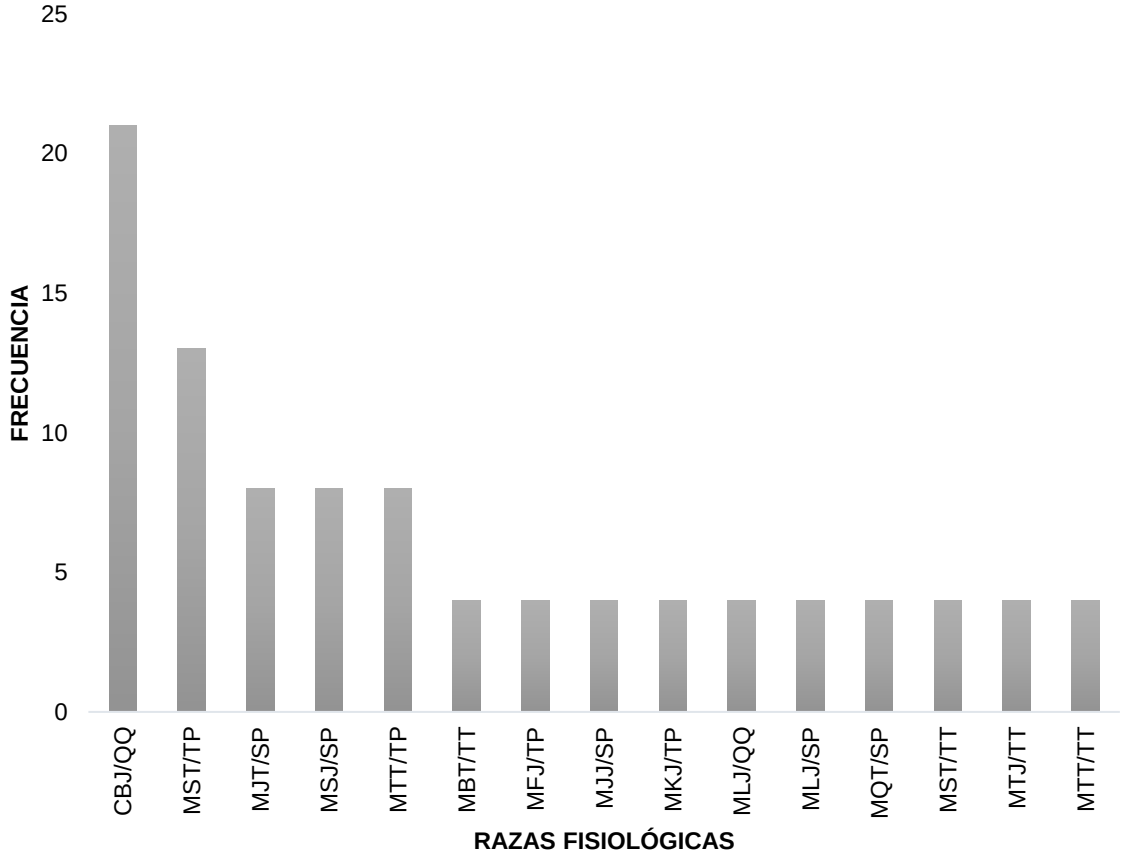

Figura 12. Razas fisiológicas de roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.) identificadas en el norte de Sinaloa, durante el ciclo O-I/2018-2019

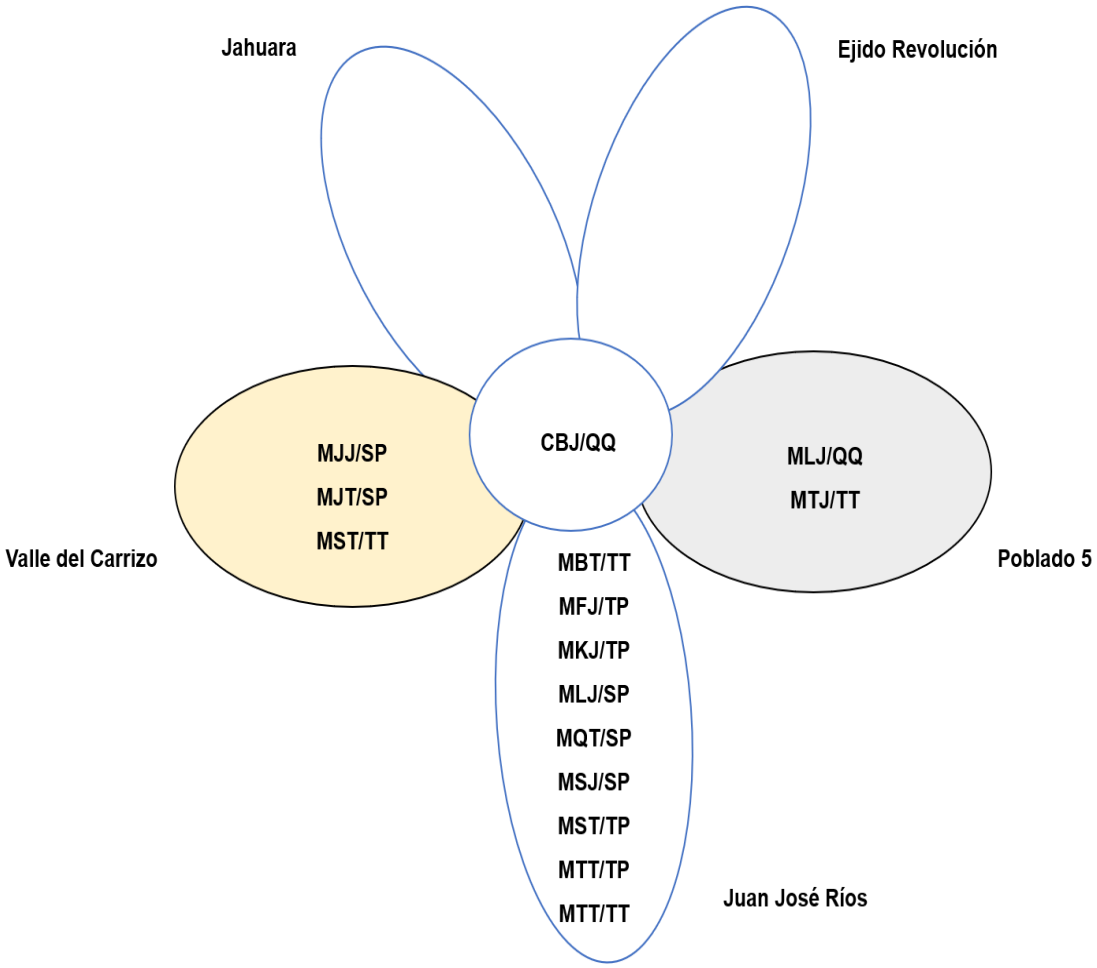

Figura 13. Razas fisiológicas de *Puccinia triticina* E. identificadas en cinco sitios ubicados en el norte de Sinaloa, durante el ciclo O-I/2018-2019.

Cuadro 17. Razas fisiológicas de *Puccinia triticina* E. que se presentaron en variedades de trigo harinero y cristalino en el norte de Sinaloa, durante el ciclo O-I/2018-2019

Variedad	Localidad	Raza
Borlaug 100 F2014	Valle del Carrizo y Jahuara	CBJ/QQ
	Valle del Carrizo	MST/TT

	Juan José Ríos	MQT/SP, MSJ/SP, MTT/TT
Cirno C2008	Valle del Carrizo	CBJ/QQ, MJJ/SP, MJT/SP
Norman F2008	Valle del Carrizo, Ejido Revolución	CBJ/QQ
	Poblado 5. Valle del Carrizo	MLJ/QQ y MTJ/TT

8.2. Identificacion de razas de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* en el LANAREC

De las 75 muestras de hojas con signos de RLA, con base en la metodología propuesta por Huerta-Espino *et al.* (2021), se obtuvieron 20 aislados de *Puccinia striifor*mis f. sp. *tritici* (Cuadro 18). De estos, el aislado 14 fue el más virulento; debido a que registró valores de severidad en el rango de 7 – 9, en 21 de las 30 diferenciales evaluadas.

Cuadro 18. Aislados de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* identificados en el norte de Sinaloa durante el ciclo O-I/2019-2020, en plantas diferenciales de trigo

No. Diferencial	Aislados																			
	6	7	9	14	16	20	23	24	25	90	92	94	103	105	106	108	110	111	112	113
1	8	9	9	9	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	9	9	9
2	8	8	9	9	8	8	9	9	9	8	9	9	9	8	9	8	8	8	8	9
3	8	8	9	9	8	9	8	9	9	8	9	9	9	8	9	8	9	8	8	9
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	8	9	7	9	9	9	9	9	9	8	8	9	9	9	9	8	9	9	9	9
6	7	9	7	9	8	8	9	8	9	5	9	8	8	9	9	8	9	8	8	8
7	0	0	0	0	0	0	0	0	;0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	9	9	8	9	8	8	9	9	9	9	8	9	8	8	8	8	9	8	8	8

9	8	8	8	9	8	8	9	9	8	8	9	9	8	8	8	8	9	8	9	9
10	8	9	9	9	8	8	9	9	9	4	8	9	8	8	8	8	8	9	8	8
11	8	9	9	9	8	9	9	9	8	7	8	9	8	9	8	8	8	9	9	8
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	8	8	9	9	8	8	9	8	8	7	8	8	8	8	9	8	9	9	8	8
15	8	8	8	9	8	8	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
16	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	3	3	2	3	3	3	4	3	3	2
17	3	2	2	3	2	2	2	3	3	2	3	4	2	3	3	2	4	3	3	2
18	8	8	7	9	8	8	9	8	9	4	9	7	8	8	8	8	9	9	8	9
19	9	8	7	9	7	8	8	8	9	4	8	8	8	9	8	7	8	8	8	9
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	7-	7	7	7	8	7	0	8	8	2	7	7	2	7-	7	7	7	8	7	8
22	6	5	6+	4	5	8	4	6	8	5	7	6	6+	6	7	7-	7-	7	7	9
23	7	8	7	8	7	8	7	7	7	7	8	7	7	8	7	8	8	7	7	9
24	8	8	8	9	7	9	8	8	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9
25	7	6+	8	9	7	7	7	7	8	5	8	8	7	8	8	8	8	7	8	9
26	8	8	8	9	9	8	9	9	7	8	7	7	7	7	8	9	8	9	8	7
27	8	7	7	8	9	8	9	9	9	7	8	7	7	8	7	8	8	9	8	9
28	8	7	7	9	9	9	9	9	9	6	8	8	7	8	7	9	9	9	9	8
29	8	7	8	8	8	8	9	9	8	6	8	8	7	7	8	8	8	7	8	8
30	2	2	3	4	3	4	4	3	4	4	5	6	4	3	3	2	3	4	4	2

*En donde Verde: Resistencia; Amarillo: Moderada resistencia y Rojo: Susceptible

8.3. Evaluación en plántula en el LANAREC a las principales razas de *Puccinia triticina* y *Puccinia striiformis f. sp. tritici* identificadas en el norte de Sinaloa

En el Cuadro 19, se presenta la reacción en plántula a las razas de roya de la hoja MST/TP y CBJ/QQ y el aislado de roya lineal amarilla 14.2020, de los genotipos y variedades testigo de trigo harinero, donde se observa que para el aislado de RLA todo el germoplasma fue susceptible, al registrar lecturas de siete en la escala de McNeal *et al.* (1971) y tipo de reacción de campo con moderada susceptibilidad,

Para RH ante la raza MQT/SP, la cual es la más virulenta, se observó poco germoplasma resistente, al registrar una severidad de tres a cuatro en la escala propuesta por Roelfs *et al.* (1992). Sin embargo, las variedades Conatrigo F2015 y Noreste F2018 se comportaron como resistentes. La mayoría del germoplasma posee resistencia a la raza CBJ/QQ, que fue la más frecuente, pero con un espectro de virulencia bajo.

Cuadro 19. Evaluación en plántula de genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), a las principales razas de RLA y RH que inciden en el norte de Sinaloa

		RLA	RH	
No.	Variedad/Genotipo	14.2020	MST/TP	CBJ/QQ
1	KRONSTAD F2004	7	2+	1-
2	ROELFS F2007	7	3	1
3	VILLA JUAREZ F2009	7	3	1-
4	BORLAUG 100 F2014	7	3	;
5	BACOREHUIS F2015	7	3+	1-
6	CONATRIGO F2015	8	1-	1-
7	NORESTE F2018	8	;	1-
8	HANS F2019	8	3+	1-
9	NS.732/HER/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5…	7	3-	1-
10	KSW/SAUAL//SAUAL/3/REEDLING #1	8	3	;
11	ROLF07/SAUAL/3/TRCH/SRTU//KACHU..	8	3	1-
12	NELOKI//SOKOLL/EXCALIBUR	8	4	1-
13	SAUAL/MUTUS/4/KACHU#1//WBLL1*2…	6	4	1-
14	SUP152/BLOUK#1/3/PRL/2*PASTOR*2…	8	3	3
15	KSW/SAUAL//SAUAL/3/2*BORL14	8	3	1-
16	SUP152/BAJ#1/4/BAJ#1/3/KIRITATI…	8	3+	1-
17	WBLL1*2/BRAMBLING//WBLL1*2…	7	3+	1-
18	BECARD/FRNCLN//BORL14	8	X	1-

19	KACHU/BECARD//WBLL1*2…	7	4	1
20	STALION/MUNAL#1//2*BORLG14	8	3+	1-
21	SUP152*2/TECUE #1//2*BORL14	7	3	1-
22	SUP152*2/HUIRIVIS#1/3/WBLL1*2…	6	3+	1-
23	BORL14*2/NAVJ07	7	4	1-
24	KACHU #1//WBLL1*2/KUKUNA*2…	8	4	1-

Cuadro 20. Evaluación en plántula de genotipos de trigo cristalino (*Triticum durum* L.), a las principales razas de RLA y RH que inciden en el norte de Sinaloa

		RLA	RH	
No.	Variedad/Genotipo	14.2020	MST/TP	CBJ/QQ
1	CIRNO C2008	7	;	;
2	ANATOLY C2011	2	2+	2+
3	MOVAS C2011	7	2	3
4	CONASIST C2015	7	3-	;
5	BAROBAMPO C2015	7-	2	3
6	RIO BRAVO C2018	7	3	1-
7	DON GOYO C2019	0	2+	3
8	TADIZ/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA…	0	2-	1
9	CAMAYO//HYDRANASSA30/SILVER_5…	4	;	;
10	AJAIA_12/F3LOCAL (SEL.ETHIO.135.85)	5	;	;
11	SILVER_14/MOEWE//BISU_1/PATKA_3	6	3	1
12	SILVER_14/MOEWE//BISU_1/PATKA_3	4	3	1+
13	E90040/MFOWL_13//LOTAIL_6/3/PROZAN	7	3-	1
14	E90040/MFOWL_13//LOTAIL_6/3/PROZAN	4	1+	;
15	TARRO_1/2*YUAN_1//AJAIA_13/YAZI…	5	2	3
16	KACHU/DANPHE/3/SWSR22T.B./KACHU	7	3	1+
17	KACHU/DANPHE/3/SWSR22T.B./KACHU	7	3+	1+

18	CHEWINK #1/MUTUS//MUTUS*2/HARIL#1	6	;	1
19	TRCH*2//ND643/2*WBLL1/3/BORL14	3	3	1-
20	HUW234+LR34/PRINIA*2//KIRITATI*2…	7	3	;
21	ATTILA/3*BCN//BAV92/3/PASTOR…	6+	3	1-
22	FRANCOLIN#1*2//ND643/2*WBLL1/3/…	7	2+	; 3
23	MUTUS*2//ND643/2*WBLL1/3/BORL14	7	;	0
24	MUTUS*2//ND643/2*WBLL1/4/KACHU/3/	7	3+	1-
25	FRET2*2/KIRITATI//KIRITATI/2*TRCH…	4	3	1-
26	KAUZ//ALTAR84/AOS/3/MILAN/KAUZ…	7	3	1-

8.4. Registro de severidad en campo a *Puccinia triticina* y *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* en el vivero trampa de royas (VTR) durante el ciclo O-I/ 2019-2020

Durante el ciclo O-I/2019-2020, en campo se observó el efecto de la resistencia de planta adulta de los genotipos incluidos en el VTR, en tres localidades pertenecientes al norte de Sinaloa. Los genotipos Bacorehuis F2015, Baroyeca Oro C2013, Borlaug 100 F2014, Cacuke, CI8155, Conatrigo F2015, Don Carlos M2015, Gatcher, Huites, Kasuko, *Lr28*, Nasmar267, Noreste F2018, Quaiu, Quetchehueca Oro C2013, Seri M82 (2,7,9,29), Texcoco F2016, *Yr1*, *Yr5, Yr15*, *Yr17*, *Yr28*(20y), *Yr34*, *Yr35*, *Yr51*, *Yr54*, *YrAld* y *Yrkk* se comportaron como resistentes a RLA (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) (Figura 14), al registrar niveles bajos de severidad y ausencia de signos de la enfermedad en las localidades evaluadas.

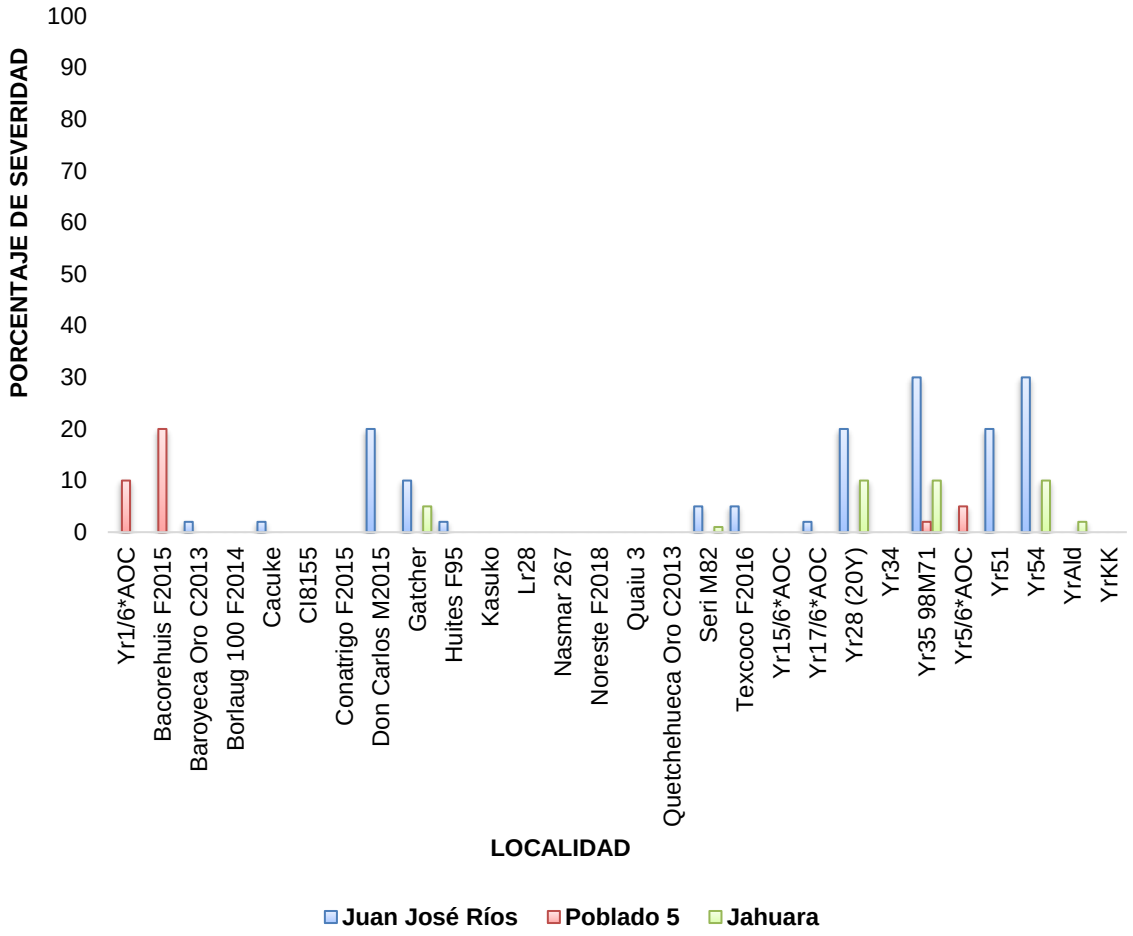

Figura 14. Genotipos de trigo que mostraron resistencia a *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, en tres localidades evaluadas en el norte de Sinaloa, durante el ciclo O-I/2019-2020

En contraste los genotipos Altar 84, AOC-YR*3//LALBMONO1*4.., AOC-YR*3/3/ALTAR 84.., AOC-YR*3/PASTOR, Atil, Atred 1, Atred 2, AVOCET+YRA AVOCET-YRA, Banámichi C2004, Barobampo C2015, Chuan Nong 19, Cirno C2008, Conasist C2015, DW 7276, Francolin #1, Fuertemayo F2016, Iragi, Iumillo, Júpare C2001, Jupateco 73R, Jupateco 73S, Koelz W 11192:AE, LALB PRL 7D, LALB PVN 46, Lalbahadur, Lr19 + Morocco, Marroqui 588, Morocco, Mugami, Nasmar 267, Opata M85, Opata/Pastor, Orizaba 77, Pastor, Pavon F76, PBW343, Pollmer, Ramificado, Rebeca F2000, Río Bravo F2018, Sawali, Siete Cerros T66, ST464, Stamubo, Super Kauz, Super Seri #2, Tatara, Tepoca R, Tepoca S, Trident, Valles F2015, Yr4BL, Yr6/6*AOC, Yr7/6*AOC, Yr8/6*AOC, Yr9/6*AOC,

Yr10/6*AOC, Yr18/3*AOC, Yr24/3*AOC, Yr26/3*AOC, Yr27/6*AOC, Yr28, Yr33, Yr37, Yr57, YrCV/6*AOC, YrSP/6*AOC y WL71 se comportaron como susceptibles a RLA (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), al presentar niveles de severidad superiores al 20%, y aparición de mediana a abundante esporulación en las localidades evaluadas (Figura 15 y Figura 16).

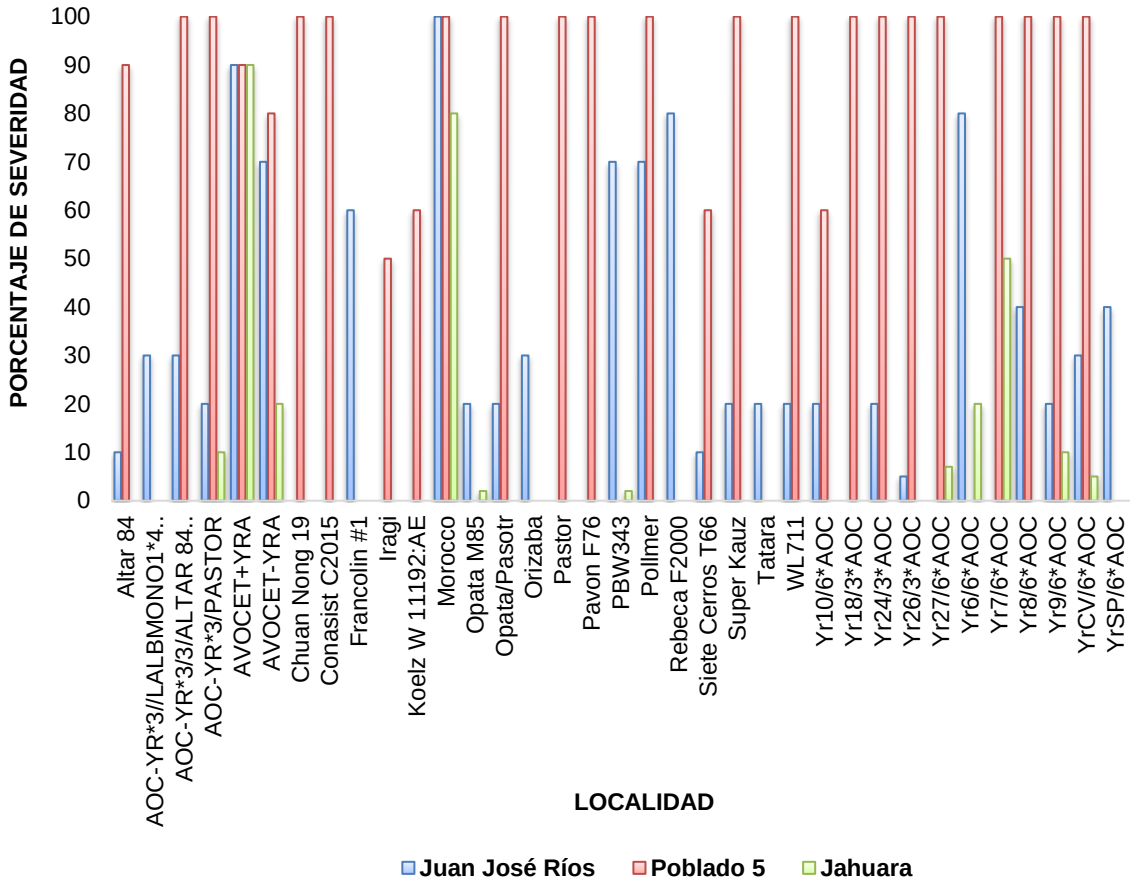

Figura 15. Genotipos de trigo que mostraron susceptibilidad a *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, en tres localidades evaluadas en el norte de Sinaloa, durante el ciclo O-I-2019-2020

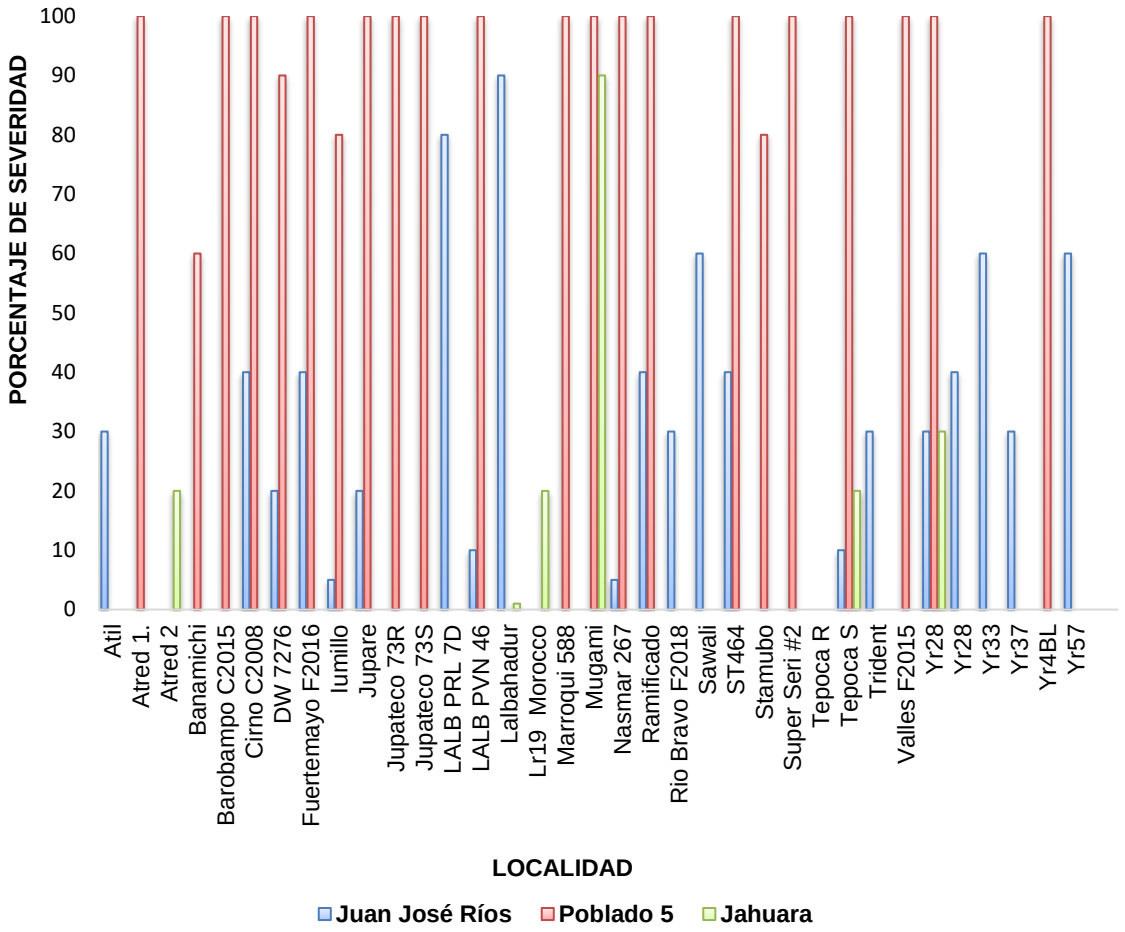

Figura 16. Genotipos de trigo que mostraron susceptibilidad a *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, en tres localidades evaluadas en el norte de Sinaloa, durante el ciclo O-I/2019-2020 (2...continuación).

En la evaluación para RH (*Puccinia triticina* E.); los genotipos Cacuke, Don Carlos M2015, Huites F95, Seri M82 (2,7,9,29), *Yr17, Yr28* (20Y) y *Yr35* se comportaron como resistentes, al presentar porcentajes de severidad inferiores al 20 % y ausencia de signos y síntomas de la enfermedad (Figura 17); debido a que al menos en las localidades de Juan José Ríos y Jahuara, la RH se presenta después del espigamiento, no así en la variedad de trigo cristalino Cirno C2008, la cual en el ciclo O-I/2016-2017 se tornó susceptible debido a la presencia de una nueva raza fisiológica reportada por Huerta-Espino *et al.* (2017), lo que dejó sin alternativas a corto plazo para los productores de trigo cristalino en el noroeste de México.

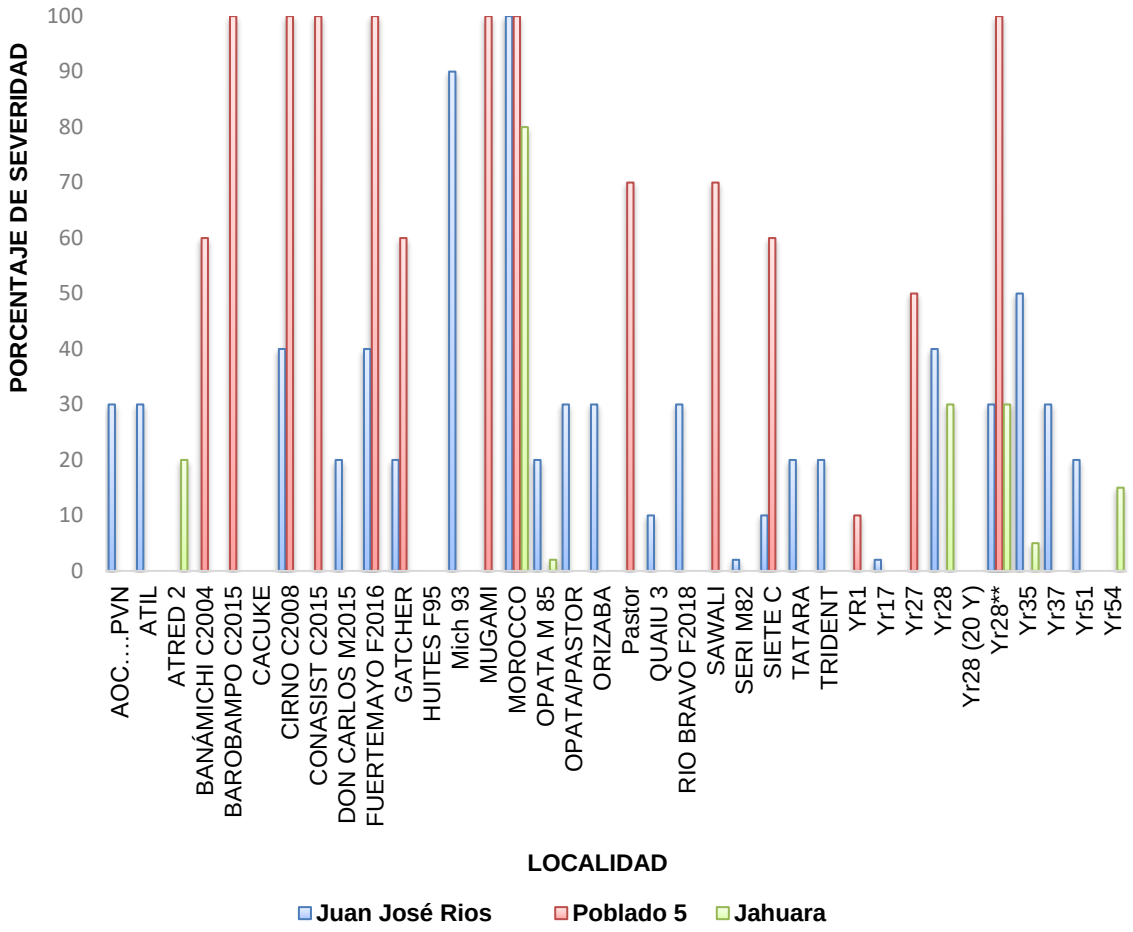

Figura 17. Evaluación de severidad de genotipos de trigo a roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.), en tres localidades ubicadas en el norte de Sinaloa, durante el ciclo O-I/2019-2020

8.4.1. Registro de severidad en campo a *P. triticina* y *P. striiformis* f. sp. *tritici* en el vivero trampa de royas (VTR) durante el ciclo O-I/ 2020-2021

Durante el ciclo O-I/2020-2021 en la localidad de Juan José Ríos, municipio de Guasave. Se determinó que los genotipos Bacorehuis F2015, Barobampo C2015, Baroyeca Oro C2013, Borlaug 100 F2014, Cacuke, Conatrigo F2015, Francolin #1, Huites F95, Kasuko, Nasmar 267, Noreste F2018, Pastor, Pollmer, Quaiu3, Quetchehueca Oro C2013, Seri M82 (2,7,9,29), *Yr5*, *Yr6*, *Yr7*, *Yr9*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr17*, *Yr18*, *Yr24*, *Yr26*, *Yr27*, *YrAld, YrKK* y *YrSP* se comportaron como resistentes a RLA (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) (Figura 18), al registrar bajos niveles de severidad y

ausencia de esporulación; comportamiento similar a la evaluación realizada durante el ciclo O-I/2019-2020. Lo cual indica que las variedades de reciente liberación, mantienen su resistencia a este patógeno a pesar de la presión de inóculo existente en esta región agrícola.

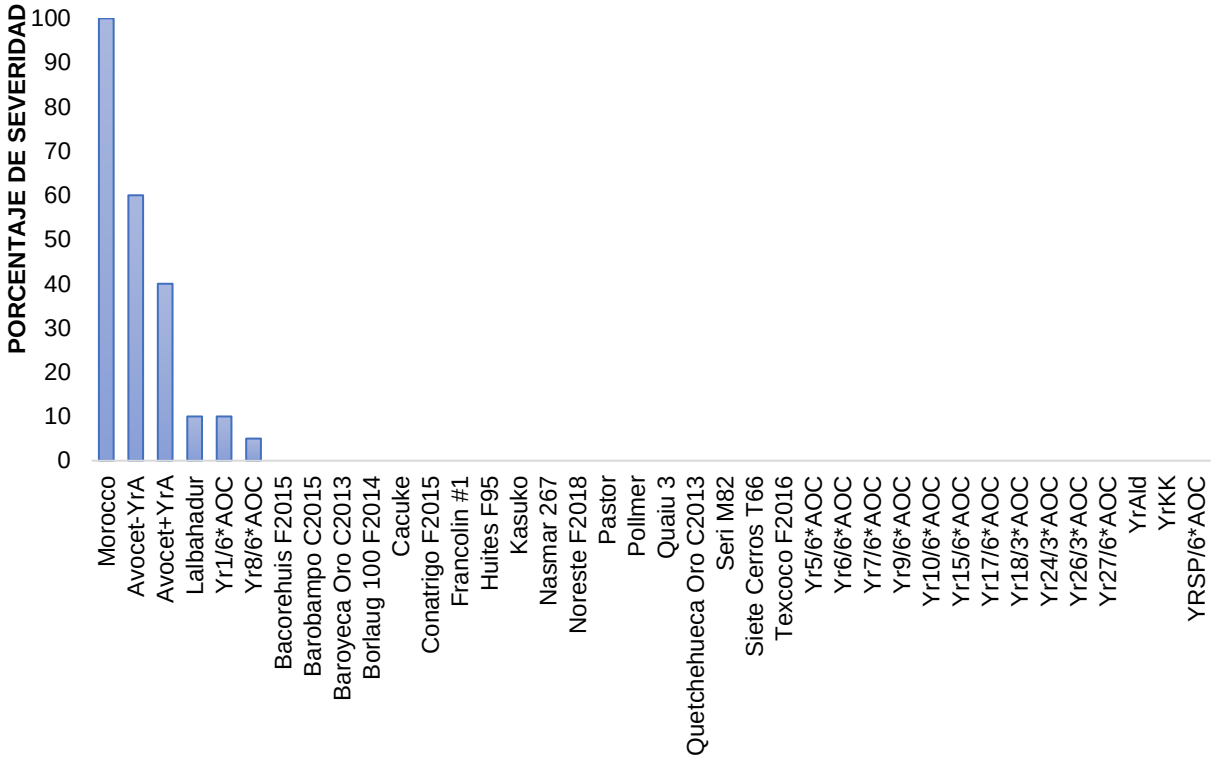

Figura 18. Evaluación de severidad de genotipos de trigo a roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) en la localidad de Juan José Ríos, durante el ciclo O-I/2020-2021

En la evaluación de resistencia de campo a RH (*Puccinia triticina* E.), se identificó que los genotipos Barobampo C2015, Borlaug 100 F2014, Don Carlos M2015, Huites F95, Kasuko, *Lr28*, Nasmar 267, Quaiu 3, Río Bravo F2018, *YrAld* y *YrKK* mostraron ser resistentes a la enfermedad, es decir, los porcentajes de severidad no superan el 20 % en las lecturas de campo, al menos en la localidad de Juan José Ríos, además de que en el ciclo de inverno 2020-2021, la enfermedad se presentó después de la etapa fenológica de espigamiento.

En la Figura 19 se muestra un comportamiento agresivo de *Puccinia triticina,* en el cual observamos que, de los 100 genotipos evaluados, en 27 se presentaron porcentajes de severidad en los rangos de 5 al 100%.

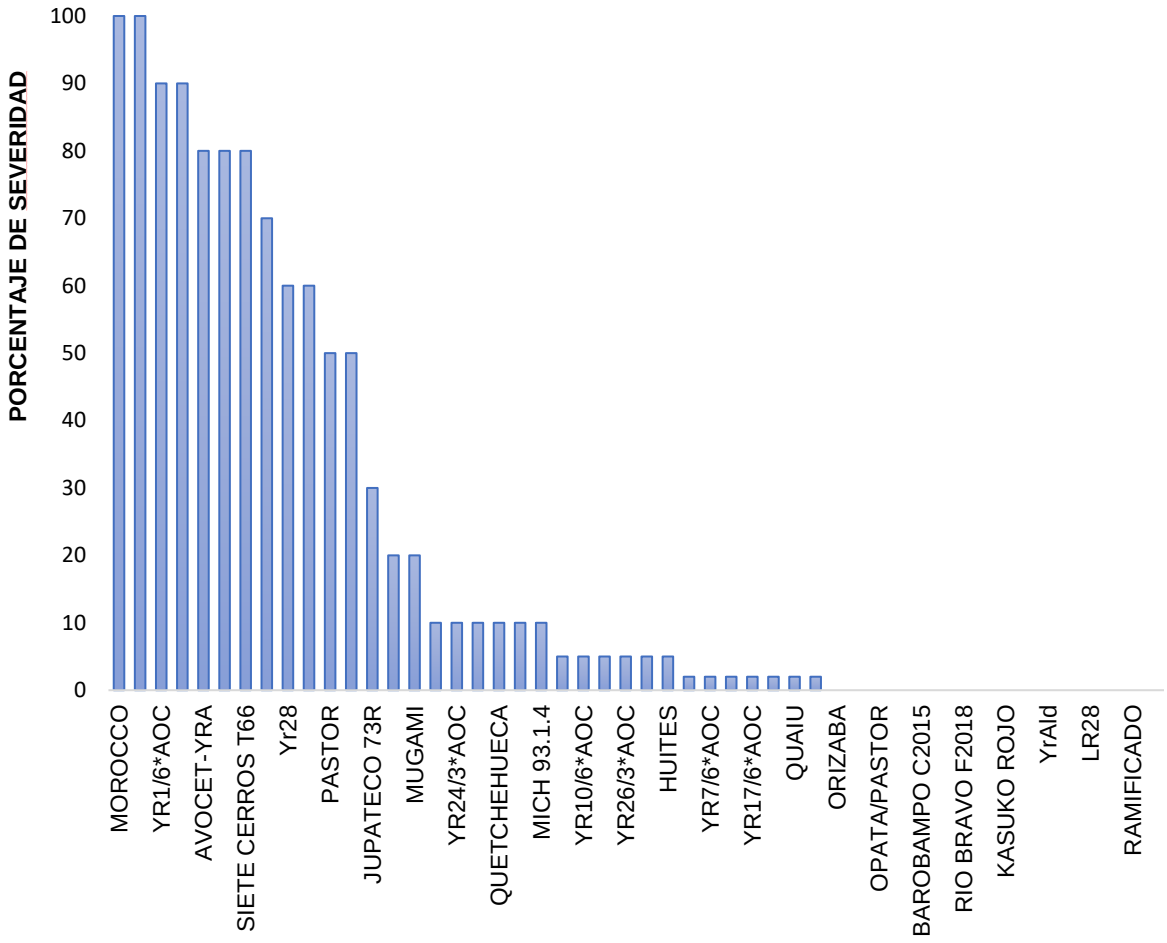

Figura 19. Evaluación de severidad de genotipos de trigo a roya de la hoja (Puccinia triticina E.) en la localidad de Juan José Ríos, durante el ciclo O-I/2020/2021.

8.5. Evaluación de severidad en ensayos de líneas experimentales durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021

8.5.1. Evaluación de genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en campo a la roya lineal amarilla y roya de la hoja

El Cuadro 21 muestra el grado de severidad y reacción de infección de variedades y líneas avanzadas de trigos harineros, evaluadas en la localidad de Juan José Ríos durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021.

Las variedades Borlaug 100 F2014, Roelfs F2007, Villa Juárez F2009, así como las líneas experimentales 15 (KSW/SAUAL//SAUAL/3/2*BORL14), 17 (WBLL 1*2/BRAM//…/BRAMBLING/3/2*BORL14), 20 (STALION/MUNAL#1//2*BORL14) y 22 (SUP152*/HUIRIVIS…/4/SUP152*2/HUIRIVIS #1), mostraron valores bajos de severidad 0 a 5%, y reacción de infección de resistencia a moderada resistencia (R-MR) a RH (*P. triticina*).

Las variedades Kronstad F2004, Bacorehuis F2015, Noreste F2018, Hans F2019 y la línea experimental 10 (KSW//SAUAL/3/REEDLING #1), presentaron moderada resistencia (MR) a *P. triticina*, al registrar valores de severidad de 5 a 10%. De manera similar, las líneas experimentales 12 (NELOKI//SOKOLL/EXCALIBUR), 19 (KACHU/BECARD//../3/FRNCLN*2/TECUE #1) y 23 (BORL 14*2/NAV07) registraron moderada resistencia (MR) a RH. Sin embargo, se observaron valores de severidad de 10 a 20%.

Las variedades Hans F2019 y Noreste F2018 mostraron ser resistentes a RLA, al presentar bajos valores de severidad de 2 a 5% y reacción de infección de resistencia a moderada resistencia (R-MR). En contraste, Ónavas F2009 mostro ser susceptible (S) a RLA y de susceptibilidad moderada a RH, al obtener valores de severidad 60 a 70 MS-S y de 20 a 30 MS, de forma respectiva. Ónavas F2009 en ciclos anteriores ha mostrado bajos niveles de resistencia a estas enfermedades, por lo que su siembra deberá ser con el antecedente que requerirá al menos una aplicación de fungicidas químicos para el manejo de estos problemas fitosanitarios.

Cuadro 21. Evaluación de genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), por su resistencia de campo a las razas de RH y RLA presentes en el norte de Sinaloa, durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021

No.	Genealogía/Pedigrí	Rendimiento (kg ha^{-1})	Roya de la hoja	Roya lineal amarilla
1	KRONSTAD F2004	5613	5-10 MR	40-50 MS
2	ROELFS F2007	6329	2-5 MR-R	5-10 MR
3	VILLA JUAREZ F2009	6163	2 MR-R	
4	BORLAUG 100 F2014	5400	2-5 MR	
5	BACOREHUIS F2015	6475	5-10 MR	
6	CONATRIGO F2015	5842		
7	NORESTE F2018	6150	5-10 MR	2-5 MR
8	HANS F2019	6213	5-10 MR	2-5 MR
9	NS.732/HER/3/PRL/…./FRET2/5/WHEAR/SOKOLL	6846		
10	KSW/SAUAL//SAUAL/3/REEDLING #1	6192	5-10 MR	
11	ROLF07/SAUAL/3/……./KACHU/4/ROLF07/SAUAL	5517		
12	NELOKI//SOKOLL/EXCALIBUR	6600	10-20 MR	
13	SAUAL/MUTUS/4/…./KUKUNA/3/BRBT1*2/KIRITATI	5867		
14	SUP152/BLOUK#1/3/...VORB/4/SUP152/BLOUK#1	4992		
15	KSW/SAUAL//SAUAL/3/2*BORL14	6758	2-5 MR	
16	SUP152/BAJ#1/4/BAJ…..PASTOR/5/SUP152/BAJ#1	4633		

17	WBLL1*2/BRAM//…../BRAMBLING/3/2*BORL14	5933	2-5 MR	
18	BECARD/FRNCLN//BORL14	5554		
19	KACHU/BECARD//……/3/FRNCLN*2/TECUE #1	6521	10-20 MR	
20	STALION/MUNAL#1//2*BORLG14	6238	2-5 MR	
21	SUP152*2/TECUE #1//2*BORL14	5717		
22	SUP152*2/HUIRIVIS…..../4/SUP152*2/HUIRIVIS #1	5854	2-5 MR	
23	BORL14*2/NAVJ07	5942	10-20 MS	
24	KACHU#1//WBLL1*2/KUKUNA*2/6/…./BOW//KAUZ	5904	5-10 MR	
25	ONAVAS F2009		20-30 MS	60-70 MS-S

*R= Resistente, MR=Moderada resistencia, MS=Moderada susceptibilidad, S=Susceptible.

8.5.2. Evaluación de genotipos de trigo cristalino (*Triticum durum* L.) en campo a la roya lineal amarilla y roya de la hoja

El Cuadro 22 muestra el grado de severidad y reacción de infección de variedades y líneas avanzadas de trigo cristalino, evaluadas en la localidad de Juan José Ríos durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021.

Las variedades Cirno C2008, Movas C2011, Atil C2000 y la línea experimental 12 (SILVER_14/MOEWE//BISU…9/RASCON_37//JUP) mostraron moderada resistencia (MR) a RH en etapa de planta adulta, con valores de severidad de 5 a 10%; sin embargo, para RLA mostraron reacción de infección de moderada susceptibilidad a susceptible (MS-S). Anatoly C2011, registró los niveles más elevados de severidad a *P. triticina* (20 a 30%) y reacción de infección de moderada susceptibilidad (MS), por lo cual no se recomienda para siembra en esta región agrícola.

Quetchehueca Oro C2013 y Conasist C2015, así como las líneas experimentales 9 (CAMAYO//HYDRANASSA30/…...12/2*RASCON_21) y 15

(TARRO1/2*YUAN....SNITAN/6/SOOTY9/RASCON_) fueron los genotipos con mejores niveles de resistencia a RLA, al registrar lecturas de severidad de 2 a 10%, y reacción de infección de moderada resistencia (MR).

Río Bravo C2018, Barobampo C2015, Atil C2000 y las líneas experimentales 10 (AJAIA_12/F3LOCAL (SEL. ETHIO…/8/SOOTY_9/RA), 11 (SILVER_14/MOEWE//BISU…/4/GREEN_14//Y), 12 (SILVER_14/MOEWE//BISU…9/RASCON_37//JUP), 13 (E90040/MFOWL_13//…/3/GUANAY/4/GREEN_14//) y 14 (E90040/MFOWL_13//…135.85) //PLATA_13/3/) registraron valores de severidad de 10 a 40%, y reacción de infección de moderada resistencia a moderada susceptibilidad (MR-MS) a RLA.

Las variedades Cirno C2008 y Movas C2011 presentaron mayor susceptibilidad a RLA, al mostrar valores de severidad de 70 a 80% y reacción de infección de moderada susceptibilidad a susceptible (MS-S).

Cuadro 22. Evaluación de genotipos de trigo cristalino (*Triticum durum* L.), por su resistencia de campo a las razas de RH y RLA presentes en el norte de Sinaloa, durante los ciclos O-I/2019-2020 y O-I/2020-2021

No.	Genealogía/Pedigrí	Rendimiento (kg ha^{-1})	Roya de la hoja	Roya lineal amarilla
1	CIRNO C2008	6129	5-10 MR	70-80 MS-S
2	ANATOLY C2011	5288	20-30 MS	
3	MOVAS C2011	6221	5-10 MR	70-80 MS-S
4	CONASIST C2015	6217		5-10 MR-R
5	BAROBAMPO C2015	5592		20-30 MS
6	RÍO BRAVO C2018	7417		10-20 MR
7	TADIZ/9/USDA595/3/D67.3 /…./HUI/YAV79/8/POD_9	6842		

8	DON GOYO C2019	5983		
9	CAMAYO//HYDRANASSA 30/…...12/2*RASCON_21	4879		5-10 MR
10	AJAIA_12/F3LOCAL(SEL. ETHIO…./8/SOOTY_9/RA	7329		20-30 MS
11	SILVER_14/MOEWE//BISU …../4/GREEN_14//Y	7067		30-40 MS
12	SILVER_14/MOEWE//BISU …..9/RASCON_37//JUP	6554	5-10 MR	10-20 MR
13	E90040/MFOWL_13//…../3 /GUANAY/4/GREEN_14//	5075		10-20 MS
14	E90040/MFOWL_13//…...1 35.85) //PLATA_13/3/	5896		10-15 MR
15	TARRO1/2*YUAN....SNITA N/6/SOOTY9/RASCON_	6913		2-5 MR
16	QUETCHEHUECA ORO C2013			2 MR
17	BAROYECA ORO C2013			
18	ATIL C2000		5-10 MS	30 MS
19	BANAMICHI C2004			
20	ALTAR 84			5-10 MR

*R= Resistente, MR=Moderada resistencia, MS=Moderada susceptibilidad, S=Susceptible.

9. DISCUSIÓN

En México la raza de *P. triticina* CBJ/QQ fue reportada por primera vez en Guanajuato por Huerta-Espino y Singh (1994) de aislados recolectados en la variedad Oasis 86. Ésta solo se recomendaba para su siembra en los estados de Sinaloa y Sonora, y conservaba su resistencia. Sin embargo, fue hasta el año 1994 que debido a una mutación surgió una nueva raza, virulenta al gen *Lr19*. Esta raza fue identificada en el presente estudio con la mayor frecuencia (21%) en las variedades Borlaug 100 F2014, Cirno C2008 y Norman F2008 en la región del Valle del Fuerte y Valle del Carrizo, por lo que podemos afirmar que se encuentra distribuida en su totalidad en la región productora de trigo del norte de Sinaloa. La

raza CBJ/QQ comparte cierta similitud con las razas CBJ/QL y CBJ/QB reportadas por Singh (1991) e identificadas en el estado de Tlaxcala. Las 14 razas restantes son de nuevo reporte, debido a que no existen trabajos previos de monitoreo e identificación de ellas. Singh y Dubin (1997a) señalan que las razas más comunes en México, desde su identificación en 1994, son MBJ/SP y MCJ/SP; sin embargo, éstas no se hicieron registraron en la presente investigación. De las razas no reportadas, la más frecuente fue MST/TP con un 13%, seguida de MJT/SP, MSJ/SP y MTT/TP con un 8%. La raza MST/TP se recolectó del genotipo Morocco el cual es susceptible a la mayoría de las razas de royas de trigo en el mundo, y el cual se siembra como genotipo de dispersión de inóculo (Sauceda-Acosta *et al*., 2015). La raza más virulenta, es decir, por vencer la resistencia en el hospedante hacia un número de genes, fue la MTT/TT, la cual se presentó en el 4% del total de aislados y solo presenta avirulencia a los genes *Lr2a* y *Lr2c*. Esta raza se detectó en la variedad de trigo harinero Borlaug 100 F2014, la cual desde su liberación hasta el ciclo O-I/ 2017-2018, no se reportaba virulencia de alguna raza de *P. triticina* en Sinaloa, de acuerdo a lo reportado por Chávez-Villalba *et al.* (2021), y fue hasta el ciclo de invierno 2018-2019 cuando se recolectó en dicha variedad en trigo establecido en la localidad de Juan José Ríos, del municipio de Guasave. De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, es necesario continuar con los monitoreos constantes para conocer su frecuencia en cada ciclo y determinar si se incrementa su presencia.

Hovmoller *et al.* (2011) indicaron que desde el año 2000, las epidemias de mayor impacto causadas por la RLA se han presentado en zonas más cálidas, donde la enfermedad se consideraba antes sin importancia o ausente. En la región triguera del norte de Sinaloa, desde hace cinco años, la RLA se ha convertido en la principal limitante fitosanitaria en etapas tempranas del ciclo del cultivo, ya que la infección por esta roya inicia en etapas de plántula y amacollamiento (datos no publicados por la Junta Local de Sanidad Vegetal del Valle del Carrizo), lo anterior coincide por lo mencionado por Schwessinger (2017), quien afirma que la base de este cambio

parece ser la tolerancia sin precedente del patógeno a temperaturas más elevadas, aunado a la capacidad de causar infección en un periodo de tiempo más corto, los nuevos biotipos del patógeno son más agresivos y tienen la capacidad de infectar a variedades consideradas resistentes con anterioridad. En el presente estudio, en 30 de las 51 diferenciales se puede observar que la mayoría de los aislados comparten cierta similitud con las razas CMEX14.25 y CMEX14.191 identificadas en El Bajío, y reportadas en estudios previos por Huerta-Espino *et al.* (2015). Estas razas tienen virulencia para la combinación de genes *Yr27* y *Yr31*. El aislado más virulento identificado fue el 14.2020, de acuerdo a la escala propuesta por McNeal *et al.* (1971), registró un valor de 9, es decir, presenta virulencia para el gen *Yr27* y avirulencia para el gen *Yr31* con un 4 en la escala. Es importante mencionar que estos genes causaron grandes pérdidas en las variedades Luminaria F2012 y Nana F2007, variedades con mayor superficie de trigo harinero sembradas en los Valles Altos de Mexico y El Bajío, de forma respectiva.

En Mexico, *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* mantiene una evolución constante en todas las zonas productoras de trigo, de 2014 a 2017, en estudios realizados por Huerta-Espino y Singh (2017) se identificaron las razas MEX16.03 y MEX16.04, con nuevas combinaciones de virulencia hacia los genes *Yr10* y *Yr24;* en el presente estudio, no se detectó virulencia para los genes *Yr1*, *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24*, *Yr26* y *YrSp*.

La variedad de trigo harinero Borlaug 100 F2014, la más sembrada en el norte de Sinaloa, basa su resistencia en el gen *Yr17*; para la mayoría de razas de RLA, en la presente investigación podemos observar que los 20 aislados identificados tienen virulencia para ese gen, por lo que, en los últimos años en Sinaloa, cuando las condiciones son óptimas para el desarrollo de la epidemia, afecta a esta variedad desde etapas tempranas. Por lo anterior instituciones nacionales e internacionales como el INIFAP y CIMMYT, han concentrado sus esfuerzos en diversas investigaciones para transferir los genes de resistencia cualitativa *Yr5a* y *Yr15* (Valdez-Rodríguez *et al*., 2020) a la variedad Borlaug 100 F2014 para extender su

resistencia y proteger a la variedad de el surgimiento de nuevas razas virulentas a estos genes.

La variedad de trigo harinero Conatrigo F2015, posee los genes *Lr24* y *Lr46* que les confieren resistencia a las razas de RH presentes en México; además de los genes *Yr29* y *Yr30* que brindan resistencia en planta adulta a RLA (Villaseñor-Mir *et al.*, 2020a). Estudios realizados por Rodríguez-García *et al.* (2020), señalan que Conatrigo F2015 posee resistencia en etapa de plántula y planta adulta a las razas CBJ/QQ y MST/TP, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio. Villaseñor-Mir *et al.* (2020b) señalan que la variedad de reciente liberación Noreste F2018, presenta bajos niveles de infección a ambas royas, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio para RH. Sin embargo, esto no ocurrió para RLA ya que en ésta se registraron altos niveles de severidad.

En el Cuadro 22 se presenta la reacción en plántula en genotipos de trigo cristalino a la RLA y RH. En la presente evaluación se observó que para RLA, las variedades Anatoly C2011 y Don Goyo C2019 poseen resistencia de genes mayores, lo que resulta de utilidad para los programas de fitomejoramiento de este cereal, ya que la variedad de reciente liberación Don Goyo C2019, se recomienda para siembra bajo condiciones de riego en el noroeste de México (Alvarado-Padilla *et al*., 2020). En la evaluación a la raza MST/TP de RH, la mayoría de las variedades mostraron moderada resistencia a susceptibilidad a la enfermedad, al registrar valores de severidad de 2 a 4 en la escala propuesta por Roelfs *et al.* (1992). Cirno C2008 mostro ser resistente en plántula a las razas CBJ/QQ y MQT/SP, quizá debido a la presencia del progenitor Camayo, lo cual coincide con lo reportado por Figueroa-López *et al.* (2010).

Estudios realizados por García-León *et al*. (2018) y Rodríguez-García *et al.* (2019), demuestran que el genotipo Huites posee genes de resistencia a las tres royas del trigo, y se mantiene efectivo como progenitor para resistencia a royas en los programas de mejoramiento de este cereal. En el presente estudio Huites se comportó con niveles máximos de severidad de 2 MR-R en la localidad de Juan

José Ríos, según la escala de Cobb modificada por Peterson *et al.* (1948), la cual relaciona el porcentaje real ocupado por uredinios de la roya con el grado de severidad (Roelfs *et al*., 1992), mientras que en las localidades de Jahuara y Poblado 5, no se presentó roya en el genotipo Huites.

En la Figura 15 y Figura 16 se observan solo los genotipos que mostraron susceptibilidad o moderada susceptibilidad en campo a RLA. Rodríguez-García *et al.* (2019a) mencionan que la variedad Orizaba 77 posee buenos niveles de resistencia a *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, sin embargo, para las razas presentes en Sinaloa no mostró los niveles de resistencia esperados al presentar valores de severidad superiores al 30%.

La variedad de trigo cristalino Conasist C2015, de reciente liberación para zonas bajo condiciones de riego, se evaluó por Hortelano-Santa Rosa *et al.* (2020) con datos que mostraban resistencia. En las localidades del norte de Sinaloa, no se comportó de la misma forma ya que mostro ser susceptible a las razas de RLA, al presentar valores de severidad superiores al 90%, por lo que se tomó la decisión de no recomendarla para siembra en las regiones trigueras de Sinaloa, y si se recomendaba, debería ser bajo un sistema de control químico. La realización de estudios como el presente permite evaluar los genotipos en campos antes de que sean liberados.

En ensayos como este, donde contrastamos el estudio de las razas fisiológicas de royas presentes en una zona agroecológica específica, como es el caso de Sinaloa, se debe caracterizar qué aislados provocan enfermedad en el cultivo de trigo, así como evaluar la resistencia del germoplasma, y con ello recomendar las variedades aptas para siembra, tanto por su resistencia como por el rendimiento. Diversos estudios realizados en los últimos años por Singh y Huerta-Espino *et al.* (2011), afirman que la estrategia que mejor combate las royas del trigo en todo el mundo es el control genético, basado en utilizar variedades con resistencia a las diversas razas fisiológicas de royas. Por esta razón, se busca generar variedades que posean resistencia durable (poligénica, de planta adulta, horizontal o cuantitativa)

basada en genes que confieren resistencia de patogenia lenta (slow rusting; Singh *et al.*, 2001) en combinación con los genes de resistencia de plántula o resistencia gen por gen. En el caso de la RLA se deben combinar de cuatro a cinco genes de efecto aditivo para reducir el progreso de la enfermedad a niveles de severidad mínimos (Singh *et al*., 2000; 2011). Hasta la fecha se han caracterizado 77 genes que confieren resistencia a RLA y RH (McIntosh *et al.*, 2017); y de éstos, Lr34/Yr18/Pm38/Sr57 (Singh *et al.*, 2012), Lr46/Yr29/Pm39/Sr58 (Singh *et al.*, 2013) y Lr67/ Yr46/Pm46/Sr55 (Herrera-Foessel *et al.*, 2014), tienen efecto pleiotrópico y confieren Resistencia de Planta Adulta (RPA).

En la presente evaluación, la variedad Cirno C2008 se comportó como susceptible a RLA, con registros de severidad en campo de 70 a 80% y reacción de infección de moderada susceptibilidad a susceptible (MS-S); a la par de la variedad de trigo harinero Ónavas F2009, la cual muestra porcentajes de severidad de 20 a 30 % de severidad a RH y 60 a 70 % a RLA, lo que indica que esta variedad ya no se recomienda para su siembra en campo, y si se siembra deberá ser con el antecedente que requerirá al menos una aplicación de fungicida.

Las variedades de reciente liberación como Hans F2019 y Noreste F2018 mostraron ser resistentes a RLA, al mostrar niveles de severidad de 2 a 5% y reacción de infección de resistencia a moderada resistencia (R-MR), lo que nos indica que tienen oportunidad para su siembra en la zona triguera del norte de Sinaloa. Es importante destacar que la variedad más sembrada hasta el momento en Sinaloa, Borlaug 100 F2014, mantiene su resistencia a RH en campo, hay evidencia de los genes que le confieren inmunidad.

Estudios realizados por Villaseñor-Mir *et al.* (2020a) y Rodríguez-García *et al.* (2020) señalan que la variedad Conatrigo F2015 posee genes de resistencia que le confieren resistencia en planta adulta a RLA y RH, lo cual se comprueba en el presente estudio al registrar bajos niveles de severidad. En una evaluación realizada por Rodríguez-Garcia *et al.* (2020), bajo condiciones de invernadero se indica que las variedades Villa Juárez F2009, Borlaug 100 F2014 y Bacorehuis F2015

muestran moderada susceptibilidad en planta adulta a la raza de RH; MCT/SP. Sin embargo, Kronstad F2004, Roelfs F2007, Noreste F2018 y Hans F2019 registraron moderada susceptibilidad a susceptibilidad a esta raza, lo cual es contrastante con los porcentajes de severidad obtenidos en campo en el norte de Sinaloa.

10. CONCLUSIÓN

El estudio del patosistema de las royas en el cultivo de trigo es de importancia regional en el norte de Sinaloa, la cual es la principal zona de producción de trigo del Estado. El conocimiento de la diversidad de razas prevalentes, así como su comportamiento e incidencia en las principales variedades recomendadas para siembra permitirá efectuar acciones en contra de estas enfermedades. Con el presente trabajo se comprueba que la variedad Borlaug 100 F2014 mantiene su resistencia a pesar de llevar más de seis años en el mercado, y los genotipos de reciente liberación de trigos harineros Noreste F2018 y Hans 2019 al mostrar niveles bajos de severidad a *P. triticina* y *P. striiformis* f. sp. *tritici* en campo y a RH en etapa de plántula nos muestra que existen avances en el mejoramiento genético de este cereal, pero es necesario realizar más evaluaciones para monitorear la constante variación de razas de los patógenos existentes en la región, ya que el Valle del Fuerte y Valle del Carrizo son por excelencia zonas trigueras con potencial productivo alto.

LITERATURA CITADA

Aime M, Bell C y Wilson A. 2018. Deconstructing the evolutionary complexity between rust fungi (Pucciniales) and their plant hosts. Studies in Mycology 89: 143-152. https://doi.org/10.1016/j.simyco.2018.02.002

Aime M, Toome M y McLaughlin D. 2014. Pucciniomycotina. Pp: 271-294, *In*: Systematics and evolution. Springer, Berlín, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55318-9_10

Alvarado-Padilla J, Villaseñor-Mir H, Huerta-Espino J, Hortelano-Santa Rosa R y Martínez-Cruz E. 2020. DON GOYO C2019, Nueva variedad de trigo cristalino para áreas de riego en México. Memoria de XXXII Semana Internacional de Agronomía. Pp: 296-300. faz.ujed.mx/siafaz/memorias/202032.pdf

APG IV. 2016. Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. https://doi.org/10.1111/boj.12385

Aquino P, Carrion F y Calvo R. 2002. Selected wheat statistics. *In*: ‘‘CIMMYT 2000–2001 World Wheat Overview and Outlook: Developing No-Till Packages for Small Scale Farmers’’ (J. Ekboir, ed.), CIMMYT, Mexico, D.F. 52-62.

Atlas Agroalimentario. 2020. Consultado en línea (5 de mayo de 2021): https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2020/Atlas-Agroalimentario-2020

Beddow J, Pardey P, Chai Y, Hurley T, Kriticos D, Braun H, Park R, Cuddy W y Yonow T. 2015. Research investment implications of shifts in the global geography of wheat stripe rust. Nature Plants 1: 1-5. http://doi.org/10.1038/nplants.2015.132

Bolton M, Kolmer J y Garvin D. 2008. Wheat leaf rust caused by Puccinia triticina. Molecular plant pathology 9: 563-575. https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2008.00487.x

CANIMOLT. Camara Nacional de la Industria Molinera de Trigo. 2016. (Consultado en línea el 9 de febrero de 2021). http://canimolt.org/wp-content/uploads/2018/05/Canimolt2016-190717.pdf

CESAVESIN. Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Sinaloa. 2019. (Consultado en línea el 20 de noviembre de 2021). https://www.cesavesin.org.mx/cms/

Chávez-Villalba G, Camacho-Casas M, Alvarado-Padilla J, Huerta-Espino J, Villaseñor-Mir H, Ortiz-Monasterio J y Figueroa-López P. 2021. BORLAUG 100, VARIEDAD DE TRIGO HARINERO PARA CONDICIONES DE RIEGO DEL NOROESTE DE MÉXICO. Revista Fitotecnia Mexicana 44: 123-123. https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/856

Chen W, Wellings C, Chen X, Kang Z y Liu T. 2014. Wheat stripe (yellow) rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. Molecular Plant Pathology 15: 433-446. https://doi.org/10.1111/mpp.12116

Chen X. 2005. Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on wheat. Canadian Journal of Plant Pathology 27: 314-337. https://doi.org/10.1080/07060660509507230

Chester K. 1946. The Nature and Prevention of the Cereal Rusts as Exemplified in the Leaf Rust of Wheat. Waltham, MA: Chronica Botanica. XIV, 269 p. https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015069521741&view=1up&seq=9

CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2016. Building resilience to risk. CIMMYT Annual Report 2015. CDMX, México. 48 p. https://www.cimmyt.org/tag/cimmyt-annual-reports/

Delgado-Sánchez L, Huerta-Espino J, López-Peralta M, Benítez-Riquelme I y Hernández-Meneses E. 2016. Genética de la Resistencia a *Puccinia triticina* Eriks. en Trigos Cristalinos Invernales. Rev. Fitotec. Mex. 39: 133-139. https://www.redalyc.org/pdf/610/61046502004.pdf

Devadas R, Lamb D, Simpfendorfer S y Backhouse D. 2009. Evaluating ten spectral vegetation indices for identifying rust infection in individual wheat leaves. Precision Agriculture 10: 459-470. https://doi.org/10.1007/s11119-008-9100-2

Dubin H y Brennan J. 2009. Combating stem and leaf rust of wheat: Historical perspective, impacts, and lessons learned. IFPRI Discussion Paper 910. Washington, D.C. Intl Food Policy Res Inst. 55 p. https://www.ifpri.org/publication/combating-stem-and-leaf-rust-wheat

Duveiller E, Singh R, Singh P, Dababat A y Mezzalama M. 2012. Wheat diseases and pests: a Guide for Field Identification (2nd Edition). CIMMYT. Mexico, D.F., Mexico. 138 p. https://www.academia.edu/11471947/Wheat_Diseases_and_Pests_A_Guide_for_Field_Identification_2nd_Edition_

Dyck P y Johnson R. 1983. Temperature sensitivity of genes for resistance in wheat to *Puccinia recondita*. Canadian Journal of Plant Pathology 5: 229-234. https://doi.org/10.1080/07060668309501601

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2019. FAO Statistical Data base. Consultado en línea (23 de junio de 2021): http://www.fao.org/faostat/es/#rankings/countries_by_commodity

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. FAO Statistical Database. Consultado en línea (17 de noviembre de 2020): http://faostat3.fao.org/home/E

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020. Consultado en línea (21 de septiembre de 2020): http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/

INAFED. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. 2010. Consultado en línea (09 de septiembre de 2021): http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM25sinaloa/municipios/25001a.html

Feldman M and Levy A. 2015. "Origin and evolution of wheat and related Triticeae species". *In*: Alien introgression in wheat (eds. Molnár-Láng, M., Ceoloni, C. & Doležel, J.). Springer, Cham Pp:21-76. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23494-6_2

Figueroa-López P, Félix-Fuentes J, Fuentes-Dávila G, Valenzuela-Herrera V, Chávez-Villalba G y Mendoza-Lugo J. 2010. CIRNO C2008, nueva variedad de trigo cristalino con alto rendimiento potencial para el estado de Sonora. Revista mexicana de ciencias agrícolas 1: 739-744. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342010000500016&script=sci_abstract&tlng=pt

Fuentes-Dávila G, Figueroa-López P, Camacho-Casas M, Chávez-Villalba G. y Félix-Fuentes J. 2014. 'Quetchehueca Oro C2013', nueva variedad de trigo cristalino para el noroeste de México. Revista Fitotecnia Mexicana 37: 399-401. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802014000400013&script=sci_arttext

García-León E, Huerta-Espino J, Villaseñor-Mir H, Sandoval-Islas J, Leyva-Mir S, Benítez-Riquelme I y Cruz-Izquierdo S. 2018. Genética de la resistencia a la roya del tallo en planta adulta en genotipos élite de trigo harinero. Revista Fitotecnia Mexicana 41: 385-392. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018773802018000400385&script=sci_arttext

García-León E, Rodríguez-Garcia M, Llaven-Valencia G y Calderón-García L. 2019. Razas fisiológicas de roya común en el cultivo de trigo en el norte de Sinaloa. INIFAP-CEVAF. Folleto Técnico No. 26. Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa, México. 2p.

Goncharov N, Bannikova S and Kawahara T. 2007. Wheat artificial amphiploids involving the Triticum timopheevii genome: Their studies, preservation and reproduction. Genet. Resour. Crop Ev. 54: 1507–1516. https://doi.org/10.1007/s10722-006-9141-1

Herrera-Foessel S, Singh R, Huerta-Espino J, Yuen J and Djurle A. 2005. New genes for leaf rust resistance in CIMMYT durum wheat. Plant Disease 89: 809-814. https://doi.org/10.1094/PD-89-0809

Herrera-Foessel S, Singh R, Lillemo M, Huerta-Espino J, Bhavani S, Singh S, Lan C, Calvo-Salazar V and Lagudah E. 2014. Lr67/ Yr46 confers adult plant resistance to stem rust and powdery mildew in wheat. Theor. Appl. Genet. 127: 781- 789. https://doi.org/10.1007/s00122-013-2256-9

Hortelano-Santa Rosa R, Villaseñor-Mir H, Huerta-Espino J, Martínez-Cruz E, Solís-Moya E, Alvarado Padilla J … y Ireta-Moreno J. 2020. Conasist C2015, nueva variedad de trigo macarronero (*Triticum durum* Desf.) para siembras de riego en México. Revista Fitotecnia Mexicana 43: 127-129. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018773802020000100127&script=sci_arttext

Hovmøller M, Sørensen C, Walter S and Justesen A. 2011. Diversity of *Puccinia striiformis* on cereals and grasses. Annual Review of Phytopathology 49:197-217. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-072910-095230

Huerta-Espino J and Singh R. 1994. First report of virulence to wheat with leaf rust resistance gene Lr19 in Mexico. Plant Disease 78: 640. DOI: 10.1094/PD-78-0640C.

Huerta-Espino J and Singh R. 2017. First detection of virulence in *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* to wheat resistance genes Yr10 and Yr24 (= Yr26) in Mexico. *Plant Disease* 101: 1676-1676. https://doi.org/10.1094/PDIS-04-17-0532-PDN

Huerta-Espino J y Singh R. 2000b. Las Royas de Trigo. *In*: El trigo de temporal en México. Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. (Eds.) Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional–Centro (CIR–CENTRO), Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX). México D.F. Pp: 231-249.

Huerta-Espino J. y Skovmand B. 2000a. Origen, botánica y taxonomía del trigo. *In*: El trigo de temporal en México. H. E., Villaseñor M. y E. Espitia R. (eds.). Chapingo, México, SAGAR, INIFAP, Campo Experimental Valle de México. Pp: 25-35.

Huerta-Espino J, Pérez-López J, García-León E y Villaseñor-Mir H. 2017. Evolución de la roya de la hoja en trigos cristalinos (*Triticum turgidum* var. *durum*) causada por *Puccinia triticina* en el noroeste de México. Suplemento de la Revista Mexicana de Fitopatología 35: 96-97. https://www.smf.org.mx/rmf/suplemento/docs/Volumen352017/VOLUMEN_35_SUPLEMENTO_2017.pdf

Huerta-Espino J, Rodríguez-García M, Singh R y Villaseñor-Mir H. 2020a. Roya de la Hoja del Trigo Causada *Puccinia triticina* e Identificación de Razas Fisiológicas en México. INIFAP-CIRCE-CEVAMEX. Folleto Técnico Núm. Xxx: 46 p.

Huerta-Espino J, Rodríguez-García M, Singh R y Villaseñor-Mir H. 2020b. La Roya Amarilla del Cultivo de Trigo y la Identificación de Razas Fisiológicas. INIFAP-CIRCE-CEVAMEX. Folleto Técnico Núm. Xxx: 43 p.

Huerta-Espino J, Rodríguez-Garcia M, Villaseñor-Mir H y Singh R. 2014a. Manual para Identificación de Razas Fisiológicas de Roya de la Hoja del Trigo (*Puccinia triticina*) en México. Folleto Técnico No. Xxx. INIFAP-CIRCE-CEVAMEX. 40 p. En Prensa

Huerta-Espino J, Rodríguez-García M, Villaseñor-Mir H, Singh R, Martínez-Cruz E, Hortelano-Santa Rosa R y Espitia-Rangel E. 2014b. Descripción de las Royas del Trigo. Folleto Técnico Núm. 64. INIFAP-CIRCE-CEVAMEX. 32 p.

Huerta-Espino J, Singh R, German S, McCallum B, Park R, Chen W, ... and Goyeau H. 2011. Global status of wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. Euphytica 179: 143-160. https://doi.org/10.1007/s10681-011-0361-x

Huerta-Espino J, Singh R, Herrera-Foessel S, Pérez-López J and Figueroa-López P. 2009. First detection of virulence in *Puccinia triticina* to resistance genes Lr27+Lr31 present in durum Wheat in Mexico. Plant Dis. 93:110. https://doi.org/10.1094/PDIS-93-1-0110C

Huerta-Espino J, Villaseñor-Mir H, Espitia-Rangel E, Leyva-Mir S y Singh R. 2002. Análisis de la resistencia a la roya de la hoja en trigos harineros para temporal. Revista Fitotecnia Mexicana 25: 161-169. https://www.redalyc.org/pdf/610/61025206.pdf

Huerta-Espino J, Villaseñor-Mir H, Rodríguez-García M and Singh R. 2015. Emerging new virulence gene combinations in the Mexican *Pst* population. *In*: 2015 BGRI Workshop, 17 – 20 September. Sydney, Australia. http://46.20.115.203/Download/cis/57608.pdf

Johnson R. 2000. Classical Plant Breeding for Durable Resistance to Diseases. Journal of Plant Pathology 82: 3-7. http://www.jstor.org/stable/41997973

Kolmer J. 2013. Leaf Rust of Wheat: Pathogen Biology, Variation and Host Resistance. Forests 4: 70-84. https://doi.org/10.3390/f4010070

Lan C, Randhawa M, Huerta-Espino J and Singh R. 2017. Genetic Analysis of Resistance to Wheat Rusts. *In*: Periyannan S. (Ed.), Methods in Molecular Biology (New York, NY: Humana Press). Pp: 137-149. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7249-4_12

Long D and Kolmer J. 1989. A North American system of nomenclature for *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*. Phytopathology 79: 525-529.

https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1989Articles/Phyto79n05_525.pdf

Luo H, Wang X, Zhan G, Wei G, Zhou X, Zhao J, Huang L and Kang Z. 2015. Genome-wide analysis of simple sequence repeats and efficient development of polymorphic SSR markers based on whole genome re-sequencing of multiple isolates of the wheat stripe rust fungus. PLoS One (6): e0130362. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130362

McIntosh R, Wellings C and Park R. 1995. Wheat rusts: an atlas of resistance genes. CSIRO. Melbourne, Australia. 200 p. https://globalrust.org/sites/default/files/wheat_rust_atlas_full.pdf

McIntosh R, Dubcovsky J, Rogers W, Morris C, Xia X., 2017. Catalogue of gene symbols for wheat: 2017 supplement, 36, pp. 103e110. Consultado en línea (20 de julio de 2021): https://shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/macgene/supplement2017.pdf.

Mohanan C. 2010. Rust fungi of Kerala. Kerala, India: Kerala Forest Research Institute. p. 148. https://www.researchgate.net/publication/259743472_Rust_Fungi_of_Kerala_ISBN_81-85041-72-5

Moreno I, Ramírez A, Plana R y Iglesias L. 2001. El cultivo del trigo, algunos resultados de su producción en Cuba. Cultivos Tropicales 22: 55-67. https://www.redalyc.org/pdf/1932/193230162009.pdf

Natsarishvili K, Sikharulidze Z and Tsetskhladze T. 2016. Monitoring of Variability in Wheat Rust Pathogens by International Trap Nurseries. Biological Forum 8: 1-3. https://www.researchgate.net/profile/Zoia-Sikharulidze/publication/330846005_Monitoring_of_Variability_in_Wheat_Rust_Pathogens_by_International_Trap_Nurseries/links/5c57edf192851c22a3a7cded/Monitoring-of-Variability-in-Wheat-Rust-Pathogens-by-International-Trap-Nurseries.pdf

Nazari K. 2017. Training and Surveillance Support for Wheat Rust Diseases in Central Asia and Near East: Field-based assessment of wheat rust pathogenic variability (Trap Nurseries). Consultado en línea (14 de abril de 2020): https://repo.mel.cgiar.org/handle/20.500.11766/6511

NCBI. 2020. Taxonomy of Puccinia striiformis f. sp. tritici. Consultado en línea (24 de junio de 2021): https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?lvl=0&id=168172

NCBI. 2020. Taxonomy of *Puccinia triticina*. Consultado en línea (24 de junio de 2021):https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?lvl=0&id=208348

Park R, Fetch T, Hodson D, Jin Y, Nazari K, Prashar M and Pretorius Z. 2011. International surveillance of wheat rust pathogens: progress and challenges. Euphytica 179: 109-117. https://doi.org/10.1007/s10681-011-0375-4

Park R, Fetch T, Jin Y, Prashar M and Pretorius Z. 2009. Using race survey outputs to protect wheat from rust. *In* Proceedings of Oral Papers and Posters, 2009 Technical Workshop, BGRI, Cd. Obregón, Sonora, México. Pp: 25-32. https://globalrust.org/sites/default/files/posters/park_2009.pdf

Pérez-López J, García-León E, Villaseñor-Mir H, Singh R y Ammar K. 2017. Desarrollo de la epifitia de roya de la hoja causada por *Puccinia triticina* E. en la variedad de trigo cristalino Cirno C2008 durante el ciclo otoño-invierno 2016-2017 en el Bajo Río Mayo, Sonora. Revista Mexicana de Fitopatología Vol. 35 (Supl. 2017): S39. https://www.smf.org.mx/rmf/suplemento/docs/Volumen352017/VOLUMEN_35_SUPLEMENTO_2017.pdf

Prescott J, Burnett A y Saari E. 1986. Wheat diseases and Pests: A Guide for Field Identification. CIMMYT. Mexico D. F., Mexico. 138 p. https://repository.cimmyt.org/handle/10883/3215

Prescott J, Young H, Saari E and Berg M. 1988. Summary report of the regional disease trap nursery (RDTN) for bread wheat, durum wheat and barley 1981-82. Summary Report of the Regional Disease Trap Nursery-RDTN (CIMMYT). México D.F. 253 p.

Rodríguez-Garcia M, García-León E, Huerta-Espino J, Villaseñor-Mir H, Llaven-Valencia G y González-González M. 2020. Razas fisiológicas de Puccinia triticina E. identificadas en el norte de Sinaloa y resistencia de germoplasma. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 11: 1971-1977. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7696828

Rodríguez-García M, Huerta-Espino J, Rojas-Martínez R, Singh R, Villaseñor-Mir H, Zavaleta-Mejía E, … y Lan C. 2019b. Herencia de la resistencia del trigo (*Triticum aestivum* L.) huites F95 a roya amarilla causada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* W. Agrociencia 53: 765-780. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7019469

Rodríguez-García M, Rojas-Martínez R, Huerta-Espino J, Villaseñor-Mir H, Zavaleta-Mejía E, Sandoval-Islas J y Crossa J. 2019a. Genética de la resistencia a roya amarilla causada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* W. en tres genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.). Revista Fitotecnia Mexicana 42: 31-38. www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802019000100031&script=sci_abstract&tlng=pt

Rodríguez-García M, Huerta-Espino J, Villaseñor-Mir H y Solís-Moya E. 2009. Virulencia de la roya amarilla del trigo en las principales zonas productoras de riego en México. Agricultura técnica en México 35: 179-187.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S056825172009000200005&script=sci_arttext

Rodríguez-García M, Villaseñor-Mir H, Hortelano-Santarosa R, Martínez-Cruz E, Díaz Ceniceros H, Carranza-González S, ... y Rodríguez-Contreras M. 2018. Control químico de la roya lineal amarilla en trigo de temporal. Folleto técnico No. 4. INIFAP-CIRCE (CEVAMEX), Coatlinchán, Texcoco, Estado de México.

Roelfs A, Singh R, Saari E. 1992. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. CIMMYT. México, D.F. 81 p. https://rusttracker.cimmyt.org/wp-content/uploads/2011/11/rustdiseases.pdf

Saari E and Prescott J. 1985. World distribution in relation to economic losses. *In*: Roelfs AP, Bushnell WR (eds) The Cereal Rusts. Academic Press, Orlando, Pp: 259–298. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-148402-6.50017-1

Samborski D. 1985. Wheat leaf rust. *In*: Roelfs AP, Bushnell WR (eds) The Cereal Rusts, II: Diseases, distribution, epidemiology and control. Academic Press, Orlando, FL. Pp: 259-298.

Sauceda-Acosta C, Lugo-García G, Villaseñor-Mir H, Partida-Ruvalcaba L y Reyes-Olivas Á. 2015. Un método preciso para medir severidad de roya de la hoja (*Puccinia triticina* Eriksson) en trigo. Revista Fitotecnia Mexicana 38: 427-434. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000400011

Savary S, Willocquet L, Pethybridge S, Esker P, McRoberts N and Nelson A. 2019. The global burden of pathogens and pests on major food crops. NatEcol Evol 3: 430-439. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y

Schwessinger B. 2017. Fundamental wheat stripe rust research in the 21st century. New Phytologist 213: 1625-1631. https://doi.org/10.1111/nph.14159

SIAP. Servicio de Información Alimentaria y Pesquera. 2020. Consultado en línea (18 de junio de 2021): http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do;jsessionid=35A62001D8F1007A243C58AD4136808E

Singh R and Dubin H. 1997a. Sustainable control of wheat diseases Mexico. *In*: Primer Simposio Internacional de Trigo, Memorias 7-9 de abril de 1997. Cd. Obregón, Sonora. México pp: 93-102. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=MX1998A01045

Singh R and Huerta-Espino J. 1997b. Effect of leaf rust resistance gene Lr34 on grain yield and agronomic traits of spring wheat. Crop Science 37: 390-395. https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700020014x

Singh R. 1991. Pathogenicity variations of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* and *P. graminis* f. sp. *tritici* in wheat growing areas of Mexico during 1988 and 1989. Plant Dis 75: 790-794. DOI: 10.1094/PD-75-0790

Singh R, Huerta-Espino J and Roelfs A. 2002. The wheat Rusts *In*: B.C. Curtis, S. Rajaram, and H. Gomez MacPherson (eds.). Bread Wheat: improvement and production. FAO, Roma, Italia. Pp: 227-249.

Singh R, Huerta-Espino J and William M. 2001. Slow rusting genes-based resistance to leaf and yellow rust in wheat: Genetics and breeding at CIMMYT. *In*: Wheat Breeding Society of Australia Inc. 10th Assembly Proc. R Eastwood, G Hollamby, T Rathjen, N Gororo (eds). 16-21 Sept. 2001. Mildura, Australia. Pp: 103-108.

Singh R, Huerta-Espino J y Rajaram S. 2000. Achieving near-immunity to leaf and stripe rusts in wheat by combining slow rusting resistance genes. Acta Phytopathol. Entomol. Hung. 35: 133-139. https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20001009163

Singh R, Huerta-Espino J, Bhavani S, Herrera-Foessel S, Singh D, Singh P, Velu G, Mason R, Jin Y and Crossa J. 2011. Race non-specific resistance to rust diseases in CIMMYT spring wheats. Euphytica 179: 175-186. https://doi.org/10.1007/s10681-010-0322-9

Singh R, Huerta-Espino J, Figueroa-López P and Pfeiffer W. 2004. Occurrence and impact of a new leaf rust race on durum wheat in the Nothwestern Mexico from 2001–2003. Plant Disease 88: 703-708. https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.7.703

Singh R, Singh P, Rutkoski J, Hodson D, He X, Jørgensen L, ...and Huerta-Espino J. 2016. Disease impact on wheat yield potential and prospects of genetic control. Annual review of phytopathology 54: 303-322. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080615-095835

Singh R, Herrera-Foessel S, Huerta-Espino J, Lan C, Basnet B, Bhavani S and Lagudah E. 2013. Pleiotropic gene Lr46/Yr29/Pm39/Ltn2 confers slow rusting, adult plant resistance to wheat stem rust fungus *In*: Proceedings BGRI 2013 technical workshop, New Delhi, India. Pp: 17.1.

Singh R, Herrera-Foessel S, Huerta-Espino J, Bariana H, Bansal U, McCallum B, Bhavani S, Lan C and Lagudah E. 2012. Lr34/Yr18/Sr57/Pm38/Bdv1/Ltn1 confers slow rusting, adult plant resistance to stem rust. *In*: Proceedings of the 13th international cereal rusts and powdery mildews conference Beijing, China. Pp. 173.

Solís-Moya E, Huerta-Espino J, Villaseñor-Mir H, Pérez-Herrera P, Ramírez-Ramírez A, Ledesma-Ramírez L y De la Cruz-González M. 2014. Luminaria F2012, nueva variedad de trigo harinero para riego restringido en el Bajío. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5: 325-330.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342014000200013&script=sci_arttext

Subsecretaria de Fomento a los Agronegocios (SFA). 2011. Perspectiva a largo plazo del sector agropecuario en México 2011-2020. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y alimentación (SAGARPA). Consultado en línea (20 de mayo de 2020): https://www.academia.edu/27852835/SFA_SAGARPA_Perspectivas_de_largo_plazo_para_el_sector_agropecuario_de_M%C3%A9xico_2011-2020

USDA. United States Department of Agriculture. 2020. Consultado en línea (19 de septiembre de 2020): https://www.fas.usda.gov/data/search?f%5B0%5D=field_commodities%3A15

Valdez-Rodríguez Y, Huerta-Espino J, Sandoval-Islas J, Villaseñor-Mir H y Gómez-Rodríguez O. 2020. INTROGRESIÓN DE LOS GENES DE RESISTENCIA A ROYA AMARILLA Yr5a Y Yr15 EN EL CULTIVAR DE TRIGO HARINERO BORLAUG 100. Revista Fitotecnia Mexicana 43: 275-275. https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/732

Villaseñor-Mir H. 2000. Importancia del trigo. *In*: El trigo de temporal en México. Villaseñor M. H. E., Espitia R. E., (eds.). Chapingo, Estado de México, México, SAGAR, INIFAP, Campo Experimental Valle de México. Libro Técnico No. 1. Pp: 7-24.

Villaseñor-Mir H, Huerta-Espino J, Espitia-Rangel E, Limón-Ortega A y Rodríguez-García M. 2007. Variedades de trigo para siembras de temporal en el estado de Tlaxcala. INIFAP-CIRCE. S. E. Tlaxcala, Tlax. Folleto Técnico Núm. 30: 33 p.

Villaseñor-Mir H, Huerta-Espino J, Hortelano-Santa Rosa R, Martínez-Cruz E, Rodríguez-García M y Alvarado-Padilla J. 2020a. Conatrigo F2015: nueva variedad de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) para zonas de riego en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 11: 1993-1997. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7696823

Villaseñor-Mir H, Huerta-Espino J, Hortelano-Santa Rosa R, Martínez-Cruz E, Rodríguez-García M, Solís-Moya E ... y Espitia-Rangel E. 2020b. NORESTE F2018: NUEVA VARIEDAD DE TRIGO HARINERO PARA ÁREAS DE RIEGO EN MÉXICO. Revista Fitotecnia Mexicana 43: 483-483. https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/823

Wellings C. 2011. Global status of stripe rust: a review of historical and current threats. Euphytica 179: 129-141. https://doi.org/10.1007/s10681-011-0360-y

Zadoks J. 1961. Yellow rust on wheat studies in epidemiology and physiologic specialization. Tijdschrift over Plantenziekten 67: 69-256. https://doi.org/10.1007/BF01984044

Zillinsky F. 1984. Guía para la identificación de enfermedades en cereales de grano pequeño. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México, D. F. 141 p.