V703
3 cop.

HERENCIA DE LA RESISTENCIA A LA ROYA AMARILLA DE LA CEBADA

(Puccinia striiformis West)

TESIS

Presentada al Programa de Estudios para Graduados Universidad Nacional

Instituto Colombiano Agropecuario ICA

ANALIZADO

Por:

Eduardo Castro Ladino

Como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

Bogotá - Colombia

1982

TESIS APROBADA POR EL COMITE CONSEJERO:

LUIS EDUARDO CASTIBLANCO. I.A., M.S. _____

REINALDO REYES N. I.A., M.S. _____

GERMAN ARBELAEZ. I.A., M.S. _____

"El Presidente de Tesis y el Consejo examinador de grado, no serán responsables de las ideas emitidas por el Candidato".

(Artículo 217 de los Estatutos de la Universidad Nacional)

A mi esposa e hija

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa los agradecimientos a los Miembros del Comité Consejero Doctores Luis E. Castiblanco, Reinaldo Reyes, Germán Arbeláez, por las valiosas sugerencias en la orientación, redacción y presentación de la Tesis, y al Doctor Antonio Miranda por su colaboración en la calificación de la reacción de las plantas a la roya.

CONTENIDO

		Página
1.	INTRODUCCION	1
2.	REVISION DE LITERATURA	2
2.1	HISTORIA	2
2.2	CARACTERISTICAS DEL HONGO	2
2.2.1	Nomenclatura y clasificación	2
2.2.2	Estructuras características del hongo	3
2.3	CARACTERISTICAS DE LA ENFERMEDAD	3
2.3.1	Sintomatología	3
2.4	CONTROL DE LA ENFERMEDAD	3
2.4.1	Control por métodos legales	3
2.4.2	Control químico	4
2.4.3	Control genético	4
2.5	ESCALAS DE EVALUACION DE ROYAS	5
2.6	ESTUDIOS SOBRE GENES QUE GOBIERNAN LA RESISTENCIA A LA ROYA AMARILLA EN CEBADA	6
3.	MATERIALES Y METODOS	9
3.1	GENERALIDADES	9
3.2	MATERIALES	9
3.2.1	Selección de progenitores, cruzamientos y distribución de semilla	9

		Página
3.2.2	Siembra	12
3.2.3	Hibridaciones	12
3.2.4	Evaluaciones	13
3.2.5	Análisis de los datos	14
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	15
4.1	REACCION DE LOS PADRES A LA ROYA AMARILLA	15
4.2	HERENCIA DE LA REACCION POR RESISTENCIA	15
4.2.1	Variedad CI.1243 (Abyssinian)	15
4.2.2	Variedad CI.5821	20
4.2.3	Variedad CI.9588	25
4.2.4	Variedad CI.9622	30
5.	CONCLUSIONES	37
6.	RESUMEN	38
7.	SUMMARY	40
	BIBLIOGRAFIA	
	APENDICE	

LISTA DE TABLAS DEL APENDICE

		Página
Tabla 1.	Prueba de Ji-cuadrado de homogeneidad para la F2 de las replicaciones 1980 y 1981, en cruces con la variedad CI. 1243.	46
Tabla 2.	Pruebas de Ji-cuadrado de homogeneidad para la F2 de las replicaciones 1980 y 1981, en cruces con la variedad CI. 5821.	47
Tabla 3.	Prueba de Ji-cuadrado de homogeneidad para la F2 de las replicaciones 1980 y 1981, en cruces con la variedad CI. 9588.	48
Tabla 4.	Prueba de Ji-cuadrado de homogeneidad para la F2 de las replicaciones 1980 y 1981, en cruces con la variedad CI. 9622.	49

		Página
Tabla 9.	Reacción a roya (Puccinis striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del retrocruzamiento CI. 5821 x Surbatá, calificaciones en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.	24
Tabla 10.	Resultados de la evaluación por reacción a roya (Puccinia striiformis West f. sp. hordei) en las familias F3 correspondientes a los cruces CI. 5821.	26
Tabla 11.	Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI. 9588 x 124, calificaciones en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.	27
Tabla 12.	Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI. 9588 x Mochacá, calificaciones en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.	28
Tabla 13.	Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI. 9588 x Surbatá, calificaciones en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.	29
Tabla 14.	Resultados de la evaluación por reacción a roya (Puccinia striiformis West f. sp. hordei) en las familias F3 correspondientes a los cruces con la variedad CI. 9588.	31
Tabla 15.	Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI. 9622 x 124, calificaciones en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.	32

		Página
Tabla 16.	Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI.9622 x Mochacá, calificaciones en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.	33
Tabla 17.	Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI.9622 x Surbatá, calificaciones en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.	34
Tabla 18.	Resultados de la evaluación por reacción a roya (Puccinia striiformis West f. sp. hordei) en las familias F3 correspondientes a los cruces con la variedad CI.9622.	36

1. INTRODUCCION

La cebada ocupa el segundo lugar en importancia económica entre los cultivos de tierra fría, en los Departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño, con una producción promedio anual de 80 mil toneladas de grano y una área sembrada de 44 mil hectáreas. El consumo anual nacional asciende a 160 mil toneladas.

A partir del segundo semestre de 1975, la roya amarilla de la cebada causada por el hongo Puccinia striiformis West f. sp. hordei, se constituyó en el problema limitante para este cultivo en Colombia. La epifitotia de roya es tan severa que solo mediante la aplicación de fungicidas se puede asegurar la producción de grano. Los costos anuales por la aplicación de fungicidas a los cultivos comerciales de cebada en el pais ascienden a más de 100 millones de pesos. También existe la posibilidad de que este hongo, pueda desarrollar resistencia a los fungicidas y el cultivo tenga que afrontar nuevas dificultades si no se obtienen variedades resistentes.

El método de control más adecuado y económico empleado por todos los investigadores es el de la resistencia genética que puede reducir los mayores costos del empleo de fungicidas. Estudios sobre herencia de la resistencia a las nuevas formas patológicas de roya amarilla no se habian realizado en Colombia, las cuales son de primordial importancia para orientar adecuadamente las investigaciones y poder dar soluciones eficaces al problema del control de la roya.

En el presente trabajo los objetivos fueron: a) determinar el mecanismo hereditario que controla la reacción a las nuevas razas fisiológicas del hongo Puccinia striiformis West f. sp. hordei prevalentes actualmente en el pais. b) Analizar el comprotamiento de las variedades de cebada CI.1243, CI.5821, CI.9588 y CI.9622 como progenitores resistentes. c) Predecir cual puede ser la población segregante necesaria para lograr resultados con la selección por resistencia a esta roya.

2. REVISION DE LITERATURA

Roya Amarilla (Puccinia striiformis West)

2.1 HISTORIA

La roya amarilla que ataca a los cereales, tuvo su centro de origen en el Himalaya, de donde se extendió a otras regiones del mundo. En América del Norte se identificó por primera vez en Canadá. En América del Sur, apareció en Argentina, por el año de 1930 atacando cultivos de cebada, según Orjuela (26). En Colombia existian algunas formas patológicas de Puccinia striiformis f. sp. hordei, a las cuales los genotipos de cebada existentes en el pais eran tolerantes. A partir del segundo semestre del año 1975 apareció nuevas razas de este hongo, Buriticá y Miranda (8), que atacaron en forma de epifitotia todos los cultivos de cebada. De Colombia pasó al Ecuador y posteriormente a Bolivia.

2.2. CARACTERISTICAS DEL HONGO

2.2.1. Nomenclatura y Clasificación. El patógeno que causa la roya amarilla de la cebada es el hongo denominado Puccinia striiformis West forma especial hordei del cual se han encontrado, en otros paises, varias razas fisiológicas. El Instituto para la Investigación Fitopatológica (Ipo-Wageningen-Holanda) identificó las razas 23, 24 y un biotipo de la raza 24 en muestras enviadas en 1975, recolectadas en la Sabana de Bogotá, Castiblanco (10) Posteriormente en muestras de roya, recolectadas en el Centro Agropecuario, Marengo en 1980 y enviadas al Doctor Stubb, del mismo Instituto, el dice "que es posible que en las primeras identificaciones hubiera existido un error y que la verdadera raza causante del problema, sea la 24". Stubb se basa en que la roya amarilla de la cebada pasó de Colombia a Ecuador y posteriormente a Bolivia y en estos países se identificó únicamente la raza 24.

El hongo Puccinia striiformis West tiene varias formas especiales que se distinguen entre sí por atacar diferentes especies de vegetales, entre las cuales se destacan las siguientes:

Forma especial hordei. Ataca la cebada y en algunos casos la especie Triticum dicoccoides.
Forma especial Tritici. Ataca el trigo
Forma especial Secalis. Ataca el centeno

Forma especial Agropyrii. Ataca algunas especies de Agropyron
Forma especial Dactylidis. Ataca el género Dactylis

2.2.2 Estructuras características del hongo. Arbeláez y Esparza (2) y Buriticá y Miranda (8) dicen que este hongo se reproduce mediante uredosporas, que se forma sobre las plantas de cebada, se disemina principalmente por el viento y en menor escala por el hombre a través de ropas y herramientas. Las uredosporas caen sobre las plántulas de cebada y bajo condiciones favorables de temperatura y humedad, germinan y penetran a los tejidos a través de los estomas. El hongo se desarrolla dentro de los tejidos y produce nuevamente uredosporas en el término de 12 a 15 días, provocando nuevas infecciones. Cuando las plantas de cebada maduran se inicia la formación de teliosporas, las cuales germinan produciendo basidiosporas, que son diseminadas por el viento pero no producen infección directa en la cebada. No se conoce en nuestro medio la planta que actúa como hospedero alternante.

2.3 CARACTERISTICAS DE LA ENFERMEDAD

2.3.1 Sintomatología. La roya amarilla de la cebada se manifiesta en todas las partes aéreas de la planta y en cualquier estado de desarrollo. En las hojas inicialmente aparecen pequeñas lesiones cloróticas, redondeadas, ovales o alargadas, que pronto se cubren de un polvillo amarillo que se desprende fácilmente por el viento y que esta constituído por las uredosporas del hongo. A medida que la infección avanza, las lesiones se tornan alargadas en bandas distribuídas a lo largo de la hoja, las cuales pueden cubrir completamente el área foliar y producir muerte prematura de la planta.

El hongo también invade la espiga de la cebada, sus primeras manifestaciones se observan en las aristas, luego el patógeno llena las cavidades de las glumas y los granos se adelgazan, se arrugan, afectando fuertemente los rendimientos. Al final del ciclo vegetativo de la cebada se observa la presencia de áreas negras sobre los tallos, vainas, aristas, glumas y hojas constituídas por teliosporas del hongo.

2.4 CONTROL DE LA ENFERMEDAD

2.4.1 Control por métodos legales. Como generalmente se hacen 2 cultivos de cebada al año, estas medidas se orientaron a evitar que el inóculo del patógeno sobreviviera de una cosecha a otra, para lo cual se puso en práctica una reglamentación sobre fechas definidas para venta de semilla y siembra. También se recomendaron ciertas prácticas culturales

como la destrucción de socas y de toyas de la cosecha anterior.

2.4.2 Control Químico. A falta de variedades resistentes y teniendo en cuenta las características destructivas de esta roya, los agricultores se han visto obligados a la aplicación de productos químicos para controlar la enfermedad.

Buriticá y Miranda (8) informan sobre los siguientes productos químicos empleados en el control de la roya amarilla de la cebada: Productos protectantes: Mancozeb, Propineb, azufre, Clorotalonil, con resultados poco satisfactorios.

Productos sistémicos: Triadimefon, Oxicarboxin, Triforine y Tridemorph.

De estos fungicidas sistémicos sobresalió por su efectividad como preventivo y curativo el Triadimefon, en dosis de 400 a 500 gramos por hectárea, con 2 aplicaciones durante el ciclo del cultivo.

2.4.3 Control Genético. Como resultado de los trabajos sobre mejoramiento genético de la cebada adelantados en Colombia, hasta el segundo semestre de 1975-B, fecha en que se presentó la epifitotia de roya amarilla, se habían superado varios problemas agronómicos de este cultivo. Las variedades de cebada obtenidas por hibridación y cultivadas por los agricultores, ofrecían buenos rendimientos, resistencia al vuelco, tolerancia a las enfermedades de este cultivo prevalentes en nuestro medio, buena calidad industrial y buena adaptación a las condiciones climáticas existentes en las zonas cebaderas.

Todos los materiales nacionales fueron altamente susceptibles a las nuevas formas patológicas del hongo de la roya amarilla y solamente se encontró resistencia en algunas variedades de la colección mundial de primavera.

A partir de 1976, la roya amarilla pasó a ocupar el primer lugar en cuanto a estudios sobre la herencia de la resistencia y sus mecanismos que la rigen, con el fin de obtener variedades de cebada resistentes a este patógeno. La Universidad Nacional de Bogotá y las empresas cerveceras iniciaron un programa de mejoramiento genético, orientado específicamente a obtener variedades resistentes a la roya.

Castiblanco (10) reporta 90 líneas resistentes, provenientes del bloque de cruzamientos y de la colección mundial de cebadas de primavera,

de las cuales 22 se utilizaron como fuentes de resistencia en cruces con variedades locales reconocidamente susceptibles a la roya amarilla pero adaptadas a nuestro medio y que presentan buenas características agronómicas y de calidad.

2.5 ESCALAS DE EVALUACION DE ROYAS

No existe una escala fija de evaluación de la severidad y reacción de las variedades de cebada a las royas.

Calpouzos y Roelfs (9) dicen que una de las escalas más usadas actualmente para medir el grado de severidad de las royas es la escala de Cobb (1982) modificada por Melchers y Parker (1922) y por Peterson, Campbell y Hannah (1948). Esta escala mide la proporción de área foliar cubierta por pústulas y permite una rápida estimación de la severidad de las royas.

El diagrama se ilustra, en tal forma que, 37% de área ocupada por pústulas equivale a 100% de área afectada, así:

A.	0.37	1.85	3.7	7.4	11.1	14.8	18.5	22.2	25.9	29.6	33.3	37.0
	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Para medir el tipo de reacción a royas el CIMMYT ~~(11)~~ 12 recomienda la escala de Stakman, Stewar y Loegering usada en los U.S.A. en 1959 en los Ensayos Internacionales de trigos de primavera. Esta escala se describe en materiales y métodos.

Rashid et al (29) en su estudio sobre herencia de la resistencia a la raza 70-1 de Puccinia recondita en trigo Durum utiliza la escala de Stakman, Stewar y Loegering y agrupa las categorías 0-1 como altamente resistentes, 2^- y 2^+ como moderadamente resistentes, 3^- y 3^+ como moderadamente susceptibles y 4 como altamente susceptibles.

Jha (16) en su estudio sobre localización de genes por resistencia de plántula a 3 razas de roya negra del tallo en trigo variedades Lerma Rojo y Sonora 64, utiliza la escala de Stakman, Stewar y Loegering, en donde considera como resistente las categorías 0, 1 y 2 y 3 y 4 como susceptibles.

Udeogalanya y Cliffore (32) en su estudio sobre relación genética, fisiológica y patológica de la resistencia a Puccinia hordei y Puccinia striiformis en Hordeum vulgare utilizan la escala para tipos de infección

a Puccinia striiformis en plántulas y plantas adultas, recomendada en la convención sobre roya amarilla (Stubbs & Vecht, I.P.O. Wageningen unpubl) y agrupa las categorías Oi, Oc, On, 1 y 2 como reacción de resistencia y 3, 4 y X como susceptibles.

Esta escala comprende las siguientes categorías:

Oi = Inmune
Oc = Puntos cloróticos
On = Puntos necróticos
1 = Resistentes. Pequeñas pústulas rodeadas de tejido necrótico
2 = Moderadamente resistente. Generalmente pústulas grandes rodeadas por tejido necrótico.
3 = Moderadamente susceptible. Pústulas grandes rodeadas por tejido clorótico.
4 = Susceptibles. Pústulas muy grandes sin clorosis ni necrosis
X = Varios tipos de reacción sobre una hoja

2.6 ESTUDIOS SOBRE GENES QUE GOBIERNAN LA RESISTENCIA A LA ROYA AMARILLA EN CEBADA

Bahl y Bakshi (3) en la India estudiaron el modelo de herencia a la resistencia, específicamente a las razas 13, 19, 31 y A de Puccinia striiformis West f. sp. hordei mediante cruces de la variedad de cebada EB 438, variedad usada ampliamente como fuente de resistencia en los programas de hibridación, con la variedad Simla local, susceptible a todas las razas de roya amarilla existentes en la India.

Al analizar el cruce EB 438 x Simla local, frente a la raza 13 se encontró que mostraba resistencia dominante. Los datos de la F2 dieron una proporción de 15 resistentes a 1 susceptible. La F3 dió una proporción de 7 resistentes, 8 segregando y 1 susceptible. En la misma forma se hicieron los análisis a las razas 19, 31 y A. En todos los casos la resistencia mostró estar gobernada por pares de genes independientes y el mismo par de genes contenidos en la variedad EB 438, es responsable de la resistencia de las razas 13 y 19. También se observó un agrupamiento similar para las razas 31 y A.

Bakshi, Bahl y Kohli (5) estudiaron el modelo de herencia de la resistencia a las razas G, 19, 31 y A de las roya amarilla de la cebada y las interrelaciones implicadas entre los genes mediante cruces de la variedad resistente EB 410 con la variedad susceptible Simla local. A partir de estos estudios se observó, que la resistencia a las razas G, 19 y 31

en la variedad EB 410 está gobernada por un par de genes dominantes y la resistencia a la raza A por genes duplicados dominantes.

Bakshi y Bahl (4) realizaron otro estudio sobre el número y las interrelaciones entre los genes que gobiernan la resistencia a las razas 13, 31, A y H de roya amarilla, en las variedades de cebada EB 410 y EB 145. Estas 2 variedades se han usado como donantes resistentes en los trabajos de hibridación en la India. Las progenies derivadas de los cruces EB 410 x Simla local se probaron contra las razas 13 y H y para ambas se obtuvieron segregaciones monofactoriales de 3 resistentes a 1 susceptible en la F2 y el mismo par de genes parece ser responsable de la resistencia a las 2 razas de roya.

El cruce EB 145 x Simla local, se probó a las razas A y 31, se observó que la variedad EB 145 posee un par de genes duplicados dominantes para la resistencia a las razas de roya A y 31, cada uno de los 4 genes parece heredarse en forma independiente. Nover y Sholz (24) en las variedades de cebada Viz, Bigo, Abl4, BBA22890, Abed Binder 12 encontraron que la resistencia fué recesiva y que 3 genes la condicionan.

Dayani y Bakshi (13) estudiaron la herencia de la resistencia en la variedad de cebada de 6 carreras EB 5556 de procedencia Alemana, a las razas G, 24 y 57 de roya amarilla.

La variedad EB 5556 mostró buena resistencia en estado de plántula y estado adulto en condiciones de campo, a las razas G, 24 y 57. Esta variedad fué cruzada con variedades susceptibles; los resultados obtenidos fueron:

a. En la F1 todas las plantas fueron susceptibles
b. La F2 segregó en proporción de 1 resistente a 15 susceptibles.
c. La F3 en todos los cruces segregaron en la proporción de 1 resistente, 8 segregando y 7 susceptibles.
d. Las razas de roya amarilla predominantes en el campo fueron G y 24

Por estos estudios Dayani y Bakshi concluyeron que la resistencia a la roya amarilla, razas 24 y 57, en la variedad EB 5556 de cebada, esta condicionada por 2 genes recesivos complementarios.

Rashid et al (29) investigaron la herencia de la resistencia a la raza 70-1 de Puccinia recondita en variedades de trigo duro, para la cual se cruzaron con una variedad susceptible. Se evaluaron las generaciones F1, F1 de retrocruzamiento, F2 y la F3 por su reacción a la roya,

se encontró que 2 genes recesivos en forma homogocigota, condicionan la resistencia a esta roya en la variedad de trigo Ramsey y solamente un gen en forma recesiva controla la resistencia en las otras 2 variedades de trigo (D561 y D6733).

Bakshi y Luthra (6) propusieron que los genes que controlan la resistencia a las razas de Puccinia striiformis West f. sp. hordei podrían ser representados por el símbolo Ps. aunque este no está probado por el Comité Internacional sobre nomenclatura y símbolos de los genes.

Macer, 1962 y 1966 citado por Bakshi y Luthra (6) de conformidad con la propuesta del Comité Internacional sobre nomenclatura y símbolos de los genes, propuso el uso del símbolo Yr para genes que determina la resistencia a la roya amarilla del trigo.

Moseman (23) recomienda el símbolo de Pa para genes que controlan la resistencia a razas de Puccinia hordei.

Udeogalanya y Clifford (32) estudiaron herencia y ligamientos relacionada a la respuesta de Puccinia striiformis raza 24 VV y Puccinia hordei en las variedades de cebada Capa y Gondar y encontraron que un solo gen dominante está aportando la resistencia a Puccinia striiformis y que éste está ligado con el gen Pa7 que da resistencia a Puccinia hordei.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 GENERALIDADES

La parte de campo del presente trabajo se desarrolló en el Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia, localizado en el Municipio de Mosquera, Departamento de Cundinamarca a una altitud de 2.550 m.s.n.m., temperatura promedia anual de 13°C. y precipitación promedia de 800 mm anuales. Los trabajos de invernadero se realizaron en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias "Tibaitatá" del Instituto Colombiano Agropecuario, durante el año 1980, cubriendo las etapas de hibridación y obtención de semilla F1, F1 de retrocruce (R.C.) y F2. Los experimentos de campo se realizaron durante los años 1980 y 1981, en donde se evaluaron por reacción a la roya amarilla de la cebada, las generaciones F1, F1 R.C., F2 y F3 y los padres correspondientes.

3.2 MATERIALES

3.2.1 Selección de Progenitores, cruzamientos y distribución de semillas. Un total de 7 progenitores se utilizaron en el presente estudio, cuatro de éllos procedentes del bloque de cruzamientos (reserva del programa Nacional de Cebada, año 1971), seleccionados durante los años 1975 y 1976 como resistentes a la roya amarilla por el ICA-Universidad Nacional.

Las otras tres, son variedades comerciales de cebada, con buena adaptación y con resistencia o tolerancia a otras enfermedades menos a la roya amarilla, a la cual son altamente susceptibles.

De estos progenitores seis pertenecen al género Hordeum vulgare y uno al género Hordeum distichum, ambos con siete pares de cromosomas en su estado diploide.

El número de identificación de cada uno de los cuatro progenitores resistentes a la roya es el mismo que aparece en la colección Mundial de Cebadas de Primavera. A continuación se describen algunas características de los progenitores:

(CI.1243) procede de Abyssinia. Es la única variedad perteneciente al género Hordeum distichum que se utilizó en el presente estudio tiene espiga de dos carreras, granos grandes de color crema algo

pigmentados en su base, hojas angostas de porte erecto; ciclo vegetativo de 145 días; altura de planta promedia 1.15 metros y cuya reacción a la roya amarilla se manifiesta por pequeñas pústulas necróticas en el primer tercio inferior de la planta, calificación realizada a la iniciación del estado lechoso del grano.

CI. 5821. Procede de Abyssinia, es una variedad con espiga de 6 carreras, granos de color amarillo, alargados, algo pigmentados en su base; ciclo vegetativo de 150 días; altura promedia de planta 1.18 metros; con susceptibilidad a la roya de la hoja (Puccinia hordei) y clasificada en el grupo de resistentes a la roya amarilla, con pústulas pequeñas necróticas en el primer tercio inferior de la planta en el estado adulto.

CI. 9588. Procede de Abyssinia, es una variedad con espigas de 6 carreras, granos de color negro; ciclo vegetativo de 150 días; altura promedia de planta 1.15 metros; clasificada en el grupo de resistentes a la roya amarilla, con reacción de pústulas pequeñas necróticas, en el primer tercio inferior de la planta y calificada en estado de planta adulta.

CI. 9622. Procede de Abyssinia, es una variedad con espiga de 6 carreras, granos de color negro; ciclo vegetativo de 150 días; altura de planta promedia 1.12 metros; también clasificada en el grupo de resistentes a la roya amarilla, con reacción de pústulas pequeñas necróticas en el primer tercio inferior de la planta adulta.

Las variedades Mochacá, 124 y Surbatá, inscritas en el Ministerio de Agricultura como variedades comerciales mostraron una reacción a la roya amarilla de susceptibilidad con pústulas grandes sin necrosis ni clorosis, las cuales finalmente se unen, cubriendo toda la superficie foliar y de las espigas, muriendo prematuramente las plantas a causa de este ataque.

Como muestra la tabla 1, se hicieron 12 cruzamientos, con el objetivo de estudiar el mecanismo de la herencia que regula la resistencia a la roya amarilla en los progenitores resistentes. Las semillas F1 se obtuvieron por hibridación, en el invernadero y se distribuyeron en la siguiente forma: cuarenta se sembraron en el campo, para evaluarlas por reacción a la roya amarilla y diez en el invernadero para hacer los retrocruzamientos.

La F1 de los retrocruzamientos, se obtuvo también por hibridación en el invernadero y 40 semillas se sembraron en el campo para ser

Tabla 1. Sentido de los cruzamientos y retrocruzamientos, número de semillas híbridas utilizadas en el estudio de herencia de la resistencia a roya amarilla.

No. de Cruce	Sentido del cruzamiento	Combinación	No. de Semillas
1	CI. 1243 x 124	R x S	60
	(CI. 1243 x 124) x 124	(R x S) x S	45
2	CI. 1243 x Mochacá	R x S	70
	(CI. 1243 x Mochacá) x Mochacá	(R x S) x S	56
3	CI. 1243 x Surbatá	R x S	64
	(CI. 1243 x Surbatá) x Surbatá	(R x S) x S	48
4	CI. 5821 x 124	R x S	55
	(CI. 5821 x 124) x 124	(R x S) x S	48
5	CI. 5821 x Mochacá	R x S	65
	(CI. 5821 x Mochacá) x Mochacá	(R x S) x S	48
6	CI. 5821 x Surbatá	R x S	56
	(CI. 5821 x Surbatá) x Surbatá	(R x S) x S	57
7	CI. 9588 x 124	R x S	61
	(CI. 9588 x 124) x 124	(R x S) x S	49
8	CI. 9588 x Mochacá	R x S	55
	(CI. 9588 x Mochacá) x Mochacá	(R x S) x S	50
9	CI. 9588 x Surbatá	R x S	66
	(CI. 9588 x Surbatá) x Surbatá	(R x S) x S	56
10	CI. 9622 x 124	R x S	65
	(CI. 9622 x 124) x 124	(R x S) x S	53
11	CI. 9622 x Mochacá	R x S	64
	(CI. 9622 x Mochacá) x Mochacá	(R x S) x S	54
12	CI. 9622 x Surbatá	R x S	60
	(CI. 9622 x Surbatá) x Surbatá	(R x S) x S	49

R = Progenitor resistente a la roya amarilla

S = Progenitor susceptible a la roya amarilla

apropiada, se le cortaron cada una de las florecillas, en el primer tercio superior de su longitud, teniendo el cuidado de no dañar las anteras, se expusieron al calor del sol por 5 minutos, con el fin de que las anteras se abrieran y se iniciara la salida del polen. Luego se cortó por la parte superior de la bolsa que cubría la espiga emasculada y se introdujo la espiga con polen, se sacudió, se sacó y se volvió a cerrar la bolsa.

3.2.4 Evaluación. La clasificación de las plantas por reacción a la roya amarilla en el momento de las lecturas, estuvo determinada por el tipo de pústulas.

Se calificó por la escala de Stakman, Stewar y Loegering, en los víveros internacionales de trigo y cebada para evaluar la reacción a las royas. El CIMMYT está recomendando ésta con el fin de uniformar, a nivel mundial, las escalas empleadas en la evaluación de las fuentes de resistencia a las royas. Esta escala establece 5 categorías:

O: Infección no visible en las plantas
R: Resistente. Areas necróticas en las que ocasionalmente se nota la presencia de pústulas diminutas.
MR: Moderadamente resistente. Pequeñas pústulas rodeadas por áreas necróticas.
MS: Moderadamente susceptible. Pústulas de tamaño medio sin necrósis.
S: Susceptible. Pústulas grandes sin necrósis ni clorosis que al final se unen unas con otras hasta cubrir toda la superficie foliar de la planta.

Para efectos del presente trabajo solamente se establecieron dos categorías, agrupando en la anterior escala, las tres primeras O, R y MR como reacción de resistencia y las dos últimas MS y S como susceptibles.

Las lecturas de reacción a la roya amarilla en las generaciones F1, F1 de retrocruce y F2 se tomaron teniendo en cuenta los dos tercios superiores del follaje, en la época de iniciación del estado lechoso del grano (estado de planta adulta), o sea, cuando el ataque del hongo presenta su máxima expresión. El primer tercio inferior de las plantas se descartó para la calificación debido a problemas de la otra roya de la hoja Puccinia hordei y al tejido envejecido donde la calificación de la reacción a la roya se dificultaba.

La F3 se calificó únicamente por familias, considerando como población homocigota resistente, cuando todas las plantas dentro de la familia presentaron reacción de resistencia, familias homocigotas susceptibles, cuando todas las plantas dentro de la familia dieron reacción de susceptibilidad y familias heterocigotas o segregantes, cuando dentro de la misma familia se encontraron plantas con reacción de resistencia y de susceptibilidad.

Se presentó alta incidencia de ataque de roya amarilla desde los primeros estados de desarrollo del cultivo, de tal forma que se puede descartar el fenómeno de escape de las plantas a la roya por falta de inóculo.

Con el fin de saber con qué razas de roya amarilla se estaba trabajando, se envió una muestra de roya al Instituto para la Investigación Fitopatológica Ipo-Wageningen Holanda, en donde el Doctor Stubb reporta por correspondencia "que es posible que las muestras enviadas en 1975, en donde se mencionaron las razas 23 y 24 haya habido un error de identificación y que sólo la raza 24 sea la única causante del problema de roya amarilla en Colombia". El se basa en que la roya pasó de Colombia al Ecuador y Bolivia, países en donde se identificó únicamente la raza 24.

3.2.5 Análisis de los datos. En todos los cruces, a los datos de las generaciones F2 y F3 se les aplicó la prueba estadística de Ji-cuadrado (X^2) para encontrar la relación más ajustada a los datos observados en cada cruce. Para las muestras inferiores a 5 unidades y cuando solo se encontraron dos variables (1 grado de libertad) se hizo la corrección por continuidad. A las replicaciones F2-1980 y F2-1981 se les aplicó la prueba de X^2 de homogeneidad, con el fin de poder reunir los datos de las replicaciones en una sola muestra.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 REACCION DE LOS PADRES A LA ROYA AMARILLA

En la tabla 2 se muestra la reacción a la roya amarilla (Puccinia striiformis West f. sp. hordei) de los progenitores evaluados. En la siembra del segundo semestre del año 1980, las variedades CI.1243 (Abyssinian), CI. 5821, CI.9588 y CI.9622 dieron una reacción de inmunidad a la roya amarilla, estas mismas variedades en la siembra del primer semestre del año 1981, presentaron en el primer tercio inferior de la planta adulta una reacción de pústulas pequeñas necróticas. Estas variedades fueron clasificadas como progenitores resistentes (R), clasificación que está de acuerdo con la realizada en los años 1975 y 1976 por el ICA-Universidad Nacional.

Las variedades Mochacá, 124 y Surbatá mostraron para los 2 años, una reacción de pústulas grandes sin halo necrótico ni clorótico que se unieron unas con otras, cubriendo toda la superficie foliar. Las plantas se secaron antes de completar el ciclo vegetativo, disminuyendo considerablemente la producción de grano. Estas variedades fueron clasificadas como progenitores susceptibles (S).

El ataque de la roya amarilla se inició en forma natural, con alta incidencia, desde que las plantas germinaron y persistió hasta el final del ciclo del cultivo.

4.2 HERENCIA DE LA REACCION POR RESISTENCIA

4.2.1 Variedad CI.1243 (Abyssinian). Los resultados obtenidos en las generaciones F1 y F1 de retrocruce (tablas 3, 4 y 5) de los cruces de CI.1243 por las variedades Mochacá, Surbatá y 124, en donde toda la población fué susceptible, con reacción similar a la de los progenitores susceptibles, indicando que el gen o los genes que controlan la resistencia a la roya amarilla, en la variedad CI.1243 son recesivos.

La F2 en estos cruces (tablas 3, 4 y 5) segregó en 2 grupos fenotípicos: resistentes con reacción de pústulas pequeñas y halo necrótico o inmunes; susceptibles con reacción de pústulas grandes o variables sin halo clorótico ni necrótico que cubrieron toda la superficie foliar y secaron las plantas prematuramente (reacción similar a los padres susceptibles).

La prueba de X^2 para los cruces CI.1243 x 124, CI.1243 x

Tabla 2. Reacción a la roya (Puccinia striiformis West f. sp. hordei) en los progenitores evaluados durante 1980 y 1981.

Identificación	Lecturas	Reacción a la roya 1980 B (1)	1981 A (2)
CI. 1243	2	R	R
CI. 5821	2	R	R
CI. 9588	2	R	R
CI. 9622	2	R	R
Mochacá	2	S	S
124	2	S	S
Surbatá	2	S	S

(1) R. Inmune sin evidencia de pústulas

(2) R. Sólo se presentaron pústulas pequeñas necróticas en el primer tercio inferior de la planta.

(1) y (2). S. Pústulas grandes sin necrosis ni clorosis sobre toda el área foliar de la planta.

Tabla 3. Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI.1243 x 124, calificación en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.

Generación		Número de plantas R	Número de plantas S	Total	Relación Esperada	X^2	P.
CI.1243	P1	Todas					
Var. 124	P2		Todas				
	F1		11	11			
F1 x P2	F1 RC		17	17			
Replic.1980	F2	2	16	18	3:1	1.185	0.30-0.20
Replic.1981	F2	10	40	50	3:1	0.427	0.70-0.50
Suma	F2	12	56	68	3:1	1.588	0.30-0.20

* Suma de las dos replicaciones de la F2 aplicando antes la prueba de X^2 de homogeneidad.

R: Resiste a la roya amarilla

S: Susceptible a la roya amarilla

Tabla 4. Reacción a roya (Puccinia striiformis) en œbada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI.1243 x Mochacá, calificación en condiciones de campo y estado de planta aduita. 1980-1981.

Generaciones		Número de Plantas S	S	Total	Relación Esperada	X^2	P
CI.1243	P1	Todas					
Mochacá	P2		Todas				
	F1		15	15			
F1 x P2	F1 R.C.		23	23			
Replic.1980	F2	29	116	145	3:1	1.676	0.20-0.10
Replic.1981	F2	9	47	56	3:1	1.928	0.20-0.10
Suma*	F2	38	163	201	3:1	3.981	0.05-0.01

* Suma de la dos replicaciones F2 - aplicando antes la prueba de X^2 de homogeneidad.

Tabla 5. Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI.1243 x Surbatá, calificación en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.

Generación		Número de plantas R	Número de plantas S	Total	Relación Esperada	X^2	P
CI.1243	P1	Todas					
Surbatá	P2		Todas				
	F1		21	21			
F1 x P2	F1 R.C.		27	27			
Replic. 1980	F2	35	134	169	3:1	1.439	0.30-0.20
Replic. 1981	F2	9	44	53	3:1	1.415	0.30-0.20
Suma*	F2	44	178	222	3:1	3.177	0.10-0.05

* Suma de las dos replicaciones F2 aplicando antes la prueba X^2 de homogeneidad.

Mochacá y CI. 1243 x Surbatá, en las replicaciones F2-1980 y F2-1981 (tablas 3, 4 y 5) se ajustan bien a la reacción de 3 plantas susceptibles a 1 resistente.

La prueba de X^2 de homogeneidad para los mismos cruces en las replicaciones anteriores, dieron una probabilidad dentro de los límites de aceptación (tabla 1 del apéndice) por lo tanto es posible agrupar los datos de las 2 replicaciones F2 de cada cruce.

Los anteriores resultados obtenidos en los cruces con la variedad CI. 1243, indican que la herencia de la resistencia a la roya amarilla en esta variedad está controlada por un gen recesivo que se manifiesta cuando está en forma homocigota.

En la tabla 6 se dan los resultados de la evaluación de las familias F3 en los 3 cruces correspondientes a la variedad CI. 1243. La prueba de X^2 para esta generación se ajustó bien para aceptar la relación de 1 familia homocigota resistente, 2 heterocigotas (dentro de la misma familia se encontraron plantas resistentes y susceptibles) y 1 familia homocigota susceptible. Estos resultados confirman la relación encontrada en la F2 que involucra en su reacción de resistencia a la roya amarilla un gen mayor recesivo trabajando en forma homocigota.

4.2.2 Variedad CI. 5821. Toda la población F1 y F1 de retrocruce procedentes de los cruces CI. 5821 x 124, CI. 5821 x Mochacá y CI. 5821 x Surbatá (tablas 7, 8 y 9) fueron susceptibles (tipo de reacción similar a la de los padres susceptibles) a las razas de Puccinia striiformis West f. sp. hordei existentes en el campo. Estos resultados indican que el gen o los genes que controlan la resistencia a la roya en la variedad CI. 5821 fueron recesivos.

La F2 de estos mismos cruces segregaron en 2 grupos: 1. susceptibles con reacción a la roya amarilla similar a los padres susceptibles y 2. Resistentes con pústulas pequeñas y halo necrótico en donde la superficie foliar de las plantas se mantuvo verde hasta su maduración completa.

La prueba de X^2 (tablas 7, 8 y 9) para las generaciones F2 de los 3 cruces indican que la segregación en la F2 para las replicaciones 1980 y 1981 y los datos acumulados se ajustan con probabilidad aceptable a la relación de 15 plantas susceptibles a 1 resistente. Esta relación obtenida muestra que la resistencia en la variedad de cebada CI. 5821 a las razas de roya amarilla existentes en el campo, está condicionada por 2

Tabla 6. Resultados de la evaluación por reacción a roya (Puccinia striiformis West f. sp. hordei) en las familias F3 correspondientes a los cruces con las variedad CI. 1243.

Cruzamiento	Número de familias				Relación Esperada	X^2	P
	Resistentes	Segregando	Susceptibles	Total			
CI. 1243 x 124	2	10	4	16	1:2:1	1. 063	0. 70-0. 50
CI. 1242 x Mochacá	26	66	23	115	1:2:1	2. 669	0. 30-0. 20
CI. 1243 x Surbatá	30	78	37	145	1:2:1	1. 510	0. 50-0. 30

Tabla 7. Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI. 5821 x 124, calificación en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.

Generación		Número de plantas R	S	Total	Relación Esperada	X^2	P
CI. 5821	P1	Todas					
Var. 124	P2		Todas				
	F1		15	15			
F1 x P2	F1 R.C.		14	14			
Replic. 1980	F2	6	126	132	15:1	0.396	0.70-0.50
Replic. 1981	F2	2	36	38	15:1	0.000	0.95-0.90
Suma*	F2	8	162	170	15:1	0.692	0.50-0.30

* Suma de las dos replicaciones F2 aplicando antes la prueba X^2 de homogeneidad.

Tabla 8. Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI. 5821 x Mochacá, calificación en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.

Generación		Número de plantas R	S	Total	Relación Esperada	X^2	P
CI. 5821	P1	Todas					
Vr. Mochacá	P2		Todas				
	F1		6	6			
F1 x P2	F1 R.C.		18	18			
Replic. 1981	F2	9	80	89	15:1	1.658	0.20-0.10

Tabla 9. Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI. 5821 x Surbatá, calificaciones en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.

Generación		Número de plantas R	S	Total	Relación Esperada	X^2	P
CI. 5821	P1	Todas					
Surbatá	P2		Todas				
	F1		15	15			
F1 x P2	F1 R.C.		14	14			
Replic. 1980	F2	7	57	64	15:1	1.666	0.20-0.10
Replic. 1981	F2	2	43	45	15:1	0.037	0.90-0.70
Suma*	F2	9	100	109	15:1	0.749	0.70-0.50

* Suma de las dos replicaciones F2 aplicando antes la prueba X^2 de homogeneidad.

genes recesivos.

El cruce CI. 5821 x Mochacá (tabla 8) solo se trabajó con una replicación debido a que la F2-1980 resultó ser una autopolinización. La X^2 de homogeneidad (tabla 2 del apéndice) para las 2 replicaciones en los 2 cruces CI. 5821 x 124 y CI. 5821 x Surbatá se ajustó bien dentro de los límites de aceptación, por lo tanto, se procedió a sumar las 2 replicaciones y encontrar el X^2 para los datos acumulados, los cuales también se ajustan a la relación de 15:1.

Las anteriores pruebas indican que la variedad CI. 5821 lleva 2 genes en forma recesiva para la resistencia a Puccinia striiformis West f. sp. hordei que se manifiestan cuando estan en forma homocigota. Cualquiera de los 2 genes dominantes producen el mismo fenotipo susceptible sin efectos acumulativos y por lo tanto 15 plantas de cada 16 exhibirán el fenotipo susceptible y 1 de cada 16 plantas el fenotipo susceptible.

En la tabla 10 se dan los resultados obtenidos para las familias F3 de los 3 cruzamientos con la variedad CI. 5821 los cuales segregaron en la relación de: 1 resistente, 8 segregando y siete susceptibles con ajuste satisfactorio a la prueba de X^2. Estos resultados confirman la anterior relación encontrada para la F2 de 1 planta resistente de cada 16 individuos en donde 2 genes en forma homocigota recesiva están aportando la reacción de resistencia a la roya (Puccinia striiformis West f. sp. hordei) en la variedad CI. 5821.

4.2.3 Variedad CI. 9588. En las tablas 11, 12 y 13 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación por reacción a la roya (Puccinia striiformis West f. sp. hordei) de los progenitores P1, P2 y de las generaciones F1, F1 R.C. y F2 procedentes de los cruces CI. 9588 x 124, CI. 9588 x Mochacá y CI. 9588 x Surbatá.

En la F1 y F1 de R.C., toda la población fué susceptible con tipo de reacción similar a la de los padres susceptibles (Mochacá, Surbatá y 124), lo que indica que el gen o genes que gobiernan la reacción de resistencia a la roya en la variedad CI. 9588 son de tipo recesivo.

La generación F2 segregó en 2 grupos fenotípicos: resistentes con tipo de reacción de pústulas pequeñas necróticas y susceptibles con tipo de reacción similar a los padres susceptibles. La prueba de X^2 para el cruce CI. 9588 x 124 en la replicación F2-1980 y los datos acumulados se ajustaron a la probabilidad de aceptación de la relación 15 plantas susceptibles a 1 resistente. La replicación F2-1981 solo muestra una

Tabla 10. Resultados de la evaluación por reacción a roya (Puccinia striiformis West f. sp. hordei) en las familias F3 correspondientes a los cruces con la variedad CI. 5821.

Cruzamiento	Número de familias				Relación Esperada	X^2	P
	Resistentes	Segregando	Susceptibles	Total			
CI. 5821 x 124	6	62	52	120	1:8:7	0.205	0.7-0.50
CI. 5821 x Mochacá	2	15	12	29	1:8:7	0.074	0.95
CI. 5821 x Surbatá	7	30	29	64	1:8:7	2.484	0.30-0.20

Tabla 11. Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI.9588 x 124, calificaciones en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.

Generación		Número de plantas R	Número de plantas S	Total	Relación Esperada	X^2	P
CI.9588	P1	Todas					
Vr. 124	P2		Todas				
	F1		12	12			
F1 x P2	F1 R.C.		18	18			
Replic.1980	F2	9	126	135	15:1	0.04	0.90-0.70
Replic.1981	F2	6	33	39	15:1	4.104	0.05-0.01
Suma*	F2	15	159	174	15:1	1.669	0.30-0.20

* Suma de las dos replicaciones de la F2 aplicando antes la prueba X^2 de homogenidad.

Tabla 12. Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI.9588 x Mochacá, calificaciones en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.

Generación		Número de plantas R	S	Total	Relación Esperada	X^2	P
CI.9588	P1	Todas					
Mochacá	P2		Todas				
	F1		15	15			
F1 x P2	F1 R.C.		27	27			
Replic.1980	F2	3	16	19	15:1	1.547	0.30-0.20
Replic.1981	F2	6	42	48	15:1	2.222	0.20-0.10
Suma*	F2	9	58	67	15:1	5.899	0.05-0.01

* Suma de las dos replicaciones F2 aplicando antes la prueba X^2 de homogeneidad.

Tabla 13. Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI.9588 x Surbatá, calificaciones en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.

Generación		Número de plantas R	S	Total	Relación Esperada	X^2	P
CI.9583	P1	Todas					
Surbatá	P2		Todas				
	F1		13	13			
F1 x P2	F1 R.C.		18	18			
Replic.1980	F2	6	113	119	15:1	0.126	0.90-0.70
Replic.1981	F2	6	52	58	15:1	1.034	0.50-0.30
Suma*	F2	12	165	177	15:1	0.085	0.90-0.70

* Suma de las dos replicaciones F2 aplicando antes la prueba X^2 de homogeneidad.

probabilidad para X^2 de 0.05 a 0.01 que está entre los límites de aceptación. Para el cruce CI.9588 x Mochacá, las 2 replicaciones F2-1980 y F2-1981 la prueba de X^2 se ajustó a la relación de 15 plantas susceptibles a 1 resistente con una probabilidad de 0.30-0.20 y 0.20-0.10. En los datos acumulados la prueba de X^2 dan una probabilidad entre 0.05-0.01 que está en el límite para su aceptación de la relación 15:1.

El cruce CI.9588 x Surbatá, la prueba de X^2 para las 2 replicaciones (F2-1980 y F2-1981) y los datos acumulados se ajustan a la relación de 15 plantas susceptibles a 1 resistente por cada 16 individuos.

La prueba de X^2 de homogeneidad para las 2 replicaciones en 2 de los cruces CI.9588 x Mochacá y CI.9588 x Surbatá se ajustan a probabilidades aceptables (tabla 3 del apéndice) de 0.70-0.50 y 0.20-0.10 respectivamente. En el cruce CI.9588 x 124 la probabilidad de X^2 se encuentra en el límite de aceptación (tabla 3 del apéndice).

Los anteriores resultados, en cuanto a reacción a la roya amarilla de los 3 cruces anteriores con la variedad CI.9588, indica que la herencia de la resistencia a la roya amarilla está gobernada por 2 genes recesivos actuando en forma homocigota. En la tabla 14 se dan los resultados de la evaluación de las familias F3 de los cruces correspondientes a la variedad CI.9588, obteniéndose para los 3 cruces una probabilidad de X^2 aceptable a la relación de 1 familia resistente, 8 segregando y 7 susceptibles. Estos resultados confirman la relación encontrada en la F2 de una herencia recesiva homocigota para la resistencia a la roya amarilla en la variedad CI.9588.

4.2.4 Variedad CI.9622. En las tablas 15, 16 y 17 se dan los resultados de la evaluación por reacción a la roya (Puccinia striiformis West f. sp. hordei) de los progenitores P1, P2 y las generaciones F1, F1 R.C. y F2 procedentes de los cruces CI.9622 x 124, CI.9622 x Mochacá y CI.9622 x Surbatá.

En la F1 y F1 de retrocruzamiento toda la población fué susceptible, con reacción similar a la de los padres susceptibles (Mochacá, 124 y Surbatá). Estos resultados indican que el gen o genes que controlan la resistencia a la roya amarilla en la variedad CI.9622 son de tipo recesivo.

La generación F2 segregó en 2 grupos fenotípicos: 1. Resistentes (reacción de pústulas pequeñas necróticas). 2. Susceptibles (reacción similar a los progenitores susceptibles). La prueba de X^2 para los cruces CI.9622 x 124 y CI.9622 x Surbatá, en las 2 replicaciones (F2-1980 y

Tabla 14. Resultados de la evaluación por reacción a roya (Puccinia striiformis West f. sp. hordei) en las familias F3 correspondientes a los cruces con la variedad CI.9588.

Cruzamiento	Número de familias				Relación Esperada	X^2	P
	Resistentes	Segregando	Susceptibles	Tobal			
CI.9588 x 124	9	70	50	133	1:8:7	1.129	0.70-0.50
CI.9588 x Mochacá	3	9	7	19	1:8:7	1.684	0.50-0.30
CI.9588 x Surbatá	5	59	50	114	1:8:7	0.634	0.90-0.70

Tabla 15. Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI.9622 x 124, calificaciones en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.

Generación		Número de plantas R	S	Total	Relación Esperada	X^2	P
CI.9622	P1	Todas					
Vr. 124	P2		Todas				
	F1		17	17			
F1 x P2	F1 R.C.		15	15			
Replic.1980	F2	9	136	145	15:1	0.0004	0.95
Replic.1981	F2	4	40	44	15:1	0.218	0.70-0.50
Suma*	F2	13	170	183	15:1	0.228	0.90-0.70

* Suma de las dos replicaciones F2 aplicando antes la prueba X^2 de homogeneidad.

Tabla 16. Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI.9622 x Mochacá, calificaciones en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1930-1981.

Generación		Número de plantas R	S	Total	Relación Esperada	X^2	P
CI.9622	P1	Todas					
Mochacá	P2		Todas				
	F1		17	17			
F1 x P2	F1 R.C.		15	15			
Replic.1980	F2	16	130	146	15:1	4.751	0.05-0.01
Replic.1981	F2	6	40	46	15:1	2.527	0.20-0.10
Suma*	F2	22	170	192	15:1	8.888	0.01-0.001

* Suma de las dos replicaciones F2 aplicando antes la prueba X^2 de homogeneidad.

Tabla 17. Reacción a roya (Puccinia striiformis) en cebada, generaciones F1, F2 y F1 R.C. del cruzamiento CI.9622 x Surbatá, calificaciones en condiciones de campo y estado de planta adulta. 1980-1981.

Generación		Número de plantas R	S	Total	Relación Esperada	X^2	P
CI.9622	P1	Todas					
Surbatá	P2		Todas				
	F1		14	14			
F1 x P2	F1 R.C.		16	16			
Replic.1980	F2	8	163	171	15:1	0.478	0.50-0.30
Replic.1981	F2	4	23	27	15:1	2.076	0.20-0.10
Suma*	F2	12	186	198	15:1	0.012	> 0.95

* Suma de las dos replicaciones F2 aplicando antes la prueba X^2 de homogeneidad.

F2-1981) y los datos acumulados, se ajustan a la probabilidad de segregación de 15 plantas susceptibles a 1 resistente.

En el cruce CI. 9622 x Mochacá en la replicación F2-1980 la prueba de X^2 se encuentra en los límites de aceptación (probabilidad de 0.05-0.01), los datos acumulados están fuera de la probabilidad de aceptación (probabilidad 0.01-0.001) para la relación 15:1.

En la replicación F2-1981 el X^2 se ajusta a la relación 15:1 con una probabilidad de 0.20-0.10. Aunque los resultados del cruce CI. 9622 por Mochacá no se ajustan satisfactoriamente a la relación 15:1 en una de sus replicaciones, los 2 anteriores cruces confirman que la herencia de la resistencia a la roya amarilla en la variedad CI. 9622 está controlada por 2 genes recesivos los cuales se manifiestan cuando están en forma homocigota.

En la tabla 4 de apéndice se muestra la prueba de X^2 de homogeneidad. En los cruces CI. 9622 x 124 y CI. 9622 x Mochacá, el X^2 se ajusta a 1 probabilidad de aceptación para ser reunidos en 1 sola muestra las 2 replicaciones (F2-1980 y F2-1981). Para el cruce CI. 9622 x Surbatá, la prueba de X^2 de homogeneidad da 1 probabilidad de 0.05-0.01 que se encuentra en los límites de aceptación.

En la tabla 18 se muestran los resultados de la evaluación por reacción a la roya, de las familias F3 de los cruces CI. 9622 x 124, CI. 9622 x Mochacá y CI. 9622 x Surbatá. Se encontró una segregación de: 1 familia homocigota resistente, 8 segregando y 7 susceptibles.

En los cruces CI. 9622 x 124 y CI. 9622 x Surbatá la prueba de X^2 se ajustó bien a la anterior segregación (1:8:7). El cruce CI. 9622 x Mochacá con probabilidad de 0.01-0.001 está fuera de los límites de aceptación para esta relación.

Los 2 cruces anteriores con Surbatá y 124 confirman la segregación encontrada para la F2.

Las relaciones o proporciones encontradas para las variedades resistentes CI. 5821, CI. 9588 y CI. 9622 en la cual, la herencia de la resistencia a la roya está controlada por 2 genes recesivos, estossólo se manifiesta cuando están en forma homocigota. Estos resultados están de acuerdo con los encontrados por Dayani y Bakshi (11) en la variedad de 6 carreras EB1556 para la resistencia a las razas de roya amarilla 24 y 59.

Tabla 18. Resultados de la evaluación por reacción a roya (Puccinia striiformis West f. sp. hordei) en las familias F3 correspondientes a los cruces con la variedad CI.9622.

Cruzamiento	Número de familias				Relación Esperada	X^2	P
	Resistentes	Segregando	Susceptibles	Total			
CI.9622 x 124	9	78	58	145	1:8:7	0.884	0.70-0.50
CI.9622 x Mochacá	16	76	54	146	1:8:7	6.829	0.05-0.01
CI.9622 x Surbatá	15	90	66	171	1:8:7	3.014	0.30-0.20

5. CONCLUSIONES

5.1 Se halló para las variedades de cebada CI.1243, CI.5821, CI.9588 y CI.9622 una reacción de resistencia a la roya amarilla similar a la encontrada en 1970 y 1976 por el ICA y la Universidad Nacional.

5.2 En la variedad CI.1243 la resistencia a la roya amarilla es controlada por un gen recesivo, el cual se manifiesta cuando está en forma homocigota.

5.3 Las variedades CI.5821, CI.9588 y CI.9622 presentaron una herencia de la resistencia similar, en donde 2 genes recesivos están aportando la resistencia a la roya y que se manifiestan cuando están en forma homocigota.

5.4 El porcentaje de plantas segregantes con resistencia en espiga y hojas fué inferior a la encontrada cuando solo se calificó hojas.

5.5 En el futuro si se desea utilizar como fuentes de resistencia las variedades CI.1243, CI.5821, CI.9588 y CI.9622 en la primera generación se debe controlar la roya para obtener semilla suficiente y de buena calidad para la F2.

5.6 De las 4 variedades resistentes a la roya amarilla, la CI.5821 en cruces con las variedad Mochacá, 124 y Surbatá dieron los mejores genotipos .

5.7 Al encontrar una herencia de la resistencia a la roya amarilla recesiva homocigota, se recomienda a los programas de mejoramiento en cebada disponer de poblaciones grandes en la generación F2 para poder seleccionar materiales resistentes.

5.8 De las razas de roya amarilla de la cebada existentes en la Sabana de Bogotá está identificada la 24, faltan estudios sobre la existencia de otras razas.

6. RESUMEN

Se estudió la herencia de la resistencia a la roya amarilla (Puccinia striiformis West f. sp. hordei) en las variedades de cebada CI.1243 (Abyssinian), CI.5821, CI.9588 y CI.9622, clasificadas por el ICA y la Universidad Nacional como variedades resistentes a esta roya. Cada una se cruzó con variedades susceptibles (Mochacá, 124 y Surbatá). La F1 obtenida se cruzó a los padres susceptibles para obtener la F1 de retrocruce. El estudio se realizó durante los años 1980 y 1981 en el Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional, en donde se evaluaron por reacción a la roya amarilla los progenitores y las generaciones F1, F1 de retrocruce, F2 y familias F3. El proceso de hibridación y obtención de semilla se efectuó en el invernadero de Tibaitatá (ICA).

En las evaluaciones por reacción a la roya amarilla se utilizó la escala recomendada por Stakman, Stewar y Loegering, agrupando las categorías O, R y MR como reacción de resistencia, MS y S como reacción de susceptibilidad.

Las calificaciones por reacción a la roya amarilla se hicieron en estado de planta adulta y en condiciones naturales de campo. Se presentó alta incidencia de roya y las plantas estuvieron expuestas a la acción del inóculo, en forma natural, desde que germinaron hasta el final del ciclo vegetativo.

La población F2 en algunos cruces fué baja debido a problemas de pájaros y de inundaciones.

Para buscar la relación que mejor se ajustara a los datos obtenidos se hizo mediante la prueba de estadística de X^2. Las razas de roya amarilla existentes en el campo, solamente esta identificada la 24, faltan estudios de identificación sobre la existencia de otras razas.

En los cruces CI.1243 x 124, CI.1243 x Mochacá y CI.1243 x Surbatá, las generaciones F1 y F1 de retrocruce, toda la población presentó la reacción de susceptibilidad, la generación F2 segregó en la relación de 3 plantas susceptibles a 1 resistente y las familias F3 en 1 resistente, 2 segregando y 1 susceptible. Los anteriores resultados indican para la variedad CI.1243 (Abyssinian) una herencia de la resistencia a la roya amarilla controlada por un gen recesivo que se manifiesta cuando está en forma homocigota.

En los cruces de las variedades CI. 5821, CI. 9588 y CI. 9622 por las variedades susceptibles Mochacá, 124 y Surbatá, las generaciones F1 y F1 de retrocruce, de estos 9 híbridos, toda la población presentó susceptibilidad a la roya amarilla, la F2 segregó en la relación de 15 plantas susceptibles a 1 resistente y las familias F3 en 1 familia resistente, 8 segregando y 7 susceptibles. La prueba de X^2 en las F2 se ajustaron a la probabilidad para la aceptación de la relación de 15:1 y en las familias F3 a la relación 1:8:7.

Los resultados obtenidos indican que en las variedades CI. 5821, CI. 9588 y CI. 9622, 2 genes recesivos controlan la resistencia a la roya amarilla y se manifiestan cuando están en forma homocigota. El fenotipo susceptible está controlado por 2 genes dominantes, en donde cada uno, produce el mismo fenotipo, sin efectos acumulativos, por lo tanto 15 plantas de cada 16 exhibieron susceptibilidad a la roya y solamente 1 fué resistente.

7. SUMMARY

The heredity of yellow rust (Puccinia striiformis West f. sp. hordei) was studied in the barley cultivars CI. 1243 (Abyssinian), CI. 5821, CI. 9588 and CI. 9622, classified as resistant to yellow rust. Each cultivar was crossed with the suceptible cultivars Mochacá, 124 and Surbatá. The Fl obtained was backcrossed to the non recurrent susceptible ponent. This study was canied out at Marengo Experimental Centro of National University duning 1980 and 1981.

In this Center were evaluated thereactions to yellow rust of the generations Fl, Fl from backcross, Fs and F3 familiee all the crosses were made at Tibaitatá greenhouses. In the evaluation of yellow rust reaction the Stakman, Steward and Loegering was used, grouping the categories O, R and MR as resistant; MS and S as susceptible. All the notes were recorded in adult plant stage under field conditions.

Inth statistical analysis the X^2 method was used for adjusting the relations to the data obtained. The only yellow rust race identified in the field was the race 24.

In all the crosses of de cultivar CI. 1243 with 124, Mochacá and Surbatá, the Fl, and Fl from backcross were susceptible. The F2 segregated in the relation 3 susceptible plants to 1 resistant, the F3 generations segregated in the proportion: 1 resistant, 2 segregating and 1 susceptible.

The results obtained indicate that the yellow rust heredity in the CI. 1243 variety is governed by one recessive gene.

All the Fl and Fl backcross generations of the crosses of the CI. 5821, CI. 9588 and CI. 9622 with the susceptible varieties Mochacá, 124 and Surbatá were susceptible. The F2 generation segregated in the proportion 15 susceptible plants to one resistant, the F3 families segregated in the proportion 1 resistant, 8 segregating and 7 susceptible.

The results indicated that the yellow rust resistance of the CI. 5821, CI. 9588 and CI. 9622 is controlled by two recessive genes.

BIBLIOGRAFIA.

1. ALLARD, R.W. Principios de la mejora genética de las plantas. Barcelona, Omega, 1975. 498 p.

2. ARBELAEZ, G.; ESPARZA, J. Características del patógeno. Contribución al estudio de la roya amarilla de la cebada (Puccinia striiformis f. sp. hordei). Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 1976. p. 3-22.

3. BAHL, P. N.; BAKSHI, J. S. Genetics of rut resistance in barley II. The inheritance of seedling resistance to four races of yellow rust. The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. v.23 no.2, p. 150-154.. 1963.

4. BAKSHI, J. S.; BAHL, P. N. Inheritance of resistance to four races of yellow rust in two varieties of barley. The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. v.25 no.2, p.239-242. 1965.

5. _____; _____; HOHLI, S. P. Inheritance of seedling resistance to same Indian races of yellow rust in the crosses of rust resistance barley variety E. B. 410. The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. v.24 no.1, p.72-77. 1964.

6. _____; LUTHRA, J. K. Inheritance of resistance to stripe rust (Puccinia striiformis West) in barley. En: International Barley Genetic Symposium, 2a. Proceedings. Washington, Pullman, 1969. p.479-483.

7. BAVARIA. DIVISION DE INVESTIGACION Y FOMENTO AGRICOLA. BOGOTA (COLOMBIA). Cultivo de la cebada, evaluación año agrícola, 1978. Bogotá, Bavaria, 1977. 35 p.

8. BURITICA, P.; MIRANDA, A. La roya amarilla de la cebada y su control. Bogotá, ICA, 1976. 45 p.

9. CALPOUZOS, L.; ROELFS, A. P. A new model to measure yield losses caused by stem rust in spring wheat. Minnesota University. Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin, no.307. 1976. 23 p.

10. CASTIBLANCO, L. E. Determinación de fuentes de resistencia a la roya amarilla de la cebada (Puccinia striiformis f. sp. hordei) en Colombia. En: Congreso Nacional de Ingenieros Agrónomos, 9o., Cali, Junio 17-20. 1981. Memorias. Cali, SIAC, 1981. p.1,1-4, 15, 1-4-18.

11. _____. Ensayos de control genético; contribución al estudio de la roya amarilla de la cebada (Puccinia striiformis f. sp. hordei) Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 1976. 70 p. (Tesis Ing. Agr.).

12. CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO. MEXICO. Notas acerca de las enfermedades; royas de los cereales. México, CIMMYT, s.f. (Mimeografiado).

13. DAYANI, T. R.; BAKSHI, J. S. Inheritance of resistance to corn leaf aphid in barley. The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. v.38 no.3, p.285-287. 1978.

14. _____; _____. Inheritance of resistance to strip rust in barley. The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. v.38 no.3, p.283-284. 1978.

15. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. BOGOTA (COLOMBIA). Filosofía, elaboración y aprobación de proyectos de investigación. Bogotá, ICA, 1972. 137 p.

16. JHA, M. P. Location of genes for seedling resistance to tree races of black rust in roheat varieties Lerna Rojo and Sonora 64. The Indian Agricultural Research Institute. v.30 no.1, p.137-164. 1970.

17. _____. Location of genes for seedling resistance to race 42 and biotype 42B of black rust in the roheat variety Sonora 64. The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. v.30 no.1, p.165-169. 1970.

18. LE CLERG, E. L.; LEONARD, W. H.; CLARCRK, A. G. Field plot technique, 2 ed. Mineapolis, Minnesota, Burgess, 1959. 373 p.

19. LEONARD, W. H.; MARTIN, J. H. Cereal crops. New York, Macmillan, 1963. 824 p.

20. LITTLE, T. M.; HILLS, F. V. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. México, Trillas, 1976. 270 p.

21. LUTHRA, J. K. Inheritance of seedling resistance to races 57 and G. of yellow rust in barley. The Indian Joumal of Genetics and Plant Breeding. v.26, p.356-359. 1974.

22. MOSEMAN, D. C. Studies of inheritance of resistance in barley to pathogenic organisms. En: International Barley Genetic Symposium, 2a. Proceedings. Washington, Pullman, 1969. p.269-282.

23. MOSEMAN, J. G.; REID, D. A. Linkage relationships of genes conditioning resistance to leaf rust and powdery mildew in frager barley. Crop Science (Estados Unidos) v.1 no.6, p.425-427. 1961.

24. NOVER, L.; SCHOIZ, F. Genetistiche Untersuchungen Zur Resistang der Gerste gengen Geroprost (Puccinia striiformis West). Theoretical Applied Genetics. v.39, p.150-155. 1969.

25. OLIVER, F. L. Fundamentos de genética, México, Mac-Graw-Hill, 1979. 393 p.

26. ORJUELA, J. Indice de las enfermedades de las plantas cultivadas en Colombia. Bogotá, ICA, 1965. 66 p. (Boletín Técnico, no.11).

27. PANSE, V. G.; SUKHATME, P. V. Métodos para investigadores agrícolas. México, Fondo de Cultura Económica, 1959. 350 p.

28. POEHLMAN, J. M. Mejoramiento genético de las cosechas. México, Limusa-Wiley, 1965. 453 p.

29. RASHID, G.; QUICK, J. S.; STATLER, G. D. Inheritance of leaf rust resistance in three Durum wheats. Crop Science (Estados Unidos), v.16 no.2, p.294-296. 1976.

30. STRICKBERGER, M. W. Genetica. Barcelona, Omega, 1978. 937 p.

31. SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. Métodos estadísticos. México, Continental, 1975. 703 p.

32. UDEOGALANYA, B. A. C. C.; CLIFFORD, B. C. Genetical physiological and pathological relationship of resistance to Puccinia hordei and P. striiformis in Hordeum vulgare. Transactions of the British Mycological Society (Inglaterra) v.71 no.2, p.279-287. 1978.

APENDICE

Tabla 1. Prueba de Ji-cuadrado de homogeneidad para la F2 de las replicaciones 1980 y 1981, en cruces con la variedad CI. 1243.

Cruzamiento	Fuente	X^2	Grados de libertad	Probabilidad
CI. 1243 x 124	Replicación F2-1980	1.852	1	
	Replicación F2-1981	+ 0.667	1	
	Total	2.519	2	
	Datos acumulados	- 1.968	1	0.20-0.10
	Diferencia	0.558	1	0.558-0.30
CI. 1243 x Mochacá	Replicación F2-1980	1.933	1	
	Replicación F2-1981	+ 2.381	1	
	Total	4.314	2	
	Datos acumulados	- 3.481	1	0.05-0.01
	Diferencia	0.333	1	0.90-0.70
CI. 1243 x Surbatá	Replicación F2-1980	1.659	1	
	Replicación F2-1981	+ 1.818	1	
	Total	3.477	2	
	Datos acumulados	- 3.177	1	0.05-0.01
	Diferencia	0.300	1	0.95-0.90

Tabla 3. Prueba de Ji-cuadrado de homogeneidad para la F2 de las replicaciones 1980 y 1981 en cruces con la variedad CI.9588.

Cruzamiento	Fuente	Ji-cuadrado	Grados de libertad	Probabilidad
CI.9588 x 124	Replicación F2-1980	0.04	1	
	Replicación F2-1981	+ 5.554	1	
	Total	5.594	2	
	Datos acumulados	- 1.669	1	0.20-0.10
	Homogeneidad (dif)	3.925	1	0.05-0.01
CI.9588 x Mochacá	Replicación F2-1980	2.951	1	
	Replicación F2-1981	+ 3.200	1	
	Total	6.150	2	
	Datos acumulados	- 5.899	1	0.05-0.01
	Homogeneidad (dif)	0.250	1	0.70-0.50
CI.9588 x Surbatá	Replicación F2-1980	0.296	1	
	Replicación F2-1981	+ 1.659	1	
	Total	1.956	2	
	Datos acumulados	- 0.085	1	0.90-0.70
	Homogeneidad (dif)	1.871	1	0.20-0.10

Tabla 4. Prueba de Ji-cuadrado de homogeneidad para la F2 de las replicaciones 1980 y 1981, en cruces con la variedad CI-9622.

Cruzamientos	Fuente		Ji-cuadrado	Grados de libertad	Probabilidad
CI. 9622 x 124	Replicación F2-1980		0.00046	1	
	Replicación F2-1981	+	0.606	1	
	Total		0.6065	2	
	Datos acumulados	-	0.2277	1	0.70-0.50
	Homogeneidad (dif)		0.3788		0.70-0.50
CI. 9622 x Mochacá	Replicación F2-1980		5.525	1	
	Replicación F2-1981	+	3.623	1	
	Total		9.148	2	
	Datos acumulados	-	8.888	1	0.01-0.001
	Homogeneidad		0.259	1	0.70-0.50
CI. 9622 x Surbatá	Replicación F2-1980		0.7208	1	
	Replicación F2-1981	+	3.380	1	
	Total		4.111	2	
	Datos acumulados	-	0.0121	1	0.95-0.90
	Homogeneidad		4.088	1	0.05-0.01