

Selerrida

MEJORAMIENTO DE POBLACIONES DE MAIZ PARA RESISTENCIA AL ACHAPARRAMIENTO Y AL MILDIU *

Carlos De León**

I- ANTECEDENTES.

A. Achaparramiento:

En muchas zonas tropicales y subtropicales del Continente Americano en donde se cultiva maíz, la enfermedad conocida como "achaparramiento", ha sido uno de los factores limitantes de producción de este cereal. Las incidencias son altas cuando las siembras se realizan en períodos que existen altas poblaciones de los insectos vectores.

Aparentemente la enfermedad se ha diseminado, y en algunos lugares donde no se conocía como problema serio, a la fecha tiene que tomarse en consideración en programas de mejoramiento de maíz. Principalmente, se ha aceptado como un problema serio en siembras fuera de temporada normal en países de Centro América y el Caribe, incluyendo México. Como en algunos otros casos, desde la época de su identificación en el campo, esta enfermedad ha estado rodeada de un halo de confusiones.

Después de 1945 en que la enfermedad se reportó como causada por un virus que era transmitido por el cicadélido Dalbulus maidis De L y W. en California y Texas, EEUU, varios trabajos posteriores continuaron mencionando al agente causal como un virus. En 1950, Niederhauser y Cervantes, reportaron que en el Altiplano de México el achaparramiento del maíz era transmitido por el cicadélido Dalbulus (Baldulus) elimatus (Ball). Los dos "achaparramientos" eran aparentemente iguales, solo que el período la tente (o de multiplicación) en el último era ligeramente mayor que en el anterior.

Maramorosch, en 1958, tratando de aclarar este problema, publicó que en México se presentaban dos tipos diferentes de achaparramiento. La separación se hizo básicamente en base a los síntomas de las plantas y asignó el nombre de Río Grande y Mesa Central, a lo que llamó dos razas del virus del achaparramiento (Río Grande es la zona del Río Bravo, frontera de México y EEUU y la Mesa Central es el Altiplano de México). En su trabajo, Maramorosch indicó que la raza Mesa Central producía en el folla-

* Presentado en la XXVII Reunión Anual del PCCMCA, Sto. Domingo, - Rep. Dominicana, Marzo 22 - 27, 1981.

** Fitopatólogo, Programa de Maíz, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT); Londres 40, México 6, D. F. México.

je un rayado difuso, sin rayas cloróticas en la base de las hojas jóvenes pero desarrollando un color púrpura intenso en las hojas más viejas y desarrollo de brotes de las yemas axilares principalmente en la base de la planta. Las plantas infectadas con la raza Río Grande desarrollaban rayas cloróticas en la base de las hojas y más tarde coloración rojiza en la lámina, proliferación de las raíces secundarias y desarrollo de brotes de las yemas axilares.

Posteriormente, en 1968, en investigaciones con microscopio electrónico de Maramorosch, Granados y otros, se reportó que el agente causal del achaparramiento era un organismo parecido a los micoplasmas. En 1972, Davis y otros investigadores, reportaron que los organismos parecidos a micoplasmas encontrados en plantas de maíz con achaparramiento eran espiroplasmas, debido al aspecto de espiral de filamentos presentes en el patógeno. Desde entonces el organismo se conoce como espiroplasma del achaparramiento.

La confusión se aclaró cuando, en 1977, Bascope reportó que el síntoma de achaparramiento conocido como Río Grande era causado por espiroplasmas, y Mesa Central era causado por organismos del tipo de los micoplasmas, enfermedad a la que ahora se le conoce como "bushy stunt" o enanismo arbustivo debido a la proliferación de las yemas inferiores de la planta.

B. Mildiú vellosó ó Cenicilla:

La enfermedad ahora conocida en países de América Latina como mildiú o cenicilla, es una enfermedad introducida recientemente en este Continente. Fue originalmente reconocida en 1961 en el Sur de Texas y noreste de México, aún cuando existen versiones de que ya se le conocía con anterioridad. De esa época a la fecha, la enfermedad se ha propagado a casi todos los países de América Latina, desde el norte de Argentina hasta el norte de México y los Estados Unidos. Reportes recientes indican su presencia en zonas subtropicales o templadas de nuestro continente.

El complejo de género y especies causantes de mildiús en cereales, Sclerospora y Sclerophthora, originalmente eran conocidos como limitantes de producción en países de Asia y Africa.

El género Sclerospora, fue cambiado al de Peronosclerospora en 1978, con las siguientes especies atacando al maíz:

- 1) Peronosclerospora sorghi (Kulk)W. y Uppal, 2) P. philippinensis Weston
- 3) P. maydis (Raciborski)Butler, 4) P. sacchari Miyaki, 5) P. spontanea Weston.

En el género Sclerospora, solo existe una especie:

S. graminicola (Sacc.) Schroet.

El género Sclerophthora incluye:

S. macrospora (Sacc.) Thirum, Shaw, Naras. y S. rayssiae var. zeae Payak y Renfro.

La especie que ataca maíz y sorgo en forma mas severa en -- América Latina es P. sorghi. Síntomas característicos de la enfermedad son la producción de una vellocidad en las superficies de la hoja, principalmente en el envés. Esa vellocidad formada por micelio y conidias del hongo, se disemina por el aire a plantas no infectadas. Con algunas excepciones, en el tejido enfermo se desarrollan oosporas que van a infestar el -- suelo al incorporar los restos del cultivo al finalizar el ciclo. Las oosporas germinan en el suelo, penetrando la plántula, y desarrollando en los tejidos de la planta en forma sistemática.

Las oosporas son el inóculo primario y las conidias son el secundario, cerrando en esta forma el ciclo de vida del hongo. Existe la -- preocupación del movimiento de semilla de zonas infectadas ya que se considera que el hongo es transmitido por semilla. Esta preocupación no está justificada, ya que plantas enfermas no producen mazorcas o éstas -- son muy pequeñas y desarrollan solamente unos cuantos granos que nunca son seleccionados para semilla. Además, el secado de los granos elimina cualquier futura diseminación. El caso de movimiento comercial de semillas de áreas con mildiú a zonas no infestadas no se discutirá aquí.

II- Fuentes de resistencia conocidas:

A. Achaparramiento:

Alguna información se ha obtenido en cuanto a materiales resistentes disponibles que pudieran usarse en programas de mejoramiento. La información coincidía en que la mejor resistencia se podía obtener de materiales de Cuba o de Rep. Dominicana. Desafortunadamente, la experiencia indica que cuando la incidencia de vectores es muy alta, esta resistencia se elimina. Normalmente las características agronómicas de estos materiales necesitan mejorarse.

Trabajos realizados en Mississippi indican que la resistencia al achaparramiento es controlada por caracteres cuantitativos que actúan principalmente en forma aditiva. Ni resistencia o susceptibilidad fueron dominantes en el componente no aditivo.

B. Mildiú vellosa:

Actualmente se conocen buenas fuentes de resistencia contra el mildiú. La resistencia mas estable se ha encontrado en materiales seleccionados en Filipinas donde la enfermedad es muy severa, p.ej. Philippine -- DMR 2,4,6 y Comp. 2 con granos blancos, y Philippine DMR 1,3,5 y Comp. 1, Thai DMR Comp. 1 con granos amarillos. Sin embargo, como en muchos casos de materiales resistentes a enfermedades, las características agronómicas de muchos de estos materiales necesitan mejorarse.

Trabajos realizados sobre la herencia de la resistencia, indican:

- 1) En Taiwan, en estudios con P. sacchari, un gene dominante (Dmr) es -- responsable de la resistencia.
- 2) En Texas, de 3 genes involucrados en resistencia a P. sorghi, 2 son domi

nantes y 1 recesivo.

- 3) En Tailandia, un sistema poligénico de resistencia a P. sorghi con efecto aditivo.
- 4) En Indonesia, resultados similares a Tailandia, pero con el hongo P. maydis.
- 5) En Filipinas, la resistencia a P. philippinensis se debe a pocos genes dominantes. Otros trabajos mencionan que la resistencia a este hongo es un carácter cuantitativo que puede variar con la severidad de la enfermedad: resistencia era dominante en condiciones de severidad baja o moderada, pero con dominancia de susceptibilidad en alta severidad.

III- Trabajos realizados en CIMMYT para aumentar los niveles de resistencia en tres poblaciones base.

A principios de 1974, existía suficiente información indicando que existían tres enfermedades del maíz que eran causa de las mayores pérdidas de cosechas a nivel mundial: el achaparramiento, el mildiú y el virus del rayado hasta ahora identificado en países del continente Africano al sur del Sahara.

Para llevar a cabo selecciones para resistencia a estas enfermedades, se organizó un programa llamado de "Investigación Colaborativa" con países que ya tenían experiencia en selecciones de resistencia a cualquiera de estas 3 enfermedades. Así, se hicieron arreglos para seleccionar resistencia al achaparramiento con Nicaragua y El Salvador, contra el mildiú con Tailandia y Filipinas, y contra el virus del rayado Africano con Zaire y Tanzania.

Para 1974, se desarrollaron tres poblaciones de maíz con una amplia base genética. Una vez aceptadas y teniendo niveles de resistencia adecuados, estas poblaciones podrían ser probadas, aumentadas y distribuidas por cualquier programa interesado en éstos materiales. Las tres poblaciones base se cruzaron con materiales resistentes a cualquiera de las enfermedades citadas.

Para 1975, de las 3 poblaciones se seleccionaron 4000 progenies que se mandaron a los seis países participantes para iniciar la selección contra las enfermedades. Las familias resistentes al achaparramiento fueron identificadas en los países de Centro América, resistentes al mildiú identificadas en países de Asia y las del virus del rayado en los países africanos. Las mejores plantas de esas familias fueron autofecundadas.

La semilla de las plantas aparentemente resistentes se sembró de nuevo en épocas de alta incidencia de la enfermedad en los países donde existía el problema, y en México. Con la información del comportamiento de las familias S_1 en las áreas problema, en México se recombinaban esas mismas familias cuando presentaban buenas características agronómicas deseables.

Después de recombinar, la semilla producida en plantas S_1 seleccionadas era enviada de nuevo a los países colaboradores. Los Cuadros 1, 2 y 3 muestran los números de familias enviadas inicialmente para observación y selección y la cantidad de mazorcas seleccionadas para completar

el primer ciclo de selección. En el Cuadro 4 se detalla la presión de selección en el segundo ciclo de evaluación de familias recombinadas en lote aislado de medios hermanos. El Cuadro 5 corresponde al C2 de recombinación de familias de hermanos completos en la selección específica para achaparramiento. Estos datos demuestran que en general, el número de familias seleccionadas en los ciclos iniciales, fue aproximadamente de 33%.

El esquema de mejoramiento, en el Diagrama 1, se diseñó desde el principio de este Proyecto Colaborativo, y ayudó a mantener informados a todos los programas participantes de la actividad que correspondía en cada ciclo. Este esquema se siguió hasta 1980 en que se comprobó que en las poblaciones seleccionadas para achaparramiento o mildiú se habían acumulado niveles adecuados de resistencia. El Cuadro 6 muestra la evaluación agrónoma de estas subpoblaciones a través de 3 ciclos de selección por resistencia.

Al inicio del programa, se pensó que sería conveniente seleccionar materiales con resistencia tanto al achaparramiento como al mildiú. Para esto, las selecciones de Centro América, resistentes al achaparramiento se sembraban en Centro América y se enviaban a Asia para seleccionar a la vez contra mildiú. Lo mismo se hacía con las selecciones resistentes al mildiú. En el Cuadro 6, las poblaciones marcadas con Achap +DMR corresponden a aquellos materiales donde se pensó acumular esta resistencia a las dos enfermedades. El Cuadro 7 muestra que después de tres ciclos de selección no existía diferencia en la resistencia de los diferentes ciclos de selección siguiendo el esquema de mejoramiento sugerido. Tal vez algunos cambios en este esquema pudieran ayudar a la incorporación de resistencia a ambas enfermedades.

Sin embargo, cuando se analizó independientemente el progreso realizado en las subpoblaciones resistentes solo al achaparramiento, las ganancias de resistencia después de 3 ciclos de selección fueron conspicuas (Cuadro 8). Resultados parecidos se presentaron en las evaluaciones contra mildiú.

Con esta acumulación de resistencia en las subpoblaciones resistentes al achaparramiento o al mildiú, se consideró necesario mejorar solamente sus características agronómicas por algunos ciclos. Para esto, en las autofecundaciones obtenidas del C4 de selección con los países colaboradores de Asia y Centro América, en cada subpoblación se desarrollaron cruza recíprocas entre las familias S₁ agrónomicamente deseables y con resistencia a la enfermedad.

Noventa y cinco de estas cruza, tres testigos uniformes y dos testigos locales se incluyeron en ensayos de rendimiento en un lattice simple 10 x 10 con 2 repeticiones. Estas mismas cruza quedaron incluídas en el vivero de cruzamientos. El Diagrama 2 muestra la secuencia seguida en el desarrollo de estos ensayos. La información recibida de los países colaboradores se utilizó en 2 formas: a) En incorporar en el C5 de recombinación la mayor cantidad de familias estables y agrónomicamente deseables de los ensayos, y b) formar variedades experimentales específicas a cada localidad donde se sembraron los ensayos. Con el fin de dar oportunidad a los países de observar estas variedades en mayor número de localidades, se intenta incluírlas en un ensayo de variedades experimentales que estará dispo-

nible en Mayo, 1981, una vez que éstas se hayan avanzado a F₂. Mientras tanto el programa de selección y mejoramiento agronómico de las poblaciones resistentes al achaparramiento continúa solamente en México, hasta -- que consideremos necesario emprender de nuevo las selecciones en condiciones severas de la enfermedad, en cuyo caso buscaremos de nuevo la ayuda de nuestros colaboradores.

Cuadro 1: Comportamiento de familias de medios hermanos cuando sembradas en áreas de mildiú y/o achaparramiento y número de mazorcas seleccionadas.

Población base y sus cruzas	N° familias evaluadas (C0)	N° localidades donde resistentes	N° familias resistentes	N° mazorcas seleccionadas y recombinadas en aislamiento (C1)
TLWD (C0)	440	2	123	355
		3	23	179
		4	1	1
TLWD x Fuentes DMR	249	2	29	78
		3	4	24
		4	0	0
TLWD x Fuentes Achaparr.	39	2	1	6
		3	5	98
		4	1	1
Total	728	-	187	742

Cuadro 2: Comportamiento de familias de medios hermanos cuando sembradas en áreas de mildiú y/o achaparramiento y número de mazorcas seleccionadas.

Población base y sus cruzas	N° familias evaluadas (C0)	N° localidades donde resistentes	N° familias resistentes	N° mazorcas seleccionadas y recombinadas en aislamiento (C1)
TIWF (C0)	400	2	25	55
		3	18	72
		4	3	17
TIWF x Fuentes DMR	173	2	46	164
		3	6	28
		4	0	0
TIWF x Fuentes Achaparr.	92	2	20	62
		3	5	18
		4	0	0
Total	665	-	123	416

Cuadro 3: Comportamiento de familias de medios hermanos cuando sembradas en áreas de mildiú y/o achaparramiento y número de mazorcas seleccionadas.

Población base y sus cruzas	N° familias evaluadas (C0)	N° localidades donde resistentes	N° familias resistentes	N° mazorcas seleccionadas y recombinadas en aislamiento (C1)
TYFD (C0)	400	2	23	100
		3	1	2
		4	0	0
TYFD x Fuentes DMR	224	2	19	75
		3	0	0
		4	0	0
TYFD x Fuentes achaparr.	20	2	16	122
		3	3	4
		4	0	0
Total	644	-	62	303

Cuadro 4: Familias de medios hermanos (MH) de tres poblaciones seleccionadas en condiciones de mildiú y/o achaparramiento y número de mazorcas seleccionadas.

Población N°	Origen familias de MH.	N° familias MH.		Resistentes			N° familias S1		
		Evaluadas	Resistentes	Nic.	Salv.	Tail.Fil.	Generadas	Selec- cionadas	
1	TLW -DMR+Achap. C1	363	67	x	x	x	x	141	52
2	" -DMR C1	202	56			x	x	372	328
3	" -Achap. C1	825	185	x	x			416	160
4	TIWF -DMR+Achap. C1	304	64	x	x	x	x	194	52
5	" -DMR C1	165	86			x	x	351	291
6	" -Achap. C1	346	166	x	x			424	143
7	TYFD-DMR+Achap. C1	392	46	x	x	x	x	105	27
8	" -DMR C1	418	25			x	x	482	413
9	" -Achap. C1	793	236	x	x			385	121

Cuadro 5: Respuesta al achaparramiento de familias de hermanos completos (HC) generadas en tres poblaciones (C2) y número de S₁'s seleccionadas.

Población	N° familias HC evaluadas	Nicaragua N° mazorcas S ₁ seleccionadas	El Salvador		N° mazorcas S ₁	Total mazorcas S ₁ Seleccionadas
			Rango % infección	% infección (\bar{x})		
3. TLWD-Achap.(C2)	383	211	0 - 100	42.9	230	441
6. TIWF-Achap.(C2)	386	169	0 - 77	29.6	269	438
9. TYFD-Achap.(C2)	249	205	0 - 95	29.6	239	444

Cuadro 1:

Programa para selección en Investigación Colaborativa para aumentar resistencia y recombinarla contra 3 enfermedades: downy mildew y mildew, achaparramiento y virus del rayado.

1976 A-

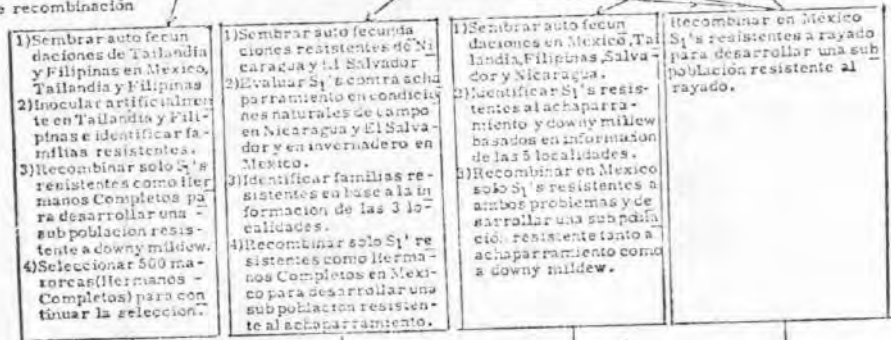
(Fase de recombinación)

Recombinar autofecundaciones, cruces y mezclas recíprocas en México en un lote de recombinación.

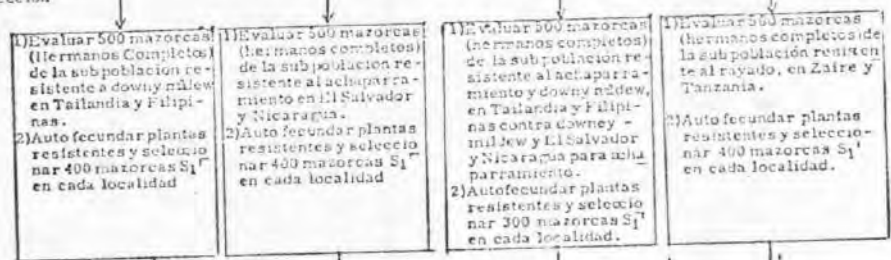
1976 (Sept. 15)
Fase de evaluación y selección



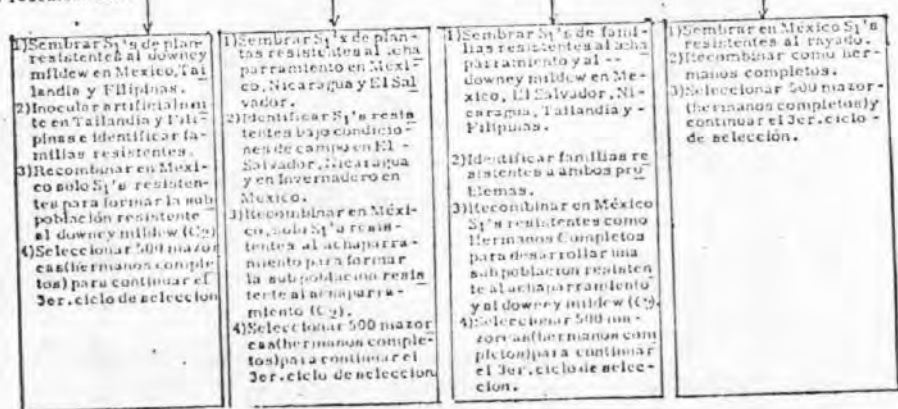
1977 (Abril)
Fase de recombinación



1977 (Sept.)
Fase de evaluación y selección



1978 (Abril)
Fase de recombinación



Cuadro 6: Efecto de selección al achaparramiento y/o mildiú en diferentes caracteres agronómicos de tres poblaciones de maíz

Población	Ciclo de selección	Rendimiento (Kg/ha)	Altura planta(cm)	Altura mazorca(cm)	Días a estigma	Acame (%)
TLWD	C0	5985	202.5	120	62	2.1
TIWF	"	4799	217.5	117.5	61	0
TYFD	"	5318	230	125	61	2.1
TLWD-Achap.+DMR	C2	6043.5	202.5	97.5	60.5	3.1
-DMR	"	4837	207.5	117.5	61	5.2
-Achap.	"	6613.5	210	102.5	61	5.2
TIWF -Achap.+DMR	"	4971	205	110	60.5	0
-DMR	"	5053	210	100	61	0
-Achap.	"	5429	217.5	117.5	60.5	3.1
TYFD -Achap.+DMR	"	4959.5	205	107.5	61	1
-DMR	"	5876	212.5	107.5	60.5	0
-Achap.	"	5370	197.5	115	61	3.2
TLWD -Achap.+DMR	C3	4741.5	197.5	105	59	0
-DMR	"	5617.5	205	107.5	61	1
-Achap.	"	5959.5	205	107.5	61	0
TIWF -Achap.+DMR	"	4967.5	210	102.5	60.5	0
-DMR	"	4188.5	197.5	95	60.5	0
-Achap.	"	6222.5	200	107.5	60.5	2.7
TYFD -Achap.+DMR	"	4410.5	197.5	95	59	5.2
-DMR	"	5142	202.5	107.5	61	2.1
-Achap.	"	5303	200	100	60.5	3.1
DMS (5%) =		1070				
CV =		9.6%				

Cuadro 7: Respuesta al achaparramiento y al mildiú de tres poblaciones despues de tres ciclos de selección combinada contra las dos enfermedades.

Población	Grado de selección	% Achaparramiento		% Mildiú	
		Nicaragua	El Salvador	Tailandia	Filipinas
1. TLWD (DMR+Achap.)	C0	59.2	48.5	36	95
	C1	46.5	35.5	16	95.5
	C2	64.7	30.5	33.2	94
	C3	51	43	33	95
	Testigo susc.	52	48.2	25.2	100
	DMS(5%)	44.4	34.4	27.4	6.9
	CV(%)	22.7	24.3	22.1	4.7
4. TIWF (DMR+Achap.)	C0	68.7	92.2	18.7	99
	C1	55.7	80	26	98
	C2	53.5	71.7	19.7	92.5
	C3	63.5	89.5	26.5	93.7
	Testigo susc.	67	79	33.7	98.7
	DMS(5%)	29.6	19.3	16.5	7.7
	CV(%)	21.2	16	23	5.2
7. TYFD (DMR+Achap.)	C0	25	70.2	25	92.2
	C1	25.7	63.7	25.7	90.7
	C2	18	69.2	18	87.7
	C3	24.2	71.7	24.2	84.2
	Testigo susc.	48.2	65	48.2	100
	DMS(5%)	22.6	19.9	16.1	21.5
	CV	27	19	27	17

Cuadro 8: Respuesta al achaparramiento de tres poblaciones despues de tres ciclos de selección contra la enfermedad.

Población	Grado de selección	% infección (\bar{x})	
		Nicaragua	El Salvador
3. TLWD - Achap.	C0	50.5	45.7
	C1	58.7	53.7
	C2	35.7	37.7
	C3	31.5	33.5
	Testigo susc.	100	100
	DMS(5%)	28.5	14.9
	CV(%)	33	17
6. TIWF - Achap.	C0	61	68.7
	C1	64.7	66.7
	C2	36.2	41
	C3	38.7	35.7
	Testigo susc.	100	100
	DMS(5%)	23.5	12.8
	CV(%)	25.3	13.3
9. TYFD - Achap.	C0	61.5	57.5
	C1	58.7	62
	C2	41.2	47
	C3	36	45.5
	Testigo susc.	100	100
	DMS(5%)	27.5	19.8
	CV(%)	33	20.6

Diagrama 2:

Formación de variedades experimentales de maíz resistentes al achaparramiento o al mildiú, a partir de 3 poblaciones seleccionadas para resistencia a estas enfermedades.

MEXICO, NICARAGUA, SALVADOR
TAILANDIA, FILIPINAS.

1. Sembrar líneas S_1 seleccionadas en áreas con achaparramiento y mildiú.
2. En Tailandia y Filipinas inocular artificialmente las familias seleccionadas contra mildiú.
En Nicaragua y El Salvador evaluar en condiciones de campo las familias seleccionadas contra achaparramiento. En México, inocular artificialmente con achaparramiento.
3. A) En México, recombinar familias S_1 agronómicamente deseables y resistentes a cada enfermedad.
B) En las mejores familias S_1 seleccionadas, hacer cruza planta a planta con cruce recíproca.

A B

MEXICO

Cosechar mazorcas de hermanos completos de las mejores familias S_1 en las diferentes poblaciones.

TAILANDIA, FILIPINAS
NICARAGUA, EL SALVADOR

1. Autofecundar plantas aparentemente resistentes en familias agronómicamente buenas.
2. Cosechar mazorcas S_1 y enviar a México para iniciar nuevo ciclo de recombinación.

MEXICO

1. Sembrar semilla de mazorcas S_1 seleccionadas en países colaboradores.
2. Mejorar caracteres agronómicos de todas las poblaciones hasta ahora obtenidas.
Polinizar con mezcla de polen de familia S_1 seleccionadas.

MEXICO

1. Cosechar 95 pares de mazorcas producidas en familias S_1 seleccionadas. Añadir 5 testigos, 2 de los cuales serán materiales locales añadidos por países colaboradores
2. Incluir estas 100 entradas en un lattice simple 10 x 10, con 2 repeticiones.

Enviar ensayos de rendimiento a países colaboradores:

- a) En áreas con mildiú:
Honduras, Venezuela, Nepal, Tailandia, Filipinas, México.
- b) En áreas con achaparramiento:
Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Rep. Dominicana, México.

MEXICO

1. Usando información de los ensayos conducidos en países colaboradores, seleccionar las 10 familias que tengan los mejores niveles de resistencia a la enfermedad y características agronómicas.
2. Sembrar semilla remanente de estas 10 familias y recombinarlas en una variedad experimental.

MEXICO

1. Avanzar cada variedad experimental a F_2 .
2. Incluir las variedades experimentales resistentes al achaparramiento en un ensayo de variedades. Distribuir estos en áreas con problemas de achaparramiento.
3. Hacer lo mismo con variedades experimentales resistentes al mildiú.