

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Rendimiento y Tolerancia a Roya Amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. tritici) en Genotipos de Trigo Harinero y Cristalino para El Bajío de México.

Por:

JACQUELINNE MONTES ENRIQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

Enero, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Rendimiento y Tolerancia a Roya Amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. tritici) en Genotipos de Trigo Harinero y Cristalino para El Bajío de México.

Por:

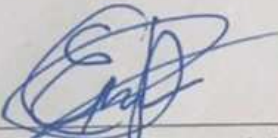
JACQUELINNE MONTES ENRIQUEZ

TESIS

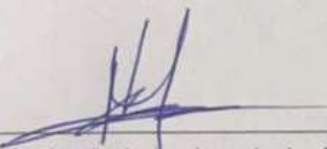
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

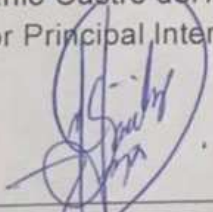
Aprobada por el Comité de Asesoría:



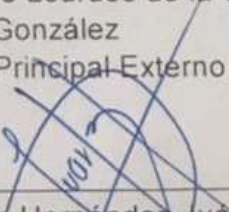
Dr. Epifanio Castro del Ángel
Asesor Principal Interno



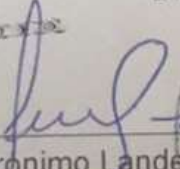
M.C. María de Lourdes de la Cruz
González
Asesor Principal Externo



Dra. Miriam Sánchez Vega
Coasesor



Dr. Agustín Hernández Juárez
Coasesor



Dr. Jeronimo Landeros Flores
Coordinador interino de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México
Enero, 2023

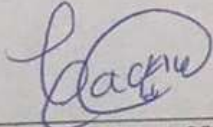
Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar el autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior, me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Jacquelinne Montes Enríquez

AGRADECIMIENTOS

A mi *Alma Mater* por abrirme sus puertas y dejarme ser parte de ella y lograr formarme como profesionalista.

A la empresa Agroquímicos y Semillas La Fuerte S.A de C.V por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto.

M.C. María de Lourdes de la Cruz Gonzáles por aceptar ser mi asesor en este proyecto y dirigirme con su experiencia. Agradezco por su paciencia y por la disposición en todo momento.

Dra. Miriam Sánchez Vega, principalmente por su amistad, por la dedicación al proyecto y por su disponibilidad de tiempo en todo momento. Sobre todo, le agradezco por compartirme sus conocimientos.

A la familia Álvarez Alcalá por brindarme todo su apoyo, dejarme ser parte de su familia, estar conmigo en todo momento motivándome a seguir adelante para alcanzar mis sueños.

A mis tíos Irma Enríquez, Cecilio, Rafael, Lupita por apoyarme durante todo este tiempo para lograr mis sueños.

A mis amigos Mariana Martínez por ser una buena amiga y estar incondicionalmente siempre escuchándome y estar para mí, Manuel Tafolla por su amistad y su apoyo Cristina Gómez por ser una buena amiga y consejera, Moisés León por ser un buen amigo siempre motivándome a lograr mis objetivos, Yesenia Gonzáles por las convivencias durante todo este tiempo.

DEDICATORIA

“Dedico este trabajo con gran amor a toda mi familia por el apoyo incondicional, por siempre impulsarme a ser mejor y lograr con éxito mi carrera”.

A ti Dios mío, por darme la vida, la familia y las oportunidades de salir adelante, por ser mi guía espiritual en este largo camino, gracias a ti superé los momentos difíciles y me levanté para culminar con éxito.

A mi padre **Alfonso Montes Ramírez†**, por todos los momentos que me regalaste, por tu fuerza y valentía, por tu amor y sacrificio, siempre serás mi héroe. Cuando miro al cielo me invade la emoción al recordarte, cuídame desde allí arriba y espérame, que algún día volveremos a abrazarnos.

A mi madre **Estela Enríquez Arellano** por todo el amor incondicional, por estar siempre presente en mi vida enseñándome buenos valores, por brindarme su apoyo y hacer que nunca me falte nada, tu bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien.

A mis hermanos **Juan Armando†** le agradezco a Dios por haberte puesto en mi vida, y por permitirme ser feliz compartiendo contigo cada uno de los momentos que pasamos como familia. Te has ido, pero siempre permanecerás en mi corazón.

Yesenia por ser el mejor ejemplo al ser una mujer valiente, fuerte y luchadora, por motivarme a no dejar mis sueños, por estar ahí cuando lo necesito, por ser mi amiga y darme todo apoyo y tu amor. **Adriana** esta oportunidad la quiero aprovechar para agradecerte por todo lo que haces por mí, quiero que sepas que realmente eres importante para mí y que a cada instante te llevo en mi corazón, por darme todo el amor y el apoyo y ver que no me faltara nada para lograr mis sueños. A mis sobrinos Milán y Jhandery por regalarme momentos de felicidad y amor.

A el **Ing. Juan Ramon Mosqueda Barrientos**, por todo el amor y el apoyo, por nunca perder la fe en mí, por los ánimos durante las horas de desvelo y los días en que estuve a punto de rendirme, y motivarme a ser mejor persona.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Generalidades del cultivo de trigo.....	4
Importancia económica.....	4
Clasificación taxonómica.....	5
Etapas fenológicas del trigo	5
Descripción botánica de la planta	7
Raíz.....	7
Tallo.....	7
Hojas	8
Inflorescencia.....	8
Fruto	8
Clasificación del trigo (<i>Triticum</i> spp) por dureza de su grano	9
Trigo harinero (<i>Triticum aestivum</i> L).....	9
Trigo cristalino (<i>Triticum durum</i>).....	10
Plagas en trigo.....	11
Pulgón amarillo	11
Enfermedades en trigo	11
Fusarium de la espiga (<i>Fusarium graminearum</i>)	11
Oídio (<i>Erysiphe graminis</i>).....	12
Roya amarilla (<i>Puccinia striiformis</i> f.sp. tritici)	13
Importancia económica de la roya amarilla del trigo	13
Características morfológicas de <i>Puccinia striiformis</i> f.sp. tritici.....	14
Clasificación taxonómica de <i>Puccinia striiformis</i>	14
Sintomatología de la enfermedad	15
Ciclo biológico de <i>Puccinia striiformis</i>	15

Requerimientos climáticos para el desarrollo de la enfermedad	16
Métodos para el manejo de la roya amarilla	16
Control químico	16
Control genético	17
MATERIALES Y MÉTODOS	19
Localización del experimento	19
Desarrollo del experimento.....	20
Obtención de la semilla	20
Labores culturales realizadas al cultivo	23
Diseño experimental.....	24
Variables evaluadas	24
Análisis estadístico de datos.....	26
RESULTADOS Y DISCUSIONES	27
Análisis de varianza	27
Comparación de medias entre ambientes	28
Comparación de medias entre genotipos.....	29
Comparación de medias entre las interacciones (Ambiente*Genotipo).....	34
CONCLUSIONES	39

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Genotipos evaluados en los ciclos OI C20-21 y PV C21, para determinar tolerancia y alto rendimiento a la roya amarilla (<i>Puccinia striiformis</i>).....	21
Cuadro 2. Análisis de varianza para las variables que determinan la caracterización de genotipos resistentes a <i>Puccinia striiformi</i> f. sp. tritici, obtenidas en dos ambientes y su interacción durante los ciclos OI C20-21 en el Talón y PV C-2021 en Toluca.	28
Cuadro 3. Comparación de medias entre las localidades Talón, Pénjamo, Gto (OI C20-21) y Toluca, Edo. de México (PV C-202), para las variables que determinan la caracterización de genotipos resistentes a <i>Puccinia striiformi</i> f. sp. tritici.	29
Cuadro 4. Comparación de medias entre 40 genotipos de trigo, para variables que determinan la resistencia a <i>Puccinia striiformi</i> f. sp. tritici, en los ciclos OI C20-21, Talón, Pénjamo, Gto. y PV C-2021 Toluca, Edo. de México.....	31
Cuadro 5. Comparación de medias para 80 interacciones entre dos ambientes (Talón, Pénjamo, Gto. y Toluca, Edo. de México) y 40 genotipos de trigo, para variables que determinan la resistencia a <i>Puccinia striiformi</i> f. sp. tritici, en los ciclos OI C20-21 y PV C-2021.	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estados fenológicos externos del trigo de acuerdo a la escala Zadoks <i>et al.</i> (1974).....	7
Figura 2. Ciclo de vida de <i>Puccinia striiformis</i> f. sp. tritici (Zheng <i>et al.</i> , 2013).	16
Figura 3. Ubicación de la comunidad de “El Talón”, Pénjamo, Guanajuato.	19
Figura 4. Ubicación de la parcela experimental en Toluca, Estado de México. ...	20
Figura 5. Escala de evaluación para <i>Puccinia striiformi</i> f. sp. tritici.	25

RESUMEN

El mejoramiento genético y el control de plagas y enfermedades son fundamentales en la producción de alimentos, dada la importancia de generar variedades de trigo (*Triticum aestivum*) rendidoras y resistentes. La diversidad implica que haya variabilidad genética entre los individuos de una especie, y que a la vez haya abundancia de ellos, es importante debido a los cambios climáticos que se han suscitado en la última década; es fundamental continuar con la generación de nuevas variedades de cereales para ser capaces de enfrentar la impredecible evolución de los patógenos y el cambio climático. El objetivo de este trabajo fue evaluar el rendimiento y la sanidad de planta de diferentes genotipos de trigo y seleccionar las de mayor tolerancia a la roya amarilla. Se evaluaron 40 genotipos comparado con cinco variedades comerciales. El trabajo experimental se realizó en dos localidades: la primera durante el periodo diciembre a mayo en el ciclo OI 2020-2021 en “El Talón”, Pénjamo, Guanajuato y la segunda en el ciclo PV de junio a noviembre 2021, en Toluca, Estado de México. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques al azar, con dos repeticiones. Se elaboró una matriz básica de datos, con el registro de las variables obteniendo promedios de cada variable por unidad experimental. Para el análisis de datos se utilizó el software de análisis estadístico SAS v9.0 los cuales se corrieron con un modelo factorial considerando dos factores, que correspondieron a 2 x 40 niveles (ambientes x genotipos), tomando en cuenta también a los testigos. La prueba de medias se realizó con Tukey a un nivel de confiabilidad del 99 y 95% ($\alpha \leq 0.001$ y $\alpha \leq 0.05$). Ambos factores presentaron respuestas diferenciales y las variables evaluadas estuvieron influenciadas por el efecto del ambiente. Los genotipos más susceptibles a patógeno *Puccinia striiformis* f. sp. tritici fueron aquellos con valor más alto, en la variable de severidad 25.0 y 30.0 (10, 25, 33 y 34). Los genotipos que expresaron los mayores rendimientos fueron: 25 (2,062.15 g y 9,165.5 Kg·ha⁻¹), 36 (2,132.05 g y 9,476.09 Kg·ha⁻¹) y el 40 (2,078.65 g y 9,238.8 Kg·ha⁻¹).

Palabras clave: *Triticum aestivum* L, genotipos, roya amarilla, rendimiento de cultivos básicos, resistencia a enfermedades.

INTRODUCCIÓN

El grano de trigo (*Triticum* spp.) a nivel mundial se destaca entre los principales cereales por su importancia en la producción y se cultiva en todo el mundo bajo diversas condiciones climáticas. Ha sido el alimento básico de las principales civilizaciones de Europa, Asia y Norte de África durante más de 8 000 años (Santana *et al.*, 2016).

De acuerdo con la FAO, el trigo es el cereal más comercializado a nivel mundial con consumo de 67.2 kilogramos per cápita; Los principales países productores de trigo es la Unión Europea con 135.8 millones de toneladas seguida de China con 134.2 millones, India con 107.6 millones, Rusia con 83.3 millones y Estados Unidos con 49.7 millones de toneladas. De igual manera destacan Canadá con 35.2 millones, Australia con 30.0 millones seguidas de Pakistán con 25.7 millones y Ucrania con 25.5 millones de toneladas, todas bajo la medida de toneladas métricas; México produce 3.1 millones de toneladas (Retes *et al.*, 2022).

En México, durante 2018 destacó como el tercer cereal en importancia en cuanto a superficie sembrada (541,789 ha); Se prevé que para el 2050, la demanda de trigo aumentará un 70% debido al crecimiento de la población y los cambios en sus hábitos alimentarios (Villaseñor-Mir *et al.*, 2021). Las entidades que sobresalen en producción de trigo son: Sonora (43%), Baja California (11%) Guanajuato (9.3%), Sinaloa (8.2%), Michoacán (9.3%) y Chihuahua (2.3%), con una superficie de 669,948 ha a nivel nacional, donde se han obtenido 3,511,192 toneladas y un rendimiento promedio de 5.241 Kg ha⁻¹ (Flores-Margez *et al.*, 2021).

La producción de trigo enfrenta problemas como desabasto de agua, reconversión a cultivos más rentables y presencia de enfermedades como roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. tritici) y roya de la hoja (*P. triticina*). que reducen el rendimiento y la calidad del grano (Villaseñor-Mir *et al.*, 2021).

Los trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) y cristalino (*Triticum durum*) son la base de la alimentación en muchas culturas; el grano de trigo harinero, hexaploide con el genoma AABBDD, se usa para la extracción de harina, que es utilizada para la elaboración de pan, galletas y otros productos alimenticios, mientras que del trigo cristalino, tetraploide con el genoma AABB se extrae la sémola para la elaboración de pastas y macarrones (Delgado-Sánchez *et al.*, 2022).

El mejoramiento ha sido el método para obtener variedades que contengan los caracteres deseados para suplir deficiencias nutricionales, rendimiento, con resistencia genética a plagas y enfermedades como también ha experimentado un creciente interés en la comunidad científica, lo que hace necesario evaluar genotipos con características idóneas para su producción (Camargo, 2017).

Objetivos

Objetivo general

Seleccionar el genotipo con características competentes que genere rendimiento superior a los testigos comerciales, y tolerancia a roya amarilla, como candidato a ser nueva variedad comercial.

Objetivos específicos

- Evaluar la sanidad de plantas de diferentes genotipos de trigo para poder determinar el más tolerante a enfermedades, principalmente la roya amarilla, bajo diferentes ambientes de producción otoño-invierno y primavera-verano.
- Identificar los genotipos de trigo sobresalientes de acuerdo con el rendimiento, bajo diferentes ambientes de producción otoño-invierno y primavera-verano.

Hipótesis

Al menos uno de los genotipos de trigo presenta mayor tolerancia a la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f.sp. tritici) y es superior en rendimiento.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del cultivo de trigo

El centro de origen del trigo (*Triticum*) data de la civilización mesopotámica, entre los valles de los ríos Tigris y Éufrates en el Medio Oriente (Ramos, 2013). Fueron los egipcios, quienes descubrieron la fermentación del trigo y lo utilizaron en la elaboración de alimentos (Esponda, 2021). El trigo fue introducido en América en el año 1529, con la llegada de los conquistadores españoles a Nuevo México; a partir de la revolución neolítica en el Oriente próximo, el trigo comenzó a cultivarse convirtiéndose en uno de los alimentos básicos (Ramwell, 2004).

Su nombre proviene del vocablo latino *Triticum*, que significa quebrado, triturado o trillado, haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo recubre (Jardine, 2012).

Importancia económica

Durante el ciclo comercial 2020/2021, el consumo nacional de trigo panificable en México se ubicó en 6.26 mdt. El 71.7% del consumo se abasteció a través de importaciones, mientras que el trigo cristalino fue de 610 mil toneladas (FIRA, 2021).

El precio del trigo en el mercado nacional es influenciado por los fundamentales del mercado, la oferta y la demanda, pero también, y de manera importante, por los precios internacionales. Durante el año agrícola 2020, el precio al productor de trigo cristalino en México se ubicó en 4,865 pesos por tonelada, mientras que el del trigo panificable se ubicó en 4,764 pesos por tonelada (FIRA, 2021).

Las estadísticas sobre el comercio en México indican que el promedio anual de las importaciones de trigo panificable superan más de 80% del consumo nacional (Cruz *et al.*, 2021).

La producción de trigo en México se ha mantenido en cerca de 2 millones de toneladas anuales. De esta cantidad, el trigo cristalino (*Triticum durum*) representa el 59.8% del total nacional (Villaseñor-Mir *et al.*, 2022).

Sonora es líder en la producción nacional de trigo, aporta alrededor de 80% del total nacional, seguida de Baja California con 10.9%, Guanajuato con 4.0% y Sinaloa con 2.2%; dichas entidades cubren 99.8% de lo que lo sembrado en el país, para el OI (otoño-invierno) 21/22 (SIAP, 2021).

Clasificación taxonómica

REINO: Plantae

DIVISIÓN: Magnoliophyta

CLASE: Liliopsida

ORDEN: Cyperales

FAMILIA: Poaceae

GÉNERO: *Triticum* L., 1753

ESPECIE: *T. aestivum* L., 1753

Etapas fenológicas del trigo

Reconocer los estadios de crecimiento del trigo es importante para adecuar las decisiones de manejo y el uso de insumos para el desarrollo de la planta (Rosseti *et al.*, 1967).

Establecimiento: es la fase emergencia comienza con la siembra y dura hasta que empieza la elongación del tallo. Durante este tiempo se forman los brotes productivos y primarios conforme vaya creciendo el follaje. La temperatura óptima es de 20°C a 25°C; sin embargo, el trigo puede germinar en un rango de 1 a 35°C. A temperaturas más altas, el endospermo puede descomponerse por la acción de bacterias u hongos del suelo. A medida que la temperatura sube de 22°C a 42°C,

disminuyen el número de macollos, la longitud de la raíz, la altura de la planta y la coloración verde de las hojas (Jara, 1993).

Crecimiento: esta fase inicia desde la visibilidad del primer nudo hasta la floración. Cuando el ápice del tallo realiza el cambio de estado vegetativo a reproductivo e inicia la diferenciación de primordios de espiguillas. La primera evidencia de la iniciación floral es cuando el ápice presenta un abultamiento en la parte media, y los primordios de las espiguillas inician su diferenciación como protuberancias dobles en los flancos del ápice; la cresta superior representa un primordio de espiguilla y la inferior uno foliar. Los genotipos precoces llegan a iniciación floral en menor tiempo que los tardíos y producen un número menor de hojas (Solís-Moya *et al.*, 2004).

Llenado de granos: el crecimiento inicial de los granos comienza luego de la fertilización de las flores. Durante los primeros 2-4 días luego de la floración el grano aumenta marcadamente de tamaño, aunque se verifica poco incremento en el peso seco del mismo debido a la acumulación de agua. Durante la primera mitad del llenado las células que envuelven el saco embrionario y las endospermáticas se dividen y expanden. Durante este período el grano aumenta de peso a tasa máxima y constante, dependiendo de la temperatura. La duración del período de llenado de granos está afectada por la temperatura y otras condiciones ambientales (Mollericonna, 2013).

Las fases de desarrollo pueden describirse usando escalas que se han definido a través de los años. Tres sistemas son los más usados: Zadoks, Feekes y Haun, pero Zadoks *et al.* (1974) es la que más utilizada para determinar el momento correcto para el manejo de insumos (Figura 1).

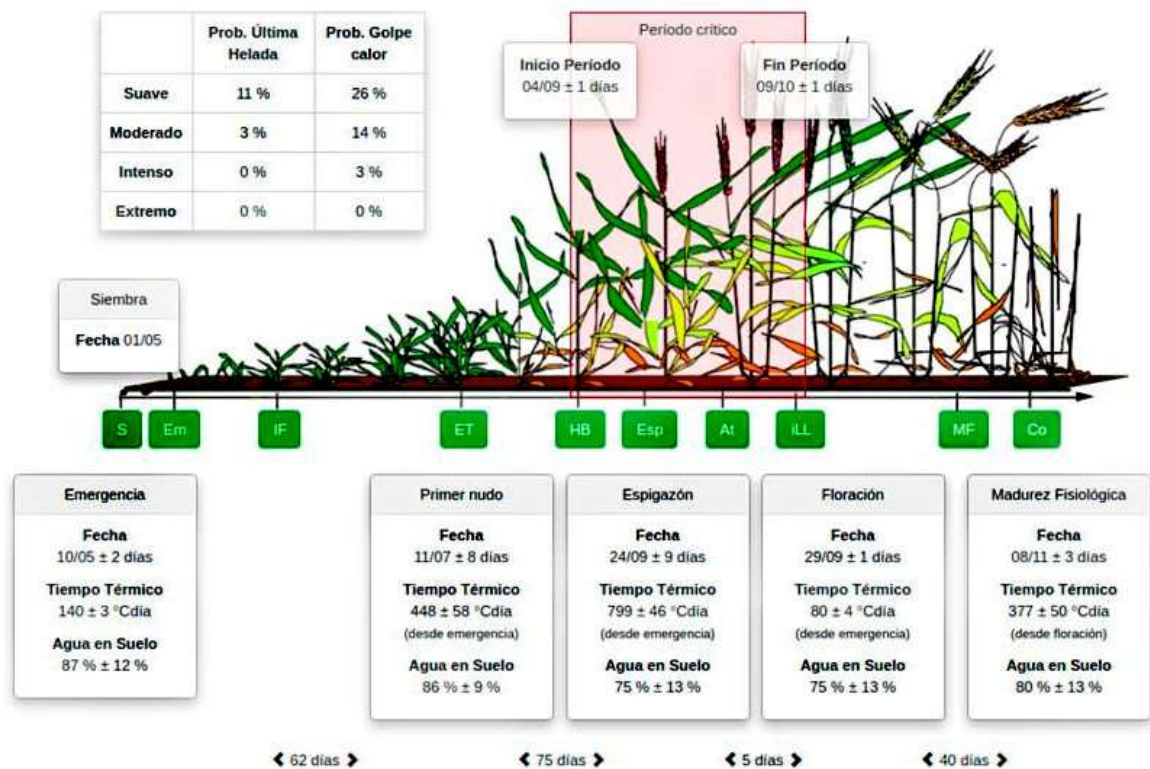


Figura 1. Estados fenológicos externos del trigo de acuerdo a la escala Zadoks *et al.* (1974).

Descripción botánica de la planta

Raíz

El trigo posee una raíz de tipo fibrosa, suelen alcanzar más de un metro, situándose la mayoría de ellas en los primeros 25 cm. El crecimiento de las raíces comienza en el periodo de ahijado, estando todas poco ramificadas, el desarrollo de las raíces se considera completo al final del "encañado" (Mollericona, 2013).

Tallo

El tallo es una caña formada de nudos y entrenudos. El nudo es una porción maciza y pequeña donde se encuentran las yemas que dan origen a las hojas, así como también a los macollos. La altura final de una planta de trigo depende de la

constitución genética y también de las condiciones ambientales, pero por lo general, oscila entre los 0.80 y 1.30 m. Lo más común es la presencia de seis entrenudos, aunque en baja proporción tallos de cinco y siete entrenudos (Iglesias, 2001).

Hojas

Las hojas son lanceoladas y compuestas por la vaina que es de forma tubular y se envuelve alrededor de la axila de la hoja y de la lámina. En la unión de la vaina y la lámina existe una estructura membranosa, la lígula y un par de pequeñas proyecciones filiformes. La lámina posee una nervadura central bien marcada, que divide en dos partes casi iguales, la forma y tamaño de la hoja varían según su posición en la planta, siendo de mayor longitud la hoja bandera y de menor longitud las hojas basales (Loayza, 2014).

Inflorescencia

Es una espiga compuesta de un tallo central de entrenudos cortos, llamado raquis, en cada uno de cuyos nudos se asienta una espiguilla, protegida por dos brácteas más o menos coriáceas o glumas, a ambos lados. Cada espiguilla presenta nueve flores, de las cuales aborta la mayor parte, quedando dos, tres, cuatro y a veces hasta seis flores, la florecilla del trigo es perfecta ya que tiene ambos órganos reproductores: por su tipo de polinización es autógama y ocurre dentro de la lema y la palea (Heredero, 2005).

Fruto

Es un grano de forma ovoide, considerado también como cariósipide, que se desarrolla después de la polinización alcanzando un tamaño normal de 0.3–0.4 cm, formado por una ranura en la parte ventral; en un extremo lleva germen y el otro tiene una pubescencia llamada brocha. El grano está formado por pericarpio de color rojo según las variedades y el resto en la parte del grano está formado por

endospermo. El grano contiene un 70% de almidón, 12% de proteínas y un 1.7% de grasa; el color del grano puede ser blanco, rojo, o ámbar dependiendo de la variedad y tipo de trigo (Ávila-Miramontes *et al.*, 2014).

Clasificación del trigo (*Triticum spp*) por dureza de su grano

El cultivo de trigo moderno está centrado fundamentalmente en dos especies: el trigo harinero, *Triticum aestivum* L. ($2n=6x=42$, AABBDD) y el trigo duro, tetraploide, *Triticum durum* L. ($2n= 4x= 28$, AABB) (Pinheiro, 2017).

Trigo harinero (*Triticum aestivum* L)

Una de las características que distingue el trigo harinero domesticado de sus ancestros silvestres es el aumento en el tamaño de grano y un cambio en la forma; En parte debido a su efecto sobre el rendimiento, el aumento de tamaño de grano sigue siendo un objetivo de selección y mejoramiento importante en el trigo moderno, la forma de grano ha sido priorizada relativamente reciente por las necesidades del mercado y de la industria; el tamaño, la densidad y uniformidad son atributos importantes para determinar el valor de mercado del grano de trigo, ya que influye en el rendimiento de la harina (Butrón *et al.*, 2015).

El trigo harinero hexaploide o trigo blando *Triticum aestivum* L. por ser la variedad harinera utilizada para panificación, es la más cultivada, disponible y comúnmente utilizada para alimentación animal; el grano está compuesto aproximadamente de un 2.5% de germen, un 15% de salvado (pericarpio y testa), y un 82.5% de endospermo (incluyendo la aleurona) (Calixto, 2018).

Este cultivo tolera bajas temperaturas en sus primeras fases de desarrollo y su mayor producción tiende a concentrarse en las zonas de clima templado y frío. En México existe gran demanda de trigos harineros de mejor calidad agroindustrial, por esta razón es deseable generar variedades resistentes a enfermedades y tolerantes

a factores ambientales adversos, de alto rendimiento y mejor calidad molinera y panadera (Velasco *et al.*, 2012).

Trigo cristalino (*Triticum durum*)

El trigo duro o cristalino (*Triticum turgidum* L. var. Durum = *Triticum durum*) es la segunda especie en importancia de trigo que se cultiva en el mundo, su principal uso es para la fabricación de pastas y macarrones, se reportó que las variedades comerciales de trigo, sembradas en México, poseen un amplio rango de adaptación, alto potencial de rendimiento, resistencia a enfermedades y a condiciones limitadas de humedad (Solís & Díaz, 2001).

En México, el trigo duro o cristalino se produce principalmente en el estado de Sonora; la preferencia por esta clase de trigo por los productores en el noroeste de México, se debe a que tiene un alto potencial de rendimiento, aceptación en el mercado de exportación, tolerancia al carbón parcial y a la roya de la hoja (*Puccinia triticina*) (Figueroa *et al.*, 2012).

El trigo duro (*Triticum durum*) es una especie alotetraploide que procede del cruzamiento de dos trigos silvestres, donde cada uno de ellos aporta un juego de cromosomas diferente, denominados A y B. El genoma A procede de la especie diploide *Triticum urartu* (2n=14, AA). Esta especie se cruzó con otra especie silvestre cuyo origen no está claro, pero muy similar a *Aegilops speltoides*, (2n=14, BB) que aportó el genoma B (Moreno & Martel, 2017).

En cuanto a su contenido nutricional radica en que, debido al extremo proceso de molienda al que es sometido el trigo duro, pierde una considerable cantidad de almidón, es una de las principales razones por las que la de trigo duro no es una buena harina para producir pan, dado que sus almidones 'dañados' provocan una reducción de su capacidad para fermentar y 'subir', tiene alto contenido de gluten fuerte y tenaz (no extensible) y está conformado con un 12 a 14% de proteína, tiene

una textura de grano en el endospermo con alto contenido de pigmento amarillo (carotenoides) (Peña *et al.*, 2008).

Plagas en trigo

Pulgón amarillo

El pulgón amarillo (*Metopolophium dirhodum*) por su color amarillo verdoso observándose adultos alados y ápteros siendo los primeros los que se trasladan a grandes distancias para formar nuevas colonias, los pulgones se alimentan por medio de sus estiletes bucales con los cuales extraen gran cantidad de savia. La disminución de la capacidad productiva de las plantas está dada por la pérdida de clorofila como así también por la pérdida de superficie fotosintética debido a la cobertura posterior por hongos que colonizan las deyecciones azucaradas (Flores & Balbi, 2013).

Los áfidos ocasionan daños directos e indirectos ocasionando la extracción de la savia de las plantas de las cuales se alimentan y a la inoculación de saliva tóxica, produciendo como consecuencia de ello: marchitamiento, clorosis, manchas, disminución en los rendimientos; y ante graves ataques (dependiendo de la especie de que se trate y el estado fenológico del cultivo) hasta la muerte de las plantas. Los daños indirectos los ocasionan cuando los pulgones que se encuentran atacando el cultivo son transmisores o vectores de virus, provocando enfermedades virales que hacen disminuir sus rendimientos (Dughetti, 2012).

Enfermedades en trigo

Fusarium de la espiga (*Fusarium graminearum*)

Es una enfermedad que periódicamente afecta la producción de trigo cuando ocurren condiciones climáticas favorables (lluvias frecuentes y temperaturas

cálidas) durante la floración y llenado de grano (Pereyra & Acosta, 2014). Esta enfermedad puede provocar pérdidas económicas severas en todos los eslabones de la cadena agroindustrial como consecuencia de mermas en los rendimientos de grano, disminución de la calidad física e industrial del mismo y menor inocuidad en el producto final debido a las toxinas producidas por el hongo que la causa (*Fusarium*) que son nocivas para la salud y contaminan a los granos usados para el consumo humano y animal (Martínez & Moschini, 2008).

Suaste-Franco *et al.*, (2020) mencionan que por su alto nivel de adaptación como miembros de un complejo de patógenos que responden a cambios de temperatura, humedad y factores edáficos, también las temperaturas cálidas en los meses de febrero, marzo, abril y mayo, así como siembras tempranas, el estrés hídrico, suelo con altas temperaturas, el agrietamiento del suelo inducido por las lluvias, e inclusive la falta de microelementos como el zinc (aprovechable por la planta) en el suelo, conducen a una mayor incidencia de la enfermedad.

Oídio (*Erysiphe graminis*)

El hongo crece superficialmente sobre el haz de las hojas, observándose manchas blancas algodonosas de plantas afectadas por el patógeno en estados más avanzados de crecimiento y desarrollo, que con el tiempo adquieren color gris amarillento y consistencia pulverulenta. En el envés de las hojas presenta manchas necróticas amarillas. El periodo crítico de la enfermedad es desde la fase de encañado al llenado de grano (Sentelhas, 1992).

Tizón foliar (*Helminosporium*)

Las lesiones causadas por esta enfermedad tienen forma alargada u oval y por lo general son de color café oscuro conforme madura la lesión, las infecciones primarias suelen presentarse en las hojas inferiores y comienzan como manchas o pecas cloróticas que aumentan de tamaño, se vuelven de color café oscuro y con

frecuencia se aglutinan; Cuando la enfermedad es grave, las hojas o vainas foliares afectadas pueden morir y Cuando la infección se produce en un período temprano del ciclo del cultivo y las condiciones continúan siendo propicias para el desarrollo de la enfermedad, es posible que se llegue a la defoliación completa; en ese caso habrá una reducción considerable del rendimiento y los granos estarán muy arrugados (Prescott, 1986).

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

Es una de las enfermedades más dañinas del trigo en muchas áreas del mundo, especialmente en ambientes fríos; los síntomas se presentan principalmente en el follaje del trigo, los síntomas suelen presentarse una semana después de la infección y si las condiciones son favorables pueden propagarse rápidamente en variedades susceptibles en trigo, daña hojas y espigas de la planta (Almacellas & Sánchez, 2015).

Importancia económica de la roya amarilla del trigo

La roya es una seria amenaza biótica para el trigo que puede destruir las plantas sanas en un par de semanas antes de la cosecha, lo que genera enormes pérdidas de rendimiento para los agricultores. Junto con la roya de la hoja y la roya estriada, es una de las enfermedades fúngicas del trigo más amenazantes del mundo, temida por los agricultores durante siglos (Masinde, 2019).

La producción de trigo es afectada por factores bióticos y abióticos, las enfermedades como las royas, ocasionadas por diferentes especies del género *Puccinia* son las económicamente más importantes del cultivo de trigo en México es una enfermedad que ocurre en la mayoría de las áreas con climas húmedos y fríos, está considerada como la principal limitante que afecta la producción de trigo en estas áreas (Rodríguez-García *et al.*, 2019).

Sus efectos sobre el rendimiento suelen ser moderados o graves, pudiendo ocasionar pérdidas próximas al 50%, puede causar hasta un 100% de pérdidas cuando ocurre en forma temprana y se desarrolla durante las etapas de crecimiento y desarrollo de plantas de variedades susceptibles. Sin embargo, en la mayoría de las áreas de producción del mundo las pérdidas oscilan entre 10 y 70%, dependiendo de la susceptibilidad de la variedad, momento de la infección, tasa de desarrollo y duración de la enfermedad (Fomento, 2021).

Características morfológicas de *Puccinia striiformis* f.sp. tritici

La roya de la hoja del trigo ocasionada por el patógeno biotrófico *Puccinia striiformis*, genera disminuciones en el área foliar fotosintéticamente activa del cultivo, aumenta la tasa de transpiración por ruptura de la epidermis y reduce la translocación de asimilados dentro de la planta es un patógeno que puede generar inóculo, infectar al trigo y causar lesiones en un rango considerablemente amplio de condiciones ambientales (Schierenbeck, 2017).

Clasificación taxonómica de *Puccinia striiformis*

Dominio: Eukaryota

Reino: Fungi

Filo: Basidiomycota

Clase: Pucciniomycetes

Orden: Pucciniales

Familia: Pucciniaceae

Género: *Puccinia*

Especie: *P. striiformis* f.sp. tritici

(Agrios, 2002).

Sintomatología de la enfermedad

Esta roya se manifiesta como pústulas muy pequeñas de color amarillo limón, se observan en las nervaduras de la cara superior de las hojas, como así también en espigas, sobre glumas, aristas. En el campo, se la observa en manchones, tiene la particularidad de poseer una elevada capacidad de producir la enfermedad (virulencia); de ahí su carácter explosivo, los primeros síntomas aparecen cuando las condiciones ambientales son favorables al desarrollo de este hongo (Brach & Cracogna, 2018).

Ciclo biológico de *Puccinia striiformis*

El ciclo biológico completo comprende cinco etapas de esporas. Etapa 0: picnias y etapa I: aceia; las etapas II (uredinia), III (telia) y IV (basidios) ocurren en los hospedantes primarios como los cereales (Chen & Kang, 2017).

La enfermedad se reduce a la repetición del ciclo asexual, desde la infección de las plantas de trigo por urediniosporas hasta la producción de las próximas generaciones, la fuente de inóculo comienza con la dispersión de esporas y el aterrizaje sobre las plantas hospedantes. Una vez sobre la superficie de la hoja, se lleva a cabo el proceso de infección en el que se incluye la germinación de esporas, penetración, formación de haustorio crecimiento de las hifas infecciosas, diferenciación de la estructura de reproducción y finaliza con la esporulación. La infección de una urediniospora produce numerosas uredinias, cada una de las cuales libera miles de urediniosporas, cuando las condiciones de temperatura son óptimas los síntomas de la enfermedad (clorosis) se pueden observar alrededor de siete días después de la llegada del inóculo (Figura 2) (Chen & Kang, 2017).

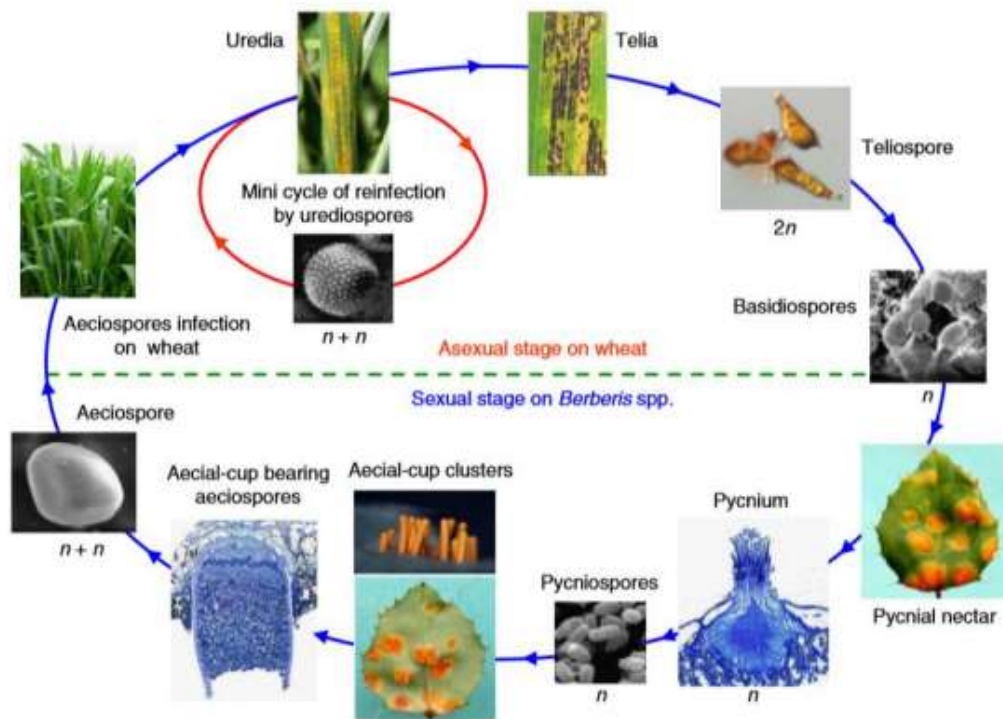


Figura 2. Ciclo de vida de *Puccinia striiformis* f. sp. tritici (Zheng *et al.*, 2013).

Requerimientos climáticos para el desarrollo de la enfermedad

La roya se produce principalmente en condiciones cálidas y húmedas (Masinde, 2019), generalmente los procesos de infección se dan a temperaturas entre 10 y 30°C (siendo el óptimo entre 19 y 22°C) y periodos de 6 a 48 horas con elevada humedad relativa y rocío (Schierenbeck, 2017).

Métodos para el manejo de la roya amarilla

Control químico

El monitoreo intensivo es fundamental, tomando numerosos puntos de referencia debido a que la enfermedad comienza por manchones y en variedades susceptibles su progreso puede ser explosivo (Campos *et al.*, 2016); el control químico es una

herramienta para manejar la enfermedad con el uso de fungicidas sistémicos como algunas moléculas triazoles tales como triconazole, fluquinconazole y flutriafol podrían ofrecer un periodo de protección de 30 hasta 40 días aproximadamente según el ataque temprano de roya; se recomiendan umbrales de alrededor del 1% de severidad foliar promedio, que aproximadamente sería la presencia de roya en 35 hojas de cada 100 muestras (incidencia) (McLean *et al.*, 2010).

Se recomienda evaluar las hojas más cercanas a la hoja bandera de la planta de trigo ya que las hojas más jóvenes son las primeras en infectarse ya que son inicialmente más susceptibles (Farber, 2017).

Control genético

El mejoramiento genético para lograr resistencia a esta enfermedad ha sido el método más eficiente en su control (Singh *et al.*, 2002).

Una alternativa para lograr mayor durabilidad de la resistencia a roya amarilla es mediante la formación de genotipos de trigo que posean resistencia durable, basada en genes que confieren resistencia de desarrollo lento de la enfermedad; el efecto de un gen de resistencia de desarrollo lento en el progreso de la enfermedad fluctúa de pequeño a moderado, pero la combinación de dos o más genes de efectos aditivos resulta en un alto nivel de resistencia (Rajaram, 1995).

La selección de segregantes en invierno y verano con diferentes fotoperiodos permitió la expresión de los genes Ppd1 y Ppd2 (Rajaram, 1995), dando como resultado la obtención de variedades con amplia adaptación en diversas partes del mundo.

En los últimos años se ha trabajado sobre el control genético de roya amarilla y el mejoramiento de la calidad. En roya amarilla se ha encontrado resistencia en planta adulta gracias a los genes Yr18, Yr28 y Yr29 (William *et al.*, 2003).

La resistencia durable a *Puccinia striiformis* f. sp. tritici es más efectiva en planta adulta y a temperaturas mayores a 25°C que a temperaturas menores a 15°C; a futuras variedades es necesario conjuntar de cuatro a cinco genes de efectos menores de acción génica aditiva, lo que se conoce como resistencia cercana a la inmunidad. La manera de conjuntar este número de genes es a través del mejoramiento genético (Singh *et al.*, 2000).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El trabajo experimental se realizó en dos localidades en la República Mexicana, la primera durante el periodo diciembre a mayo en el ciclo OI 2020-2021 en la comunidad “El Talón” que está situada en el Municipio de Pénjamo en el Estado de Guanajuato, con coordenadas 20° 20' 31" latitud norte y 101° 52' 03" oeste con una altura de 1687 msnm (Figura 3).

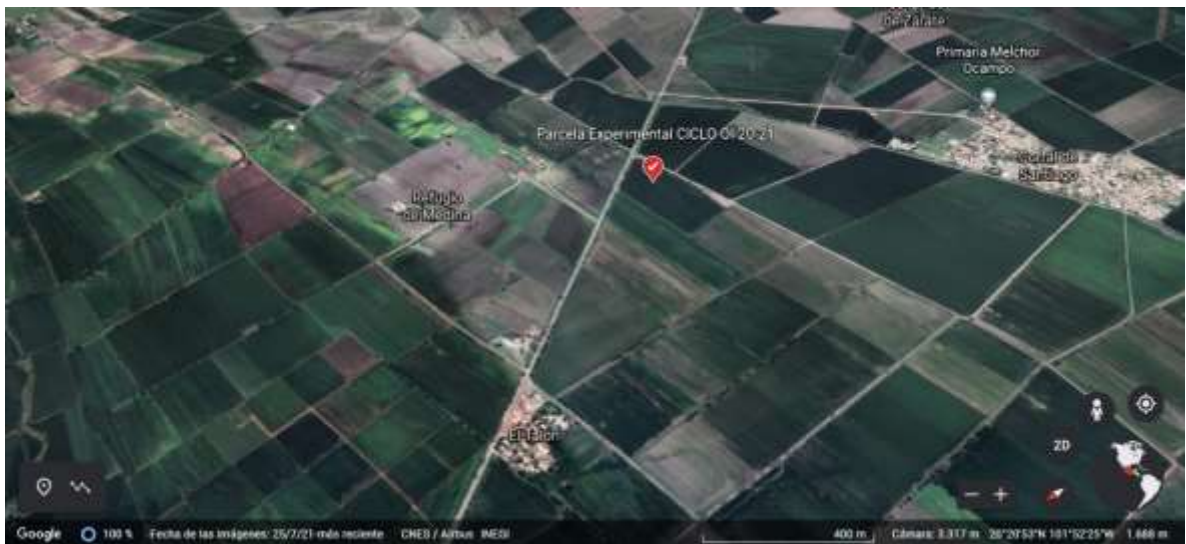


Figura 3. Ubicación de la comunidad de “El Talón”, Pénjamo, Guanajuato.

En el ciclo PV de junio a noviembre 2021, se estableció la segunda parcela experimental, en Toluca, Estado de México con coordenadas 19° 12' 38" latitud norte y 99° 33' 26" oeste con una altura de 2580 msnm (Figura 4).



Figura 4. Ubicación de la parcela experimental en Toluca, Estado de México.

Estos sitios se caracterizan por ser regiones representativas de la producción de trigo y por la superficie de siembra que se estableció en el ciclo OI 2020-2021, así como por las condiciones climáticas para evaluar enfermedades en genotipos de trigo en el ciclo PV 2021 C2020-2021.

Desarrollo del experimento

Obtención de la semilla

Para las parcelas experimentales se utilizaron 40 genotipos en los ciclos OI C20-21 y el ciclo PV C21, de las cuales se utilizaron como testigo cinco variedades comerciales, dos de trigo harinero: TENERIA S2016 y SANTA ANA 2000, y tres de tipo de cristalino: ANATOLY C2011, JUPARE C2001 y YAVAROS 79; tres desarrolladas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), y dos más desarrolladas por la empresa Agroquímicos y Semillas La Fuerte S.A. de C.V. en el área de investigación, por tanto, se evaluaron 34 líneas elite provenientes de Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) para la obtención de una nueva variedad comercial (Cuadro 1).

Cuadro 1. Genotipos evaluados en los ciclos OI C20-21 y PV C21, para determinar tolerancia y alto rendimiento a la roya amarilla (*Puccinia striiformis*).

N°	GENOTIPOS
1	TENERIA S2016 (testigo harinero)
2	BAVIS/NAVJ07//SUP152/BAJ #1
3	BECARD/FRNCLN//2*BORL14
4	BECARD/FRNCLN//BORL14
5	BORL14*2/8/REH/HARE//2*BCN/3/CROC_1/AE.SQUARROSA(213)//PGO/4/HUITES/5/T.DIO CCONPI94624/AE.SQUARROSA(409)//BCN/6/REH/HARE//2*BCN/3/CROC_1/AE.SQUARSA (213)//PGO/4/HUITES/7/MUTUS
6	MUNAL*2/WESTONIA/3/WBLL1*2/BRAMBLING*2//BAVIS/4/MUNAL #1
7	NADI #1
8	PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1/4/SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/5/2*BORL14
9	ROLF07*2/SHORTENED SR26 TRANSLOCATION//MUNAL #1/3/MUNAL*2/WESTONIA
10	SANTA ANA 2000 (testigo harinero)
11	SHA7//PRL/VEE#6/3/FASAN/4/HAAS8446/2*FASAN/5/CBRD/KAUZ/6/MILAN/AMSEL/7/FRE T2*2/KUKUNA/8/KINGBIRD #1/9/BORL14
12	SUP152/BAJ #1*2/3/KINGBIRD #1//INQALAB 91*2/TUKURU
13	SUP152/BAJ #1*2/3/KINGBIRD #1//INQALAB 91*2/TUKURU
14	WBLL1*2/CHAPIO/6/CNDO/R143//ENTE/MEXI75/3/AE.SQ/4/2*OCI/5/2*CIRCUS/7/WBLL1*2/ BRAMBLING*2/8/MUU/FRNCLN//FRANCOLIN #1
15	L-58
16	CBC509CHILE/6/ECO/CMH76A.722//BIT/3/ALTAR84/4/AJAIA_2/5/KJOVE_1/7/AJAIA_12/F3 LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/8/SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3/11/M ÂALI/6/MUSK_1//ACO89/FNFOOT_2/4/MUSK_4/3/PLATA_3//CREX/ALLA/5/OLUS*2//ILBOR// PATKA_7/YAZI_1/10/SEL
17	CBC509CHILE/6/ECO/CMH76A.722//BIT/3/ALTAR84/4/AJAIA_2/5/KJOVE_1/7/AJAIA_12/F3 LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/8/SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3/13/S OOTY_9/RASCON_37//GUAYACANINIA/11/BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLGA _8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/U
18	Eurostar/5/SOOTY_9/RASCON_37//JUPAREC2001/3/SOOTY_9/RASCON_37//CAMAYO/4/S OOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/3/SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM/9/CBC509CHILE/ 6/ECO/CMH76A.722//BIT/3/ALTAR84/4/AJAIA_2/5/KJOVE_1/7/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.EHI O.135.85)//PLATA_13/8/
19	MÂALI/6/MUSK_1//ACO89/FNFOOT_2/4/MUSK_4/3/PLATA_3//CREX/ALLA/5/OLUS*2//ILBO R//PATKA_7/YAZI_1/10/SELIM/9/ALTAR84/860137//YAZI_1/4/LIS_8/FILLO_6/3/FUUT//HOR AJJOR/8/GEDIZ/FGO//GTA/3/SRN_1/4/TOTUS/5/ENTE/MEXI_2//HUI/4/YAV_1/3/LD357E/2*T C60//JO69/6/SOMBRA
20	ANATOLY (testigo cristalino)
21	P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPAREC2001/11/BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLG_ 8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBAD/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKN EE_11/9/CHEN/ALTAR84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/12/STR/4/JO69/3/JO69/CRA// CIT71/5/ALTAR 84

22	P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPAREC2001/11/BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLG_8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBAD/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/CHEN/ALTAR84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/12/STR/4/JO69/3/JO69/CRA//CIT71/5/ALTAR 84/
23	P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPAREC2001/11/BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLG_8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBAD/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/CHEN/ALTAR84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/12/STR/4/JO69/3/JO69/CRA//CIT71/5/ALTAR 84/
24	P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPAREC2001/11/BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLGA_8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBAD/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/CHEN/ALTAR84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/12/STR/4/JO69/3/JO69/CRA//CIT71/5/ALTAR 84/
25	P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPAREC2001/11/BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLGA_8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBAD/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/CHEN/ALTAR84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/12/STR/4/JO69/3/JO69/CRA//CIT71/5/ALTAR 84/
26	PLATA_7//ILBOR_1//SOMAT_3/3/CABECA_2/PATKA_4//BEHRANG/10/1A.1D5+106/2*WB881//1A.1D5+106/3*MOJO/3/SOOTY_9/RASCON_37/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/11/CIRNOC2008/12/TARRO_1/2*YUAN_1//AJAIA_13/YAZI/3/SOM
27	SOMAT_3//GREEN_22/4/GODRIN/GUTROS//DUKEM/3/THKNEE_11/6/YAV79/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/5/MINIMUS/COMBDUCK_2//CHAM_3/3/GREEN_19/7/GUAYACANINIA/2*SNITAN/3/SOMAT_3//GREEN_22//2*RASCON_37/2*TARRO_2
28	SOOTY_9/RASCON_37//GUAYACANINIA/11/BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLGA_8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBAD/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/CHEN/ALTAR84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/12/PLATA_7//ILBOR_1//SOMAT_3/3/SORA/2*PLATA_12//S
29	SOOTY_9/RASCON_37//GUAYACANINIA/11/BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLGA_8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBAD/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/CHEN/ALTAR84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/12/PLATA_7//ILBOR_1//SOMAT_3/3/SORA/2*PLATA_12//S
30	JUPARE C 2001 (testigo cristalino)
31	SOOTY_9/RASCON_37//JUPAREC2001/5/GREEN/SOMO/3/GODRIN/GUTROS//DUKEM/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN/6/CBC509CHILE/5/2*AJAIA_16//HORA/JRO/3/GAN/4/ZAR/7/CBC509CHILE/5/2*AJAIA_16//HORA/JRO/3/GAN/4/ZAR/6/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85
32	SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/13/SOOTY_9/RASCON_37//GUAYACANINIA/11/BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLGA_8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PL
33	SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/13/SOOTY_9/RASCON_37//GUAYACANINIA/11/BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLGA_8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PL
34	SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/13/SOOTY_9/RASCON_37//GUAYACANINIA/11/BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLGA_8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PL
35	TARRO_1/2*YUAN_1//AJAIA_13/YAZI/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/4/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/5/CBC501CHILE/GUANAY/4/CNDO/PRIMADUR//HAIOU_17/3/SNITAN/7/ALTAR84/BINTEPE85/3/STOT//ALTAR84/ALD/4/POD_11/YAZI_1/5/VANRRIKSE_12/SNITAN/6/SOOTY_9/RASCON_

...continuación del **Cuadro 1**

36	TARRO_1/2*YUAN_1//AJAIA_13/YAZI/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/4/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/5/CBC501CHILE/GUANAY/4/CNDO/PRIMADUR//HAIUO_17/3/SNITAN/7/ALTAR84/BINTEPE85/3/STOT//ALTAR84/ALD/4/POD_11/YAZI_1/5/VANRRIKSE_12/SNITAN/6/SOOTY_9/RASCON_
37	WOLLAROI/12/LABUD/NIGRIS_3//GAN/3/AJAIA_13/YAZI/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBAD/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/CHEN/ALTAR84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/11/SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3/4/STORLOM/3/RASCON_37/TARRO_2//RASCON_37/5/CADO/
38	YAVAROS 79 (testigo cristalino)
39	BORL14*2/7/SERI.1B*2/3/KAUZ*2/BOW//KAUZ/4/KRONSTAD F2004/5/MUNAL/6/MUNAL #1
40	FRET2*2/KUKUNA//PVN/5/FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ/6/TRCH/SRTU//KACHU

Labores culturales realizadas al cultivo

Para la preparación del terreno se realizó un barbecho profundo entre 30 y 40 centímetros después de la cosecha del cultivo anterior y dos rastreos cruzados para desbaratar y pulverizar los terrones grandes que quedaron del barbecho y posteriormente la nivelación para una mejor distribución del agua. Para la nutrición del cultivo en ciclo OI C20-21 y el ciclo PV C21 como fertilización total se destinó 260N- 60P- 30K unidades y se dosificó en tres aplicaciones.

Se dio un riego de nacencia en los ciclos de producción, mientras que el segundo riego se le dio a los 30 días, el tercer riego a los 25 y el cuarto riego a los 20 días.

Para el control de maleza se utilizó Flucarbazona de Sodio (Everest 2.0®) un herbicida post-emergente selectivo a trigo para el control de gramíneas.

En el caso del control de plagas, se utilizó un insecticida a base de Imidacloprid formulado como suspensión acuosa al 35% (Manager® 350 SC) pertenece el grupo de los cloronicotinilos, efectivos para el control de insectos chupadores (áfidos) por vía sistémica o por contacto e ingestión.

La cosecha, se realizó según la madurez de cada variedad; la cual se realizó con el apoyo de una minicombinada para parcelas experimentales.

Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques al azar, con tres repeticiones. La parcela experimental PV C21 se diseñó de un surco de 1.0 m separado por 0.75 m, y la parcela útil para la cosecha fue de 0.75 m; en el ciclo OI C20-21 estuvo formada por dos surcos de 3.0 m de largo separados 0.75 m, la parcela útil consto de la cosecha de dos surcos de 2.0 m de largo.

Variables evaluadas

Tipo agronómico (TA): este dato es completamente visual, es una calificación que se le dio a cada parcela experimental tres veces durante el ciclo; con los valores de 1 a 5; donde 1 es muy malo y 5 está muy bien dependiendo las características morfológicas presentes en campo con base en los daños ocasionados por la roya, si estos son pocos, se considera resistente bajo parámetros agronómicos.

Espigamiento (DESP): se hace un cálculo para determinar los días que pasan desde la siembra hasta que aproximadamente el 50 % de las espigas estuvieron expuestas.

Madurez (DMF): o días a madurez fisiológica, se estima los días en que la planta llega a esta etapa; el grano completó su total desarrollo y llenado, la proteína ya se ha formado y la calidad del trigo está definida no necesitando nutrirse de la planta. Días transcurridos desde la siembra hasta que 50% de los pedúnculos de plantas presentaron color amarillento.

Altura (AP; m): la altura final de la planta se tomó al final de la madurez; la altura del tallo debe oscilar entre los 0.70 y 1.30 m entre variedades de trigo, por lo que

para evitar error en la toma del dato, se utilizó una estaca graduada de 2.0 metros marcada cada 5 centímetros, para tener mayor precisión en el valor.

Rendimiento (RTO; g): Para determinar el rendimiento de cada una de las parcelas experimentales se cortó con la ayuda de una guadaña y se trillo en una trilladora manual, la semilla se puso en costales y posteriormente se pesó.

Rendimiento (RTO; Kg-ha⁻¹): una vez obtenido el rendimiento (g), de cada una de las parcelas, para el valor en gramos se realizó una conversión a una hectárea.

Severidad: se registró como porcentaje, de acuerdo con la escala modificada de Cobb, la cual se basa en observaciones visuales, se hizo uso de los siguientes intervalos de seguimiento: 5, 10, 20, 40, 60, 100% según gravedad de la infección o el porcentaje de la roya en las plantas

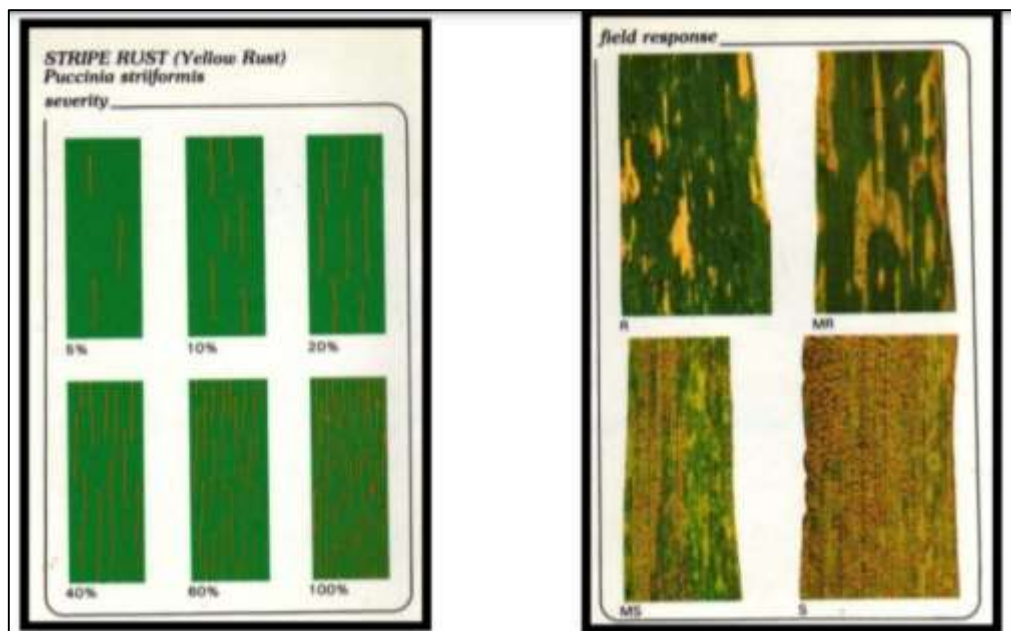


Figura 5. Escala de evaluación para *Puccinia striiformis* f. sp. tritici.

Análisis estadístico de datos

Se elaboró una matriz básica de datos, con el registro de las variables obteniendo promedios de cada variable por unidad experimental. Para el análisis de datos se utilizó el software de análisis estadístico SAS v9.0 los cuales se corrieron con un modelo factorial considerando dos factores, que correspondieron a 2 x 40 niveles (ambientes x genotipos), tomando en cuenta también a los testigos. La prueba de medias se realizó con Tukey a un nivel de confiabilidad del 95% ($\alpha \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Análisis de varianza

El análisis de varianza arrojó diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.001$) para el 100% de las variables entre genotipos, el 85% de las variables a través de ambientes y 71% entre las interacciones de genotipo por ambiente. La variable que resultó no significativa ($\alpha \leq 0.001$ y $\alpha \leq 0.05$), entre ambientes fue la Altura de Planta (AP), esto quiere decir que las variedades son constantes en esta variable entre los ambientes, es decir que tienen el mismo comportamiento. Por otro lado, en las interacciones (Amb*Gen), las variables Tipo agronómico (TA) y no tuvo diferencias significativas ($\alpha \leq 0.001$ y $\alpha \leq 0.05$) y la variable AP, solo presentó diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$). Con estos resultados se entiende que la variable más inconstante fue AP, por lo que para caracterizar genotipos para resistencia a la roya amarilla esta variable no da mucha información que facilite la selección de variedades, ya que no hay oportunidad de diferenciar entre ambientes e interacciones. Sin embargo, al detectar diferencias altamente significativas entre ambientes, genotipos y la interacción, para el resto de las variables indica que al menos un genotipo es diferente a los demás en cada una de estas características (Cuadro 2). Rodríguez *et al.* (2019) mencionan que su producción es afectada por factores bióticos y abióticos, las enfermedades como las royas son ocasionadas por diferentes especies del género *Puccinia* e indican que las royas son las más devastadoras, ya que históricamente han causado pérdidas considerables en rendimiento de este cereal en todo el mundo.

Cuadro 2. Análisis de varianza para las variables que determinan la caracterización de genotipos resistentes a *Puccinia striiformis* f. sp. tritici, obtenidas en dos ambientes y su interacción durante los ciclos OI C20-21 en el Talón y PV C-2021 en Toluca.

F.V.	gl	VARIABLES						
		TA	DESP	DMF	AP	Severidad	RTO (g)	RTO (Kg·ha ⁻¹)
Amb	1	3.60**	235.22**	2873.02**	5.62 ^{ns}	6956.40**	4860948.12**	96946606.4**
Gen	39	0.79**	35.87**	112.12**	201.34**	366.14**	307760.44**	6038213.2**
Amb*Gen	39	0.30 ^{ns}	21.04**	101.71**	17.16*	273.07**	345445.37**	6802523.8**
Error	80	0.23	3.35	3.76	10.0	22.65	18994.32	378605.5
Total	159							
corr.								
CV(%)		14.12	2.43	1.48	3.49	62.68	8.35	8.39
R ²		0.71	0.90	0.97	0.91	0.94	0.95	0.95
Media		3.45	75.13	130.96	90.37	7.59	1649.45	7327.19

FV= Fuente de variación; Amb= Ambientes; Gen=genotipos; Amb*Gen= Interacción; gl= Grados de libertad CV(%)= Porcentaje del coeficiente de variación; R²= Coeficiente de determinación; **= Significancia estadística con una confiabilidad del 99% y un $\alpha \leq 0.001$; *= Significancia estadística con una confiabilidad del 95% y un $\alpha \leq 0.05$; ^{ns}=no existe significancia.

Comparación de medias entre ambientes

En cuanto a la comparación de medias entre los ambientes y corroborando el análisis de varianza, la variable que no presentó diferencias significativas fue la Altura de Planta (AP), expresándose el valor más bajo (90.18 cm) en la localidad de Toluca, en este ambiente también se expresó el valor más bajo para las variables Tipo Agronómico y de Rendimiento (g, Kg·ha⁻¹), variables que son de gran importancia para la producción de este cereal; por otro lado en la localidad de Talón, los genotipos fueron más precoces por los valores bajos en las variables DESP y DMF, lo que pudo haber influido en la presencia de la roya amarilla, ya que tuvo valor bajo en comparación a lo obtenido en Toluca. Estos resultados indican que el ambiente donde se cultive el trigo es determinante para la incidencia y severidad de la enfermedad y la expresión de su rendimiento. Buendía *et al.* (2019) en su trabajo mencionan que la presencia de la roya amarilla disminuyó la calidad física del grano y el rendimiento harinero, pero no el contenido de proteína en harina. Las líneas experimentales con mayor tolerancia a la roya se asociaron con porcentajes de granos chupados menores a 20% lo que se asoció a valores altos de peso de mil granos, peso hectolítrico y rendimiento harinero. Mientras que con mayor incidencia

de la enfermedad presentó 70% de granos chupados y el menor peso de mil granos y peso hectolítrico. El contenido de proteína en harina y las variables evaluadas en la masa no mostraron diferencias en la mayoría de los genotipos con y sin la incidencia de la enfermedad. Por lo que el uso de genotipos con tolerancia genética a la roya amarilla o la aplicación de fungicida disminuye las pérdidas en la calidad física del grano y rendimiento harinero.

Cuadro 3. Comparación de medias entre las localidades Talón, Pénjamo, Gto (OI C20-21) y Toluca, Edo. de México (PV C-202), para las variables que determinan la caracterización de genotipos resistentes a *Puccinia striiformis* f. sp. tritici.

Ambiente	VARIABLES						
	TA	DESP	DMF	AP	Severidad	RTO (g)	RTO (Kg-ha-1)
Talón, Pénjamo, Gto.	3.6a	73.92b	126.72b	90.56a	1.00a	1823.75a	8105.60a
Toluca, Edo. de México	3.3b	76.35a	135.20a	90.18a	14.18b	1475.15b	6548.79b

Medias con la misma letra indica que los valores obtenidos son estadísticamente iguales entre ellos.

Comparación de medias entre genotipos

La respuesta que presentaron los genotipos en la evaluación para seleccionar los materiales con mayor resistencia a la roya amarilla y con mejores características agronómicas, fue muy variante; el análisis de los resultados por genotipo se describió por variable, para la evaluación de las plantas en el Tipo Agronómico (TA) que indica características morfológicas en campo, con base en el daño ocasionado por la roya amarilla, indica que valores cercanos a 5 dan referencia a que los genotipos presentan mayor resistencia a la enfermedad; así tenemos a los genotipos que tuvieron mejor expresión de las características agronómicas y morfológicas en las dos localidades, fueron 20 (testigo), 24 y 37, lo que presentaron valores altos con media de 4.50 cada uno. Mientras que los genotipos 2, 4, 6, 7, 8, 9, 18, 25, 35, 36, 39 y 40 presentaron los valores más bajos en un rango de 2.75 a

3.0, lo que indica que fueron los genotipos de peor evaluación en las características de tipo agronómicas, en las dos localidades (Cuadro 1 y 4).

Cuadro 4. Comparación de medias entre 40 genotipos de trigo, para variables que determinan la resistencia a *Puccinia striiformis* f. sp. tritici, en los ciclos OI C20-21, Talón, Pénjamo, Gto. y PV C-2021 Toluca, Edo. de México.

Genotipo de trigo	VARIABLES						
	TA	DESP	DMF	AP	Severidad	RTO (g)	RTO (Kg-ha-1)
1	3.75ab	72.50efghij	136.75bc	86.25efg	25.00ab	1270.75kl	5647.5jk
2	3.00b	75.50cdefghi	127.00ef	95.00abcd	0.0e	1555.45efghijk	6912.8defghijk
3	3.50ab	81.75ab	135.00bc	96.25abcd	15.00bcd	1655.75bcdefghijk	7359.0bcdefghij
4	3.00b	76.75bcdef	133.50bcd	92.50bcdef	10.00cde	1400.15kl	6223.0jk
5	3.25ab	77.50bcde	137.00bc	97.50abc	12.50bcde	1531.85fghijkl	6808.3efghijk
6	3.00b	76.00cdefgh	127.00ef	102.50a	0.0e	1612.65cdefghijk	7167.8cdefghij
7	3.00b	74.00defghij	126.00f	97.50abc	0.0e	1514.05ghijkl	6729.5fghijk
8	3.00b	74.50cdefghij	126.50ef	95.00abcd	0.0e	1576.55efghijk	7006.8defghijk
9	3.00b	76.50cdefg	133.25bcd	100.00ab	17.50abc	1370.55kl	6091.3jk
10	3.25ab	74.25cdefghij	137.00bc	95.00abcd	30.00a	1261.90kl	5608.3jk
11	3.75ab	76.75bcdef	135.50bc	103.75a	12.50bcde	1512.10ghijkl	6720.5fghijk
12	4.00ab	73.50defghij	127.50ef	92.50bcdef	0.0e	1585.50defghijk	7046.8defghij
13	3.50ab	74.00defghij	129.00def	95.00abcd	0.0e	1628.00cdefghijk	7235.3cdefghij
14	4.00ab	73.00efghij	126.50ef	97.50abc	0.0e	1917.00abcdef	8520.3abcde
15	3.25ab	77.25bcde	144.75a	102.50a	20.00abc	1426.75kl	6340.3jk
16	4.0ab	74.75cdefghij	138.50b	73.75i	12.50bcde	1434.35kl	6374.8jk
17	3.75ab	73.75defghij	138.00b	88.75cdefg	15.00bcd	1483.65ijkl	6594.0hijk
18	3.00b	75.50cdefghi	125.00f	87.50defg	0.0e	2025.45ab	9001.5ab
19	3.50ab	74.50cdefghij	126.50ef	75.00hi	0.0e	1887.15abcdefgh	8388.0abcdefg
20	4.50a	76.50cdefg	126.50ef	82.50ghi	0.0e	1972.20abcd	8616.0abcd
21	3.50ab	75.25cdefghi	137.50b	82.50ghi	17.50abc	1184.70l	5265.3k
22	3.25ab	76.00cdefgh	137.25bc	83.75fgh	3.75ed	1290.40kl	5735.3jk
23	3.25ab	79.25bc	133.75bcd	88.75cdefg	10.00cde	1269.60kl	5642.8jk
24	4.50a	72.50efghij	125.50f	92.50bcdef	0.0e	1865.00abcdefghi	8289.0abcdefgh
25	3.00b	72.50efghij	126.00f	85.00fg	0.0e	2062.15a	9165.5a
26	3.50ab	74.00defghij	128.50def	90.00cdefg	0.0e	2027.05ab	9009.5ab
27	3.25ab	76.75bcdef	133.25bcd	87.50defg	20.00abc	1291.90kl	5741.8jk

...continuación del Cuadro 4

28	3.50ab	71.50ghij	127.50ef	90.00cdefg	0.0e	1986.35abc	8827.5abc
29	3.50ab	72.50efghij	129.00def	87.50defg	0.0e	1884.00abcdefgh	8373.5abcdefg
30	4.00ab	72.50efghij	126.00f	92.50bcdef	0.0e	1873.55abcdefghi	8327.5abcdefg
31	3.50ab	71.00hij	127.00ef	90.00cdefg	0.0e	1838.00abcdefghij	8169.0abcdefg
32	3.50ab	77.00bcdef	136.50bc	81.25ghi	20.00abc	1350.10kl	6000.5jk
33	3.50ab	76.75bcdef	137.50b	82.50ghi	25.00ab	1502.00hijkl	6675.8ghijk
34	3.50ab	76.75bcdef	136.25bc	82.50ghi	25.00ab	1446.85jkl	6430.3ijk
35	3.00b	70.50ij	125.00f	85.00fg	0.0e	1901.45abcdefg	8450.8abcdef
36	3.00b	76.00cdefgh	125.00f	92.50bcdef	0.0e	2132.05a	9476.0a
37	4.50a	72.00fghij	125.50f	85.00fg	0.0e	1945.80abcde	8647.5abcd
38	3.50ab	70.00j	126.50ef	87.50defg	0.0e	1853.55abcdefghi	8238.5abcdefg
39	3.00b	78.50bcd	126.50ef	95.00abcd	0.0e	1573.10efghijk	6992.0defghijk
40	2.75b	85.50a	131.75cde	97.50abc	12.50bcde	2078.65a	9238.8a

Medias con la misma letra indica que los valores obtenidos son estadísticamente iguales entre ellos.

En días a espigamiento (DESP), se tuvo que los genotipos 3 y 40 presentaron los valores más altos (81.75 y 85.5 días en promedio, respectivamente) esto indica que son variedades más tardías aproximadamente entre 13 a 15 días más que los genotipos 35 y 38 (testigo) que fueron los más precoces, esto referido en promedio de las dos localidades con 70.50 y 70.00 días, respectivamente. Otra variable que determina precocidad son los días a madurez fisiológica (DMF), el rango que se encontró en días entre los genotipos fue de 125 a 144.75 días y los genotipos que obtuvieron los menores valores, es decir, que son más pronto a cosechar fueron: 7, 18, 24, 25, 30 (testigo), 35, 36 y 37; por otro lado, los genotipos que presentaron mayor número de días en esta variable, fueron: 15, 16, 17, 21 y 33, esto expresado en promedio de las dos localidades (Cuadro 1 y 4).

La variable altura de planta (AP), se presentó entre los genotipos entre 73.75 cm y 103.75 cm, este carácter implica que a mayor altura, que existe mayor riesgo de que las plantas se acamen, según Zapata *et al* (2014) y mencionan que conforme se ha ido trabajando en el mejoramiento genético del trigo, lo que se ha buscado es reducir el tamaño de la altura del tallo y con ello lograr una altura óptima de las plantas por lo que se puede considerar que los genotipos que presentaron menor tamaño en las dos localidades, fueron, se consideran como ideales factibles a seleccionar, por lo que el genotipo 16 y 19, cumplieron en esta cualidad; mientras que los genotipos que presentaron, mayor altura de planta fueron 6, 11 y 15 con un porcentaje del 28% más altas, con respecto a las de menor valor (Cuadro 1 y 4).

En la variable relacionada a severidad de la enfermedad de roya amarilla causada por el patógeno *Puccinia striiformis* f. sp. tritici, expresada en los genotipos entre localidades indico que el 47.5% de los materiales biológicos presentaron el valor más bajo de 0.0 (2, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 35, 36, 37, 38 y 39) y solo el 10% de los genotipos tuvieron el valor más alto, el cual se encontró entre 25.0 y 30.0 (10, 25, 33 y 34) (Cuadro 1 y 4). Singh y Huerta-Espino (1997) destacan que la resistencia genética es la herramienta más importante para el control de enfermedades y para disminuir los costos del cultivo al aplicar menos

fungicidas, además mencionan que la roya de la hoja ha causado pérdidas en el rendimiento hasta del 43 a 84% en diferentes variedades.

El rendimiento ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) es un parámetro de interés para todo mejorador, por lo que en esta evaluación los genotipos que expresaron los mayores rendimientos fueron: 25 (2,062.15 g y 9,165.5 $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), 36 (2,132.05 g y 9,476.09 $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y el 40 (2,078.65 g y 9,238.8 $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), estos genotipos tuvieron destacaron también con menor valor en la variable severidad, en DMF y en TA y en el caso del genotipo 40 este presentó el valor más alto de DESP. Por otro lado, el genotipo que tuvo el menor rendimiento fue el 21 (1184.70 g y 5265.3 $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y presentó valores altos en las variables DMF y DESP (Cuadro 1 y 4). Velasco *et al.* (2012) evaluaron 20 genotipos de trigo harinero: 17 líneas y tres testigos del INIFAP donde en la localidad 1 los efectos entre genotipos fueron altamente significativos ($p \leq 0.01$) para rendimiento (RG), floración (DF), madurez fisiológica (DM), y altura de planta (AP); en roya (PR) sólo fueron significativos al 0.05. En la localidad 2 los valores de F para genotipos fueron altamente significativos ($p \leq 0.01$) para rendimiento (RG), floración (DF), madurez fisiológica (DM) y altura de planta (AP); para roya (PR) no hubo diferencias significativas. En la interacción genotipo por localidad (G x L) sólo hubo efectos altamente significativos ($p \leq 0.01$) en DF y DM. En porcentaje de acame (PA) no hubo efectos significativos para ninguna fuente de variación; se asoció el rendimiento con las dimensiones de la planta (AP), con el ciclo biológico (DF y DM) y con las resistencias al acame (PA) y a la roya de la hoja (PR), este tipo de resultados son corroborados también por Sánchez (1995) y González *et al.* (2010), además sustentan investigaciones como la que se realizó en esta investigación.

Comparación de medias entre las interacciones (Ambiente*Genotipo)

El análisis de comparación de medias en la interacción que genera un análisis factorial de dos ambientes, en este caso una localidad de Guanajuato (Talón, Pénjamo) y una localidad del Estado de México (Toluca) por 40 genotipos de trigo, indico para el caso de la variable TA, que no hubo diferencias significativas y todas

las interacciones tienen el mismo comportamiento para esta variable, con valores entre 2.5 y 4.5 (Cuadro 1 y 5).

La variable DESP presentó valores de 70.0 a 95.0, y fueron dos interacciones las que presentaron los valores más altos, la 62 y 79, las cuales corresponden a las evaluaciones realizadas en Toluca con los genotipos 22 y 39, que tuvieron el mayor número de días al espigamiento, mientras que las interacciones que tuvieron un menor valor en esta variable fueron la 38 y 77, que corresponden a la interacción entre la localidad de Talón y el genotipo 38, para el primer caso y la interacción entre la localidad de Toluca con el genotipo 37, para el segundo caso. En la variable DMF se encontraron valores que fluctúan en el rango de 122.5 a 151.0 días y las interacciones donde se dieron los valores más altos fueron la 41, 50, 55 y 61 (todas corresponden a la localidad de Toluca, con los genotipos 1 (testigo), 10 (testigo), 15 y 21); los valores más bajos se expresaron en la interacción 1, correspondiente a la localidad de Talón, genotipo 1 (testigo) (Cuadro 1 y 5).

La variable AP, se encontró entre los valores que van desde los 72.5 cm hasta 107.50 cm las interacciones en las que se dieron dichos valores fueron la 51 y 56, respectivamente, que corresponden a la interacción entre la localidad de Toluca y los genotipos 11 y 16 (Cuadro 1 y 5).

La evaluación de la severidad del patógeno, presentó valores desde 0.0 hasta 50.0, los valores más altos fueron expresados por las interacciones 72 y 73, las cuales hacen referencia a las evaluaciones realizadas en la localidad de Toluca con los genotipos 32 y 33 y el 72% de las interacciones presentaron valor de 0.0 en esta variable (Cuadro 1 y 5).

En el caso del rendimiento este fluctuó entre 424.5 g y 2483.0 g (1886.5 a 2483.0 Kg·ha⁻¹), las interacciones donde se expresaron estos valores fueron la 60 y 79, respectivamente, las cuales corresponden a la localidad de Toluca con los genotipos 20 (testigo) y 39 (Cuadro 1 y 5).

Cuadro 5. Comparación de medias para 80 interacciones entre dos ambientes (Talón, Pénjamo, Gto. y Toluca, Edo. de México) y 40 genotipos de trigo, para variables que determinan la resistencia a *Puccinia striiformis* f. sp. tritici, en los ciclos OI C20-21 y PV C-2021.

Interacción	VARIABLES						
	TA	DESP	DMF	AP	Severidad	RTO (g)	RTO (Kg·ha-1)
1	a	hijk	f	bcdefg	efg	defghijk	defghijkl
2	a	cdefghijk	f	abcde	g	bcdefghijk	bcdefghijk
3	a	bc	f	abcd	g	bcdefgh	bcdefgh
4	a	bcdefghijk	f	bcdef	g	defghijk	defghijk
5	a	bcdefghijk	f	abcd	g	efghijkl	efghijklm
6	a	bcdefghijk	f	ab	g	bcdefghi	bcdefghi
7	a	efghijk	f	abcd	g	defghijk	defghijk
8	a	defghijk	f	abcde	g	bcdefghij	bcdefghijk
9	a	bcdefghijk	f	abc	g	bcdefgh	bcdefgh
10	a	ijk	f	cdefgh	defg	fghijklm	fghijklmn
11	a	cdefghijk	f	abc	g	bcdefghijk	bcdefghijk
12	a	fghijk	f	bcdef	g	bcdefghij	bcdefghij
13	a	efghijk	f	abcde	g	bcdefghi	bcdefghi
14	a	ghijk	f	abcd	g	abcde	abcde
15	a	bcdefghijk	de	ab	efg	bcdefgh	bcdefgh
16	a	hijk	f	hi	g	abcd	abcd
17	a	jk	f	cdefgh	g	abcdef	abcdef
18	a	cdefghijk	f	cdefgh	g	abcde	abcde
19	a	defghijk	f	hi	g	abcdefg	abcdefg
20	a	bcdefghijk	f	efghi	g	abcde	abcde
21	a	hijk	f	defghi	g	abcde	abcde
22	a	ijk	f	defghi	g	ab	ab
23	a	defghijk	f	abcde	g	abcde	abcde
24	a	hijk	f	bcdef	g	bcdefg	bcdefg
25	a	hijk	f	defghi	g	abcd	abcd
26	a	efghijk	f	bcdefg	g	abcde	abcde

f

...continuación del Cuadro 5

27	a	defghijk	f	bcdefg	g	abcde	abcde
28	a	ijk	f	bcdefg	g	abcde	abcde
29	a	hijk	f	cdefgh	g	abcdefg	abcdefg
30	a	hijk	f	bcdef	g	bcdefg	bcdefg
31	a	ijk	f	bcdefg	g	bcdefg	bcdefg
32	a	hijk	f	ghi	g	abcde	abcde
33	a	ijk	f	defghi	g	ab	ab
34	a	ijk	f	efghi	g	abcd	abcd
35	a	jk	f	defghi	g	abcde	abcde
36	a	bcdefghijk	f	bcdef	g	abc	abc
37	a	hijk	f	defghi	g	abcde	abcde
38	a	k	f	cdefgh	g	bcdefg	bcdefg
39	a	bcdefghij	f	abcde	g	bcdefghijk	bcdefghijk
40	a	bcdefghijk	f	abc	fg	bcdefghi	bcdefghi
41	a	hijk	a	efghi	abc	ijklmnop	ijklmnopq
42	a	cdefghijk	f	abcde	g	defghijk	defghijk
43	a	bcdefgh	abcde	abcde	abcde	bcdefghijk	bcdefghijk
44	a	bcdefghijk	cde	bcdef	cdefg	ghijklm	ghijklm
45	a	bcdefghij	abc	abcd	bcdef	bcdefghij	bcdefghij
46	a	bcdefghijk	f	ab	g	bcdefghijk	bcdefghijk
47	a	efghijk	f	abcd	g	defghijk	defghijk
48	a	defghijk	f	abcde	g	cdefghijk	cdefghijk
49	a	bcdefghijk	bcde	abc	abcd	klmnopq	klmnopqrs
50	a	bcdefghijk	a	ab	ab	hijklm	hijklmno
51	a	bcdefghijk	abcde	a	bcdef	defghijk	defghijk
52	a	fghijk	f	bcdef	g	cdefghijk	cdefghijk
53	a	efghijk	f	abcde	g	bcdefghijk	bcdefghijk
54	a	ghijk	f	abcd	g	bcdefg	bcdefg
55	a	bcdefghijk	a	ab	abcde	hijklmno	hijklmnop
56	a	bcdefghijk	ab	i	bcdef	mnopq	nopqrs
57	a	bcdefghijk	abcd	bcdefg	abcde	ijklmnop	ijklmnopqr
58	a	defghijk	f	hi	g	abcdefg	abcdefg

...continuación del Cuadro 5

59	a	bcdefghijk	f	efghi	g	abcdefg	abcde
60	a	bcdefghij	abc	fghi	abcd	q	s
61	a	bcdefg	a	efghi	fg	q	rs
62	a	b	abcde	efghi	cdefg	pq	qrs
63	a	hijk	f	bcdef	g	bcdefg	bcdefg
64	a	hijk	f	defghi	g	abcd	abcd
65	a	efghijk	f	bcdefg	g	abcde	abcde
66	a	bcdefghi	bcde	defghi	abc	opq	pqrs
67	a	ijk	f	bcdefg	g	abcde	abcde
68	a	hijk	f	cdefgh	g	abcdefg	abcdefg
69	a	hijk	f	bcdef	g	bcdefg	bcdefg
70	a	ijk	f	bcdefg	g	bcdefg	bcdefg
71	a	bcdef	abcde	defghi	abc	nopq	opqrs
72	a	bcde	abc	fghi	a	lmnopq	lmnopqrs
73	a	bcd	abcde	efghi	a	lmnopq	mnopqrs
74	a	jk	f	defghi	g	bcdefg	bcdefg
75	a	bcdefghijk	f	bcdef	g	abc	abc
76	a	hijk	f	defghi	g	abcde	abcde
77	a	k	f	cdefgh	g	bcdefg	bcdefg
78	a	bcdefghij	f	abcde	g	bcdefghijk	bcdefghijk
79	a	a	e	abcde	cdefg	a	a
80	a	cdefghijk	f	cdefgh	g	abcde	abcde

Medias con la misma letra indica que los valores obtenidos son estadísticamente iguales entre ellos. Interacciones del 1 al 40 corresponden a la localidad de Talón, Pénjamo, Gto. y del 41 al 80, corresponden a la localidad de Toluca, Edo. de México, en los dos casos los genotipos están ordenados del 1 al 40 según los datos que se encuentran en el Cuadro 1 de esta investigación.

CONCLUSIONES

El genotipo 25 fue el que presento mayor rendimiento, tanto en promedio de localidades, como entre los genotipos y la interacción Ambiente*Genotipo, además que fue un genotipo con alta tolerancia a la roya amarilla.

Otros genotipos que sobresalieron como candidatos tolerantes a la roya fueron: 36 y 40, además de destacar en rendimiento, presentaron características idóneas en las variables: TA, DESP, DMF.

El genotipo que tuvo el menor rendimiento fue el 21 además sus características, morfológica y agronómicas no fueron las adecuadas, para ser considerado como un candidato a ser seleccionado.

El establecimiento de experimentos en diferentes localidades da la pauta a que haya mayor expresión de los caracteres ideales para el mejoramiento genético de variedades de trigo, tolerantes y/o resistentes a la roya amarilla *Puccinia striiformis* f. sp. tritici.

LITERATURA CITADA

- Agrios. G.N. (2002). Fitopatología (segunda ed.; S. R. Noriega Editores, M. Guzmán, R. Rodríguez, C. Sosa, Ed.). México: Limusa.
- Almacellas G. J., Sánchez F. A. (2015). La roya amarilla del trigo: características, situación actual y claves para el control. En línea: <http://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/131497-La-roya-amarilla-del-trigo-caracteristicas-situacion-actual-y-claves-para-elcontrol.html>. Fecha de consulta: febrero-2017.
- Ávila- Miramontes J.A, Ávila Salazar J.M, Rivas Santoyo F.J: & Martínez-Heredia D. (2014). El Cultivo del Trigo Sistemas de Producción en el Noroeste de México. Universidad de Sonora División de Ciencias Biológicas y de la Salud Departamento de Agricultura y Ganadería, 3 (84).
- Brach, A. M., & Cracogna, M. (2018). La roya amarilla del trigo llegó a la región norte de Santa Fe.
- Buendía A., B. L., Martínez C., E., Villaseñor, H. E., Hortelano S. R., R., Espitia R., E., & Buendía-González, M. O. (2019). La incidencia de roya amarilla y la calidad industrial del grano y la masa en trigo harinero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(1): 143-154.
- Butrón, R., Michma, R., Silva, E., Siñani, O., Quispe, F., & Marza, F. (2015). Características de Grano Relacionados con Rendimiento de Trigo. *Revista Científica De Investigación Info-Iniaf*, 1: 68.
- Camargo A., E. Y. (2017). Asociación de Marcadores de AFLPS y Caracteres de Calidad y Rendimiento en Trigo Candeal *Triticum turgidum* L. var. durum.

- Campos P. E., Fomento A. N., Couretot L. A., Alberione E. J. (2016). Aparición epifítica de roya amarilla del trigo en la Región Pampeana, Argentina. <http://inta.gob.ar/documentos/aparicion-epifitica-de-roya-amarilla-del-trigo-en-laregion-pampeana-argentina>.
- Chen X. M., & Kang Z. S. (2017). *Stripe Rust*. Springer, Dordrecht. DOI 10.1007/978-94-024-1111-9.
- Cruz H., K. L., Valdivia A., R., Martínez D., M. Á., & Contreras C., J. M. (2021). Autosuficiencia Alimentaria en México: Precios de Garantía versus Pagos Directos al Productor. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 12(6): 981-990.
- Delgado-Sánchez, L. M., Huerta-Espino, J., Benítez-Riquelme, I., Ammar, K., Aguilar-Rincón, V. H., & Corona-Torres, T. (2022). Gene Action and Genes that Confer Leaf Rust Resistance in Durum Wheat. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(1): 83-89.
- Dughetti, A. (2012). Pulgones: Clave para identificar las formas ápteras que atacan a los cereales. *RIAN, Red de información agropecuaria nacional. INTA y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca*.
- Farber D. (2017) The primary disease gradient of Wheat Stripe Rust (*Puccinia striiformis* f. sp. tritici) across spatial scales Ph. D Thesis, Oregon State University. 159 p. Disponible en: <http://ir.library.oregon.edu/xmlui/handle/1957/59932?show=full>
- Flores, I. A. F., & Balbi, E. (2013). Plagas del trigo y su manejo.

- Flores-Margez, J. P., Corral-Díaz, B., Osuna-Ávila, P., & Hernández-Escamilla, J. A. (2021). Response of Wheat Flour Varieties in Three Types of Soils in Northern Mexico. *Terra Latinoamericana*, 39.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). Panorama Agroalimentario. Trigo 2021. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial, 89 (3): 2-27. <https://www.fira.gob.mx/infespdtotxml/abrirarchivo.jsp?abrearc=90263>.
- Figuroa L., P., Fuentes D., G., Valenzuela H., V., Chávez V., G., Félix F., J. L., & Mendoza L., J. A. (2012). "Sáwali Oro C2008", Nueva Variedad de Trigo Cristalino para el Noroeste de México. *Revista mexicana de fitopatología*, 30(1): 91-94.
- González, A.; Pérez, D. J.; Sahagún, J.; Franco, O.; Morales, E. J.; Rubí, M.; Gutiérrez, F. & Balbuena, A. (2010). Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle Toluca-Atlacomulco, México. *Agronomía Costarricense*. 34(2):129-143.
- Herederó, F. M. C. (2005). Evaluación Técnico-Económica de la Introducción de Biocarburantes en España a partir de Cultivos Energéticos. *Proyecto Fin De Carrera, Universidad Pontificia Comillas, Cátedra De Nuevas Tecnologías Energéticas Rafael Mariño*.
- Iglesias, L., Ramírez, A., Moreno, I., & Plana, R. (2001). El Cultivo del Trigo. Algunos Resultados de su Producción en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 22(4): 55-67.
- Jardine, I. (2012). *Pasantías Realizadas en el Departamento de Trafico y Aduanas de la Empresa Molinos Nacionales Ca.* (Doctoral Dissertation, Universidad Simón Bolívar).

Jara V., J. (1993). Cultivo de Trigo en la Sierra del Perú.
[Http://Repositorio.Inia.Gob.Pe/Handle/20.500.12955/983](http://Repositorio.Inia.Gob.Pe/Handle/20.500.12955/983)

Loayza F., R. R. (2014). Comportamiento Agronómico y Calidad Comercial de Tres Cultivares de Trigo Harinero (*Triticum aestivum* L.), Bajo las Condiciones de Valle Costero.

McLean M., Henry F., Hollaway G. (2010) Stripe rust management in wheat. *BCG Season Research Results*: 140-142.

Moreno, F. M., & Martel, I. S. (2017). Evolución histórica de variedades de trigo duro en España. *Vida rural*, (435): 60-66.

Ramwell, M. L. M. (2004). Detección de mutaciones asociadas a dureza de grano a 113 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) por medio de herramientas biotecnológicas (Doctoral dissertation, Universidad Austral de Chile).

Mollericona, P. (2013). Efecto de la Fertilización Nitrogenada y Foliar en el Cultivo de Trigo (*Triticum aestivum* L.) en la Localidad de Okinawa dos (Cetabol) Santa Cruz de la Sierra Bolivia. *Agrícola, La Paz, Bolivia, UMSA*.

Sánchez, G. J. J. 1995. El análisis biplot en clasificación. *Ver. Fitotec. Mex.* 18:188-203.

Solís M., E. & Díaz de L., T. (2001). Efecto de los factores controlables de la producción sobre el rendimiento y la panza blanca del grano en trigo duro. *Terra latinoamericana*, 19(4): 375-383.

Martínez, M., & Moschini, R. (2008). Estimación del Contenido de Oxinivalenol en Grano de Trigo Mediante Variables Meteorológicas. Reunión Argentina de Agrometeorología. 12. 8 al 10 de octubre. San Salvador De Jujuy. Argentina.

- Masinde, J. (2019). Alianza global del CIMMYT lucha contra la mutación de la roya del trigo.
- Peterson R. F., Campbell A. B. & Hannah A. E. (1948). A diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stem of cereals. *Canadian Journal of Research* 26:496-500.
- Pereyra, S., & Acosta, Y. (2014). Guía para el manejo de la fusariosis de la espiga en trigo. *Uruguay. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria La Estanzuela*.
- Peña B., R. J., Pérez H., P., Villaseñor M., E., Gómez V., M. M., Lozano, M., & Monterde G., R. (2008). *Calidad de la cosecha de trigo en México: Ciclo otoño-invierno 2005-2006*. CIMMYT.
- Prescott J. M, Burnett, E. E. Saari, J. Ransom, J. Browman, W. de Miliano, R. P. Singh, G. Bekele. (1986). Enfermedades y plagas del trigo una guía para su identificación en el campo. International Maize and Wheat Improvement Center Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo Lisboa 27, Apdo. Postal 6-641, 06600 México, D.F. México.
- Pinheiro, N. M. B. (2017). Influencia Varietal y Ambiental en las Características Agronómicas y de Calidad del Trigo Duro (*Triticum turgidum* (L.) Thell. ssp. durum Desf.). Implicaciones en la Selección de Nuevas Variedades.
- Retes, R., Moreno, S., Martín, M. H., Ibarra, F. A., & Mc Caughey, D. M. (2022). Determinación de la Rentabilidad de Trigo en Sonora Ciclo 2021-2022. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 50 (1345-2022-758): 209-216.
- Rodríguez-García, M. F., Rojas-Martínez, R. I., Huerta-Espino, J., Villaseñor-Mir, H. E., Zavaleta-Mejía, E., Sandoval-Islas, J. S., & Crossa-Hiriart, J. F. (2019).

Genetics of the Resistance to Yellow Rust Caused by *Puccinia striiformis* f. sp. tritici W. In Three Genotypes of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(1): 31-38.

Rajaram S. (1995). Wheat germoplasm improvement: historical perspectives, philosophy, objectives, and missions. In: wheat breeding at CIMMYT: commemorating 50 years of research in Mexico for global wheat improvement. Rajaram, S. & Hettel, G. P. (Eds.). Wheat special report Núm. 29. CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). México, D. F. 1-10 pp.

Santana, D. C. E., Zúñiga-González, C. A., Hernández-Rueda, M. J., & Marinero-Orates, E. A. (2016). Cultivo de Trigo Harinero *Triticum aestivum*, una Alternativa para la Soberanía Nutricional y Adaptación ante el Cambio Climático, en el Departamento de Jinotega. *Revista Iberoamerica Bioeconómica Cambio Climática*, 2(1): 346-362.

Solís-Moya, E., Hernández-Martínez, M., Borodanenko, A., Aguilar-Acuña, J. L., & Grajeda-Cabrera, Ó. A. (2004). Duración de la Etapa Reproductiva y el Rendimiento de Trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(4): 323-323.

SIAP (Servicio De Información Agroalimentaria Y Pesquera) (2021). Escenario Mensual De Productos Agroalimentarios. Dirección De Análisis Estratégico, 3(1).

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/732613/trigo_cristalino_mayo.pdf

Singh, R. P. & Huerta-Espino, J. 1997. Effect of leaf rust resistance gene Lr34 on grain yield and agronomics traits of spring wheat. *Crop Science*, 37:390-395.

- Singh R. P., J. Huerta-Espino, A. P. Roelf's (2002). The wheat rust. In: Bread Wheat. B. C. Curtis, S. Rajaram, M. H. Gomez (eds). FAO. Roma, Italia. pp: 246-271.
- Singh R. P., J. Huerta-Espino, S. Rajaram (2000). Achieving near immunity to leaf and stripe rust in wheat by combining slow rusting resistance genes. *Acta Phytopathology Entomologist Hungarica* 35: 133-139.
- Suaste-Franco, M. D. P., Iturriaga-de la Fuente, G., Solís-Moya, E., Raya-Pérez, J. C., Ramírez-Pimentel, J. G., & Mariscal-Amaro, L. A. (2020). Resistencia a *Fusarium* causante de pudriciones en trigo: actualidad y perspectivas para su uso en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(2), 405-418.
- Sentelhas, P. C. (1992). Ocorrência de helmintosporiose (*Helminthosporium sativum*) e de oídio (*Erysiphe graminis*) na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) sob diferentes condições microclimáticas. Master's Dissertation, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba. doi: 10.11606/D.11.2019.tde-20191218-153923. Retrieved 2022-08-29, from www.teses.usp.br
- Schierenbeck, M. (2017). Impacto de la mancha amarilla y roya de la hoja en la dinámica del nitrógeno en cultivares de trigo con diferente tolerancia, bajo aplicación de fertilización nitrogenada y fungicidas.
- Velasco M., J. E., Pérez L., D. D. J., Rajaram D., S., Balbuena M., A., Albarrán M., M., & González H., A. (2012). Análisis de 20 genotipos de trigo harinero en el Valle del Yaqui, Sonora. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(8), 1521-1534.
- Villaseñor-Mir, H. E., Huerta-Espino, J., Hortelano-Santa Rosa, R., Martínez-Cruz, E., Rodríguez-García, M. F., Solís-Moya, E., ... & Martínez-Medina, J. (2021).

Bacorehuis F2015, A New Bread Wheat Cultivar for Irrigated Areas in Mexico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(4), 693-696.

Villaseñor-Mir, H. E., Huerta-Espino, J., Hortelano-Santa Rosa, R., Martínez-Cruz, E., Solís-Moya, E., Alvarado-Padilla, J. I., ... & Osorio-Alcalá, L. (2022). Don Goyo C2019: Nueva Variedad de Trigo Cristalino para Áreas de Riego en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(2): 277-277.

William, M.; Singh, R. P.; Huerta, E. J.; Ortiz, I. J. and Hoisington, D. (2003). Molecular marker mapping of leaf rust resistance gene Lr46 and its association with stripe rust resistance gene Yr29 in wheat. *Phytopathology*. 93: 153-159.

Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6): 415-421.

Zapata, C., Silva, P., & Acevedo, E. (2004). Comportamiento de isolíneas de altura en relación con el rendimiento y distribución de asimilados en trigo. *Agricultura Técnica*, 64(2): 139-155.

Zheng W., Huang L., Huang J., Wang X., Chen x., Zhao J., Kang Z. (2013). High genome heterozygosity and endemic genetic recombination in the wheat stripe rust fungus. *Nature communications* 4: 2673.