

# **EL RETORNO** de la **RESISTENCIA**

**Fitomejoramiento de los Cultivos  
para Reducir  
la Dependencia de Plaguicidas**

**RAOUL A. ROBINSON**

(TRADUCCION DE F. ROMERO R.)

**ESTE LIBRO ESTA DEDICADO  
A LUIGI CHIARAPPA Y  
ROBERTO GARCIA ESPINOSA**

# CONTENIDO

<b>PRIMERA PARTE: EXPLICACIONES .....</b>	<b>1</b>
<b>1. GENÉTICA: MENDELIANOS Y BIOMETRISTAS .....</b>	<b>3</b>
<b>2. MEJORAMIENTO VEGETAL: MEJORAMIENTO POR PEDIGRÍ Y MEJORAMIENTO POBLACIONAL .....</b>	<b>9</b>
<b>3. RESISTENCIA: VERTICAL Y HORIZONTAL .....</b>	<b>15</b>
<b>4. INFECCIÓN: ALOINFECCIÓN Y AUTOINFECCIÓN .....</b>	<b>20</b>
<b>5. INTERACCIÓN HOSPEDANTE-PARÁSITO: NO ACOPLANTE Y ACOPLANTE .....</b>	<b>24</b>
<b>6. EPIDEMIAS: DISCONTINUAS Y CONTINUAS .....</b>	<b>28</b>
<b>7. POBLACIONES: GENÉTICAMENTE UNIFORMES O DIVERSAS .....</b>	<b>33</b>
<b>8. RESPUESTA A LA PRESIÓN DE SELECCIÓN: FLEXIBILIDAD GENÉTICA O INFLEXIBILIDAD .....</b>	<b>39</b>
<b>9. EL DAÑO: SU FRECUENCIA Y SU PERJUICIO .....</b>	<b>43</b>
<b>10. PATOSISTEMAS: EN PLANTAS SILVESTRES Y EN CULTIVADAS .....</b>	<b>47</b>
<b>11. LAS DESVENTAJAS DE LA RESISTENCIA VERTICAL .....</b>	<b>51</b>
11.1. Dos Ventajas de la Resistencia Vertical.....	51
11.2. Resistencia Temporal.....	51
11.3. Esenciabilidad de las Fuentes Genéticas de Resistencia.....	51
11.4. La Paradoja de la "Reina Roja".....	52
11.5. El Efecto Vertifolia.....	52
11.6. Problemas de la Resistencia Global .....	53
11.7. Pérdida de Diversidad Genética.....	54
11.8. Problemas Ocasionados por el Hombre .....	54
<b>12. COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA HORIZONTAL .....</b>	<b>55</b>
12.1. Es una Resistencia Permanente.....	55
12.2. Es una Resistencia Completa.....	55
12.3. La Resistencia Horizontal no Exige una Buena Fuente de Resistencia Genética .....	56
12.4. La Resistencia Horizontal es Global (comprehensiva o incluyente).....	56
12.5. Desventajas de la Resistencia Horizontal .....	57
<b>13. EROSIÓN DE LA RESISTENCIA HORIZONTAL .....</b>	<b>61</b>
13.1. Erosión en el Hospedante.....	61
13.2. Erosión en el Parásito) .....	62
13.3. Erosión Ambiental.....	62
13.4. Erosión Falsa .....	63
<b>14. TRES FUENTES DE ERROR .....</b>	<b>64</b>
14.1. Interferencia Parasitaria .....	64
14.2. Inmunidad Poblacional.....	65
14.3. Control Biológico.....	66
<b>15. DESVENTAJAS DE LOS AGROQUÍMICOS PROTECTORES .....</b>	<b>70</b>
15.1. Costo.....	70
15.2. Repetitividad.....	71
15.3. Resistencia Insectil .....	71
15.4. Conocimientos Especializados .....	71
15.5. Riesgos.....	71
15.6. Destrucción del Control Natural.....	72
15.7. Efectividad Incompleta .....	72
<b>16. ¿CÓMO ESCAPÓ DE NUESTRO CONTROL LA FITOSANIDAD? .....</b>	<b>74</b>

<b>17. LOS CÁRTELES DE LOS CULTIVOS.....</b>	<b>76</b>
<b>SEGUNDA PARTE: EJEMPLOS .....</b>	<b>80</b>
<b>REITERACIÓN .....</b>	<b>81</b>
<b>18. UNA HISTORIA BREVE DE LOS PARÁSITOS DE LA PAPA .....</b>	<b>82</b>
18.1. Introducción.....	82
18.2. Tizón de la Papa .....	83
18.3. Cuarenta Años de Daño por Tizón .....	85
18.4. Caldo Bordelés.....	86
18.5. Cuarenta Años de Caldo Bordelés .....	87
18.6. Cuarenta Años de Mejoramiento Científico de la Papa.....	88
18.7. El Sexo en el Hongo Causal del Tizón.....	89
18.8. Enfermedades que Porta el Tubérculo de la Papa.....	90
18.9. Mejoramiento de la Papa en México .....	92
18.10. Mejoramiento de la Papa en Escocia .....	94
18.11. Catarinita de la Papa .....	94
<b>19. ¿PORQUÉ SE LE ACABÓ EL VAPOR A LA REVOLUCIÓN VERDE? .....</b>	<b>97</b>
19.1. Las Variedades Enanas.....	98
19.2. Los Centros Internacionales de Investigación .....	99
19.3. Problemas Secundarios Dentro de la Revolución Verde.....	100
19.4. No Más Revoluciones Verdes .....	101
19.5. Preservación de Germoplasma.....	101
<b>20. EL MAÍZ EN AFRICA TROPICAL .....</b>	<b>103</b>
20.1. Lección 1: La bancarrota de la resistencia por pedigrí.....	104
20.2. Lección 2: La reivindicación de los biometristas .....	105
20.3. Lección 3: Erosión de la resistencia horizontal.....	105
20.4. Lección 4: Flexibilidad genética .....	105
20.5. Lección 5: Fitomejoramiento poblacional .....	106
20.6. Lección 6: Naturaleza de la resistencia .....	106
20.7. Lección 7: Segregación transgresiva.....	107
20.8. Lección 8: Selección local o in situ .....	107
20.9. Lección 9: No es imprescindible una fuente de resistencia .....	108
20.10. Lección 10: Presiones de selección .....	108
20.11. Lección 11: El número de generaciones de selección.....	109
20.12. Lección 12: El enfoque holístico (global).....	109
20.13. Lección 13: Interferencia parasitaria .....	110
20.14. Lección 14: El tamaño de la población de selección .....	110
20.15. Lección 15: El rango de niveles de resistencia horizontal.....	111
20.16. Lección 16: Resistencia horizontal global (comprehensiva) .....	112
20.17. Lección 17: Presiones de selección para otras cualidades.....	112
20.18. Lección 18: Selección de semilla.....	112
20.19. Lección 19: Demostración de la resistencia horizontal .....	113
20.20. Lección 20: Medidas de la resistencia horizontal .....	113
20.21. Lección 21: El rayado viroso del maíz.....	113
20.22. Lección 22: El maíz híbrido.....	115
20.23. Otras cosas que no nos enseñó el maíz de Africa Tropical .....	116
<b>21. LA PÉRDIDA DE RESISTENCIA EN EL CAFETO .....</b>	<b>117</b>
21.1. Origen del Cafeto .....	117
21.2. La Distribución Mundial del Cafeto .....	119
21.3. Enfermedad de la Cereza del Cafeto .....	121
21.4. Conservación Genética.....	124
21.5. La Resistencia Vertical en un Cultivo Perennifolio y Siempre Verde.....	125
<b>22. LA CAÑA DE AZÚCAR .....</b>	<b>127</b>
22.1. Un Cultivo muy Antiguo.....	127

22.2. Los Parásitos de Nuevo Encuentro .....	127
22.3. Fitomejoramiento de la Caña de Azúcar .....	128
<b>23. CLONES ANTÍGUOS .....</b>	<b>132</b>
23.1. Aroides .....	134
23.2. Plátano o Banana.....	134
23.3. Pimienta Negra .....	135
23.4. Cítricos .....	136
23.5. Palma Datilera .....	136
23.6. Higuera.....	137
23.7. Ajo .....	137
23.8. Jengibre.....	137
23.9. Vid .....	137
23.10. Lúpulo .....	138
23.11. Rábano Rústico (rusticano) .....	138
23.12. Olivos.....	139
23.13. Piña.....	139
23.14. Azafrán.....	139
23.15. Henequén, Pita o Sisal.....	140
23.16. Curry (turmeric).....	140
23.17. Vainilla .....	140
23.18. Ñame.....	140
<b>TERCERA PARTE: SOLUCIONES.....</b>	<b>142</b>
<b>24. CLUBS DE FITOMEJORAMIENTO .....</b>	<b>143</b>
24.1. Introducción.....	143
24.2. Un Típico Club de Fitomejoramiento .....	144
24.3. Objetivos y Metas.....	144
24.4. LISA (Low-Input Sustainable Agriculture) .....	145
24.5. Los Derechos de los Fitomejoradores .....	145
24.6. El Reparto de las Regalías .....	146
24.7. Organización Básica.....	147
24.8. Constitución de un Club .....	147
24.9. Tamaño del Club .....	147
24.10. Categorías de los Miembros .....	148
24.11. Calificación de los Miembros .....	149
24.12. Obligaciones de los Miembros .....	149
24.13. Cuotas de los Miembros.....	149
24.14. Estrategia de Fitomejoramiento.....	150
24.15. Experiencia Práctica .....	150
24.16. Prepárese Para las Frustraciones.....	150
24.17. Las Propiedades del Club .....	151
24.18. Propiedad de Cultivares y Derechos por Fitomejoramiento .....	151
24.19. Quejas de los Vecinos .....	151
24.20. Parásitos Ilegales .....	152
24.21. Boletines .....	152
24.22. Federaciones de Clubs.....	152
24.23. Sociedades Profesionales.....	152
24.24. Asesoría Especializada .....	153
24.25. Publicaciones Científicas .....	153
24.26. Auditorías Financieras.....	153
24.27. Clubs Universitarios de Fitomejoramiento .....	153
24.28. México .....	154
24.29. Clubs Para el Beneficio Social (caritativos, en el original) .....	154
24.30. Esquema de Participación de los Productores, en Países Tropicales .....	155
<b>25. TÉCNICAS .....</b>	<b>156</b>
25.1. Abejas.....	156

25.2	Agroquímicos protectores.....	156
25.3	Ampliación de la base genética.....	157
25.4	Arroz, aspectos especiales.....	157
25.5	Asesoría especializada.....	157
25.6	Biblioteca.....	157
25.7	Burós Internacionales de Agricultura (Commonwealth Agricultural .....	157
25.8	Calidad del producto cosechado.....	158
25.9	Características de los cultivares.....	158
25.10	Catálogos.....	158
25.11	Categorías de parásitos.....	159
25.12	Cereales alógamos (alofecundados) .....	159
25.13	Cereales autógamos (autofecundados).....	160
25.14	Cereales, procedimientos de selección .....	160
25.15	Ciclo de mejoramiento por selección temprana:.....	160
25.16	Clasificación de la semilla .....	160
25.17	Coeficiente de selección.....	160
25.18	Conflictos entre los cultivares locales y los cosmopolitas.....	160
25.19	Contaminación de los terrenos del club.....	161
25.20	Conteo de semilla.....	161
25.21	Contratos comerciales.....	161
25.22	Cosecha.....	162
25.23	Crías de insectos .....	162
25.24	Descendientes de una sola semilla (método de los) .....	162
25.25	Designación (de patotipos y hospedantes) .....	163
25.26	Distribución (espacial) por contagio .....	164
25.27	Emasculación .....	164
25.28	Ensayos de campo.....	165
25.29	Equipo .....	165
25.30	Equipo de laboratorio .....	165
25.31	Equipo de oficina.....	166
25.32	Expansión del programa de mejoramiento .....	167
25.33	Fijación de nitrógeno .....	167
25.34	Folletos y publicaciones.....	168
25.35	Formación de líneas puras.....	168
25.36	Gameticidas masculinos .....	169
25.37	Generación de cruzas .....	169
25.38	Generación de multiplicación (del material vegetal) .....	170
25.39	Genes marcadores .....	171
25.40	Germinación de semillas .....	171
25.41	Gradientes parasitarios.....	172
25.42	Hidroponía .....	172
25.43	Hospedantes designados.....	172
25.44	Humidificadores .....	173
25.45	Identificación de parásitos.....	173
25.46	Injerto.....	173
25.47	Inoculación.....	174
25.48	Inoculación del suelo .....	175
25.49	Invernaderos.....	175
25.50	Investigación .....	177
25.51	Jurado del club .....	178
25.52	Jurados de selección (de cultivares).....	178
25.53	Laboratorio.....	179
25.54	Limpieza de semillas.....	179
25.55	Lupino .....	179
25.56	Macetas (y otros medios de producción de plántulas).....	179
25.57	Maquinaria agrícola.....	180
25.58	Medida de la resistencia horizontal, su relatividad .....	180
25.59	Mejoramiento en masa (masal).....	180

25.60. Mejoramiento por pedigrí .....	180
25.61. Mortalidad excesiva (Screening overkill) de la población de selección .....	181
25.62. Multiplicación clonal.....	181
25.63. Multiplicación de cultivares .....	181
25.64. Nuevos cultivares potenciales .....	181
25.65. Número de plántulas de selección .....	182
25.66. Papa, calidad del tubérculo de .....	182
25.67. Papa, inoculación de plántula.....	182
25.68. Papa, multiplicación rápida.....	183
25.69. Papa, polinización de.....	183
25.70. Papa, producción de semilla verdadera.....	184
25.71. Papa, progenitores de semilla de.....	184
25.72. Papa, pruebas de rendimiento .....	185
25.73. Papa, selección de tubérculos almacenados.....	185
25.74. Patotipos designados .....	185
25.75. Pasteurización del suelo .....	185
25.76. Peligros de polen extraño (indeseado) .....	186
25.77. Polinización cruzada (“alofecundación”).....	186
25.78. Polinización cruzada de cereales.....	187
25.79. Polinización cruzada de leguminosas de grano.....	187
25.80. Polinización cruzada natural.....	188
25.81. Problemas, errores y accidentes.....	188
25.82. Procesamiento del suelo .....	189
25.83. Progenitores .....	189
25.84. Progenitores originales .....	189
25.85. Programas de fitomejoramiento que estan interconectados o traslapados .....	190
25.86. Propiedad de los derechos del mejorador .....	190
25.87. Purificación del material original (inicial) .....	191
25.88. Reserva de semillas para emergencias.....	191
25.89. Resistencia horizontal, demostración de.....	192
25.90. Resistencia horizontal global (comprehensiva) .....	192
25.91. Resistencia horizontal, medida de.....	193
25.92. Resistencia vertical, cómo evitarla durante el mejoramiento .....	193
25.93. Resistencia vertical, ¿cual es su destino?.....	193
25.94. Resistencia vertical cuantitativa.....	193
25.95. Rotación (durante el fitomejoramiento horizontal).....	194
25.96. Selección (“tamizado”).....	194
25.97. Selección (tamizado) de campo.....	194
25.98. Selección de invernadero .....	196
25.99. Selección (tamizado) de laboratorio.....	196
25.100. Selección de semilla por los productores .....	197
25.101. Selección en rejilla.....	197
25.102. Selección espiga por surco .....	198
25.103. Selección familiar .....	198
25.104. Selección (o tamizado) local.....	198
25.105. Selección masal recurrente .....	198
25.106. Selección negativa.....	199
25.107. Selección por calidad de la raíz .....	199
25.108. Selección “por popularidad” (organoléptica) .....	199
25.109. Selección temprana.....	200
25.110 Selección temprana y selección tardía .....	200
25.111. Sembradoras de espiga por surco .....	201
25.112. Sembradoras mecánicas.....	201
25.113. Separación ciclónica .....	201
25.114. Servicios de extensión.....	201
25.115. Siembra de semillas .....	202
25.116. Suelos infestados por parásitos.....	202
25.117. Supresión de maleza .....	202

25.118. Surcos y periféricos diseminadores.....	203
25.119. Técnica del patotipo único.....	203
25.120. Trilla.....	204
25.121. Variedades híbridas.....	204
<b>26. TAMIZADO DE POBLACIONES EXISTENTES.....</b>	<b>205</b>
26.1. Cacao.....	205
26.2. Cocotero.....	206
26.3. Cafeto.....	207
26.4. Especies forrajeras.....	207
26.5. Variedades locales (landraces).....	207
26.6. Arroz.....	207
26.7. Rimpau.....	208
26.8. Hule.....	209
26.9. Té.....	210
<b>27. ESQUEMAS DE PARTICIPACIÓN DE LOS PRODUCTORES DEL TRÓPICO.....</b>	<b>212</b>
27.1. Introducción.....	212
27.2. Yuca.....	212
27.3. Camote.....	213
<b>28. CULTIVOS A SER EVITADOS POR LOS CLUBS DE MEJORAMIENTO.....</b>	<b>216</b>
28.1. Plátano o banano.....	216
28.2. Cítricos.....	216
28.3. Ajo.....	217
28.4. Jengibre.....	217
28.5. Vid.....	217
28.6. Olivo.....	218
28.7. Piña.....	218
28.8. Turmericas.....	218
<b>29. EL FUTURO.....</b>	<b>219</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>225</b>
<b>APÉNDICE A.....</b>	<b>260</b>
<b>APÉNDICE B.....</b>	<b>261</b>
<b>APÉNDICE C.....</b>	<b>263</b>
<b>APÉNDICE D: CABI.....</b>	<b>264</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>264</b>



## Introducción

Para quienquiera que se preocupe por el ambiente es obvio que no todo está bien en la industria agrícola moderna. Un problema radica en que las plagas y enfermedades destruyen aproximadamente una quinta parte de toda la producción agrícola. El segundo problema es que esas pérdidas ocurren a pesar del exagerado uso de insecticidas y fungicidas que, a nivel mundial, cuestan billones de dólares. En realidad, desde la segunda guerra mundial el uso de ciertos tipos de protectores químicos ha aumentado cerca de diez veces en los países industrializados. La producción agrícola ha aumentado muy considerablemente, pero también lo han hecho las pérdidas causada por parásitos, a pesar de este aumento en el uso de agroquímicos.

Obviamente, este tipo de daño parasitario no ocurre en los ecosistemas silvestres. Después de todo, el hombre no asperja las plantas silvestres y a pesar de ello el mundo se mantiene verde. Entonces ¿porqué se mantienen esas terribles pérdidas por plagas y enfermedades en los agroecosistemas a pesar de tanta aspersión con agroquímicos?

Este libro va especialmente dirigido a los lectores preocupados por el abasto alimentario mundial y por la contaminación de nuestro ambiente con agroquímicos, pero que carecen de conocimiento científico detallado al respecto. También se dirige a personas que no son científicas, pero que están dispuestas a hacer un esfuerzo para estudiar un problema nuevo, que yace fuera de su propia especialidad. El problema presenta un tópico técnico y algo complicado, pero está escrito en un lenguaje tan claro y simple que creo que resultará rápidamente comprensible para cualquiera razonablemente deseoso de perseverar. También creo que los lectores no perseverantes se sentirán estimulados con sus nuevos conocimientos, lo cual les hará sentirse ampliamente recompensados por la molestia. Adicionalmente se dirige a los activistas que quieren poner las cosas en su lugar, y explica algunas maneras de lograrlo.

### La capacidad de carga ambiental

Los biólogos tienen una forma peculiar de ver la historia de la humanidad, basada en el ambiente y su capacidad de carga. La capacidad de carga ambiental de una especie está estrictamente limitada para cualquier especie silvestre. Un kilómetro cuadrado de terreno, en una área determinada, sólo puede sustentar cierto número de miembros de esa especie y no más. También es ley fundamental de la naturaleza que todas las especies tienden a reproducirse *más allá* de la capacidad de carga de su ambiente. En toda especie siempre hay en excedente de individuos que su ambiente no puede mantener, y son siempre los más débiles quienes marchan al paredón. Esta es la base pura de la evolución, siendo a la vez el mecanismo de selección natural y de supervivencia del más apto. En realidad tal vez sería más preciso describir a la selección natural como la eliminación del menos apto y no como la supervivencia del mejor.

En toda la historia de la evolución sólo una especie ha sido capaz de aumentar significativamente la capacidad de carga de su ambiente. Nosotros somos esa especie. Lo logramos a partir de una serie de logros culturales que están muy por encima de cualquier logro de las protoculturas de los primates que nos antecedieron. Primero desarrollamos herramientas de piedra que transformaron nuestra especie recolectora de plantas en una especie de consumidores de carroña, y posteriormente en hábiles y realmente devastadores cazadores de animales salvajes. Poco después la humanidad se hizo cazadora recolectora, en un ambiente que en ese entonces requería de 65 km<sup>2</sup> para sostener a un adulto de la especie humana.

Gracia a que estos nuevos cazadores recolectores continuaron reproduciéndose por encima de la capacidad de carga ambiental, siempre hubo un exceso de gente. A menudo ese exceso sobrevivió migrando a áreas nuevas deshabitadas. Cosa que podían hacer más rápidamente que otras especies porque contaban con los desarrollos culturales de sus herramientas, sus vestidos de piel, el fuego y la vivienda artificial. Eventualmente nuestros ancestros ocuparon todas las superficies habitables del planeta. Con seguridad nadie sabe el tamaño de la población de ese entonces, pero se estima en sólo unos cuantos millones.

Cuando no quedaba tierra por colonizar se comenzó a sentir la presión poblacional, y fue entonces cuando la humanidad comenzó los procesos de domesticación. Primero fueron los animales. La gente vivía con los rebaños silvestres de herbívoros, a la manera de los modernos lapones con sus renos. Protegían los rebaños de sus predadores carnívoros, pero al mismo tiempo entresacaban del hato y sacrificaban a los machos indeseables, para obtener carne, más cueros, cuernos y huesos para la manufactura de tiendas, ropa y herramientas. Estos ya eran pastores y su densidad poblacional era mayor que la de los más atrasados cazadores recolectores. Ocuparon gran parte de Africa y Asia durante muchos milenios; los bovinos, ovinos y caprinos modernos son descendientes de sus rebaños.

El siguiente logro mayor fue la domesticación de las plantas. Descubrieron que podían aumentar la densidad ambiental de las plantas comestibles, mediante la siembra de éstas. También descubrieron que podían decidir *cuales* semillas utilizar. Sembrando sólo semillas procedentes de las mejores plantas, con mayor rendimiento y calidad alimentaria, fueron mejorando estas características. Con el tiempo este proceso modificó tanto a las especies cultivadas, que ahora resulta difícil reconocer a sus progenitores silvestres. Esta fue la base de la agricultura, ya que las cosechas proveen alimento para el hombre y sus animales. También domesticaron las plantas industriales o no alimenticias, incluyendo a las medicinales, narcóticas, aromáticas y oleaginosas.

Esta serie de avances agrícolas durante los últimos diez mil años ha incrementado vario miles de veces la capacidad de carga ambiental del ser humano en el planeta. Pero por desgracia la especie humana *todavía* permanece reproduciéndose por encima de esa capacidad. Muy recientemente, durante este siglo, una serie de avances médicos ha complicado aun más la situación. La medicina ha inducido reducciones espectaculares en la tasa de mortalidad, particularmente la infantil. Como resultado hay unos tres mil millones de personas, que de otra manera no hubieran sobrevivido. Esto debe calificarse como uno de los mayores logros de la especie humana.

Por desgracia no hemos logrado una reducción acorde en la tasa de nacimientos. La medicina produjo técnicas eficientes para reducir la tasa de nacimientos a la par de las tasas reducidas de mortalidad, pero gran parte de la humanidad no puede o no quiere utilizarlas. Como consecuencia nuestra población se ha duplicado cada treinta años. Y los agricultores también han tenido que duplicar la capacidad de carga cada treinta años. Hasta hoy han podido; pero ¿podrán hacerlo los próximos treinta años? Este es todo un predicamento, conocido como el problema mundial alimentario.

La crisis de crecimiento poblacional y la alimentaria son de temer a tal punto que si no estabilizamos pronto el crecimiento podríamos atestiguar una ola de malnutrición y muerte por inanición tal, que la actual epidemia de SIDA nos parecería comparativamente inocua. El problema es mayor si se toma en cuenta que nuestros niveles actuales de producción sólo son posibles gracias al uso exagerado de plaguicidas. Tal parece que si habremos de reducir la contaminación por plaguicidas mediante una reducción en su uso, sólo podremos lograrlo a expensas del abasto alimentario mundial, porque a menor uso de plaguicidas corresponderá un aumento de pérdidas de cosechas por plagas. Y en forma contraria, si habremos de aumentar el abasto alimentario deberemos usar más, o más potentes plaguicidas. Los ambientalistas que aborrecen el uso de plaguicidas deben aceptar que este es un dilema muy real. Podríamos vernos obligados a escoger entre un mundo con alimentos y contaminación por un lado, o pureza ambiental y hambre por el otro.

De hecho puede haber una solución a este dilema, y de ella trata este libro. Hay una posibilidad real de que podamos tener alimentos adecuados al mismo tiempo que libertad de la dependencia de

plaguicidas, pero pocas personas parecen percatarse de ello. Por lo tanto, el propósito de este libro es hacer público cierta información más bien especializada que ha permanecido en la oscuridad, realmente en la secrecía debido a su naturaleza técnica. No estoy sugiriendo que alguien haya estado actuando en secreto o que haya intentos de encubrimiento. No haya conspiración. Pero el tópico es científico y al mismo tiempo complicado, y sólo por esta razón ha permanecido oculto al público en general. Al escribir este libro mi tarea consiste en explicar esta situación en términos inteligibles para el lego de la ciencia. En caso de tener éxito en tal explicación, los lectores deberán tener pocas dificultades en comprenderla, por muy científica y complicada que parezca a primera vista.

En tal virtud lo primero que ofrezco a mis lectores es una breve descripción de la ciencia agrícola y los fitoparásitos. A partir de ésto les pido estudiar diez pares de contrastes biológicos, algunas conclusiones generales, y ejemplos específicos.

A quienes requieran de mayor detalle científico se les remite a los apéndices al final del libro. Los lectores que necesiten descripciones técnicas y referencias científicas les invito a leer un libro técnico mío, así como y algunos de los escritos de J.E. Vanderplank (bibliografía). Estos lectores técnicamente informados notarán que el presente escrito incluye algunas simplificaciones deliberadas; pero ésto es esencial porque existe un límite a la complejidad científica que los no científicos supuestamente pueden asimilar. En el otro extremo, a los lectores que gratuitamente están dispuestos a aceptar mis aspectos científicos sin leerlos, los invito a pasar a la Segunda Parte, utilizando el glosario, según lo juzguen necesario. Lo anterior es aplicable para quienes habiendo intentado leer la Primera Parte, la consideraron demasiado compleja.

## **Las Ciencias Agrícolas y los Fitoparásitos Agrícolas**

El estudio científico de la agricultura se divide en varias subdisciplinas basadas en el estudio de animales, plantas, climas y suelos. Las que estudian a las plantas se llaman, colectivamente, ciencias agrícolas, e incluyen al fitomejoramiento, la fisiología vegetal, la fitopatología (enfermedades vegetales), la entomología agrícola (los ácaros e insectos plaga) y la ciencia de la maleza.

Los fitopatólogos estudia las enfermedades principalmente causadas por fitopatógenos como los hongos microscópicos, bacterias y virus. Los entomólogos estudian los insectos y ácaros que devoran las cosechas, colectivamente llamados plagas. Las plagas y enfermedades agrícolas son llamadas, colectivamente, parásitos vegetales. Los productos químicos que se aplican para el control de estos parásitos se llaman plaguicidas, e incluyen a los fungicidas e insecticidas.

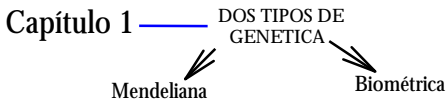
La maleza son competidores, no parásitos; por lo tanto, al usar la palabra “parásito” automáticamente estamos excluyendo a la maleza de nuestra discusión. Este libro no tiene nada que ver con la maleza, aun cuando a veces se le incluye entre las “plagas”. Tampoco se refiere al grupo de agroquímicos llamado herbicidas, aun cuando a veces se les incluya en el término “plaguicida”.

Los parásitos son organismos que se alimentan de otros organismos conocidos como hospedantes o hospederos, mientras están vivos, pero normalmente sin llegar a matarlos. En ésto difieren de los depredadores en que estos últimos matan y pueden consumir totalmente a la presa. En el curso de nuestra discusión de los fitoparásitos, el cultivo será el hospedante, y la plaga o patógeno el parásito. Parásito y hospedero serán términos aplicados a individuos o poblaciones. Nadie puede saber de cierto cuánto daño hacen los parásitos a nuestros cultivos, debido a que esta suele ser una evaluación excepcionalmente difícil de hacer. La mayoría de los científicos agrícolas aceptan el cálculo general mundial que sitúa en 30% la destrucción de productos agrícolas. Tal pérdida incluye los daños pre y postcosecha; ésto es, daños de campo y almacén. Este libro sólo se refiere a los daños precosecha, considerados como dos tercios del total. Así, en general, se cree que los parásitos precosecha destruyen alrededor del 20% de la producción total. En términos sólo de productos comestibles, los parásitos podrían estar destruyendo suficiente comida para alimentar a mil millones de seres humanos. Lo que hace que esta triste historia sea aun más triste, es que estamos perdiendo esos productos a pesar del uso

exagerado de plaguicidas químicos en nuestros cultivos. Es muy difícil eludir la impresión de que no todo marcha bien dentro de las ciencias agrícolas modernas.

Examinemos ahora los diez pares de contrastes biológicos, mismos que se suman en los diagramas que abren cada uno de los diez próximos capítulos.

## **PRIMERA PARTE: Explicaciones**



## 1. Genética: Mendelianos y Biometristas

Esta historia comienza en 1900, fecha conveniente porque es fácil de recordar y marca el inicio del siglo. En ese año, tres científicos europeos, Hugo de Vries en Holanda, Carl Correns en Alemania y Erich Tschermak von Seysenegg, en Austria, simultáneamente hicieron un descubrimiento importante. Descubrieron el ahora famoso trabajo genético de Gregorio Mendel. En un solo año, el reporte olvidado de Mendel se había vuelto a publicar en alemán, francés e inglés, y la biología nunca volvería a ser la misma. En particular, porque nacía la segunda escuela de pensamiento genético.

Los miembros de la escuela más antigua llamábanse a si mismos biometristas, quienes estudiaban la herencia de caracteres *cuantitativamente* variables. Esto es, los caracteres que difieren en *grada*, con cada grado de diferencia comprendido entre un mínimo y un máximo. Por ejemplo, en flores, el color rosado puede mostrar todos los grados y tonos de diferencia entre el máximo, rojo puro, y el mínimo, blanco puro. Y éste era el tipo de genética que estudiaban la mayoría de los grandes de la biología del siglo XIX, como Charles Darwin, Thomas Huxley y Francis Galton. Su "bio-metría" (o sea medir-vida) auscultaba datos cuantitativos de muchas variables diferentes, arregladas en escalas continuas de medida.

Esas variables son normalmente analizadas por una rama de las matemáticas llamada estadística, y su base es la curva en forma de campana, o curva normal de Gauss (Apéndice A). El término "estadística" también tiene uso peyorativo ilustrado por la frase "Son mentiras, malditas mentiras y estadísticas" que veremos en el Capítulo 14; pero en un contexto matemático el término es totalmente respetable.

Típicamente, si dos diferentes plantas progenitoras, tales como una de flores rojas y otra de flores blancas se cruzaran (es decir se aparean o intercambian polen), la progenie mostraría todos los grados posibles de rosado, pero la mayoría serían medio rosadas, es decir, entre los colores de ambos padres. La proporción de cada grado de color rosado en una descendencia grande podría representarse con la curva en forma de campana que se muestra en el Apéndice A, y sería llamada distribución normal.

En 1900 los biometristas no entendían los mecanismos de genética que conocían. Creían que los caracteres hereditarios se mezclaban o fusionaban entre sí, tal y como lo harían el café y la leche en una taza de café con leche calientes. No podían visualizar ni rastros de las unidades discretas de la herencia que ahora conocemos como genes. Aquí es donde Mendel se incorpora al escenario.

Los de la nueva escuela de genética se auto llamaron mendelianos, y estudiaban la herencia de los caracteres que varían *calitativamente*. Estos caracteres varían en *calidad*, pudiendo estar presentes o ausentes, no se presentan en formas intermedias. Así, el carácter "negro", en las semillas está presente o no lo está; y un frijol, por ejemplo, sería blanco o negro; de ninguna forma habría semillas grises. La importancia de las leyes de la herencia de Mendel es que postulan la existencia de unidades discretas de herencia, y predicen con éxito la proporción de la descendencia que mostrará o no un carácter cualitativo.

Cada una de esas unidades discretas se llamógen o gene. Cada gene es una unidad del código de ADN en un cromosoma microscópico, y cada cromosoma existe por duplicado en el mismo individuo. Un cromosoma proviene del padre y otro de la madre, debido a que las células reproductoras, polen y óvulos, tienen un solo conjunto de los dos de la planta. El cromosoma tiene una sola copia de cada gene, y a cada copia se le llama alelo.

Un gene podría controlar el color de la semilla, el cual podría ser blanco o negro (lo llamaremos **W**). Convencionalmente ese gene es representado con una mayúscula como la **W**. Esa mayúscula

representa al alelo *dominante*, el cual oculta los efectos de su alelo recesivo, representado por la *w* minúscula. Una planta **WW**, por lo tanto, tiene dos alelos dominantes de negrura, uno proviniendo de cada padre mientras que la planta que es *ww* tiene dos alelos recesivos. La planta **WW** da semillas negras, igual que la **Ww** porque el alelo dominante eclipsa al recesivo. Sólo las plantas *ww* darán semillas blancas.

Debemos mencionar aquí dos términos técnicos y un punto adicional. A la planta **WW** o *ww*, que tiene dos alelos idénticos, ambos dominantes o recesivos, se le llama *homocigótica*. Pero la que es **Ww**, tiene dos alelos diferentes, uno dominante y otro recesivo, por lo que se le describe como *heterocigótica*. Esos términos provienen de la raíz griega *zygos* que significa yugo, como el que une a los bueyes de una yunta, mientras que *homoiós* significa semejante y *heteros* significa diferente. Un cigoto o huevo es producido por fusión de dos células sexuales.

Homocigote significa, por lo tanto, que los dos alelos que provenían de células sexuales de la madre y el padre (y formaron el cigoto) son genéticamente idénticos, mientras que heterocigote significa que son diferentes. Así se usan esos términos, y son aplicables a un solo par de alelos; sin embargo al nivel de planta se pueden aplicar a todo el patrimonio genético del individuo. Lo normal entre los seres vivos es que sean heterocigóticos para la mayoría de su patrimonio genético, porque esta es la esencia de la variabilidad, de la selección natural, de la sobrevivencia del más apto y de la evolución. Pero también es posible que las *plantas* sean homocigóticas en la totalidad de su patrimonio genético. Esta es una situación artificial derivada de prácticas agrícolas deliberadas, y pronto demostraremos la importancia de esto.

Si una planta homocigótica para semillas blancas (*ww*), es cruzada con una homocigótica para semillas negras (**WW**), la progenie será heterocigótica (**Ww**) y consistirá, toda, de semillas negras, porque el negro es dominante. Si después se cruzan dos de esas plantas (**Ww**), su progenie segregará como sigue:

$$\mathbf{Ww} \times \mathbf{Ww} = 1 \mathbf{WW} + 2 \mathbf{Ww} + 1 \mathbf{ww}$$

y la proporción de semillas blancas y negras será 3:1. Esta es la famosa proporción mendeliana: proporción y también una indicación clara de que este tipo de herencia es controlado por factores discretos, independientes, que no se mezclan, fusionan o revuelven, tal y como lo creían los biometristas.

Mendel publicó sus resultados en 1865, en un reporte que llamó *Experimentos Con Híbridos Vegetales* pero no obtuvo reconocimiento alguno. Probablemente nunca descubriremos si los grandes pensadores biológicos de aquel tiempo, incluidos Darwin, Huxley, y Galton, leyeron el reporte y concluyeron que no tenía importancia, o jamás lo vieron. La primera alternativa es la más probable, por varias razones. Primera, porque las llamadas "Leyes mendelianas de la Herencia" no fueron enunciada explícitamente por el mismo Mendel; fueron formuladas por investigadores posteriores que generosamente se las atribuyeron a él, consecuentemente la importancia del documento original de Mendel estaba muy lejos de ser obvia.

Segunda, porque aquellos biólogos decimonónicos estaban inmersos en la tradición biométrica y el concepto geológico del *gradualismo*, propuesto por James Hutton a fines del siglo XVIII y posteriormente desarrollado por Charles Lyell, uno de los geólogos de mayor influencia. Darwin estaba tan profundamente influenciado por el concepto de gradualismo, que lo adoptó como el fundamento de su teoría de la evolución. Ese concepto postulaba que todos los cambios geológicos y evolutivos eran lentos, graduales y cuantitativos. En ese contexto, las leyes mendelianas de la herencia cualitativa hubieran parecido irrelevantes, aun cuando hubiesen sido explícitamente establecidas.

Tercera, porque un descubrimiento de importancia fundamental en la ciencia a menudo es irrupiente y perturbador, y por esa razón siempre habrá una tendencia humana, muy natural, a rechazarlo y negarlo. Cuando un descubrimiento importante obliga al científico a volver a pensar todas sus ideas, y aun peor, amenaza con la obsolescencia de gran parte de su trabajo publicado, puede perdonarse si se le dificulta aceptar ese descubrimiento.



Cuarta, porque mucha gente cae inocentemente en el error de juzgar la nueva información en base en su *fuentes* de origen, más que en base en sus propios méritos. Si la nueva información proviene de un científico famoso que trabaja en una famosa universidad, y publica en revistas de fama, es probable que se le acepte sin críticas, aun cuando pueda alguna vez estar categóricamente equivocado. Y si la nueva información científica proviene de un desconocido y oscuro monje que trabaja en una desconocida abadía agustina de Europa Central, y publica en una revista local y poco importante de historia natural, es probable que se le ignore aun cuando sea de importancia total. Gregorio Mendel era ese monje. Finalmente, es probable que Mendel enviase copias de su reporte a muchos científicos famosos; después de todo ésta era la costumbre de la época.

Así fue como Gregorio Mendel, quien sabía que hizo un descubrimiento científico de importancia fundamental y ansiaba ser reconocido, murió en 1884 frustrado y sin reconocimiento, a la edad de sesenta y dos años. Esto fue diez y nueve años después de publicar su trabajo y tuvieron que pasar otros diez y seis años antes del reconocimiento. De hecho, el científico ruso I.F. Schmalhausen ya había reconocido la importancia del trabajo de Mendel poco después de publicado, pero a él también se le ignoró. Mendel y Schmalhausen estuvieron más de treinta años adelantados a su época, lo que nos devuelve a 1900, y al inicio de nuestra historia.

Al ser reconocidas las leyes mendelianas de la herencia, las dos escuelas de genética no solo existieron por primera vez, también tuvieron su primer conflicto. Por aquella época era obvio para todos que si una escuela tenía razón la otra tendría que estar equivocada. Los miembros de la escuela mendeliana creían, con toda razón, que las leyes de Mendel eran fundamentales, y que eventualmente explicarían toda la genética. Los biometristas arguían que virtualmente todo carácter hereditario de importancia humana, agrícola o evolutiva se heredaba en forma cuantitativa, y argumentaban con bastante razón que los caracteres cualitativos mendelianos eran de poca importancia práctica, económica o evolutiva.

Los defensores principales de la escuela mendeliana eran William Bateson y el mismo Hugo de Vries que contribuyó al redescubrimiento de las leyes de Mendel; y llegaron tan lejos que hasta proclamaron que la genética mendeliana había comprobado que la teoría de la evolución de Darwin estaba equivocada, por haberse fundamentado en el gradualismo. Postularon que todos los cambios evolutivos son el resultado de mutaciones mayores, y que a consecuencia de ello la evolución avanza erráticamente, a brincos y rebotes, separados por grandes períodos de estancamiento. Karl Pearson fue el defensor principal de los biometristas y el gradualismo, y usaba el refrán favorito de Darwin *Natura non facit saltum* (la naturaleza no avanza a saltos).

Con tanto conflicto entre los científicos famosos el argumento llegó a la imprenta y se fue calentando; y los escritos se volvieron claramente ofensivos a medida que ciertos autores se rebajaban hasta el insulto personal.

No es exagerada la importancia de este conflicto si se considera que es la base del dilema actual y evidente entre, por un lado poder contar con suficientes alimentos contaminados con plaguicidas; o por el otro ninguna contaminación por plaguicidas, pero hambrunas. Pondremos en claro que los miembros de la escuela mendeliana ocasionaron cierto daño a las ciencias agrícolas del siglo XX. Sin embargo, cuando criticamos a los seguidores de la escuela mendeliana de genética no deseamos insinuar crítica alguna contra Gregorio Mendel. Mendel fue, por mucho, un buen científico y un mejor hombre, como para actuar como los miembros de la escuela que fue nominada en su honor.

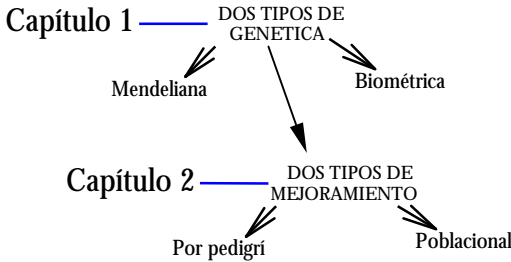
La resolución al dilema de contar con alimentos adecuados o liberarnos de los plaguicidas se discute un poco más adelante. En este momento debemos considerar la resolución al conflicto entre ambas escuelas de la genética.

Los miembros de la escuela mendeliana estudian los caracteres cuya herencia es controlada por genes simples. Como hemos visto, un gene propiciador del rojo en las flores podía estar presente o ausente, por lo que las flores eran de un rojo puro o completamente blancas, sin colores intermedios como el rosado. Ese rojo cualitativo es actualmente conocido como un carácter monogénico. Pero

después se descubrió que eran posibles los caracteres bi-génicos, por lo que podría haber flores rojas y blancas, y adicionalmente también podría haber flores entre el rojo y el blanco, o rosadas. Si hubieran tres, cuatro o cinco genes para controlar el color rojo, habrían varios tonos diferentes del rosado. Y si el rojo fuera controlado por muchos genes, cada uno de ellos contribuyendo un poco para el rojo o el blanco, entonces existirían todos los tonos del rosado entre los dos extremos del rojo y blanco puros. Si la frecuencia de tantos grados de rojo se grafica, genera la curva familiar en forma de campana, la distribución normal de los biometristas. En contraste con el carácter monogénico, esta variable cuantitativa se conoce como un carácter multi-génico (o *poligénico*). Se evidenció así, simplemente, que los mendelianos lidiaban con caracteres monogénicos mientras que los biometristas lo hacían con poligénicos.

Pareciera, por lo anterior, que la disputa terminaba. Que ambas partes tenían razón y que ambas habían ganado; pero de hecho ese conflicto dejó una cicatriz, una distorsión que prevalece en nuestros días. Lo que nos lleva al siguiente par de contrastes.





## 2. Mejoramiento Vegetal: Mejoramiento por Pedigrí y Mejoramiento Poblacional

Tal vez fue inevitable que las dos escuelas de genética produjeran dos métodos completamente diferentes de mejoramiento. Los miembros de la escuela mendeliana, se recordará, trabajaban con caracteres monogénicos que podían estar presentes o ausentes, y desarrollaron métodos de fitomejoramiento conocidos como mejoramiento o selección individual (por "pedigrí"), que involucran técnicas de *transferencia* de *genes* individuales. Los biometristas, por otro lado, que lidiaban con caracteres poligénicos que varían en forma continua, observaron todos los grados de diferencia entre los extremos de una distribución normal, y desarrollaron los métodos de fitomejoramiento que hoy conocemos como selección en masa, que involucran *cambios en las frecuencias de poligenes*.

El problema que normalmente encaraban los miembros de la escuela mendeliana era que un carácter monogénico, el que ellos quisiesen utilizar en una planta cultivada, podría existir en las agrónomicamente inútiles plantas silvestres; y la dificultad estribaba en transferirlo de la planta silvestre hacia la cultivada. Tómese en cuenta que un gene sólo es una partícula de la molécula de ADN y que estamos lejos de poder verla, incluso con el más poderoso microscopio electrónico. En consecuencia, era impensable contar con la capacidad de arrancarlo de la planta silvestre, con un microdisector, y meterlo en la otra planta. Sin embargo los mendelianos resolvieron este problema en una forma ingeniosa y a la vez elegante.

Supongamos que el carácter monogénico fuese la resistencia al "tizón" (Las enfermedades vegetales usualmente tienen nombres muy pintorescos como tizón, mildiú, roya, marchitamiento, carbón, mancha, verrucosis, rayado, ampolla, amarillamiento, quema). La planta silvestre que porta ese gene es evidentemente inmune al tizón; pero por desgracia su rendimiento es tan pobre que nadie se interesaría por ella. La planta cultivada tiene rendimientos enormes, de un excelente producto, pero por desgracia es muy susceptible al tizón y sólo bajo aspersiones rutinarias de fungicida puede ser cultivada. La producción y calidad de la cosecha se deben ambas a caracteres multigénicos, mientras que la resistencia al tizón es monogénica.

Lo primero que hicieron los mendelianos fue hibridar a la planta silvestre con la cultivada. En cuanto a sus caracteres variables cuantitativos o poligénicos, la progenie resultó, en su mayoría, en medio de los dos padres, por lo que la producción y calidad se cayeron a la mitad; no estuvo del todo mal pero tampoco fue muy bueno. Parte de esa progenie portaba el monogene de resistencia y parte no, por lo tanto segregó individuos que eran resistentes o susceptibles.

Esta es la belleza de la genética mendeliana. Es posible distinguir a la vista qué plantas portan el gene de resistencia, porque éstas no se enferman. Así es un carácter cualitativo, se presenta o no se presenta. El fitomejorador mendeliano se deshizo de todas las plantas con tizón y conservó las que estaban libres de él; y a medida que estas plantas resistentes se acercaron a la madurez seleccionó a la mejor, en términos de producción y calidad de cosecha. Después cruzó a esta planta óptima con el padre cultivado original. Este proceso es conocido como retrocruza o cruza regresiva.

La progenie de esta retrocruza tiene aproximadamente tres cuartas partes de la productividad y calidad del padre cultivado original, y sólo un cuarto de la baja productividad y calidad del padre silvestre. Esa progenie también segrega individuos susceptibles e individuos resistentes. El genetista volvió a deshacerse de las susceptibles y conservó a las resistentes para una cruza regresiva de segunda

generación. Ese proceso de retrocruzas puede llegar a tantas generaciones como sea necesario para recuperar el rendimiento y calidad de los híbridos. Finalmente, el mejor de todos ellos poseerá un rendimiento y calidad tan buenos como el del padre cultivado original, o posiblemente mejor; y también portará el gene de resistencia. Esta técnica de transferencia genética es tan preciosa y perspicaz, que capturó la atención de los genetistas de todo el mundo.

La técnica de fitomejoramiento de los biometristas es totalmente diferente. En principio es solamente un refinamiento de los métodos que han estado utilizando los agricultores desde los albores de la agricultura. Como el término lo implica, los biometristas trabajan con poblaciones de plantas, y estas poblaciones son usualmente grandes. Seleccionan de la población total a una pequeña minoría de las mejores plantas; éstas se someten a fecundaciones cruzadas al azar, entre sí, y así se obtienen los padres de la siguiente generación. Cada generación deviene un poco mejor que la precedente, y este proceso de mejoramientos cuantitativos pequeños, a través de la selección recurrente en masa, puede continuar hasta que ya no sea posible avanzar más.

Un ejemplo clásico de fitomejoramiento poblacional se dio con la remolacha forrajera que se cultiva para alimentar al ganado, cuya "raíz" contiene alrededor de 4% de azúcar. Durante las guerras napoleónicas el bloqueo británico privó a casi toda la Europa continental de azúcar, que en esos tiempos se extraía exclusivamente de la caña de azúcar, principalmente en las Indias Occidentales; la escasez aceleró el uso de la remolacha para la extracción de azúcar. El contenido sacaroso de la remolacha es una variable cuantitativa controlada por poligenes. Por métodos de selección poblacional el contenido de azúcar de la remolacha se elevó eventualmente al 16% y el rendimiento neto de raíces también subió muy considerablemente. El resultado fue un cultivo enteramente nuevo llamado remolacha azucarera.

Consideremos ahora el tipo de polinización, que marca una de las diferencias prácticas más importantes entre la selección individual y la selección masal. Todas las plantas con flores caen en dos grandes categorías según su método de polinización natural. Las conocidas como *alógamas* son plantas de fecundación cruzada en las que el progenitor femenino y productor de la semilla, normalmente es fecundado con polen proveniente de otra planta. Las plantas llamadas *autógamas* son plantas autofecundadas en las que la parte femenina de la flor puede ser fecundada con polen de la misma planta, y usualmente de la misma flor. La fecundación cruzada puede ocurrir entre las autógamas, y de hecho ocurre normalmente, pero se da a frecuencias muy bajas.

Los genetistas por selección individual o pedigrí, como lo insinúa su nombre, trabajan en base a cruza individuales cuidadosamente controladas en las que los padres de cada crusa son conocidos y registrados. Las cruza se hacen a mano, por polinización artificial, y ésto puede resultar muy laborioso dependiendo de la especie de planta a polinizar. Con garbanzos (*Cicer arietinum*), por ejemplo, una polinización manual efectiva producirá una sola semilla y sólo el sesenta por ciento de estas polinizaciones tiene éxito. Con papas una polinización manual producirá dos o tres cientos de semilla. Y con tabaco producirá alrededor de doscientas mil. Una de las ventajas de la selección individual es que sólo son necesarias pocas cruza relativamente, y por lo mismo la polinización manual es factible.

La selección masal, como acabamos de ver, se basa en grandes números de polinizaciones. Después del redescubrimiento de las leyes de Mendel esta diferencia entre ambas técnicas tuvo gran impacto en el desarrollo del fitomejoramiento.

Los miembros de la escuela mendeliana, al trabajar con relativamente pocas y cuidadosamente controladas polinizaciones manuales, no resultaron afectados por la diferencia en polinización. Con las plantas autógamas sólo tuvieron que evitar la autopolinización removiendo las partes masculinas inmaduras de cada flor a polinizar. Sin embargo ésto no fue difícil.

Los biometristas, por su parte, dependen de gran número de polinizaciones cruzadas naturales. En plantas autógamas la frecuencia de la polinización cruzada es normalmente tan baja, que este método de mejoramiento vegetal resulta lento, difícil y a menudo enteramente impráctico. Consecuentemente los biometristas encontraron muy difícil trabajar con especies autógamas, lo que

confirió una clara ventaja a los mendelianos, pues es conocido que la mayoría de las plantas cosechables en el mundo, tales como el trigo, arroz, chícharos y frijoles, son autógamas. En medio del conflicto entre ambas escuelas los fitomejoradores mendelianos no fueron lentos para explotar esta ventaja.

En nuestros días esta dificultad ya no es un problema porque existen varias técnicas para remontarlo. Una de ellas se basa en substancias llamadas gameticidas masculinos, que propician que una especie autógama, como el trigo, sea estéril del gameto masculino. Las flores de las plantas así tratadas son incapaces de autopolinizarse, y entonces deben aceptar polen de una fuente externa. Los fitomejoradores poblacionales ahora pueden realizar millones de cruza en un cultivo como el trigo, mediante la aspersión de su población de selección con un gameticida masculino (Capítulo 25). Esta parte asperjada, por lo tanto, deviene la parte estéril masculina, mientras que la parte no asperjada resulta la fértil masculina, o sea la parte productora de polen. Sin embargo durante los días del conflicto genético no estaban disponibles dichas técnicas y por lo tanto, en términos de fitomejoramiento práctico, los mendelianos llevaban una delantera evidente.

Por esos años, en 1903, el botánico danés W.L. Johannsen, descubrió la tecnología de la *línea pura*, que será discutida posteriormente en el séptimo par de contrastes (Capítulo 7: Tipos de Población). Por ahora sólo tómesese nota que ésta es una técnica para lograr que las cosechas propagadas por semilla sean "fieles a su (propio) tipo", ya que la propagación normal por semilla generalmente conlleva una variación genética perjudicial debido a que las características agronómicas valiosas, como la alta productividad y la alta calidad del producto cosechado, tienden a perderse. Las líneas puras de Johannsen, significaron la preservación indefinida de estas características valiosas, a pesar de la propagación por semilla. Esto, con el tiempo, aumentó el rendimiento de muchos cultivos muy considerablemente. Para los miembros de la escuela mendeliana esto también se convirtió en un gran impulso, y en una ventaja adicional en su conflicto con los biometristas.

Sin embargo, aun así aparentemente todas las aplicaciones prácticas de la genética pertenecían a los biometristas. Esto hizo que los mendelianos se comportaran innecesariamente agresivos. Poco después, en 1905, el científico británico R.H. Biffin descubrió el mejor apoyo que los mendelianos pudieron haber deseado y lo publicó en un reporte famoso que él llamó *Las Leyes de la Herencia y el Fitomejoramiento del Trigo*. Igual que las líneas puras de Johannsen, este descubrimiento fue verdaderamente toral, en el sentido que cambió el curso de la historia.

Biffin, trabajando con la roya del trigo: roya del , demostró que su resistencia era heredada en forma mendeliana, y nada pudo haber complacido más a los miembros de esta escuela. De súbito contaban con un carácter monogénico de importancia económica, y pronto se evidenció que la herencia de otras enfermedades de las plantas era controlada por genes simples. Recuérdese que en ese tiempo los mendelianos carecían de cualquier otro carácter monogénico de importancia económica alguna. Se apegaron con tal vigor y celo a este descubrimiento de resistencias monogénicas, que desde entonces siempre han dominado el mejoramiento vegetal.

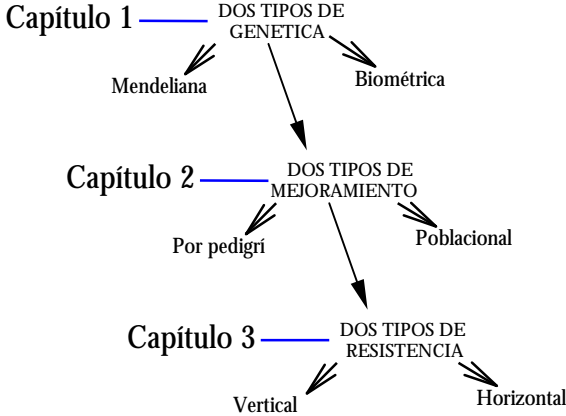
En este punto tal vez sea instructivo comparar el fitomejoramiento con el mejoramiento animal. Aunque hay caracteres monogénicos entre los animales de hacienda y de granja, ninguno de ellos es económicamente importante. Consecuentemente la genética animal ha persistido cuantitativa, y en manos de los biometristas durante todo el presente siglo. Pero sin lugar a dudas el fitomejoramiento contra los fitoparásitos monogénicos pudo también haber permanecido cuantitativo.

Como resultado del trabajo de Biffin en Inglaterra y trabajo similar de W.A. Ortonen los E.U.A., así como por la activa promoción de la escuela mendeliana de genética, no pasó mucho tiempo sin que los genetistas vegetales y animales asumieran, completamente equivocados, que *todas* las formas de resistencia a *todos* los parásitos agrícolas eran heredados vía monogenes. Los genetistas vegetales concluyeron que si querían mejorar la resistencia vegetal a un parásito, primero tenían que encontrar un gene de resistencia, para transferirlo mediante las técnicas de retrocruza; y acuñaron su término "primer hallazgo de *fuentes* de resistencia: fuente de . Pronto demostraremos que ésto se convirtió en un lugar

común, en un mito que ha dominado y a la vez plagado la totalidad de las ciencias agrícolas del Siglo XX.







### 3. Resistencia: Vertical y Horizontal

Retrospectivamente ahora podemos darnos cuenta que era inevitable que esas dos clases de fitomejoramiento eventualmente revelaran dos clases completamente diferentes de resistencia a los parásitos de las plantas. Sin embargo, pocos científicos lo captaron antes de J.E. Vanderplank, el más original de todos los fitopatólogos, quien publicó un libro clásico en 1963. El libro fue titulado *Enfermedades Vegetales; Epidemiología y Control*, y en él Vanderplank estableció la diferencia entre las resistencias monogénicas y las poligénicas. Usó el término *resistencia vertical* para describir a la resistencia monogénica, y el término *resistencia horizontal* para describir a la resistencia poligénica. Sin embargo su descripción es una simplificación deliberada, y ésto se explicará en un momento.

La resistencia vertical es la resistencia de la escuela mendeliana. Normalmente es una resistencia cualitativa en el sentido de que, sin valores intermedios, está presente o ausente con muy pocas excepciones (ver en el Glosario: resistencia vertical cuantitativa). La resistencia horizontal es la resistencia de los biométricos. Es una resistencia cuantitativa en el sentido de que puede presentarse a cualquier nivel entre un mínimo y un máximo. Estos términos son muy importantes y es necesario hacer tres comentarios acerca de ellos.

Primero, son términos abstractos pensados para etiquetar un concepto, tan nuevo, que no existían palabras para describirlo, y no para una interpretación literal; por lo tanto no tienen nada que ver con estar erguido o estar acostado. Vanderplank pudo igualmente haber escogido otras palabras, tales como resistencias dura o suave, o resistencias alfa y beta. Como autor original del concepto tuvo el privilegio de escoger su nombre, y debemos respetar su precedencia.

En segundo lugar está la cuestión de ¿porqué utilizar términos abstractos?. ¿No pudo Vanderplank haber acuñado términos descriptivos como resistencia monogénica y poligénica? Desgraciadamente estos términos descriptivos no son precisos debido a que, para describir las dos clases de resistencia, existe algo más que exclusivamente el número de genes que controlan su herencia. Esto se explica adelante más ampliamente.

Tercero; los términos vertical y horizontal derivan de dos diagramas clásicos que se describen en el Apéndice B, en el que las diferencias en resistencia vertical son paralelas al eje vertical del diagrama, mientras que las diferencias en resistencia horizontal son paralelas a su eje horizontal. Por tanto, los términos sí tienen una connotación descriptiva, aunque sea menor, lo que les hace más fáciles de recordar.

Para que haya resistencia vertical, debe haber genes simples de resistencia en las plantas, y también genes simples de habilidad parasítica en el parásito. Este es un fenómeno muy importante conocido como la *relación gene a gene*, y es el carácter definitorio de la resistencia vertical. La relación gene a gene fue descubierta en 1940 por el científico estadounidense H.H.Flor, quien trabajaba con una enfermedad del lino (*Linus usitatissimum*) llamada roya: roya del (*Melampsora lini*). Su descubrimiento fue más tarde explicado matemáticamente por mi viejo y muy querido amigo, el finado Clayton Person, en Canadá.

Flor demostró que para cada gene de resistencia en el hospedero había un gene contraparte, o acoplante, en el parásito. Esta relación es la equivalencia botánica aproximada del sistema humano de antígenos y anticuerpos. Es de dominio común que cualquier persona que pesca un resfriado genera un anticuerpo contra esa raza del virus de los resfríos. Tal anticuerpo provee protección contra infecciones futuras del mismo virus, gracias a que el virus contiene un antígeno que activa a un anticuerpo. Por desgracia hay muchas razas de esos virus, y a menudo nos infectamos con una nueva raza para la que

carecemos de anticuerpo. Por eso seguimos pescando gripes nuevas, aunque tendemos a tener menos resfriados, conforme envejecemos y acumulamos más y más anticuerpos.

En términos generales cada gene de resistencia en una planta hospedante equivale a un anticuerpo, y cada gene de parasitismo en el parásito equivale a un antígeno.

Ahora se sabe que la relación gene a gene evolucionó en las plantas un sistema de salvaguarda. Cada gene de resistencia en el hospedero correspondería a un perno de una cerradura, mientras que cada gene de parasitismo en el parásito correspondería a una muesca de una llave. Una planta hospedante individual puede tener varios de esos genes de resistencia o pernos, para colectivamente operar como una cerradura bioquímica. Y un parásito individual puede poseer varios de esos genes de parasitismo o muescas, para colectivamente operar como una llave bioquímica.

Cuando el parásito individual infecta al hospedero individual su llave bioquímica ajusta o no con la cerradura bioquímica. Si la llave ajusta, a la infección se le llama acoplante y se le considera infección exitosa porque la "puerta" de la resistencia ha sido descerrajada y "abierta". Cuando esto sucede, se dice de la resistencia vertical que ha sido rota. Cuando la llave del parásito no ajusta a la cerradura del hospedero la infección es descrita como no acoplante, y falla porque la puerta de la resistencia permanece "cerrada y atrancada" negándose la entrada al parásito. Esta salvaguarda salvaguarda de "llaves y cerraduras" es el carácter definitorio de la relación gene a gene y de las resistencias verticales, mendelianas y monogénicas, contra parásitos de los cultivos.

La resistencia horizontal es la resistencia de los biometristas. Su característica definitoria es que *no* involucra una relación gene a gene; sin embargo su característica más prominente es que normalmente, mas no invariablemente, se hereda poligénicamente, aunque en ocasiones se hereda de forma mendeliana sin que éstos genes mendelianos establezcan una relación gene a gene. Esto equivale a decir que la resistencia horizontal normalmente es cuantitativa en su herencia y también en sus efectos, exhibiendo todos los grados de diferencia entre un mínimo y un máximo.

Tal vez la mejor forma de entender a la resistencia horizontal es concebirla como la resistencia que invariablemente permanece, después que la resistencia vertical ha sido acoplada. Cuando un parásito triunfa y logra vencer a la resistencia vertical, se encuentra con la resistencia horizontal que es una segunda línea de defensa. Utilizando una analogía militar, la resistencia vertical equivaldría a las defensas costeras que impiden el establecimiento de una cabeza de playa, y destruyen o lanzan al mar a las fuerzas invasoras. La resistencia horizontal correspondería a las defensas operantes *después* de establecidas las cabezas de playa, lo que equivale a impedir que las fuerzas invasoras puedan salir de sus avanzadas.

Lo que económicamente es muy importante en la resistencia horizontal es que puede operar igualmente contra todas las razas de un parásito, independientemente de las llaves bioquímicas que pueda poseer. De hecho la resistencia horizontal opera contra las razas acoplantes del parásito; en consecuencia no falla como lo hace la resistencia vertical cuando se presenta su parásito vertical acoplante. La resistencia horizontal comienza a funcionar en el momento que ocurre una infección acoplante, que es el momento en que se rompe la resistencia vertical. Esto significa que la resistencia horizontal no puede ser acoplada, como lo es la vertical, ni puede ser rota como ésta se rompe.

Esta es la diferencia práctica más importante entre las dos clases de resistencia. La resistencia vertical funciona sólo contra las razas *no acoplantes* del parásito; pero debido a que siempre se da cierto grado de acoplamiento, hay certidumbre de que tarde o temprano será rota. La resistencia horizontal funciona contra las razas que pudieron acoplar al hospedante, y por lo mismo no puede ser rota. Es una resistencia durable.

La resistencia horizontal escapó completamente a la atención de los mendelianos. No estando interesados en la variabilidad cuantitativa; trabajaban con resistencia cualitativa heredada por genes simples, los que se presentan o están ausentes. Para los miembros de la escuela mendeliana una planta normalmente es resistente o es susceptible, sin valores intermedios. Como ya vimos, éste es uno de los atractivos del método de fitomejoramiento mendeliano por pedigrí; permite saber de una mirada si la

resistencia está presente o ausente. Obviamente las plantas resistentes en una población de selección que se mostraban libres de parásitos eran conservadas y estudiadas. Las susceptibles, siendo parasitadas, eran desechadas.

Los genetistas mendelianos nunca se percataron que había diferencias considerables en el grado de parasitismo entre las plantas que desechaban. Esas diferencias representaban variabilidad continua en el nivel de resistencia horizontal, pero ellos no estaban interesados en esas diferencias. En su criterio una planta estaba enferma o sana, y las plantas enfermas eran poco menos que basura. ¿Para qué gastar el tiempo estudiando esos desperdicios?

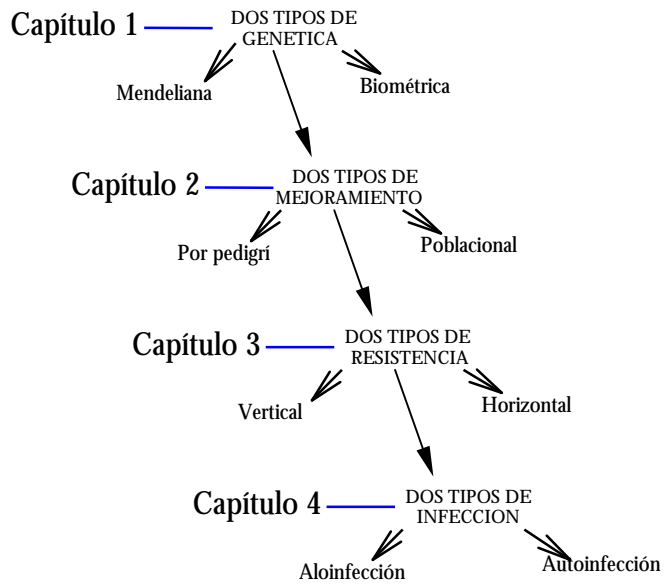
Cuando Vanderplank publicó sus nuevas ideas en 1963, de inmediato se suscitó una disputa respecto a los méritos relativos de la resistencia vertical y los de la horizontal; pero el conflicto estaba muy sesgado. Había una oposición alharaquenta y casi universal contra la simple idea de la existencia de una resistencia horizontal. Yo mismo he sido testigo de que hay científicos respetables que se mostraban tan molestos ante la sola mención de la resistencia horizontal, que presentaban todos los síntomas de un ataque de apoplejía. Las técnicas mendelianas de mejoramiento por pedigrí, de cruce regresivo, de la línea pura y de la resistencia vertical, dominaron el mundo de la genética agrícola. El solo hecho de cuestionar esa "sabiduría divina" era meterse en problemas.

El dominio de la escuela mendeliana se ilustra vívidamente con el hecho de que antes del libro de Vanderplank muy pocos científicos habían notado que había, sin duda, dos tipos de resistencia a parásitos de los cultivos. En realidad muchos científicos negaron vigorosamente la mera existencia de la resistencia horizontal. Pocos de ellos aun la niegan y la mayoría se abstiene absolutamente de usarla, incluso de investigarla.

Hoy está claro que el conflicto entre las resistencias vertical y horizontal es en realidad la renovación del conflicto original entre mendelianos y biometristas. Lo deprimente de esta historia es que tuvo su origen en 1900; que fue científicamente resuelta unos treinta años después; que treinta años más tarde los dos tipos de resistencia fueron identificados por Vanderplank; y que otros treinta años después, en los 90's, la genética agrícola continúa bajo el dominio de la escuela mendeliana, los métodos mendelianos de fitomejoramiento, y la resistencia mendeliana a los parásitos agrícolas.

Pero hoy, en primer lugar, debemos preguntarnos: ¿porqué tuvieron que haber evolucionado en las plantas ambos tipos de resistencia a sus parásitos?





## 4. Infección: Aloinfección y Autoinfección

La palabra infección tiene muchos matices de significado. En medicina, algunas veces se le interpreta como si fuera la enfermedad en sí, y decimos de un paciente que tiene una "terrible infección". Cuando toma la forma de adjetivo, "infeccioso" quiere decir enfermedad contagiosa causada por un agente biológico, tal como un virus o una bacteria. Sin embargo, frecuentemente decimos que la risa o los bostezos son contagiosos.

A lo largo de este libro el término infección se aplica en forma muy estricta, significando "el contacto de un parásito individual, con el hospedante individual, para lograr sus fines de parasitismo". Y hay dos clases de infección, al igual que hay dos clases de polinización.

Recuérdese que la polinización cruzada significa que una planta fue fecundada con el polen de otra planta, mientras que autopolinización significa que una planta se fecunda a sí misma, con su propio polen. El término técnico *alogamia*, describe a la polinización cruzada, mientras que la autopolinización es descrita por el término *autogamia*. Estos términos provienen del griego antiguo; donde *alos* significa otro, o diferente; *autos* significa mismo; y *gamos* significa matrimonio o reproducción.

Las dos clases de infección que mencioné son la *aloinfección* y la *autoinfección*. La aloinfección equivale a la polinización cruzada, y significa que un hospedante es infectado por un parásito individual proveniente de otro hospedante diferente; o proveniente de un estado dormante, también independiente. Por lo tanto el parásito tuvo que *viajar* hacia su nuevo hospedero. Contrariamente, autoinfección equivale a autopolinización, y esto significa que el hospedante es infectado por el individuo parásito que el mismo hospedante generó en forma interna o externa; por lo tanto este parásito no tuvo necesidad de viajar.

Lo anterior es muy análogo a las migraciones humanas. Piense en la planta individual como si fuera una isla rodeada de mar. La aloinfección, entonces, equivale a un inmigrante que llega a la isla, en barco o avión, de algún otro lugar. La autoinfección sería la colonización de esa isla por los descendientes de los inmigrantes.

Esta analogía con la gente también es aplicable a las dos clases de resistencia. Piense, por ejemplo, en los viejos y malos días de la Isla Ellis, en Nueva York. Los genes del parásito, en una relación gene a gene, corresponderían a los documentos migratorios del inmigrante potencial; y los genes del hospedero corresponderían a las leyes de inmigración de los EUA. Los documentos y las leyes acoplaban o no acoplaban y, en consecuencia, el inmigrante era admitido o no, según el caso.

La resistencia horizontal, por otro lado, está representada por las condiciones de vida en la nueva patria del inmigrante, las cuales facilitan o dificultan su prosperidad.

Vale la pena abundar en tres puntos más. Si la isla estaba desierta, la primera persona en ella *debió* llegar de fuera; de la misma manera, la primera infección, en cualquier planta, *debe* provenir del exterior. Segundo, la colonización sólo puede proceder después del éxito de la inmigración, puesto que la autoinfección de un hospedante sólo puede ocurrir *después* de que hubo aloinfección acoplante. Tercero, cuando la aloinfección o la colonización han continuado por tiempo considerable, digamos que por muchas generaciones de colonizadores, la isla se vuelve sobre-poblada; entonces algunos individuos pueden dejar esa isla para buscar otra isla menos poblada. Esos exploradores serían emigrantes, que aloinfectarán un hospedero nuevo, su nueva isla.

Dos ejemplos de la vida real ilustrarán más la diferencia entre los dos tipos de infección, que es de importancia crítica. La mayor parte de las personas están familiarizadas con los pequeños insectos



conocidos como áfidos, pulgones o piojillos verdes. Quien quiera que haya cultivado rosas sabrá lo que puede hacer esta plaga. Los áfidos tienen varias formas morfológicas diferentes, y cada forma tiene una función especial. Entre otras, tenemos a las formas aladas y a las ápteras; la función clara de los individuos alados es la aloinfección, la cual sólo es posible mediante el vuelo. La función de los individuos ápteros obviamente es la autoinfección, que se posibilita caminando.

Un rosal completamente libre de pulgones equivale a una isla desierta. La única posible infección es la aloinfección, lo que requiere de un áfido alado. Una vez que llega el áfido aloinfectante, que invariablemente es una hembra, se alimentará en su hospedante y se comenzará a reproducir. A diferencia de la mayoría de los insectos, se reproducirá sin auxilio del sexo y en forma vivípara en vez de poner huevecillos. La reproducción asexual es el equivalente de la propagación vegetativa de las plantas, y toda la progenie resulta genéticamente idéntica a la madre; ésto constituye un *clon*. La pérdida del estado de huevecillo ahorra tiempo, por que los jóvenes nacen vivos; también nacen ápteros, porque el vuelo no será necesario para la autoinfección. Estos jóvenes son todas hembras, que crecen rápidamente como resultado de la succión de ricos jugos en su hospedante. Las hembras también comienzan pronto su propia reproducción asexual y vivípara. Es entonces cuando ocurre una explosión poblacional de áfidos, autoinfectando a la misma planta hospedante. Todos los que cultivan rosas saben cuán rápidamente un rosal puede llenarse de pulgones. Eventualmente la sobrepoblación estimula el nacimiento de individuos alados, que se van volando para aloinfectar otro rosal en alguna otra parte.

Los ecólogos tienen un término especial para nombrar esta clase de reproducción; le llaman estrategia-*r*. Una especie estrategia-*r* es aquella que se reproduce muy rápidamente, en forma muy económica, y con gran número de descendientes muy pequeños. Es un productor de *cantidades*, que puede explotar un abasto alimentario efímero en forma muy efectiva mediante una explosión demográfica. La explosión poblacional es seguida de una extinción cuando el abasto alimentario desaparece, usualmente cuando llega una estación adversa. Sólo muy pocos individuos sobreviven al invierno, o a una sequía estacional, pero quedan suficientes de ellos como para inducir otra explosión poblacional en la siguiente estación favorable. La mayoría de las plagas y enfermedades de nuestros cultivos son estrategias-*r* y son sus explosiones poblacionales las que pueden llegar a ser tan alarmantes, dañinas y difíciles de controlar.

El segundo ejemplo, de la vida real, es una enfermedad del cafeto llamada roya. En 1970, la roya de la hoja del cafeto: roya de la hoja del hizo su primera aparición en Brasil, que es el mayor productor de café en el mundo; y un calosfrío de temor fluyó entre todos los involucrados en el comercio del café. Por fortuna la enfermedad no fue tan seria en el Nuevo Mundo como la gente temía y aun podemos disfrutar de nuestra taza de café por la mañana.

La roya del café es causada por un hongo microscópico que se reproduce por medio de esporas tan pequeñas que son invisibles. Estas esporas son similares en forma y tamaño a las células de polen de las plantas floridas. Cuando el polen es visto *en masa* se ve amarillo; y cuando las esporas de la roya se producen *en masa* se ven del color de un fierro oxidado. Así, de la misma manera que un fierro oxidado, la roya del cafeto dejará un manchón en las manos o la ropa. De ahí su nombre de herrumbre.

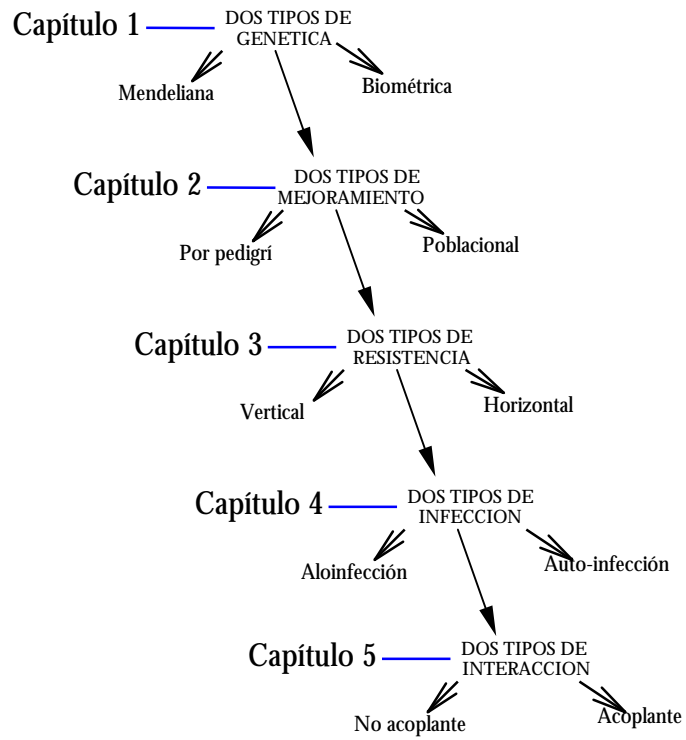
Los científicos de Africa Oriental descubrieron que las esporas de la roya del cafeto son pegajosas, muy resistentes a la flotación aérea y a su dispersión por el viento. Pero son libremente dispersadas en agua, ya que todo cafeto se empapa cuando llueve. Poco después de este descubrimiento se evidenció que la enfermedad recientemente introducida a Brasil se dispersaba a una velocidad de cientos de kilómetros por año. Los científicos brasileños demostraron que eso se debía a que las esporas de la roya eran dispersadas por el viento. Con esto se suscitó una de esas disputas científicas bizantinas, en donde cada uno asumía que si uno de los lados tenía razón el otro debería estar equivocado; las esporas tenían que ser dispersables por agua o dispersables por el viento, y eso era todo. De hecho ambos lados tenían la razón; ahora está claro que la roya del cafeto tiene dos estados físicamente diferentes, y que sus esporas pueden cambiar libremente de un estado al otro. En uno de ellos las esporas son pegajosas y resistentes a la dispersión aérea, pero libremente dispersables en agua. En el otro estado no son

pegajosas, y son libremente dispersadas por el viento. Nadie ha descubierto qué las hace cambiar de un estado al otro, pero el factor más probable es la humedad atmosférica.

Lo importante es que la función del estado no pegajoso es, obviamente, la aloinfección aérea de un café a otro. Estos dos cafés, el infectante y el infectado, pueden estar separados cientos de kilómetros. La función del estado pegajoso es, obviamente, la autoinfección por salpicamiento de hoja a hoja dentro de un mismo café.

La analogía entre ambos tipos de polinización y ambos tipos de infección es cercana. Sin embargo hay una diferencia importante de tipo histórico. La diferencia entre autogamia y alogamia ha dominado durante todo este siglo las ciencias agrícolas. Las plantas autopolinizadas (autógamas) resultaron a la medida para las líneas puras de Johanssen, para los métodos de mejoramiento mendeliano y para la resistencia vertical. Pero otros científicos modificaron esas técnicas para adaptarlas a las plantas de polinización cruzada (alógamas) y produjeron las llamadas variedades híbridas, de las cuales el maíz en la faja maicera de Estados Unidos (Capítulo 20) es el ejemplo más famoso. Como resultado, la escuela mendeliana también dominó el fitomejoramiento en plantas alógamas. Y los científicos que trabajan con cultivos propagados en forma vegetativa, tales como papa, piña, y caña de azúcar, quizás en forma poco sabia también adoptaron las técnicas de mejoramiento de la escuela mendeliana. Lo que importa aquí es que se reconoció bien la diferencia entre polinización cruzada y autopolinización.

Debido a su gran importancia, la diferencia entre aloinfección y autoinfección también pudo haber dominado las ciencias agrícolas durante la mayor parte de este siglo; pero en los hechos esa diferencia entre tipos de infección apenas se hizo notable recientemente, y su importancia está lejos de ser evidente. Ahora debemos examinar esa importancia.



## 5. Interacción Hospedante-Parásito: No Acoplante y Acoplante

Se mencionó brevemente, en la comparación de las dos clases de resistencia, que hay dos tipos de interacción hospedante-parásito, definidas en términos de relación gene a gene. También se recordará que cada hospedante tiene una cerradura bioquímica, y que cada parásito tiene su llave bioquímica. Cuando un parásito individual simple infecta a un hospedante individual, su llave bioquímica ajusta o no en la cerradura bioquímica de hospedante. Cuando la llave ajusta, la infección, así como la interacción hospedante-parásito, son descritas como acoplantes. Si la llave no ajusta entonces son descritas como no acoplantes. Con una infección acoplante la cerradura de la resistencia se abre, la infección tiene éxito, y el parasitismo procede. Con una infección no acoplante la cerradura permanece cerrada, falla la infección, y el parasitismo es evitado.

Es necesario que ahora consideremos un *sistema* de llaves y cerraduras (salvaguarda). Para el propósito de la discusión podemos suponer que hay diez cerraduras diferentes, que ocurren al azar y con igual frecuencia en una población hospedante, que consiste de muchos miles de individuos. También podemos suponer que hay diez llaves diferentes, ocurriendo al azar con igual frecuencia, en una población parásita consistente de muchos miles de individuos. Si un individuo parásito infecta a un hospedante individual, la probabilidad de que su llave abra la cerradura del hospedero es de sólo uno en diez.

Supongamos ahora que hay cien diferentes llaves y cerraduras ocurriendo al azar y con igual frecuencia en las dos poblaciones. La probabilidad de que una llave ajuste una cerradura es ahora de uno en cien. Y si hay mil diferentes cerraduras y llaves, la probabilidad es de sólo uno en mil. Es claro que a mayor diversidad de llaves y cerraduras, mayor efectividad del sistema de salvaguarda.

Cuando se piensa en términos de un *sistema* operando dentro de *poblaciones* del hospedante y del parásito, la relación gene a gene tiene mucho sentido. Si sólo una aloinfección en mil tiene éxito, la epidemia total será frenada y muy considerablemente estabilizada. Matemáticamente este resulta ser el método perfecto para controlar la explosión poblacional de un estratega-r.

El sistema de cerraduras también es muy económico. Modelos matemáticos sencillos (Apéndice C) revelan que una relación gene a gene con sólo doce pares de genes producirá 924 diferentes cerraduras y llaves, siempre y cuando cada cerradura y llave tenga exactamente la mitad de los genes disponibles (esto es, para este ejemplo, seis genes). La probabilidad de una infección acoplante en casi mil, podría ser alcanzada con sólo doce pares de genes mendelianos. Sobre la misma base, 16 pares de genes inducirían 12,870 cerraduras y llaves; y 20 pares de genes proveerían 184,756. Ambas cosas, la diversidad de cerraduras y llaves y la efectividad del sistema, aumentan geométricamente con tan sólo aumentos pequeños en el número de pares de genes.

Una planta hospedante y un fitoparásito tienen miles de genes, aunque las bacterias y los virus poseen menos que eso. Sin embargo, el hecho de que ese increíble efecto se produzca con sólo una docena de pares de genes resulta notable. Cuando se compara con la complejidad de una célula viva o de un solo cromosoma, la simpleza, la belleza y la elegancia de este sistema de salvaguarda resultan profundamente sugerentes de su significado científico. También debemos recordar que la evolución cuenta con un talento especial para encontrar la mejor solución dentro de las posibilidades existentes.

Hasta aquí la discusión se ha referido a la aloinfección. Se recordará que la aloinfección significa que el parásito, dispersado por el viento, viaja ciertas distancias (ocasionalmente el parásito no viaja,

permaneciendo dormante e inmóvil en el suelo; en este caso hospedante y parásito se contactan cuando la raíz en desarrollo encuentra al parásito. Pero esto también es aloinfección).

Consideremos ahora la autoinfección, que involucra a un parásito que no vuela, tal como un áfido áptero, o a una espora de la roya transmisible por agua. Veamos un modelo de epidemia en el que hay mil cerraduras y llaves bioquímicas. Si cada hospedante es aloinfectable una sola vez, un hospedante individual de cada mil será acoplado y aloinfectado con éxito. El parasitismo puede comenzar en estos individuos acoplados. El parásito obtiene nutrientes a partir del hospedante y comienza a reproducirse. Ambos, el áfido y la roya, se reproducen asexualmente; y la reproducción de estos estrategas-r asexuales es muy rápida. Biológicamente esto también es muy económico pues produce gran número de individuos en forma muy barata. Una ventaja adicional para el parásito es que las progenies resultan genéticamente idénticas a los padres, todas perteneciendo al mismo clon. Esto significa que todos ellos poseen la misma llave bioquímica, y que ésta resulta ser la llave que abre la cerradura del hospedante que están autoinfectando. Todas las partes del hospedero individual también son genéticamente idénticas porque las innumerables células microscópicas en hojas, tallos, raíces, brácteas, flores y frutos de una planta, poseen la misma cerradura. El resultado es que *cualquier autoinfección es una infección acoplante*. La resistencia vertical no puede controlar las autoinfecciones; sólo puede controlar las aloinfecciones. Y sólo controla las no acoplantes. Dicho de otra manera, la resistencia vertical no puede controlar ninguna de las consecuencias de una aloinfección acoplante. Y cualquier autoinfección es, invariablemente, la consecuencia de una aloinfección.

Consecuentemente, la autoinfección puede ser controlada *sólo* por la resistencia horizontal. De lo que resulta también que las *consecuencias* de una aloinfección acoplante, incluyendo las autoinfecciones y todo el proceso de parasitismo, *sólo* pueden ser controladas por la resistencia horizontal. Postular que no existe algo llamado resistencia horizontal, como algunos mendelianos aun lo hacen, es postular una susceptibilidad absoluta después que ya ocurrió la primera aloinfección acoplante. No tiene caso agregar que tal susceptibilidad, la absoluta, jamás ha sido observada.

Queda claro, por lo tanto, que el *parasitismo* real sólo puede ser controlado por la resistencia horizontal. Y este parasitismo es el proceso por medio del cual el parásito extrae nutrientes del hospedero y, al mismo tiempo crece y se reproduce a expensas de él. La resistencia vertical no puede controlar este parasitismo una vez que comienza. Sólo puede evitar su inicio, e incluso ocasionalmente falla en ésto debido a que siempre hay algún acoplamiento. La única función de la resistencia vertical es evitar la *epidemia*, protegiendo a la población hospedante como un todo, mediante el frenado de la explosión poblacional de un parásito estratega-r. Esto lo logra mediante una gran reducción de la proporción de aloinfecciones que son acoplantes.

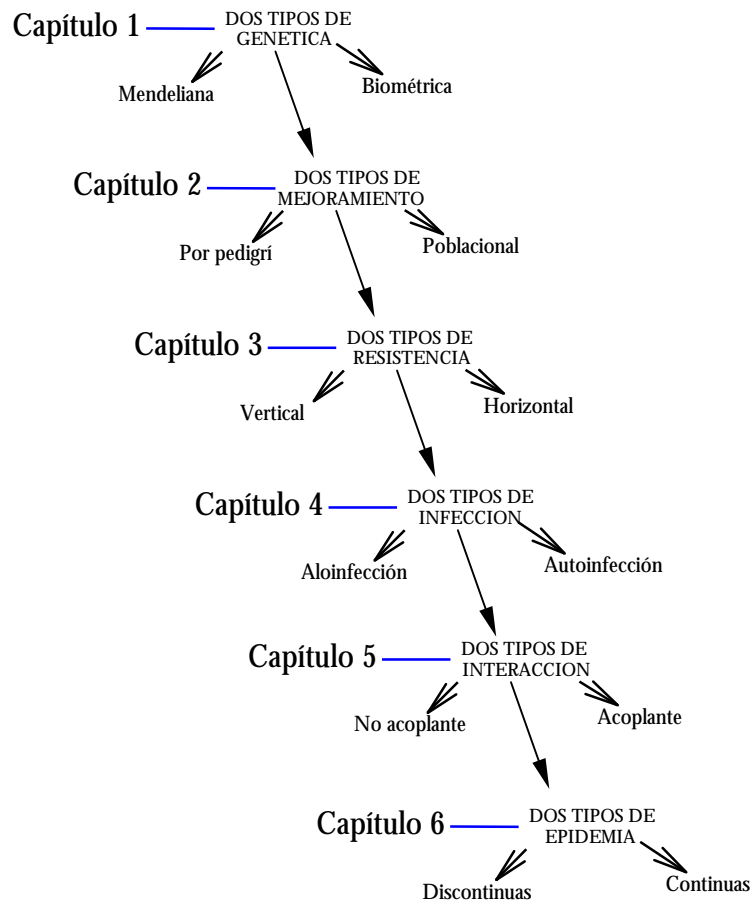
Consideremos ahora el desarrollo posterior de la epidemia. Cuando la sobrepoblación induce la formación de pulgones alados, o las esporas de roya devienen libres y dispersables por el viento, algunos parásitos individuales pueden dejar a su hospedante original y viajar hacia otro. Entonces aloinfectan un nuevo hospedero y, gracias al sistema de cerraduras y llaves de nuestro modelo, las probabilidades de que el nuevo hospedante tenga la misma cerradura que el hospedero padre son, otra vez, una en mil. La probabilidad de que su llave bioquímica acople a la cerradura del nuevo hospedante, permanece sólo de una en mil.

La resistencia vertical continúa controlando las aloinfecciones a través de la epidemia, durante los numerosos eventos de aloinfección que pueden ocurrir en una sola estación.

Finalmente llegamos a un hecho raro en biología. No todas las plantas poseen resistencia vertical; es más, algunas especies que sí la tienen, la poseen contra sólo *algunas* de sus especies parásitas. Y esto ha sido la ruina del fitomejoramiento mendeliano. Antes de poder iniciar el fitomejoramiento por resistencia, los mendelianos deben encontrar un gene de resistencia. Y cuando esta fuente genética: fuente genética de no es hallada por la simple razón de que no existe, los mendelianos no pueden fitomejorar para resistencia; ni siquiera pueden iniciar el proceso.

Contrariamente, toda planta posee resistencia horizontal a todo tipo de parásito. Esa es una de las ventajas principales de este tipo de resistencia; consecuentemente los biometristas pueden mejorar por resistencia contra cualquier especie de parásito vegetal.

Ahora debemos indagar porqué la resistencia horizontal es universal, mientras que la vertical no lo es.



## 6. Epidemias: Discontinuas y Continuas

Al nivel de sistema una epidemia es parasitismo puro, o enfermedad de una población. Algunos científicos consideran que el término epidemia debería aplicarse sólo a la población y en la medicina, sobre la base de que sus raíces griegas se refieren a las poblaciones (*demos*=pueblo). Arguyen que las epidemias en poblaciones de plantas y animales deberían llamarse epifitias y epizootias, respectivamente. Sin embargo, esto es cosa de gusto personal. Mi opinión es que "epidemia" es una palabra derivada del griego, pero su uso actual es más importante que su antigua ascendencia. También pienso que la utilización de diferentes términos para la misma cosa, sea en la gente, animales o plantas, es algo completamente superficial.

A diferencia de las personas, y otros animales, las plantas tienen dos tipos de epidemia completamente diferentes; llamadas *discontinua* y *continuas*, que están definidas por la naturaleza misma de las plantas.

Las epidemias discontinuas ocurren típicamente en las plantas anuales, y con los parásitos foliares de árboles y arbustos deciduos. En una epidemia discontinua el parasitismo es intermitente, y se detiene por completo durante una estación adversa, como la sequía canicular tropical o en el invierno, por la simple razón de que no hay tejido hospedante disponible al parásito. Por lo tanto, la disponibilidad se refiere al tejido *estacional*. Esta discontinuidad le crea tres problemas difíciles al parásito.

Primero, el parásito tiene que sobrevivir hasta que un tejido nuevo vuelve a estar disponible. La mayoría de los fitoparásitos sobreviven una estación adversa tornándose dormantes, pero pueden existir otros mecanismos. Por ejemplo, el parásito puede emigrar a otra región de clima diferente, donde haya tejido hospedante disponible o pueda haber una hospedera alternante. Pero también puede cambiar hacia una fase no parasítica, y consumir material vegetal muerto.

El segundo problema estriba en que el parásito está obligado a encontrar su nuevo hospedante cuando comienza la estación nueva, que es cuando el tejido hospedante nuevamente está disponible para el parasitismo. Se recordará (Capítulo 4) que la primera infección sobre este nuevo tejido *debe* ser aloinfección. Piense en una población hospedante de una especie anual que contenga millones de plántulas recién emergidas; si la epidemia se ha de desarrollar plenamente, cada una de esos millones de plantas debe ser aloinfectada.

El tercer problema es que cada individuo parásito debe acoplar la cerradura bioquímica de aquel hospedero que finalmente pudo encontrar. Al principio de la epidemia, por lo tanto, la población parásita debe contener muchos individuos que se desperdiciarán, sea porque no pudieron encontrar su hospedante o por que encontraron uno al que no fueron capaces de acoplar. Resulta obvio que la aloinfección, en las epidemias discontinuas, es mucho más importante que la autoinfección. Es igualmente obvio que el sistema de salvaguarda aportado por la relación gene a gene es un factor estabilizante muy valioso en una epidemia discontinua.

La epidemia continua ocurre en árboles siempre verdes y en muchas herbáceas tropicales en las que no hay interrupción del abasto de tejido hospedero. En ese caso el parasitismo puede continuar indefinidamente y la vida se facilita mucho al parásito. Una secuoya (redwood) californiana, por ejemplo, es un árbol siempre verde capaz de vivir más de dos mil años. La secuoya individual necesita ser aloinfectada una sola vez, y esa aloinfección puede continuar ininterrumpida durante muchos siglos, resultando obvio que la autoinfección es más importante que la aloinfección en este tipo de epidemias.



Es un hecho comprobado que la relación gene a gene jamás se ha encontrado en especies hospedantes silvestres, que padecen epidemias. Esto se debe a que la aloinfección no es importante, relativamente, para una epidemia continua, y a que la resistencia vertical sólo puede controlar a la aloinfección. Visto así, la resistencia vertical tendría muy poco valor de supervivencia en caso de evolucionar hacia epidemia continua.

También se evidencia que la discontinuidad es esencial para el funcionamiento adecuado de la relación gene a gene, y para el sistema de cerrojo bioquímico. Una relación gene a gene no puede operar cuando hay epidemia permanente. Y esto se debe a que un sistema de llave-cerradura no puede operar sobre la base exclusiva del *des*-cerrajamiento permanente. Si cada puerta en una ciudad pudiese ser abierta, pero no se pudiera cerrar de nuevo, el sistema de cerrojos se volvería inútil en poco tiempo.

Las plantas hospedantes no pueden, una vez vencidas, restaurar sus cerraduras bioquímicas, pero resuelven este problema de otra manera. Regularmente autodestruyen todo el tejido dotado de esa cerradura, que muy probablemente fue acoplado durante la etapa final de la epidemia discontinua. El único tejido hospedante que tiene cerrojo es el tejido *estacional*, y éste se desecha al término de cada estación. Todas las cerraduras que fueron descerrajadas por el parásito son destruidas por la caída de las hojas en el caso de los árboles deciduos, o por la muerte de todo el tejido, excepto la semilla, en las herbáceas anuales. Cuando llega el final de la estación, el parásito queda a la intemperie y a su propia suerte.

Los cerrojos bioquímicos que fueron abiertos durante la estación no son *re*-puestos, pero para la nueva estación son renovados por tejido nuevo que está libre del parásito; y al mismo tiempo posee nuevas cerraduras funcionales y no acopladas. En esto radica la importancia de la discontinuidad: en cada epidemia nueva debe haber una infección exitosa en cada hospedante, si es que la epidemia habrá de desarrollarse completamente. Esa infección afortunada *debe* ser aloinfectiva, y *debe* ser acoplante. Al inicio de cada estación nueva, el sistema de cerraduras es, una vez más, completamente funcional.

La caída del tejido estacional representa la "recuperación" de la resistencia vertical, y esto es lo contrario a su "rompimiento". En el curso de un ciclo estacional completo el estatus de la resistencia vertical puede cambiar del no acoplamiento y la funcionalidad positiva a su acoplamiento y destrucción, y a su renovación no acoplada. Esto equivale a un sistema dual de descerrajamientos y nuevos cerrojos; y a un *sistema* único de cerraduras que puede durar indefinidamente.

En un bosque que podría durar millones de años, por ejemplo, el sistema de cerradura continúa funcionando a medida que los árboles jóvenes deciduos sustituyen a los también deciduos árboles viejos. La única limitante es que se debe mantener la diversidad de cerraduras y llaves, y hay varios mecanismos genéticos que pueden asegurar ésto. Este sistema también durará indefinidamente en un ecosistema de plantas anuales, conforme las plantas nuevas no acopladas reemplazan a las plantas acoplada y muertas de la estación previa.

Parece ser que son los parásitos *estrategas-r* quienes siempre inducen las epidemias discontinuas. Y tienen que serlo si es que habrán de explotar un abasto alimentario que aparece de súbito al inicio de una estación favorable, para desaparecer igualmente pronto pocas semanas después, al término de ésa estación. Los organismos pequeños, como los parásitos microscópicos y los insectos diminutos, pueden sacar provecho total de un abasto alimentario tan abundante y efímero sólo cuando tienen explosiones poblacionales.

Sin embargo las explosiones poblacionales: explosión representan un problema serio, y al igual que las explosiones químicas tienen sus propios trucos. Son completamente desconfiables y muy fácilmente quedan fuera de control. Son difíciles de parar una vez que comenzaron, y también son difíciles de desviar o frenar; y cuando no son frenadas pueden hacer mucho daño. Cuando una estación anormal favorece al parásito, puede haber una explosión poblacional tan alta que incluso se puede ver amenazada la supervivencia del parásito.

Esto, en consecuencia, nos sugiere cuál es la función del sistema de cerraduras conferido por la resistencia vertical. Es el frenamiento de la explosión poblacional de un parásito *estratega-r*, es la

estabilización de situaciones peligrosas que de otra forma serían inestables, desconfiables e impredecibles. La población hospedante simplemente no puede arriesgarse a ser devastada periódicamente por una explosión poblacional parásita. Y el parásito no puede darse el lujo de devastar a la población hospedante porque, de hacerlo, amenazaría su propia supervivencia. Así, ambas especies han coevolucionado un sistema increíblemente elegante de cerraduras y llaves que limita las explosiones poblacionales dañinas, y al mismo tiempo asegura la supervivencia del parásito sin daño excesivo al hospedero.

En apoyo a esta conclusión tenemos el caso de la resistencia vertical a la mosca de Hess (*Mayetiola destructor*), barrenadora del tallo del trigo: barrenador del tallo del . Esta resistencia es excepcional en el sentido de que se trata de una resistencia vertical *cuantitativa*. Aunque su herencia es cualitativa o mendeliana, sus efectos son cuantitativos. Esto es, confiere resistencia incompleta a las razas no acoplantes del insecto, y ninguna protección contra las razas acoplantes; lo que significa que una raza no acoplante de esta mosca sí puede aloinfectar un tallo del trigo y sobrevivir dentro de él.

Cuando la resistencia vertical es cuantitativa una infección no acoplante no mata al parásito; simplemente reduce su crecimiento y evita que alcance la madurez. A primera vista esto es incongruente, porque esta clase de resistencia no controla el parasitismo. Así vista, la resistencia vertical cuantitativa parece no tener valor de supervivencia en lo evolutivo. Después de todo ¿porqué evolucionó si carece de valor adaptativo?

La respuesta parece ser que la resistencia vertical cuantitativa no evolucionó para evitar la aloinfección; incluso no lo hizo para evitar el parasitismo. Evolucionó para evitar explosiones poblacionales dañinas; y lo logra mediante el control de la *reproducción* del parásito. Y éste probablemente es el objetivo funcional de *todas* las resistencias verticales. Comparadas con una explosión poblacional incontrolada del parásito, algunas infecciones (o un poco de daño a la población hospedante) carecen de importancia

Hemos visto que las resistencias verticales parecen reducir el parasitismo mediante la reducción de frecuencia de las aloinfecciones acoplantes; y a primera vista esta reducción del parasitismo parece ser su función más obvia. De hecho la función final de esta resistencia probablemente es reducir la reproducción del parásito, y por tanto sus explosiones poblacionales. La mayoría de las resistencias verticales lo logran mediante el simple procedimiento de controlar la aloinfección. Unas cuantas lo hacen permitiendo la aloinfección, algún parasitismo y cierto crecimiento parasitario, pero al mismo tiempo limitan o reducen la reproducción del parásito.

Pero ésto es sólo una digresión. Mejor volvamos a las dos clases de epidemias. En la práctica, esta diferencia entre las epidemias continuas y discontinuas es crucial para que funcione la resistencia vertical. Considérese la epidemia de un parásito foliar de un árbol hipotético. Si el árbol es deciduo la epidemia es discontinua, y la resistencia vertical funciona al inicio de cada epidemia. Si el árbol vive durante, digamos quinientos veranos, su resistencia vertical lo protegerá durante quinientas epidemias. Por azar, en algunas de ellas el árbol será acoplado muy al inicio de la estación, y sufrirá de acuerdo a ésto. Sin embargo cualquier árbol puede tolerar ocasionalmente las malas epidemias. De igual forma, en algunas de esas epidemias el árbol será acoplado tan tardíamente en la estación que no sufrirá parasitismo serio alguno. En promedio, será acoplado por el parásito lo suficientemente tarde como para hacer un daño mínimo en cada estación.

Ahora consideremos un árbol perenne o siempre verde con una epidemia continua. Su primera infección debe ser aloinfectante, pero después de eso puede permanecer parasitado por autoinfección por el resto de su vida; y todas las futuras autoinfecciones serán infecciones acoplantes. La resistencia vertical protegería a este árbol perennifolio sólo hasta que ocurrió la primera aloinfección acoplante, probablemente cuando el árbol era todavía una plántula. En ese caso la resistencia vertical resulta inútil durante los quinientos veranos subsecuentes. La relación gene a gene no puede funcionar en una epidemia continua, y por consiguiente su ventaja adaptativa es mínima. Por esta razón, la relación gene por gene nunca evoluciona en sistemas hospedante-parásito que padecen epidemias continuas.

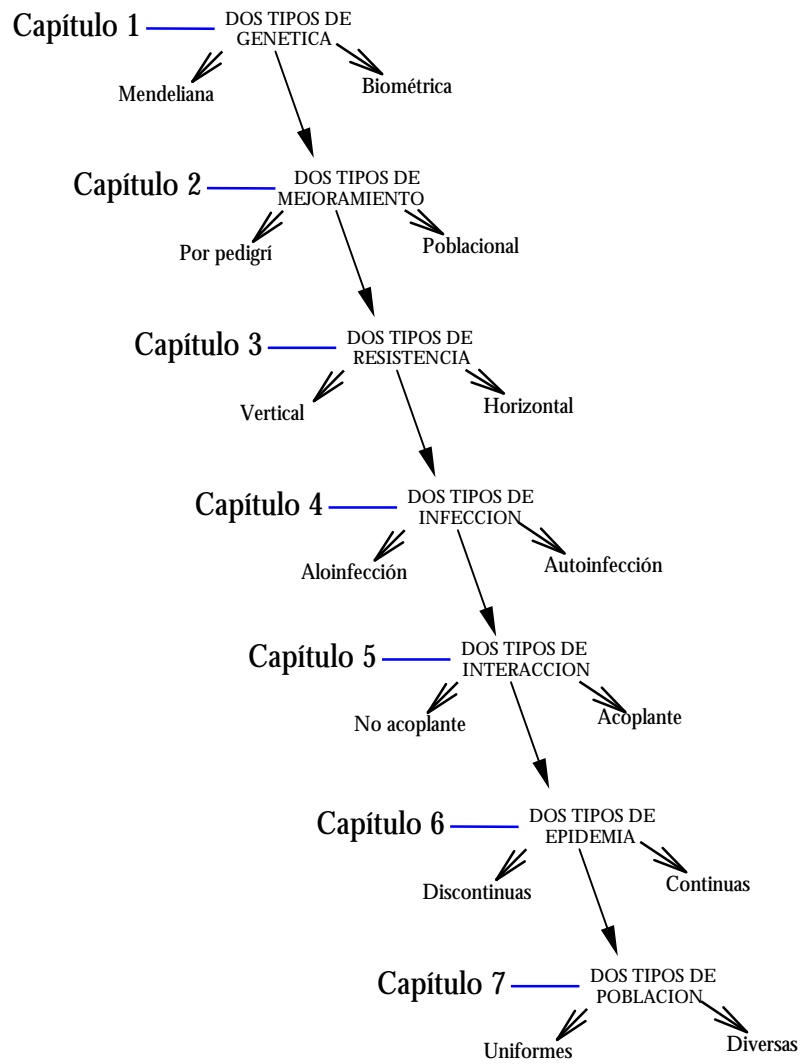
La mayoría piensa que los árboles deciduos se deshojan para evitar el invierno o una sequía estacional tropical. Y en realidad lo hacen. Pero ésa no es la única razón. También se deshojan para lograr una interrupción de su parasitismo y para renovar sus llaves bioquímicas. Esta función adicional del defoliado explica varios acertijos que despistaron a los botánicos durante años. Explica, por ejemplo, porqué debe evolucionar una resistencia temporal en un árbol que vive por siglos. También explica porqué un árbol como el hule (*Hevea brasiliensis*) debe ser deciduo, y debe tener resistencia vertical a la enfermedad llamada tizón foliar (*Microcyclus ulei*), aun cuando ocurre en forma silvestre en el valle amazónico que está continuamente cálido y húmedo. Y también explica porqué los miembros de la escuela mendeliana no han podido hallar ninguna resistencia monogénica en muchos cultivos importantes que derivaron de plantas silvestres que padecen epidemias continuas, tales como la caña de azúcar, los cítricos y los olivos.

Esto, por ende, se convirtió en la ruina del fitomejoramiento mendeliano para resistencia. Si un cultivo proviene de una planta silvestre siempreverde o perenne, poseerá resistencia horizontal, pero no vertical. En forma contraria, si el progenitor silvestre de un cultivo es una herbácea anual, o un arbusto o árbol deciduo, ese cultivo poseerá ambas resistencias, la vertical y la horizontal. El valor evolutivo de supervivencia de una relación gene a gene en una epidemia discontinua es sobresaliente, y por esta razón evolucionará con frecuencia, pero no siempre, en herbáceas anuales, y contra los parásitos de árboles y arbustos deciduos. Un fitomejorador mendeliano, en busca de una fuente de resistencia genética vertical cualitativa, no la hallará en una perennifolia siempreverde. Puede que la encuentre en cultivos con epidemias discontinuas, pero no necesariamente lo hará. En cambio, un biometrista en busca de resistencia horizontal cuantitativa, invariablemente la encontrará en cualquier cultivo y contra cualquier parásito de ese cultivo.

Se recordará que el fitomejorador mendeliano necesita de una buena fuente de resistencia: buena fuente de genética, y que cuando no puede encontrarla, ni siquiera puede iniciar el proceso de mejoramiento para resistencia. El biometrista, en cambio, no necesita esa buena fuente genética de resistencia. Todo lo que necesita es aumentar el nivel existente de resistencia cuantitativa mediante cambios a la frecuencia genética en una población heterogénea. Así, puede mejorar por resistencia a parásitos cualquier cultivo; y lo puede hacer sin tener que encontrar primero una buena fuente de resistencia.

También debemos notar que la mayoría de las especies cultivadas en países templados padecen epidemias discontinuas, y resistencias verticales, porque evolucionaron en regiones con inviernos severos. Y la mayoría de la investigación en genética vegetal se ha hecho en regiones templadas, en cultivos templados, cultivados en naciones industrializadas y ricas. En forma contraria, muchos cultivos tropicales tienen epidemias continuas y carecen de resistencia vertical. Pero se ha hecho relativamente poca investigación en estos cultivos tropicales, cultivados en países pobres no industrializados.

Estas diferencias climáticas y en investigación han influido demasiado para exagerar la importancia de la resistencia vertical, y para ocultar la importancia de la resistencia horizontal.



## 7. Poblaciones: Genéticamente Uniformes o Diversas

Una población vegetal puede ser genéticamente uniforme o genéticamente diversa. Los cultivos agrícolas son poblaciones vegetales típicamente uniformes, porque la uniformidad es esencial en la agricultura moderna. Es una gran ventaja, por ejemplo, que todas las plantas en un cultivo de trigo sean de la misma altura, maduren al mismo tiempo, y que tengan las mismas características de molienda y horneado. Existe una ventaja adicional cuando todas las cosechas de trigo en un rancho y en una región son idénticas, porque el trigo cosechado se puede almacenar y transportar a granel. En los viejos tiempos el trigo se almacenaba y transportaba en sacos, cada saco tenía que ser manipulado muchas veces y tenía que ser marcado para especificar la variedad de trigo contenida.

Una segunda y muy buena razón para justificar la uniformidad en la agricultura ya fue mencionada. Me refiero al problema de preservar los rasgos agrícolamente valiosos de un cultivar (esto es, una *cultivada variedad*), tales como el rendimiento, la calidad del producto cosechado, la adaptabilidad agronómica y la resistencia a parásitos. El método natural de reproducción mediante semillas sexualmente obtenidas induce una diversidad y variabilidad genéticas. Estos rasgos valiosos que cuidadosamente han sido acumulados por selección artificial, tienden a perderse con la variabilidad. Este problema es normalmente resuelto mediante una de tres formas, dependiendo del método de propagación más o menos artificial del cultivo, y sucede que cada una de estas soluciones requiere, sin duda, uniformidad del mismo.

El primer método de propagación se basa en el uso de semillas verdaderas de especies autóгамas, incluyendo cereales importantes como el trigo y arroz, y la mayoría de los cultivos productores de proteína como las abundantes especies de chícharos y frijoles; estas dos categorías de cultivos proveen la mayor parte de los alimentos del mundo. Como vimos antes (Capítulo 2), el botánico danés Johanssen resolvió este problema inventando la línea pura, que se reproduce fiel a su tipo. Se selecciona como padre de una nueva línea pura a la mejor planta de una población heterogénea, y se le permite autopolinizarse pero, debido a su heterocigosis, la progenie resulta variable. El mejor individuo en esta progenie (segunda generación) se selecciona y también se le permite la autopolinización. Los descendientes también son variables pero ya menos. Este proceso de reducción de la variabilidad por autopolinización y selección continúa hasta que no se detecta variación adicional. En teoría este proceso se completa después de doce generaciones de autopolinización y selección, pero en la práctica usualmente son adecuadas cuatro a seis generaciones. El cultivar moderno de un cultivo autóгамo es, por lo tanto, homocigótico o está muy cerca de ésto en todo su genomio (hechura genética). Se trata de una línea pura genéticamente uniforme, que se reproduce fiel a su tipo, y cuyos rasgos valiosos son preservados indefinidamente. Aun cuando ocurre alguna polinización cruzada dentro de este cultivar, los padres son tan genéticamente similares que ésto no se manifiesta como variabilidad significativa.

El segundo método de propagación ocurre mediante semillas verdaderas en especies que son heterógamas, tales como maíz, milo (*Panicum sp*), sorgo y varias especies cultivadas de las familias botánicas de la cebolla y la calabaza (*Liliacea* y *Cucurbitacea*). Estos cultivos de polinización cruzada son heterocigóticos, por lo que frecuentemente no se reproducen fieles a su tipo, y muchos de sus rasgos valiosos pueden perderse mediante la propagación por semilla. Tampoco pueden ser autopolinizados sin que ocurra una pérdida de vigor totalmente inaceptable, pero este problema se resuelve mediante el uso de las variedades híbridas, un método que se describe en el Capítulo 20. Excepto el comentario de que las variedades híbridas también conducen a la uniformidad genética durante el proceso de cultivo, los detalles no son importantes.

Finalmente, muchas especies cultivadas son tan heterocigóticas que su propagación por semilla es imposible porque la pérdida de rasgos valiosos es casi total. Ejemplos típicos son las uvas clásicas para vino, las manzanas, las papas, la caña de azúcar, higos, olivos, dátiles y piñas. En otras especies el proceso de domesticación ha conducido a una pérdida casi completa de la verdadera semilla, y la propagación por este medio resulta imposible. Estas especies (sin semilla) incluyen cultivos tales como la banana y el plátano, el ajo, jengibre, rábano, henequén, turmericas y ñames. En todos ellos las características valiosas pueden ser conservadas sólo por propagación vegetativa. Cada cultivar de éstos es un clon, caracterizado por el hecho de que todos los individuos que pertenecen a él son genéticamente idénticos.

Por lo tanto no nos engañemos, la uniformidad poblacional: uniformidad es *esencial* en la agricultura moderna y comercial. Hay muy pocas excepciones a esta regla, se trata de unas cuantas especies forrajeras como la alfalfa, también conocida como lucerne (*Medicago sativa*), que se cultivan como "variedades sintéticas", las cuales son poblaciones mezcladas, genéticamente mejoradas.

Se debe añadir, sin embargo, que la mayor parte de los cultivos de subsistencia en los trópicos se cultivan como mezclas; en primer lugar son mezclas de especies diferentes, como el maíz, frijol y camote cultivadas en un mismo campo. Y, en segundo, cada una de estas especies es genéticamente diversa y puede ser una variedad local o una mezcla de varios clones diferentes. Esta es una de las razones de porqué usualmente es menor la necesidad de protectores químicos en los cultivos de subsistencia. Este tipo de diversidad genética no es práctico en la agricultura comercial, principalmente porque requiere mucha mano de obra.

En completo contraste con la agricultura comercial, las poblaciones de plantas silvestres: plantas son siempre genéticamente heterogéneas. Aunque todos los individuos de una población vegetal silvestre pertenezcan a la misma especie, varían entre ellos a tal extremo que no hay dos individuos iguales. Al respecto, son como las poblaciones humanas en las cuales no hay dos individuos genéticamente idénticos excepto los gemelos homocigóticos (esto es, idénticos). Es del dominio común que los humanos varían considerablemente en todos los rasgos heredados, lo cual también es cierto para las poblaciones vegetales silvestres. Algunas especies de plantas silvestres tienen reproducción vegetativa natural, y pueden producir clones en los cuales todos los individuos son genéticamente idénticos. Sin embargo siempre hay un límite a esta reproducción vegetativa, y el tejido total de un clon natural rara vez sobrepasa el tamaño de un árbol grande. La población total de clones, por lo tanto, adquiere una diversidad genética similar a la de un bosque maduro.

Este contraste entre uniformidad y diversidad de población nos devuelve al eje de la discusión global. Vimos antes que el método mendeliano de mejoramiento discrimina en favor de la resistencia vertical monogénica que es parte de una relación gene por gene. También vimos que esa relación opera como un sistema de cerrojos con, posiblemente, sólo una aloinfección acoplante en mil posibilidades de infección. El rasgo esencial de este sistema de salvaguarda es que solamente puede funcionar cuando hay diversidad. El sistema se arruina con la uniformidad. Considere qué pasaría si todas las puertas de una ciudad tuvieran la misma cerradura y todo propietario de casa tuviera la misma llave; abrirían cualquier puerta.

Es aquí donde se nota el error de los miembros de la escuela mendeliana. Ellos transferirían un perno simple procedente de una cerradura simple desde una población silvestre genéticamente heterogénea hacia una planta cultivada. Después, multiplicarían esta planta para hacerla una línea pura genéticamente uniforme, o una variedad híbrida, o un clon, para obtener un cultivar nuevo. Ese cultivar se llevaría a una gran extensión de tierra para producir una población de millones, miles de millones, o posiblemente de billones de individuos, todos con la misma cerradura integrando una población uniforme de plantas. Esta situación extraordinaria tal vez podría ser nominada *cerrojo único (monolock)*

Estas poblaciones uniformes se conservan resistentes sólo porque el parásito a menudo es extrañamente lento en su respuesta a situación tan bizarra. Podrían pasar varios años antes que el parásito con la llave acoplante apareciera, pero en cuando esto sucede responde con un crecimiento

poblacional de estrategia  $r$ . El crecimiento de este parásito se expresaría como una explosión poblacional: explosión  $y$ , gracias a que el sistema de cerraduras sería destruido, la explosión sería incontrolable. Debido a la uniformidad genética, toda aloinfección de un hospedante hacia otro, dentro del cultivar, sería una infección acoplante y no habría nada para detener la explosión poblacional, excepto alguna resistencia horizontal residual. Pero, como veremos en un momento, el método de mejoramiento por pedigrí *reduce* realmente el nivel de resistencia horizontal, por lo que un cultivar moderno cuya resistencia vertical ha sido acoplada, usualmente es muy susceptible.

La caída que sigue a la aparición de una raza de parásito acoplante se conoce como "rompimiento" de la resistencia vertical. Durante una estación simple de cultivo, un cultivar aparentemente inmune súbitamente puede tornarse extremadamente susceptible. Este cultivar debe ser abandonado y reemplazado por uno nuevo con resistencia vertical diferente que todavía no haya sido acoplada. Y el proceso se repite una y otra vez. Esto ha sido llamado ciclo de "éxito y fracaso" del fitomejoramiento. Difícilmente se puede decir que haya algo más descorazonador para un genetista vegetal que ver un maravilloso cultivar, resultado de años de trabajo paciente y doloroso, arruinado, porque su resistencia súbitamente cesó de funcionar.

Durante todo este tiempo casi nadie pensó en términos de resistencia horizontal. Nadie se molestó en medir la susceptibilidad de un cultivar fallido, o en estudiar su resistencia horizontal remanente. Gran parte de este tiempo, ni siquiera fue reconocida la mera existencia de la resistencia horizontal. Y aun cuando se hubiera reconocido la posibilidad de una resistencia horizontal, no se creyó que tuviera algún valor práctico. Es más, había tal urgencia para producir cultivares de reemplazo que nadie tuvo tiempo de estudiar este asunto aparentemente poco importante y muy secundario. Además todos esos científicos eran miembros de la escuela mendeliana y no estaban interesados en la variabilidad cuantitativa.

Algunos de los pocos científicos que fueron la excepción a esta regla, y que estudiaron y utilizaron la resistencia horizontal serán mencionados en los capítulos respecto a trigo (19), maíz (20), papa (18), cafeto (21), caña de azúcar (22), lupino (25), y raíces tropicales (27). Un científico totalmente excepcional al respecto, es Luigi Chiarappa, de la FAO de la ONU. El tuvo visión y valor intelectual para iniciar el Programa Internacional de Resistencia Horizontal de la FAO (FAO/IPHR) en 1975, en una época en que la hostilidad al puro concepto de resistencia horizontal estaba la máximo. Otro científico excepcional fue D.H. Lapwood, en Rothamsted, Inglaterra, que estudiaba los mecanismos de resistencia horizontal del tizón de la papa, aun antes que Vanderplank publicara su libro clásico en 1963. Otra fue Helen Hart, quién trabajaba con resistencia horizontal de la roya del trigo en St. Paul, Minnesota hace más de 60 años. La importancia de su trabajo y de su originalidad no fue reconocida ni premiada. También debemos decir que el mismo Vanderplank llevó a cabo muchos años de trabajo acertado en Africa del Sur mejorando papas por resistencia horizontal, pero publicó poco respecto a esta investigación innovadora y creativa.

Pocos científicos han intentado mejorar la eficiencia de la resistencia vertical mediante el expediente de sembrar cultivos con diversas resistencias verticales. En Gran Bretaña, se han sembrado mezclados varios cultivares diferentes de cebada, con cierto éxito. Y en los Estados Unidos algunos han usado las llamadas multilíneas para cultivar avena. Una *multilínea* es una población que contiene varias y diferentes líneas puras, morfológicamente muy similares pero poseedoras de resistencia vertical diferente. Sin embargo en la agricultura comercial el uso de la diversidad genética involucra considerables dificultades técnicas, y en la agricultura en general esto no es muy practicable.

Este es, por lo tanto, el dilema real de las ciencias agrícolas y del problema alimentario mundial: poder contar con uniformidad genética en nuestros cultivos; pero, si hemos de utilizar efectivamente la resistencia vertical en la misma forma funcional en que evolucionó como sistema de salvaguarda, debemos poder contar con diversidad genética en ellos. La conclusión es obvia; es esencial contar con diversidad genética en nuestros cultivos, en consecuencia no podemos esperar poder protegerlos con

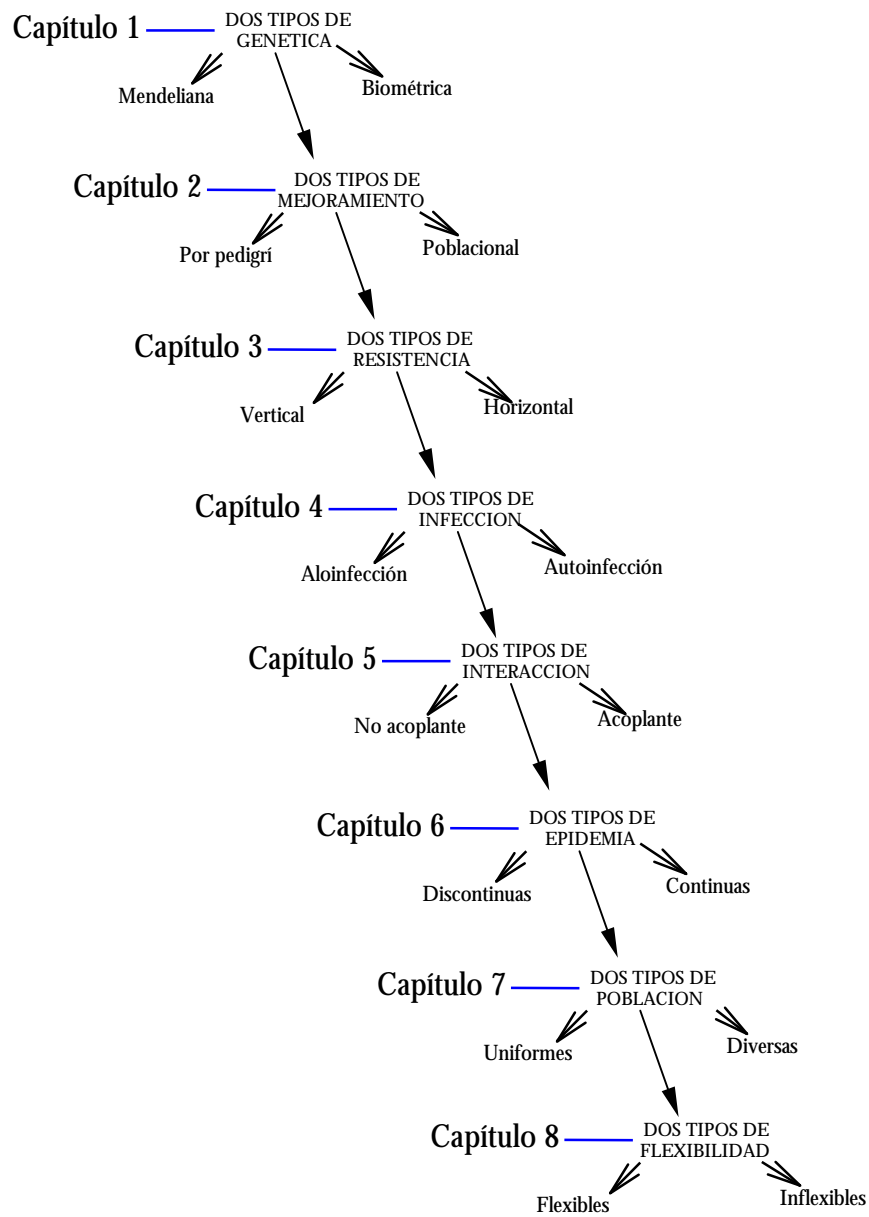
éxito usando resistencia vertical; tenemos que considerar el uso de la resistencia horizontal, si es que deseamos evitar el uso de plaguicidas químicos.

Los antiguos miembros de la escuela mendeliana nunca han tenido un solo carácter monogénico de importancia económica. Pensaban que los tenían, pero estaban equivocados. En efecto contaban con resistencias monogénicas, pero su valor era enteramente falso. Y el hecho de que los mendelianos dominen el fitomejoramiento la mayor parte del siglo XX deriva de una disputa científica superflua, y en verdad deplorable. Fue una disputa que se resolvió científicamente hace unos 60 años, pero que los hizo innecesariamente arrogantes y competitivos.

Durante el último medio siglo los genetistas vegetales han ido abandonando poco a poco el fitomejoramiento por resistencia vertical, debido a los límites obvios en su validez. Pero estos científicos normalmente creyeron que la resistencia vertical era la única clase de resistencia existente, o que la horizontal no podía ser útil, y entonces llegaron a la conclusión falsa de que la única alternativa a la resistencia vertical era el uso de protección química en los cultivos. Esta es la razón principal de porqué ahora utilizamos los agroquímicos en cantidades tan desproporcionalmente grandes.







## 8. Respuesta a la Presión de Selección: Flexibilidad Genética o Inflexibilidad

Existe otra perspectiva de la diversidad y uniformidad poblacional que es de importancia especial al fitomejoramiento; el aspecto de la *flexibilidad genética*. Una población vegetal puede ser genéticamente flexible o inflexible. En este contexto los genetistas hablan de las *presiones de selección*, usando la palabra "presión" en el sentido de tolerancia o de coerción.

Una población genéticamente flexible responderá a las presiones de selección, y en ese caso cambiará su composición genética. Por ejemplo, si la población hospedante tiene muy poca resistencia horizontal a un parásito, habrá presión de selección por aumentar la resistencia. La población que sea flexible responderá a estas presiones y en pocas generaciones será más resistente.

El mecanismo atribuible a esta respuesta consiste en que los individuos resistentes de la población producen mayor progenie que los individuos susceptibles, simplemente por que son menos parasitados. Los resistentes tienen una ventaja reproductiva y, consecuentemente, en la próxima generación habrá más de ellos. Los susceptibles están en desventaja reproductiva, y consecuentemente habrá menos de ellos en la próxima generación. Respuesta similar puede ocurrir frente a las presiones de selección de todas las otras variables incluyendo la tolerancia a factores ambientales como helada, sequía, fuertes vientos, días prolongados y suelos ácidos.

Esta flexibilidad depende totalmente de la diversidad genética. Cuando hay uniformidad genética poblacional ningún individuo tiene ventajas reproductivas sobre otro porque todos son idénticos. Tal población no puede responder a las presiones de selección. Es genéticamente inflexible.

Obviamente las poblaciones de los cultivos modernos son genéticamente uniformes y a la vez genéticamente inflexibles; no pueden responder a las presiones de selección. Y así queremos que sean para poder conservar sus características agrícolas valiosas, tan cuidadosamente acumuladas por selección artificial.

Las poblaciones silvestres, por otra parte, son genéticamente diversas y genéticamente flexibles. Pueden y de hecho responden a las presiones de selección. Si una población vegetal silvestre tiene muy poca resistencia horizontal, acumulará un nivel adecuado de ella en el transcurso de pocas generaciones. Y esto es cierto para cualquier carácter heredado, cuantitativamente variable.

Los ecólogos están familiarizados con este concepto de flexibilidad y diversidad, y usan el término *ecotipo* para reconocerlo. Un ecotipo es una subpoblación de una especie, que posee características adaptativas especiales para ocupar un lugar particular dentro del ecosistema. Las presiones de selección varían de una a otra parte del ecosistema, de tal suerte que diferentes presiones de selección producen ecotipos diferentes. Los ecotipos son genéticamente diversos y genéticamente flexibles. Un ecotipo puede transformarse en otro si simplemente es expuesto, durante suficiente número de generaciones, a las presiones de selección apropiadas.

La tasa de cambio de los ecotipos depende de dos factores. En primer lugar está la frecuencia de las generaciones. Las plantas anuales tienen por lo menos una generación al año, y a veces varias. Sus ecotipos, consecuentemente, pueden cambiar muy rápido en unos cuantos años. Los ecotipos de los árboles de vida larga obviamente cambiarán mucho más lento.

El segundo factor es la fuerza de las presiones de selección. Cuando un ecotipo está bien adaptado a su ambiente, "no hay presiones de selección" y el ecotipo puede permanecer sin cambios durante muchas generaciones. Pero cuando las presiones son fuertes, la tasa de cambio es veloz. Esto

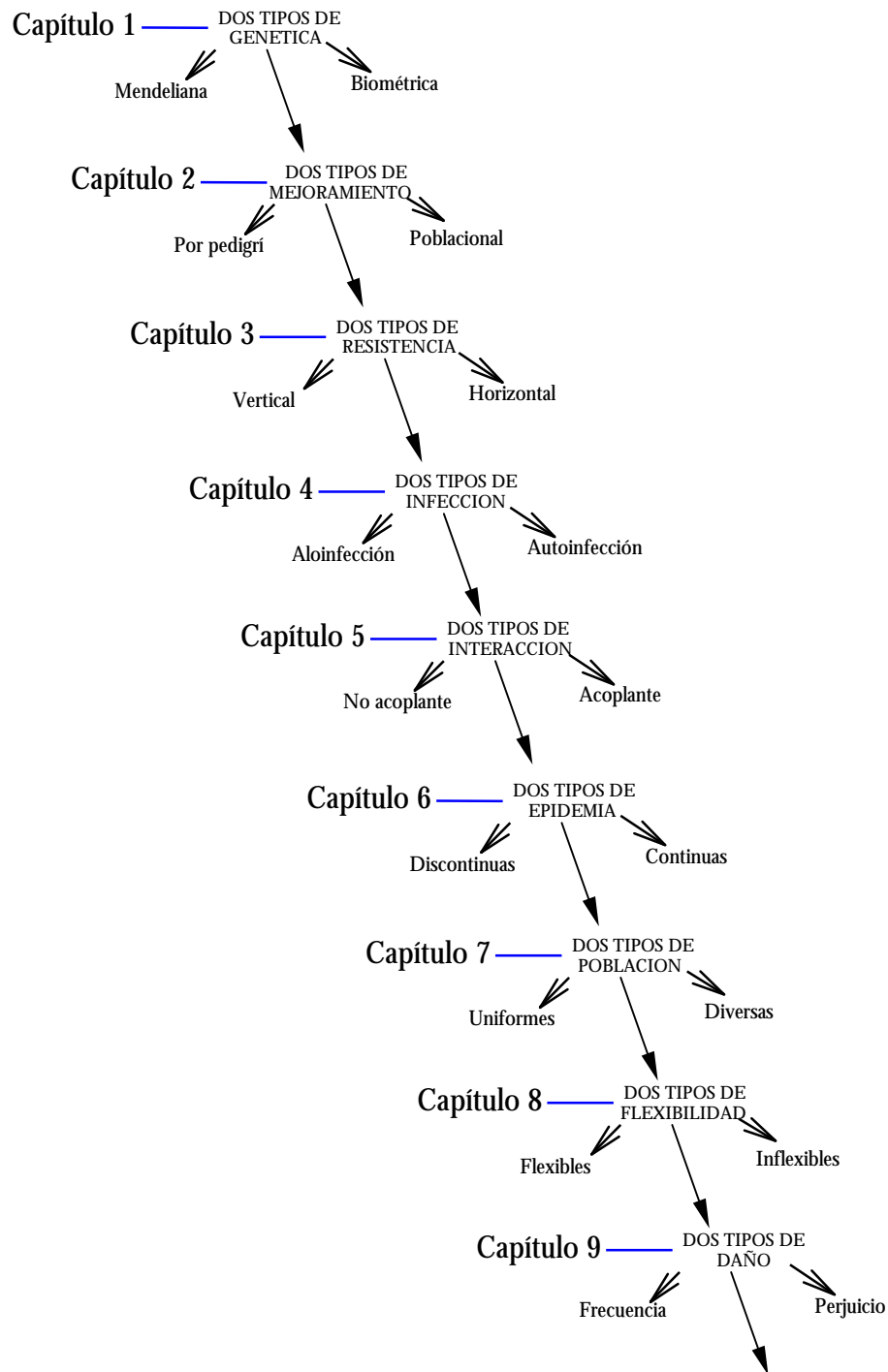
es exactamente lo que sucedió con los cultivos de maíz en Africa Tropical cuando fueron atacados por una enfermedad de reencuentro, discutida en el Capítulo 20.

Este tópico, la flexibilidad genética, nos devuelve directamente al inicio de la discusión, y a la comparación entre los métodos mendelianos y los biometristas. La capacidad de un carácter para variar cuantitativamente en respuesta a presiones de selección es muy valiosa en los ecosistemas naturales. Por otra parte, un carácter monogénico no es cuantitativamente variable y no cambiará en respuesta a presiones de selección. Su frecuencia en la población puede cambiar, pero el carácter mismo es fijo, y en cualquier individuo está presente o ausente sin valores intermedios. Los caracteres monogénicos pueden ser extremadamente valiosos en circunstancias especiales, como la de proveer un sistema de cerraduras y llaves bioquímicas contra el parasitismo vegetal; pero esas circunstancias ocurren con poca frecuencia. Esto explica porqué la herencia poligénica es mucho más común que la monogénica. Los caracteres monogénicos son más bien raros en las plantas, y consecuentemente los miembros de la escuela mendeliana tuvieron muchas dificultades para encontrar caracteres monogénicos de importancia económica.

Los genetistas vegetales normalmente no piensan en términos de ecotipos genéticamente flexibles; más bien tienden a pensar en términos de cultivares genéticamente uniformes y genéticamente inflexibles. Debido a que normalmente no trabajan con ecosistemas silvestres, estos científicos están menos familiarizados con el concepto de flexibilidad genética que los ecólogos, y a menudo no aprecian hasta qué punto las poblaciones vegetales pueden responder cuantitativamente a las presiones de selección. En particular rara vez aprecian cuánto puede responder a la presión de selección, por resistencia horizontal, una población vegetal genéticamente diversa. Este tipo de respuesta es la base del método biometrista de fitomejoramiento.

Es poco dudable que para el proceso agrícola, *de cultivo*, los fitogenetistas piensen en términos de uniformidad e inflexibilidad genéticas. Pero para el proceso de *mejoramiento* deben pensar ecológicamente, en términos de poblaciones, de genética cuantitativa, de diversidad y flexibilidad genética, y de resistencia horizontal.





## 9. El Daño: Su Frecuencia y su Perjuicio

En este momento podría ser útil hacer la distinción entre la *frecuencia* del parasitismo, que es la proporción de hospedantes individuales parasitados, y el *perjuicio* por parasitismo, que es el daño que cada hospedante individual sufrió por el ataque. El perjuicio normalmente se expresa como el promedio de todos los individuos parasitados.

Un ejemplo extremo ilustrará lo que queremos decir. Supongamos que una manada de leones que parasita a un rebaño de cebras mata una cebra y la consume completamente; ésto representaría una frecuencia mínima de parasitismo, pero representa también el máximo perjuicio. En términos ecológicos a este parasitismo extremo se le llama relación predator-presa, y a menudo tiene una distribución al azar.

En el otro extremo cada cebra puede ser parasitada por garrapatas, pero el daño causado puede ser despreciable, representando una frecuencia máxima de parasitismo pero un daño mínimo. En términos ecológicos el parasitismo ahora tiene una distribución uniforme, y este extremo a menudo es llamado la relación hospedante-parásito.

La *combinación* de frecuencia y perjuicio representa el daño total causado por un parásito a la población hospedante. En plantas silvestres este daño total jamás excede a un nivel permisible, más bien bajo. Este nivel permisible es gobernado por el hecho de que el parásito debe *no destruir* la habilidad de su hospedante para competir ya sea ecológica o evolutivamente. Esto es axiomático porque cualquier parásito que bloqueara la habilidad de su hospedante estaría amenazando su propia supervivencia. Por esta razón la frecuencia del parasitismo y su perjuicio están correlacionadas inversamente en las plantas silvestres. Una frecuencia alta ocasiona siempre un perjuicio bajo, mientras que un alto perjuicio siempre sucede con poca frecuencia.

En las plantas silvestres, la frecuencia y el perjuicio del daño se relacionan directamente con la resistencia vertical y la horizontal, respectivamente. La resistencia vertical provee un sistema de salvaguarda que notoriamente reduce la *frecuencia* del parasitismo. La resistencia horizontal provee una segunda línea de defensa que, igualmente obvio, reduce el *perjuicio* del parasitismo. En una epidemia continua, que sólo posee resistencia horizontal, habrá una frecuencia alta de parasitismo, pero una tasa reducida de perjuicio. En una epidemia discontinua que tiene tanto resistencia vertical como horizontal, la frecuencia del parasitismo será baja, particularmente en etapas tempranas de la epidemia; pero el daño individual será proporcionalmente mayor en aquellos individuos que fueron acoplados al inicio de la misma.

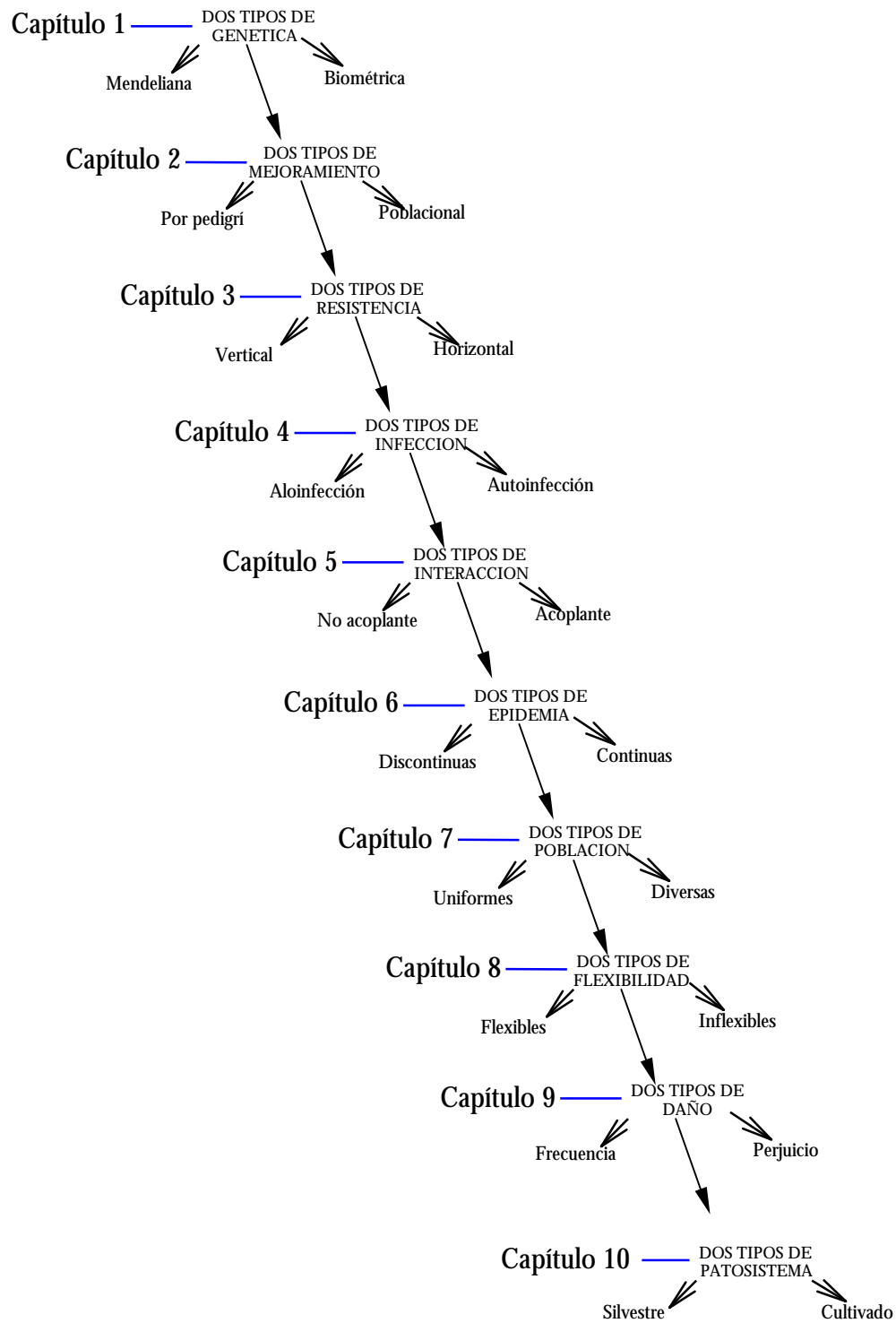
En los cultivos modernos, por otra parte, a menudo tenemos una frecuencia alta de parasitismo y al mismo tiempo un perjuicio alto. El daño total en este caso es alto, y esto se debe a que el subsistema vertical ya no opera (como sistema de cerraduras), al mismo tiempo que el nivel de resistencia horizontal es muy bajo.

En virtud de que no siempre es posible utilizar un sistema de cerraduras en nuestros cultivos, se deduce que debemos apuntar hacia niveles artificialmente altos de resistencia horizontal. Esto es, debemos *domesticar* la resistencia horizontal del mismo modo que nuestros ancestros domesticaron otras variables continuas tales como el rendimiento y calidad del trigo, arroz y maíz. Esto redundaría en parasitismos de frecuencia alta los cuales, sin embargo, serían poco importantes porque el nivel de daño sería despreciable.









## 10. Patosistemas: en Plantas Silvestres y en Cultivadas

El concepto del patosistema está basado en la teoría general de los sistemas. Hay muchas diferentes clases de sistemas, tales como sistemas solares, sistemas políticos, sistemas ecológicos (ecosistemas), sistemas mecánicos, sistemas legales, sistemas eléctricos, y así sucesivamente. La teoría general de los sistemas se refiere a las propiedades que los sistemas tienen en común. A menudo es de gran apoyo estudiar un sistema en los términos de ésta y otras teorías.

Recientemente la teoría general de los sistemas se ha desarrollado mucho en dirección a la teoría de la complejidad, la cual estudia a los sistemas dinámicos, que al mismo tiempo que son complejos son adaptativos. El científico belga I. Prigogine descubrió que ciertos sistemas tienen la propiedad notabilísima de la autoorganización; aquí están incluidos los sistemas económicos, los sociales, los ecosistemas, la evolución y la vida misma. Pero esa es otra historia (ver el Capítulo 29).

Uno de los conceptos más útiles que surgen de la teoría general de los sistemas es la noción de niveles sistemáticos. Por ejemplo, un libro es sólo un sistema estático que tiene subsistemas llamados capítulos. Cada capítulo tiene subsistemas llamados párrafos. Cada párrafo tiene subsistemas llamados oraciones, y así hasta niveles más bajos como las palabras, las sílabas y las letras. El libro en sí mismo es un subsistema de un supersistema llamado biblioteca. Cada uno de esos subsistemas es un nivel de sistema, más alto que el que está debajo de él; y más bajo que el que tiene arriba.

En biología los subsistemas a menudo pueden ser descritos con la palabra población; así, epidemiológicamente un bosque es una población de árboles, el árbol una población de hojas y la hoja una población de células microscópicas.

Un ecosistema es un sistema biológico. Usualmente ocupa una área bien definida, e involucra las interacciones de todos los organismos vivos dentro de ella; tanto entre sí como con su ambiente. Un patosistema es una clase especial de subsistema del ecosistema; es el que involucra el parasitismo. El patosistema normalmente involucra la interacción de una población de la especie parásita con una población de la especie hospedante, pero algunos patosistemas son más complicados. El patosistema vegetal es aquel en el que la población hospedante es una planta, y el parásito la especie de los individuos que invierten la mayor parte de su ciclo vital en un individuo hospedante, y obtienen nutrientes de él. El concepto de patosistema, por lo tanto, abarca tanto a la entomología como a la fitopatología; pero los herbívoros mayores que consumen grandes poblaciones de plantas, normalmente se consideran fuera de las fronteras conceptuales del patosistema, y pertenecen a niveles mayores del ecosistema.

Un patosistema puede existir físicamente en el sentido de que uno puede caminar en él y estudiar sus poblaciones y sus interacciones. Alternativamente, el patosistema puede existir sólo como concepto, en la forma de un modelo de computación, un diagrama o un panorama mental.

Los patosistemas vegetales también tiene niveles sistemáticos. Cualquier patosistema es parte del supersistema llamado ecosistema. Y muchos patosistemas vegetales tienen dos subsistemas, llamados subsistema vertical y subsistema horizontal. Como hemos visto, el subsistema vertical es un patosistema discontinuo y genéticamente diverso que incluye una relación gene por gene, y su función consiste en controlar la epidemia y la frecuencia de parasitismo al nivel sistemático de población, mediante el bloqueo de las aloinfecciones (con un sistema de salvaguarda).

El subsistema horizontal no involucra una relación gene a gene, y su función primaria es el control del parasitismo y la cantidad de perjuicio al nivel sistemático de individuo hospedante, mediante

el control de las consecuencias de las aloinfecciones acoplantes. Así, el subsistema vertical es la primera línea de defensa; mientras que el horizontal es la segunda. Un aspecto especial que permite el reconocimiento de niveles en un sistema, es la propiedad de originar *emergentes*. Esta propiedad sólo es posible a cierto nivel del sistema, siendo imposible a cualquier nivel inferior. Por ejemplo, el sistema de salvaguarda de la relación gene a gene es un emergente, porque brotó al nivel de población y no puede existir a los niveles inferiores de hospedante individual o de parásito individual. Sólo puede funcionar (emerger) si existe una mezcla de muchas y diferentes cerraduras y llaves, lo que nada más puede ocurrir a nivel poblacional. Al nivel de individuo sólo podrá haber una cerradura o una llave. Y al nivel subsistemático de una relación simple gene a gene, solo puede haber un perno o una muesca (esto es, un perno simple en la cerradura, o una muesca simple en la llave).

La gente que trabaja a los niveles más bajos de un sistema, tales como el estudio de una sola planta o de un solo mecanismo de resistencia, puede fallar en la captación de los emergentes que surgen a niveles más altos del sistema, y esa falla resulta en el fenómeno llamado *suboptimización*. Esta palabra significa que se está analizando o manejando un sistema en términos de sólo uno, o unos pocos de sus subsistemas. Esto equivale a "ver el árbol y no ver el bosque", y a "tomar lo particular por lo general". Suboptimización sería analizar o manejar todo un sistema de salvaguarda mediante el uso de una sola combinación cerrajera, y una sola combinación de llave. Es así como se ve más claro que los miembros de la escuela mendeliana están doblemente suboptimizando; primero, cuando intentan controlar el patosistema de cultivo mediante el uso de una sola cerradura bioquímica; y segundo, cuando esa cerradura contiene un solo perno, es decir, un solo gene vertical de resistencia.

Para nuestros propósitos hay dos tipos completamente diferentes de patosistemas vegetales; éstos son los patosistemas (en las plantas) silvestres y los patosistemas (de los vegetales) cultivados; las diferencias entre esos dos tipos de patosistemas serán la base de esta discusión. Se mencionó al principio de este libro que no tenemos necesidad de asperjar las plantas silvestres con plaguicidas agrícolas y aun así el mundo es verde todavía; que asperjamos la mayoría de nuestros cultivos con plaguicidas a un costo de miles de millones de dólares cada año, y a pesar de ello las plagas agrícolas causan pérdidas que podrían alimentar a mil millones de personas.

El patosistema vegetal silvestre es un sistema adaptativo, autoorganizable y complejo en el cual el ser humano "aun no" ha intervenido. La selección natural se ha asegurado de que actúe como un sistema balanceado, estable y dinámico, que ha sobrevivido millones de años de competencia evolutiva y ecológica. El patosistema silvestre también es muy flexible; tiene variabilidad genética y sus poblaciones responden a las presiones de selección. El efecto final es que sus parásitos no limitan la habilidad de estos hospedantes para competir y sobrevivir.

Como hemos visto cualquier parásito que amenaza la supervivencia evolutiva de su hospedero también amenaza su propia supervivencia; si el hospedante se extingue el parásito se extinguirá con él. Por tanto, si los parásitos no amenazan la supervivencia de sus hospedantes silvestres, podemos concluir con certeza absoluta que todo patosistema silvestre que ha sobrevivido hasta el presente es un sistema dinámicamente estable, en el cual ni la supervivencia evolutiva del hospedante, ni su habilidad para competir dentro del ecosistema silvestre, es amenazada por sus parásitos.

Los patosistemas cultivados son muy diferentes, y todas las diferencias se deben a las actividades humanas. En primer lugar la población hospedante ha sido cambiada en diferentes aspectos. La especie en sí misma ha cambiado genéticamente durante el proceso de selección y domesticación artificial. Las plantas así domesticadas han sido adicionalmente cambiadas por el fitomejorador moderno y, como hemos visto, ahora se cultivan en grandes áreas de poblaciones genéticamente uniformes bajo la forma de líneas puras, variedades híbridas y clones. Además, estas poblaciones uniformes tienen densidades poblacionales usualmente mucho más grandes que las de la mayoría de los patosistemas silvestres. Tanto la uniformidad genética como la densidad poblacional alta ayudan considerablemente al parásito.

En segundo lugar, el ambiente ha sido cambiado. La tierra que alguna vez pudo haber estado cubierta con bosques mixtos ha sido arrasada, drenada, arada, sembrada, deshiebada, abonada, tratada con plaguicidas y tal vez irrigada. En tercero, la población de parásitos ha estado sujeta a presiones de selección tan extrañas que nunca hubieran ocurrido en un patosistema silvestre. Debido al uso de plaguicidas los parásitos han sido también liberados de las presiones de muchos de sus enemigos naturales (Capítulo 14), y como resultado sus explosiones poblacionales pueden ser mucho más grandes.

Uno de los efectos de toda esta artificialidad es que la diversidad genética, la flexibilidad genética y la discontinuidad de los patosistemas silvestres han sido reemplazados con uniformidad, inflexibilidad y, debido a los modernos monocultivos, con una gran cantidad de continuidad epidemiológica. Como consecuencia directa el patosistema de cultivos ahora es un sistema inestable y desbalanceado. Sin el uso de plaguicidas químicos algunos de nuestros cultivos ni siquiera se podrían desarrollar, y muchos otros sufrirían reducciones intolerables en el rendimiento y la calidad del producto cosechado.

El lado positivo de este cuadro, hasta cierto punto desalentador, es que nuestra población humana, grandemente expandida, aun pueda alimentarse a sí misma. Algunos ambientalistas románticamente hablan de un retorno a la naturaleza, y deploran la artificialidad de la agricultura moderna; pero debemos ser realistas y entender que la agricultura moderna sostiene una población humana cuya densidad es cientos, quizá miles de veces mayor que la densidad de nuestros ancestros primates que habitaron el mundo antes que la cacería y las herramientas humanas emergieran. Si aboliéramos la agricultura, de tal suerte que sólo los cazadores y recolectores pudiesen sobrevivir, la mayor parte de la población mundial de estos días moriría por inanición. Incluso un regreso a la agricultura preindustrial del siglo pasado, con su cosecha manual, sus arados de tiro animal y sus carretas, eliminaría más de tres cuartas partes de la población humana actual. Por tanto, aunque mucho deploramos la artificialidad de la agricultura, debemos valorar que la única alternativa (al presente) sería una mortalidad humana realmente masiva (hay una tercera posibilidad, a varias décadas en el futuro, que será discutida en el último capítulo de este libro). Como sea, el propósito fundamental de esta digresión es enfatizar que los patosistemas en los cultivos son muy diferentes de los patosistemas (de vegetales) silvestres.

Ahora podemos examinar en su totalidad el diagrama de los diez pares de contrastes biológicos (página 48 ). El patosistema silvestre queda claramente en el lado izquierdo del diagrama con su flexibilidad y diversidad genética y, frecuentemente, su discontinuidad. Es en este lado del diagrama donde también hallamos al subsistema vertical funcionando eficientemente como un sistema de salvaguarda que controla la aloinfección. A su debido tiempo, esto produce muchas interacciones no acoplantes y resulta en frecuencias bajas de parasitismo, pero también en tasas relativamente altas de perjuicio. En la práctica, éste es el lado del diagrama que fue escogido por los miembros de la escuela mendeliana, con sus herencias monogénicas y su mejoramiento por pedigrí.

El patosistema cultivado queda en el lado derecho, con su uniformidad e inflexibilidad genéticas, y su tendencia a la continuidad epidemiológica. Ahí también queda el subsistema horizontal, controlando las autoinfecciones y las interacciones acoplantes, y resultando en altas frecuencias de parasitismo pero en tasas bajas de perjuicio. Este es el lado del diagrama que en la práctica eligieron los biometristas, con sus herencias poligenéticas y su fitomejoramiento poblacional.

Las conclusiones parecen ineludibles. El vertical es el subsistema erróneo para el patosistema cultivado. Desde 1905 los científicos agrícolas pudieron elegir entre esos dos subsistemas; pero debido a una concatenación de circunstancias (incluyendo una tonta disputa científica y el clamor vociferante de los miembros de la escuela mendeliana que contaban con resistencias monogénicas, pero nada más de importancia económica), el fitomejoramiento fue llevado a un callejón sin salida. Y aun está atascado en él, aparentemente incapaz de retroceder.

De hecho todavía existe la opción de hacerlo, ya que podemos investigar el subsistema horizontal y utilizar la resistencia horizontal en cualquier momento, si estas investigaciones son satisfactorias. Esta es la mejor esperanza que poseemos, y aparentemente la única que tenemos para reducir, incluso

eliminar, tanto las pérdidas causadas por parásitos como el uso de agroquímicos protectores de nuestras cosechas.

## 11. Las Desventajas de la Resistencia Vertical

En este punto, tal vez sería útil sumarizar las desventajas de la resistencia vertical y al mismo reconocer que posee dos ventajas muy considerables.

### 11.1. Dos Ventajas de la Resistencia Vertical

Se mencionó anteriormente que la belleza y elegancia de las técnicas mendelianas de transferencia genética cautivó la imaginación de los fitomejoradores en todo el mundo. Esta es la mayor atracción de la resistencia vertical. Es muy elegante en lo científico y muy fácil de captar y manipular en un programa de fitomejoramiento. Además, la resistencia vertical cuenta con la ventaja práctica muy considerable de que normalmente confiere una protección completa contra los parásitos problema; y confiere una inmunidad visible. En oposición a estas dos ventajas, sin embargo, la resistencia vertical tiene varias y muy serias desventajas.

### 11.2. Resistencia Temporal

Primero, como ahora resulta muy obvio, la resistencia vertical es temporal cuando se construye sobre la base de una uniformidad de la población hospedante. Así, cada que aparece una raza acoplante del parásito falla la resistencia. Y como se aplicó en todos los casos en que fue detectada, esta desventaja ha obstaculizado gran parte de la fitogenética agrícola, durante la mayoría del siglo XX.

### 11.3. Esenciabilidad de las Fuentes Genéticas de Resistencia

La segunda desventaja de la resistencia vertical ya fue mencionada; es la necesidad y de hecho imprescindibilidad de comenzar con el hallazgo de una buena fuente genética de resistencia. Si esa fuente no es encontrada el fitomejoramiento ni siquiera se puede iniciar. Hay algunos parásitos vegetales famosos, tales como la catarinita de la papa: catarinita de la (*Leptinotarsa decemlineata*) y la enfermedad del trigo conocida como el *toma-todo* (*Gaumannomyces graminis*), para las cuales jamás se han encontrado fuentes de resistencia vertical, por lo que su fitomejoramiento por resistencia mendeliana nunca ha sido intentado; y cuando se concluye que el fitomejoramiento para resistencia no es posible, se deben encontrar métodos alternativos de control. Usualmente el control alternativo “único” involucra a los plaguicidas químicos, y esta es otra razón por la cual tales sustancias se utilizan en cantidades tan espantosas.

Un efecto colateral de la “necesidad” de una fuente genética de resistencia, proviene de la diferencia natural entre plagas y enfermedades. Como sabemos, la relación gene a gene ocurre mucho más frecuentemente entre las enfermedades vegetales que entre los insectos que parasitan nuestras cosechas. Hay razones bioquímicas valederas que explican esta diferencia, la cual está relacionada con la reproducción asexual de un parásito que sea estratega-r. La reproducción asexual conlleva explosiones poblacionales mucho más rápidas, además de ser mucho más común entre los fitopatógenos que entre los insectos plaga. Y, como hemos visto (Capítulo 6), el valor evolutivo de supervivencia de una relación gene por gene radica en el control de la explosión poblacional del parásito.

Lo importante aquí es que los miembros de la escuela mendeliana no pudieron encontrar frecuentemente una fuente de resistencia a los insectos plaga. Como consecuencia directa hubo mucho menos mejoramiento de cultivos contra insectos que el que ha habido contra fitopatógenos. Esta es otra indicación de cómo los mendelianos han dominado y distorsionado el fitomejoramiento durante este siglo.

La necesidad de una buena fuente de resistencia genética tiene otro efecto colateral más perturbante. Como hemos visto (Capítulo 6) la relación gene por gene y la consecuente resistencia vertical no pueden evolucionar en un patosistema continuo. Debido a los inviernos la mayor parte de los cultivos templados fueron derivados de patosistemas silvestres discontinuos y, por ende, muchos tienen subsistemas de resistencia vertical. Por otro lado, muchos cultivos tropicales derivaron de patosistemas silvestres continuos, y por ello carecen de resistencias verticales. Consecuentemente, como no se pudieron encontrar fuentes genéticas de resistencia, los programas de fitomejoramiento ni siquiera fueron iniciados principalmente en los países más pobres, menos industrializados y más tropicales.

#### **11.4. La Paradoja de la "Reina Roja"**

La tercera desventaja de la resistencia vertical podría ser llamada la "paradoja de la Reina Roja", así nominada en honor de "Alicia a través del espejo" de Lewis Carrol. Se recordará que la Reina Roja le dijo a Alicia "Ahora, como ves, debes correr todo lo que puedas para mantenerte en el mismo lugar". Cuando un fitomejorador está bajo la presión constante de producir nuevos cultivares a fin de ser capaz de reemplazar aquellos cuya resistencia vertical ha fallado, es difícil que avance en otra dirección. Recuérdese que la resistencia a los parásitos agrícolas sólo es uno de los cuatro objetivos primarios del fitomejoramiento. Los otros son el rendimiento, la calidad y la adaptabilidad agronómica.

Podemos disculpar al fitomejorador que concluya que esos tres objetivos son colectivamente más importantes que la resistencia a los parásitos. También al que llega a concluir que el control de plagas agrícolas y enfermedades sólo es responsabilidad de los entomólogos y los fitopatólogos, y que es su obligación asegurarse que estos molestos parásitos no dañen el magnífico rendimiento, la calidad suprema, y la excelencia agronómica de sus nuevos cultivares. Tal fitomejorador puede abandonar el mejoramiento por resistencia y dejar el problema en el regazo de sus colegas entomólogos y fitopatólogos, quienes desgraciadamente casi la única arma disponible que tienen son los agroquímicos plaguicidas. Así se explicaría la paradoja de la "Reina Roja" y el abandono consecuente de la resistencia como objetivo de fitomejoramiento; esas son tal vez las razones principales del porqué ahora usamos los agroquímicos en tan grandes cantidades.

#### **11.5. El Efecto Vertifolia**

Hay una insidiosa cuarta desventaja (del fitomejoramiento por resistencia vertical), que es peligrosa por la simple razón de que ha sido muy menospreciada. Se trata de la declinación lenta pero inexorable del nivel de resistencia horizontal. Este efecto fue observado la primera vez por Vanderplank, y lo llamó "Efecto Vertifolia" en honor de una variedad de papa que lleva ese nombre. Irónicamente esta variedad de papa es llamada "hojas verdes" debido a su resistencia vertical al tizón (*Phytophthora infestans*). Pero sólo hasta que fue rota esta resistencia vertical se descubrió que la papa "Vertifolia" era completa e inusualmente susceptible al tizón, debido a que tenía un nivel de resistencia horizontal notablemente bajo.

La resistencia horizontal sólo puede ser vista y medida en términos de niveles de parasitismo. Si no hay parasitismo durante el proceso de fitomejoramiento debido al funcionamiento de la resistencia vertical, o por que el mejorador está protegiendo su población de selección con insecticidas y fungicidas,



el nivel de parasitismo y el nivel de resistencia horizontal no pueden ser observados. Los individuos con alto nivel de resistencia horizontal son relativamente raros en una población genéticamente mezclada que esté en manos del mejorador. Eso significa que los pocos individuos con sólo bajos o moderados niveles de resistencia horizontal son más probablemente seleccionados en base a otros de sus atributos. En el curso de muchas generaciones de mejoramiento el nivel de resistencia horizontal en la población a mejorarse declina como un todo, hasta que llega a alcanzar niveles peligrosamente bajos. Esto explica porqué el rompimiento de la resistencia vertical es tan dañino en la mayor parte de los cultivares modernos. Su segunda línea de defensa, la resistencia horizontal, está muy menguada.

Esta pérdida oculta de resistencia horizontal también explica porqué muchos cultivares modernos requieren tan grandes cantidades de plaguicidas químicos si es que a fin de cuentas pueden ser cultivados. No pocos fitomejoradores, quienes abandonaron el fitomejoramiento por resistencia hace años, estuvieron protegiendo sus poblaciones de selección con agroquímicos debido a que eso facilita mucho el trabajo de fitomejoramiento (Capítulo 18). Por desgracia eso incluye un ocultamiento en la declinación del nivel de resistencia horizontal, produciendo una progresión de cultivos en constante aumento de susceptibilidad a un rango de parásitos en expansión, que requieren una protección con plaguicidas, también en necesidades escalantes. Hemos estado perdiendo resistencia horizontal real a los parásitos de las cosechas la mayor parte del siglo, y la mayoría de los cultivares modernos tienen menos resistencia que los cultivares de 1900.

(Para evitar posibles confusiones debe mencionarse que el fitomejoramiento por pedigrí también puede aumentar el nivel de algunas variables cuantitativas tales como el rendimiento, aunque no necesariamente éste es el mejor método para lograrlo. A eso se debe que el fitomejoramiento moderno ha tenido éxito en los objetivos de mejorar el rendimiento, la calidad, y la adaptabilidad de las cosechas. Esos caracteres, siendo visibles, pudieron ser seleccionados aun cuando eran cuantitativamente variables. La resistencia vertical se usó por que era muy adaptable al proceso de retrocruza, aun cuando posteriormente demostró ser efímera. La resistencia horizontal es valiosa, pero no se utilizó debido a que sus efectos eran invisibles al estar enmascarados sea por la resistencia vertical, o por los agroquímicos plaguicidas; y en las pocas ocasiones en que sus efectos fueron visibles, también eran opacados y a veces completamente oscurecidos por interferencia del parásito (Capítulo 14).

### **11.6. Problemas de la Resistencia Global**

Hay otra desventaja en el fitomejoramiento para resistencia vertical. La mayor parte de los cultivos tienen docenas de plagas y de enfermedades. Por desgracia en la realidad no es factible fitomejorar por resistencia vertical contra más de una especie de fitoparásito al mismo tiempo. La idea básica del mejoramiento por pedigrí es producir un primer cultivar con resistencia vertical contra una especie parásita, un segundo cultivar con la misma resistencia contra el segundo parásito, y así sucesivamente. Esto culmina en una serie de cultivares, cada uno de ellos con resistencia vertical a especies diferentes de parásitos. Usando métodos de transferencia genética estas resistencias verticales son después combinadas en un solo cultivar, "un supercultivar" resistente a todo. Al menos esa es la idea. Y es una idea bonita; por desgracia es casi imposible llevarla a la práctica. El puro volumen de trabajo de fitomejoramiento es tan exorbitante que una o más resistencias verticales podrán ser acopladas antes de completar el fitomejoramiento total. Es más, tal supercultivar es como una cadena, en el sentido de que será tan fuerte como el más débil de sus eslabones. Y como la cadena, el supercultivar se irá a la ruina cuando falle solo uno de los eslabones débiles; será una resistencia vertical de vida corta.

### **11.7. Pérdida de Diversidad Genética**

La resistencia vertical normalmente confiere protección completa contra un parásito, y esta protección funciona en un amplio rango climático. Eso significa que la resistencia vertical es relativamente insensible al clima, y por lo tanto un cultivar específico se puede llevar a una área muy grande; éste fue un aspecto esencial de los primeros cultivos de la revolución verde. Tal grado de uniformidad del cultivo tiene ciertas ventajas económicas pero también desventajas. Primera, una gran área con un solo cultivar es muy vulnerable a una nueva raza acoplante del parásito; segunda, el amplio uso de un solo cultivar conlleva una pérdida de diversidad genética. Esto amenaza con la destrucción de las buenas fuentes de resistencia no exploradas; pero nuestra preocupación por la resistencia vertical es la razón principal de la actual alarma respecto a la conservación de la variabilidad genética: variabilidad (Capítulos 19 y 20).

### **11.8. Problemas Ocasionados por el Hombre**

Es difícil evadir la conclusión de que la mayoría de nuestros problemas de parásitos de las cosechas son ocasionados por el hombre. Y que la mayor parte de esos problemas deriva directa o indirectamente de nuestro mal uso de la resistencia vertical, y nuestro olvido de la resistencia horizontal.

El corolario feliz de esta triste situación es que todos estos problemas de origen humano pueden corregirse. Y el lector perceptivo pudo haber notado que la Tercera Parte de este libro se refiere a "Soluciones".

## 12. Comparación de la Resistencia Horizontal

La resistencia horizontal no tiene esas desventajas. Indudablemente tiene algunas que describiré en un momento, pero sus ventajas son impresionantes en general,

### 12.1. Es una Resistencia Permanente

La primera y más obvia de las ventajas de la resistencia horizontal es que se trata de una resistencia durable. No puede ser acoplada porque siempre lo *está*. Funciona contra las razas del parásito que ya acoplaron la resistencia vertical del hospedante, y que ya iniciaron el proceso de parasitismo; en consecuencia la resistencia horizontal no puede ser rota como sucede con la vertical. La resistencia horizontal ocurre en todas las plantas independientemente de los genes de resistencia vertical que puedan contener, y funciona contra todas las razas del parásito, independientemente también de los genes de parasitismo vertical que puedan contener. Para todo fin práctico es una resistencia *permanente*.

### 12.2. Es una Resistencia Completa

La segunda es que la resistencia horizontal posee variabilidad cuantitativa con todos los grados de diferencia entre un mínimo y un máximo; lo que significa que estos niveles de resistencia pueden cambiar. Un nivel no adecuado de resistencia horizontal puede ser aumentado con más fitomejoramiento y, por lo menos en teoría, puede aumentarse hasta que el parásito problema está completamente controlado. En la práctica esto puede demandar un nivel de resistencia horizontal que se acerque o sobrepase el máximo; desgraciadamente nadie conoce cuales son realmente los niveles máximos de ella en los cultivos; y eso es una medida del olvido en que ha permanecido durante este siglo: ni siquiera se han determinado sus niveles máximos contra una sola especie parásita en ninguna especie de planta cultivada. Los oponentes de ella están más que listos para clamar que esos niveles máximos serán inadecuados, pero sólo están conjeturando porque nadie lo sabe con seguridad.

Sin embargo alguna evidencia está disponible. La diferencias entre el casi-mínimo y el casi-máximo niveles de resistencia puede ser enorme; eso se ha demostrado, por ejemplo, para el tizón de la papa (Capítulo 18), la roya tropical del maíz (Capítulo 20), la roya del cafeto (Capítulo 21), la enfermedad de la cereza del cafeto (Capítulo 21), la *Phylloxera* de la vid (Capítulo 23) y varias enfermedades de la caña de azúcar, como el carbón, la roya, y el mosaico viroso (Capítulo 22). En todos esos parásitos los bajos niveles de resistencia horizontal conducen a pérdidas totales de la cosecha, mientras que los muy altos proveen un control bastante completo del parásito.

Es de esperarse ese rango de diferencias porque en las plantas silvestres la capacidad epidemiológica de los parásitos varía en forma similar. En clima favorable los parásitos tendrán la máxima capacidad epidemiológica y, por lo mismo, sus ecotipos vegetales silvestres también acumularán los máximos niveles de resistencia horizontal. De manera contraria, en clima desfavorable donde el parásito apenas pueda sobrevivir, o en ausencia física de ellos será mínima la necesidad de la resistencia horizontal en el hospedero. Bajo esas circunstancias los ecotipos hospederos perderán la mayor parte de ella y devendrán muy susceptibles si es que son llevados a un área donde el parásito posee gran capacidad epidemiológica.

Por lo anterior, parece ser que los fitomejoradores pueden disponer de un rango amplio de resistencia horizontal. De acuerdo con esto la selección artificial de altos niveles de resistencia horizontal debe, en rigor, proveer un control total de muchos parásitos, en muchos cultivos y en muchas áreas y, en consecuencia, es probable obtener con ella una protección permanente y *completa*.

### **12.3. La Resistencia Horizontal no Exige una Buena Fuente de Resistencia Genética**

Una ventaja adicional del tener variabilidad cuantitativa es que para fitomejorar por resistencia horizontal a un cultivo no es imprescindible comenzar con una buena fuente genética de resistencia. Con la resistencia horizontal podemos fitomejorar contra todas las especies de fitoparásitos que jamás fueron investigados por los miembros de la escuela mendeliana, especialmente insectos, simplemente porque no se pudo hallar una buena fuente de resistencia monogénica contra ellos. Esta liberación de la limitante práctica de tener que encontrar antes dicha fuente, debe ser explicada.

Supongamos una población vegetal hipotética donde cada individuo sólo posee diez por ciento de alelos aportadores de resistencia horizontal, resultando por ello en que cada individuo es muy susceptible. Pero supongamos también que esa población es genéticamente heterogénea; entonces cada individuo tendrá un diez por ciento *diferente* de alelos de resistencia. Lo anterior significa que *todas* los alelos para resistencia horizontal estarán presentes en la población, pero distribuidos de manera tan tenue que cada individuo será susceptible.

Como se vio antes, el mejoramiento genético para resistencia horizontal por selección masal recurrente requiere de cambios en las frecuencias génicas . Durante cada generación vegetal expuesta a las presiones de selección adecuadas el porcentaje de alelos de resistencia aumenta por segregación transgresiva (Capítulo 20), dándose un proceso de concentración que puede continuar hasta que se aproxima al cien por ciento, que es un nivel muy alto de resistencia. Esta concentración podría compararse, aunque en forma burda, con la concentración que ocurre cuando el vino se destila para hacer brandy.

Se desprende de ahí que para fitomejorar por resistencia horizontal es necesaria una amplia base genética (e.g. una población parental genéticamente diversa), que asegure la presencia de todos los alelos. Fuera de esto todas las plantas de esa población parental pueden ser susceptibles. Si después se evidenciara que la base genética inicial era muy estrecha y que no pudo aportar el nivel requerido de resistencia horizontal, se puede añadir material genético nuevo para ampliarla.

### **12.4. La Resistencia Horizontal es Global (comprehensiva o incluyente )**

Hay otra ventaja para la resistencia horizontal. Pocos saben que la selección masal recurrente permite la selección *simultánea* de muchas variables diferentes; eso significa que el fitomejorador puede ejercer presiones de selección múltiples para todos sus objetivos de mejoramiento. En la práctica el genetista sólo requiere de seleccionar su población vegetal para cuatro objetivos: altos rendimientos, alta calidad del producto cosechado, buena adaptabilidad agronómica y buena fitosanidad en presencia de todos los parásitos localmente importantes. En la terminología de sistemas esto es trabajar al más alto nivel, con el llamado *enfoque holístico*.

Durante cada generación de selección el criterio de buena fitosanidad simplemente significa hallar los individuos menos parasitados, tomando en cuenta a todos los parásitos locales importantes; y esto es muy fácil de medir prácticamente porque las plantas más verdes, o aquellas de mayor rendimiento, son las menos parasitadas; las más parasitadas no pueden ser ni más verdes ni más rendidoras. Así, durante cada generación de selección se escogen como padres de la siguiente a las mejores plantas,

independientemente de lo mal que se vean, puesto que en cada generación las mejores serán superiores a las de generaciones anteriores, lográndose un avance firme en todas las variables incluidas.

Esto quiere decir que, además de ser persistente y completa, la resistencia horizontal puede ser *global*, en el sentido de que funciona contra todos los parásitos localmente importantes, por lo que resulta redundante expresar que si un cultivar tiene resistencia permanente, completa, y global, no necesitará de plaguicidas químicos para protegerlo de sus parásitos. Y si esto fuese cierto para todas las variedades de todos los cultivos, el uso de plaguicidas cesaría (se recalca que los herbicidas no están incluidos en esta discusión).

Para apreciar mejor el potencial de la resistencia horizontal es necesario recordar la paradoja de la "Reina Roja", aplicable a la resistencia vertical en cuanto a que se debe correr en forma permanente para permanecer en el mismo sitio, lo que eventualmente lleva al abandono del fitomejoramiento para resistencia. El mejoramiento para resistencia horizontal resulta lo contrario porque es acumulativo y progresivo; idealmente el mejor cultivar así obtenido será superior en todo, incluyendo el rendimiento, la calidad, la adaptabilidad y la fitosanidad. Y este avance puede continuar, sin duda con pequeños retrocesos, hasta que se alcanza una meseta, más allá de la cual no es posible avanzar.

Tal meseta representa la productividad práctica máxima de una agricultura sin plaguicidas y un nivel *no menos* de veinte por ciento por encima de la productividad actual; veinte por ciento, porque esa es la tasa habitual de pérdidas por fitoparásitos. Y podría lograrse un nivel mayor de productividad, de no ser por las limitaciones impuestas a la genética vegetal, como un todo, por los métodos mendelianos de fitomejoramiento. Nadie sugeriría seriamente que los mendelianos llevaron a la agricultura a los límites de su productividad, aun con el uso de plaguicidas químicos; pero si utilizáramos la resistencia horizontal esos límites estarían claramente a la vista.

Entonces, ¿qué tan realista es la posibilidad de alcanzar esas metas límite de productividad?, de hecho y de seguro nadie las conoce; además, las opiniones científicas al respecto varían mucho. Como mínimo, es razonable sugerir que este asunto amerita una investigación, ya que de resultar ciertas las prospecciones se resolverían muchos problemas. Pero si resultaran sólo parcialmente ciertas valdría la pena perseguirlas; incluso de ser comprobadas como completamente falsas todavía estaría justificado investigarlas. Por lo pronto los lectores de este libro pueden formarse una opinión propia a partir de los ejemplos de resistencia horizontal expuestos en la Segunda Parte; pero antes debemos considerar algunas de sus desventajas.

### **12.5. Desventajas de la Resistencia Horizontal**

Las variables cuantitativas como la resistencia horizontal requieren de los métodos de fitomejoramiento completamente diferentes de los biometristas. Muchos fitogenetistas son leales al método mendeliano y están renuentes a cambiarse hacia técnicas alternativas. Es más, hay muchos programas de fitomejoramiento por pedigrí que representan décadas de trabajo paciente y arduo. Esos programas no podrían ser cambiados por los de mejoramiento para resistencia horizontal, y además nadie quiere abandonarlos, al menos todavía. Tendría que haber algunas demostraciones muy convincentes de la factibilidad y valor de la resistencia horizontal antes de que cualquiera considerara seriamente el abandono de esos programas tan antiguos y tan bien establecidos; y estas demostraciones toman su tiempo. Los programas de fitomejoramiento para resistencia horizontal requerirán, por lo tanto, sus propios y completamente nuevos proyectos de investigación.

Otra desventaja de la resistencia horizontal es que la transferencia de genes es imposible dentro de ella. Simplemente no es posible transferir un buen nivel de resistencia horizontal desde una planta resistente hacia un cultivar susceptible. Este tipo de hibridación normalmente conduciría a reducir a la mitad el buen nivel de resistencia original. Y en promedio habría otra bipartición de la resistencia después de cada generación de retrocruza con el cultivar susceptible. Por lo tanto la resistencia horizontal no es tratable por métodos de transferencia génica. Por esta razón cuando se mejoran

plantas es necesario seleccionarlas, simultáneamente, para todas las variables que se desea. Esto explica porqué los programas existentes de fitomejoramiento por resistencia vertical no pueden ser convertidos a fitomejoramiento para resistencia horizontal.

Otro problema de la variabilidad cuantitativa es que tiene un límite máximo. Y existe un temor genuino de que los niveles máximos de resistencia horizontal obtenibles puedan resultar insuficientes para conferir un control completo contra todos los parásitos de un cultivo. Esto sólo se puede saber mediante la experimentación práctica, y esos experimentos aun no se llevan a cabo: en verdad ya es tiempo de haberlos iniciado; mientras tanto todo lo que podemos decir, con total confianza, es que incluso incrementos menores en los niveles actuales de resistencia horizontal podrían representar un avance que nos conduciría a reducir el uso de plaguicidas químicos.

Incluso pequeños aumentos en el nivel de resistencia horizontal podrían hacer más efectivos, fáciles, baratos y seguros, todos los aspectos del manejo integrado de plagas. Esto sucedería porque los agroquímicos necesitarían ser aplicados con menos frecuencia, a menor concentración y con productos menos peligrosos; pero para llegar a cualquier otra conclusión debemos esperar y observar. Mientras tanto cualquier oponente de la resistencia horizontal que clame que esos experimentos no valen la pena, sólo estará elucubrando. Debemos recordar que, en la ciencia, la hostilidad hacia lo nuevo siempre debe de ser tomada con sospecha.

Una desventaja adicional de la resistencia horizontal es que el tiempo meteorológico es muy variable, y que una estación ocasionalmente excepcional puede favorecer al parásito contra ciertos niveles de resistencia, los que de otra manera serían adecuados. Sin embargo actualmente podemos conjugar los datos meteorológicos lo suficientemente bien como para dar a los productores alarmas oportunas respecto a una epidemia inesperada, de tal suerte que puedan utilizar los protectores químicos. Dado un nivel adecuado de resistencia horizontal, lo anterior no debe suceder más de una o dos veces cada siglo. Si esto sucediera con mayor frecuencia el nivel de resistencia horizontal probablemente tendría que ser aumentado con mayor fitomejoramiento.

Ya se mencionó otra desventaja menor. La función primaria de la resistencia horizontal en un patosistema con resistencia horizontal silvestre es la reducción del *perjuicio* del parasitismo, más que la reducción de su *frecuencia*. Esto significa que los cultivares con altos niveles de resistencia horizontal son propensos a tener daños mínimos, pero también lo son a mostrar altas frecuencias de parasitismo. En otras palabras, todas las plantas serán parasitadas pero sólo a niveles insignificantes. Muchos consumidores se han acostumbrado a consumir frutas y legumbres enteramente libres de las marcas causadas por plagas o enfermedades; eso es parte de la "mentalidad plaguicida". Quizá deberíamos propiciar que el público, a la larga, relacione la presencia de unas cuantas marcas como evidencia de que un cultivo está libre de plaguicidas. También debemos recordar que algunos parásitos, pocos, son necesarios para mantener a los agentes de control natural. Este tópico se discutirá en el próximo capítulo.

Otra desventaja de la resistencia horizontal es su "sensibilidad al lugar". Veamos que pasa en dos lugares que en el fondo son dos agroecosistemas diferentes. Un cultivar podría estar en balance perfecto en el primero de esos sitios; esto es, podría tener la cantidad adecuada de resistencia para controlar todas las especies parásitas del lugar, quizá en noventa y siete estaciones de cada cien. El segundo lugar, sin embargo, pudiendo ser climáticamente diferente cambiaría la capacidad epidemiológica de los parásitos. Así, las diferencias en temperatura, precipitación pluvial u otros factores, pueden aumentar o disminuir la explosión poblacional de un parásito; consecuentemente el cultivar que es perfecto en un sitio puede estar desadaptado en otro, al tener mucha resistencia contra algunos parásitos y muy poca contra otros.

En la práctica esto significa que debe haber un programa diferente de mejoramiento para cada diferente lugar. A esto se le llama *selección local*. Sin embargo la necesidad de múltiples programas de mejoramiento no es gran limitante porque la mayor parte de los "sitios epidemiológicos" son grandes.

La mayor parte de un país del tamaño de Inglaterra, por ejemplo, normalmente sería un solo sitio, o cuando mucho dos o tres, para la mayor parte de las variedades de un cultivo.

Algunos ambientalistas podrían incluso considerar esta sensibilidad local como una ventaja, porque ayuda a mantener la diversidad genética: diversidad de nuestras cosechas. El uso de las resistencias verticales que operan en un rango climático mucho mayor puede conducir a una pérdida de diversidad genética y, como hemos visto (Capítulo 7), esta es una de las causas principales de la preocupación actual respecto a la conservación genética.

Otra desventaja de las variables cuantitativas es que se pueden diluir de la misma forma en que se pueden acumular; la resistencia horizontal no es la excepción. La pérdida de resistencia horizontal es llamada erosión de la resistencia y se discutirá más a fondo en un momento. Por fortuna las diversas técnicas ya descritas para preservar los buenos rasgos agrícolas de los cultivos autógamos o alógamos propagados por semilla, así como los propagados vegetativamente, normalmente evitan la erosión de la resistencia horizontal.

Finalmente, muchos de los oponentes de la resistencia horizontal arguyen que existe un conflicto fundamental entre este tipo de resistencia y los componentes de rendimiento, calidad, y adaptabilidad agronómica. Aceptan que los niveles de resistencia horizontal podrían de hecho ser aumentados, pero claman que esto sólo puede ser obtenido a expensas de otros rasgos valiosos. Esta conclusión se basa en la observación general de que las plantas silvestres tienen resistencias altas pero muy bajos rendimientos y calidad, mientras que las plantas cultivadas los tienen altos, aunque sus resistencias sean bajas. Sin embargo tal conclusión no necesariamente es cuerda, por que esta situación de los cultivos pudo haberse originado, y muy probablemente se originó, en el uso de los métodos de fitomejoramiento por pedigrí.

Nuestro argumento contrario es que hoy día uno de los mayores limitantes del rendimiento y calidad es el daño causado por fitoparásitos, a *pesar* del uso de plaguicidas químicos. Si pudiéramos reducir o eliminar ese daño mediante el uso de la resistencia horizontal mejoraríamos el rendimiento y la calidad en lugar de disminuirlos. Esto sin tomar en cuenta para nada la reducción, incluso eliminación de los plaguicidas. Entonces, ¿a quién le creemos?. Para esclarecer esta cuestión consideremos sólo el rendimiento, teniendo en mente que los mismos argumentos pueden ser aplicados a otras variables cuantitativas como la calidad y la adaptabilidad.

Tanto la resistencia horizontal como el rendimiento son variables cuantitativas con un mínimo y un máximo. Cierto es que deseamos el máximo para ambos, pero antes de poder alcanzarlos puede haber un punto en el que entren en conflicto. En ese punto la resistencia horizontal podría aumentar sólo a expensas del rendimiento, o el rendimiento a expensas de la resistencia horizontal. Las preguntas obvias son: ¿a qué nivel aparecerá el conflicto?; ¿tiene importancia práctica ese conflicto?.

Ilustraremos el problema con un ejemplo en trigo. El promedio mundial de rendimiento de trigo es 1.4 ton/ha; para las praderas norteamericanas es de 2.2 ton/ha y en Europa Occidental es de 5.0 ton/ha, mientras que el mejor productor en esa región produce 10.0 ton/ha. El máximo experimental (pero no económicamente comercial) es de 15.0 ton/ha, que significa más de 10 veces el promedio mundial. Nadie conoce el rendimiento potencial máximo de trigo, que podría ser de 20.0 ton/ha. En algún lugar entre los rendimientos máximos y mínimos, casi con certeza existe un punto en el cual la resistencia horizontal y el rendimiento se contraponen; ¿donde está ese punto?.

Es obvio que sólo puede ser determinado experimentalmente, y por desgracia los experimentos no se han hecho; mientras tanto solo podemos conjeturar. Mi opinión es que el punto serio de conflicto entre el rendimiento y la resistencia está cerca de los rendimientos comerciales máximos que actualmente se logran en los campos más productivos de Europa Occidental; esto es, alrededor de las 10/ton/ha, o sea aproximadamente a medio camino entre los mínimos y máximos teóricos. Pero en aras de una discusión equitativa, seamos conservadores y dejémoslo a la mitad de este nivel; es decir a 5.0 ton/ha.

A simple vista, esto significaría que el uso universal y exitoso de la resistencia horizontal aumentaría el rendimiento promedio mundial de trigo de 1.4, a 5.0 ton/ha. Esto más que triplicaría la producción mundial de trigo sin aumentar el área de cultivo. Pero el cálculo no es así de simple ni así de color de rosa. Las limitantes del promedio mundial de producción no se deben todas a los parásitos; entre otras limitantes debemos considerar la baja precipitación pluvial, los malos suelos, los fertilizantes inadecuados, las tormentas, la maleza, las malas prácticas agrícolas, y así sucesivamente. Entonces supongamos que solo la mitad del total de limitantes se debe a parásitos. En ese caso, el uso global y universal de resistencia horizontal, combinado con el rendimiento máximo atribuible a ella, incrementaría el rendimiento promedio mundial de trigo de 1.4 a 3.2 ton/ha, que sería un incremento bastante mayor que 125 %.

No está tan mal, incluso siendo un mero cálculo basado en la conjetura limitada. Sin embargo una mejoría de este tipo en todas nuestras cosechas contribuiría mucho en el alivio del problema mundial alimentario, posiblemente al mismo tiempo que la población humana se estabilizara de una vez por todas. También contribuiría en mucho para resolver el problema de la contaminación por plaguicidas. Pero la realidad es que debemos estar seguros, y esto amerita una investigación científica. No podemos darnos el lujo de seguir siendo negligentes.



## 13. Erosión de la Resistencia Horizontal

Debe entenderse con claridad que la resistencia horizontal puede ser *erosionada* de diferentes maneras; pero también que esta pérdida cuantitativa de resistencia horizontal es muy diferente del rompimiento cualitativo de la vertical, y que es importante no confundirlas. A primera vista, el mero pensamiento de una erosión de la resistencia horizontal es inquietante, incluso alarmante. Se supone que la resistencia horizontal es durable y que persiste indefinidamente, o al menos durante el futuro agrícola predecible.

Para las personas que entienden la resistencia horizontal y trabajan con ella la erosión es sólo ocasionalmente importante, y esas ocasiones usualmente pueden ser evitadas o fácilmente controladas. Sin embargo, para la gente que no la entiende, como sucede con los mejoradores por pedigrí que trabajan con resistencia vertical, la mera posibilidad de erosión de la resistencia horizontal a menudo les da una excusa adecuada para denigrarla, y experimentalmente ignorarla.

### 13.1. Erosión en el Hospedante

La erosión de la resistencia horizontal más frecuente es el resultado de cambios génicos en la población del hospedero. Esta clase de erosión es llamada *erosión del hospedante* (en cuanto a resistencia horizontal), y es el fenómeno contrario a la acumulación de resistencia que ocurre cuando existe una presión de selección positiva a su favor.

La erosión en el hospedante puede ocurrir ya sea durante el proceso de fitomejoramiento o durante el de cultivo. Durante el fitomejoramiento se puede perder por ausencia del parásito y, como se verá en capítulos próximos, la ausencia puede ser natural (Capítulo 20), o por funcionamiento de la resistencia vertical (Capítulo 18), o por protección con plaguicidas (Capítulo 18), o por el proceso de mejoramiento de un cultivo cuyos parásitos se acumulan lentamente como sucede con los virus en las papas (Capítulo 18). En pocas palabras, la resistencia horizontal se erosiona cuando no hay presión de selección a su favor durante el proceso de fitomejoramiento. La mayor parte de la susceptibilidad actual en los cultivos modernos es el resultado de la erosión en el hospedero durante el fitomejoramiento.

Una erosión de la resistencia durante el *proceso de cultivo* puede ocurrir sólo cuando el cultivo es genéticamente flexible, como sucedió con los maíces de subsistencia de polinización cruzada en Africa Tropical (Capítulo 20). Esta clase de erosión ocurre cuando el parásito está ausente del agroecosistema en cuestión, como pasó con la roya tropical del maíz, o cuando el parásito tiene una distribución muy limitada y en manchones, como sucede con el virus rayado (africano) del maíz (Capítulo 20). En la práctica, hoy en día hay muy pocos cultivos comerciales que se muestren genéticamente flexibles durante el proceso de cultivo, aunque hay muchos cultivos de subsistencia con flexibilidad genética. En las cosechas comerciales que son genéticamente flexibles durante su cultivo, tales como la alfalfa (*Medicago sativa*), las presiones de selección para resistencia deben mantenerse en forma continua, en siembras que serán utilizadas para la producción de semilla.

La erosión del hospedante también puede ocurrir bajo circunstancias especiales. Como ejemplo se mencionará un parásito norteamericano de las raíces de la vid, llamado *Phylloxera* (Capítulo 20). En la década de 1860, se encontró *Phylloxera* en Francia y la industria vinícola europea se encaró ante la ruina total. El problema fue resuelto injertando las vides europeas muy susceptibles, clásicamente

vinícolas, en portainjertos de vides silvestres americanas con muy altos niveles de resistencia horizontal a ese parásito. Esa resistencia ha durado durante más de un siglo en Europa.

Sin embargo en California existe una situación diferente. Como los portainjertos resistentes reducen de alguna manera el rendimiento de uva, las vides californianas a menudo se injertan en portainjertos híbridos; esos híbridos son mitad silvestres americanos y mitad europeos, y su uso incrementó el rendimiento de las vides. Por desgracia, también son moderadamente susceptibles a *Phylloxera*, y la plaga recientemente se ha convertido en una seria amenaza en algunas viñas californianas en donde se utiliza ese portainjerto. Es importante no interpretar mal una situación como ésta, para no atribuirle a un rompimiento de la resistencia vertical o a una erosión parasitaria (véase a continuación) de la resistencia horizontal.

### 13.2. Erosión en el Parásito)

Ocasionalmente, y como resultado de cambios genéticos en el parásito, puede ocurrir una erosión de la resistencia horizontal. Esto es llamado *erosión parasitaria* de la resistencia horizontal. Se trata de una erosión *ficticia*, pues de hecho no se debe a cambios en la resistencia misma; ya que se debe a aumentos de parasitismo como resultado de un aumento en la habilidad parasitaria.

La mayoría de las especies parásitas tienen estrictamente limitada su habilidad parasitaria y no pueden aumentar más allá de ese límite, al menos durante el futuro agrícola predecible. (Este argumento es la resultante lógica del hecho que todo parásito que ponga en peligro la supervivencia de su hospedante también pondrá en peligro su propia supervivencia). En la práctica una erosión parasitaria de la resistencia horizontal sólo es importante con la categoría especial de parásitos llamados *facultativos*. Estos son parásitos que pueden intercambiar su habilidad para extraer nutrientes de un hospedante vivo, por la de extraerlos de material vegetal muerto. Estas dos habilidades son inversamente proporcionales; es decir, cuando una aumenta la otra disminuye.

Por ejemplo hay un hongo que habita el suelo, llamado *Fusarium oxysporum lycopersici*, que induce una enfermedad llamada marchitez del jitomate. Cuando los jitomates no han sido cultivados en un suelo durante muchos años, predomina la forma no parasítica de ese hongo. Bajo esas circunstancias los jitomates pueden ser cultivados con pérdidas muy bajas atribuibles a la marchitez. Sin embargo si se continúan cultivando en el mismo suelo, ciclo tras ciclo, la habilidad parasitaria del hongo aumenta. Esto causa un incremento en la frecuencia de la enfermedad marchitante, y una pérdida ficticia de la resistencia en los jitomates.

Un parásito que sólo puede obtener nutrientes de un hospedante vivo se llama parásito obligado. No existe un solo ejemplo conocido de erosión parasitaria de la resistencia horizontal que sea significativo, y que ocurra con un parásito obligado.

### 13.3. Erosión Ambiental

En adición a la erosión del hospedante y la parasitaria, es posible la *erosión ambiental* de la resistencia horizontal. Esta también es una erosión ficticia que ocurre cuando se lleva un cultivar desde una área donde el parásito tiene una capacidad epidemiológica baja, a otra donde esa capacidad es considerablemente mayor. Típicamente ésto sucede cuando un cultivar adaptado a clima seco es llevado a un área de clima húmedo. Tal cosa sucedió cuando los cafetos del árido Harrar fueron llevados a las áreas mucho más lluviosas del sudoeste etíope (Capítulo 21). La erosión ambiental es responsable de muchos casos de "susceptibilidad" de clones antiguos cultivados en áreas nuevas (Capítulo 23). Es, además, la razón principal de la práctica de selección local (Capítulo 12).

### **13.4. Erosión Falsa**

Finalmente, se puede dar otra *falsa erosión* de la resistencia horizontal. Esto puede ser el resultado de un trabajo experimental chapucero, o de la toma de datos imprecisos, o de la confusión de etiquetas experimentales, y así sucesivamente. Es evidente que una línea genética que se dictaminó como resistente, en esos casos, de hecho es susceptible. Esto se presentó típicamente en algunos cultivares nuevos de caña de azúcar que no fueron evaluados por resistencia al virus del mosaico de manera adecuada (Capítulo 22), habiéndose tomado por resistentes en forma equivocada. Cuando después fueron severamente atacados por el mosaico en campos de los productores, algunos genetistas concluyeron, en forma por demás errónea, que hubo un rompimiento de la resistencia vertical.

## 14. Tres Fuentes de Error

Existen tres fenómenos llamados: interferencia parasitaria, inmunidad poblacional, y control natural, que globalmente son indicativos de que se requiere *menos* resistencia horizontal, de la que creemos necesaria para alcanzar un control satisfactorio de muchos parásitos de las cosechas.

### 14.1. Interferencia Parasitaria

Se mencionó antes (Capítulo 1) el dicho popular que "hay mentiras, malditas mentiras, y estadísticas". Aunque la estadística es una rama muy respetable de las matemáticas, puede ser mal usada y abusada. En el estudio de los parásitos agrícolas la estadística ha sido mal usada y, como consecuencia, ha causado un nivel de confusión e incertidumbre que aturde a la imaginación. Esto no es culpa de la estadística, es culpa de los científicos que mal-usan estas técnicas matemáticas.

Cuando tuve mi primer trabajo en Africa los experimentos de campo estadísticamente controlados eran lo máximo. Varios "tratamientos", tales como las cantidades y tipos de fertilizante, tenían que ser aplicados en lotes de campo, y eran medidos cuidadosamente, aleatorizados, y repetidos. Y tenían que incluirse "testigos locales" consistentes en lotes no tratados, con propósitos de comparación. Las matemáticas eran muy complicadas y eran la ruina de los científicos agrícolas sin vocación matemática. Esto sucedía en los días anteriores a la computadora, cuando las máquinas calculadoras eran mecánicas, sólo útiles para aritmética simple, y había que operarlas a mano.

Tales matemáticas habían sido desarrolladas durante la década de 1930, principalmente por el matemático británico R.A. Fisher, y el texto más común era un libro de Fisher y Yates. Esta metodología estadística era excelente para investigar variables agronómicas como el espaciamiento entre plantas o los rendimientos de cultivares diferentes, pero era una fuente importante de error cuando se usaba para plagas y enfermedades agrícolas. Este error fue captado primero por J.E. Vanderplank quién lo llamó "error críptico de los experimentos de campo", y ocurre debido a que los parásitos agrícolas son móviles, entre otras causas debido al viento; y así pueden transitar de un lote a otros. A este fenómeno se le conoce ahora como la interferencia entre parcelas, o la interferencia parasitaria.

Esta interferencia puede aumentar fácilmente hasta cien, y en ocasiones hasta mil veces los niveles de parasitismo en los lotes experimentales, debido a que los lotes "testigos" incluidos con propósitos de comparación contienen plantas que son muy susceptibles y muy parasitadas. Por lo tanto sus parásitos se mueven a los lotes vecinos en grandes cantidades.

Tal vez los ejemplos más espectaculares de interferencia parasitaria se dan en las pequeñas parcelas utilizadas por los mejoradores de trigo. Tales parcelas consisten de unas pocas plantas provenientes de semillas de una sola espiga; y de una sola hilera de plantas. Ocasionalmente una de estas hileras, con trigo verticalmente resistente, queda en medio de parcelas o lotes muy susceptibles. Como se sabe, hay esporas de roya que no son capaces de acoplar al trigo resistente; y sólo inducen muy pequeñas pecas de hipersensibilidad como resultado de sus aloinfecciones no acoplantes; pero se dan por *millones*. Puede haber tantas que hasta el trigo resistente luce enfermo, y los mejoradores de trigo nos captan que el fenómeno no debe de ser mal considerado como enfermedad verdadera. Esto indica cuan engañosa puede ser la interferencia parasitaria.

A su vez la interferencia parasitaria es responsable de tres tipos diferentes de error. El primero se relaciona con el uso de protectores químicos. Cuando los lotes experimentales tienen interferencia

parasitaria y son asperjados con plaguicidas, necesitan *más* plaguicidas que si no hubiera habido. En cuanto al uso de plaguicidas, las recomendaciones a los productores con frecuencia están basados en errores experimentales de campo; esos errores se dieron tan comúnmente durante las décadas de 1950 y 1960, que nadie puede estar completamente seguro de lo excesivo que fue el uso de protectores químicos durante ese período. Y en realidad nadie puede estar completamente seguro de lo excesivo de nuestro uso *actual* de esos productos, originado en este tipo de errores durante los ensayos de campo. Esta es la clase de error que los vendedores de agroquímicos no están muy deseosos de corregir.

El segundo error se refiere a la resistencia vertical. Ya se ha mencionado que los parásitos movilizados de un ensayo de campo a otro aloinfectan a los nuevos lotes. Cuando el lote receptor tiene una resistencia vertical funcional que no fue acoplada, la interferencia no tiene efecto alguno, aparte de las manchas de hipersensibilidad ya mencionadas; después de todo la función de la resistencia vertical radica en controlar la aloinfección. Consecuentemente, bajo condiciones de interferencia máxima, la cual ocurre típicamente en los pequeños lotes de selección, la resistencia vertical luce perfecta en el sentido de que no hay parasitismo. Pero esa perfección es ilusoria, porque ni la naturaleza temporal de la resistencia vertical ni un bajo nivel de resistencia horizontal son muy evidentes. Esta ilusión ha estado engañando a los miembros de la escuela mendeliana del fitomejoramiento durante todo el siglo XX.

El tercer error se refiere a la resistencia horizontal. Este tipo de resistencia sólo puede ser visto y medido *después* de que la resistencia vertical fue acoplada; y si el lote acoplado adquiere un nivel de parasitismo quizá cien o mil veces mayor de lo normal por interferencia parasitaria, la resistencia horizontal se verá terrible. Bajo esas circunstancias los fitomejoradores por pedigrí difícilmente pueden ser culpados cuando concluyen que la resistencia horizontal es inútil o inexistente. Por mucho, es más importante el hecho de que el nivel de resistencia horizontal puede ser enteramente adecuado para controlar por completo al parásito, cuando se utiliza en campos libres de interferencia de los productores.

Al examinar los espantosos lotes de los fitomejoradores por pedigrí, nadie puede ser culpado de no poder captar esos parasitismos, amplificados varios cientos de veces gracias a la interferencia. Pero siempre es triste pensar que innumerables cantidades de buenas líneas con niveles perfectamente adecuados de resistencia horizontal, en el pasado han sido innecesariamente desechadas debido a la apariencia vívida, pero completamente falsa de susceptibilidad extrema, inducida por la interferencia parasitaria.

Recopilando, la interferencia parasitaria ha desorientado a los científicos agrícolas de tres maneras; primera porque frecuentemente ha producido falsos resultados en ensayos de aspersión de plaguicidas, y en consecuencia probablemente estamos usando protectores más de lo estrictamente necesario. Segunda porque la interferencia entre parcelas ha idealizado a la resistencia vertical bastante más allá de sus méritos. Finalmente, porque la interferencia entre parcelas ha ocultado el valor de la resistencia horizontal a tal extremo que, por años, muchos científicos agrícolas jamás concibieron que esta clase de resistencia siquiera existiera.

## **14.2. Inmunidad Poblacional**

Inmunidad poblacional: inmunidad es un término inventado por J.E. Vanderplank para describir el hecho de que una población vegetal puede ser efectivamente inmune a un parásito, aunque los individuos de esa población sean menos que inmunes. A primera vista esto parecería ser un notorio disparate, pero en los hechos realmente sucede y es muy importante. Este efecto también sugiere que cuando se hace fitomejoramiento por resistencia horizontal, probablemente se necesita bastante *menos* resistencia que la que se podría pensar.

La inmunidad poblacional es una consecuencia del crecimiento poblacional, que puede ser positivo o negativo, cosa que no puede suceder con el crecimiento individual. Cuando hay más nacimientos que muertes la población aumenta de tamaño y su crecimiento se describe como positivo. Si los nacimientos y muertes se neutralizan entre sí el tamaño de la población no cambia y su

crecimiento es cero; pero si hay más muertes que nacimientos el tamaño poblacional decrece, y su crecimiento es negativo.

Consideremos el crecimiento poblacional de un fitoparásito. Si su crecimiento es positivo, esto significará que en promedio cada individuo origina más de un individuo nuevo; en el caso de un parásito que es estratega-*r* cada individuo puede originar muchos individuos nuevos en corto tiempo, y su crecimiento poblacional positivo es tan rápido que se convierte en una explosión poblacional.

Supongamos ahora que el cultivo en cuestión posee un nivel de resistencia horizontal que restringe severamente la tasa de reproducción del parásito. En promedio cada parásito individual origina un individuo nuevo antes de morir. Finalmente supóngase un nivel de resistencia horizontal ligeramente mayor; esta vez cada individuo originará menos de un individuo nuevo en promedio. En la práctica esto significa que la mayoría de los individuos tendrá descendencia, pero algunos no la tendrán. En éste caso la población parásita decrece y su crecimiento poblacional es negativo.

Una epidemia sólo puede desarrollar cuando su crecimiento poblacional es positivo, y una epidemia perjudicial sólo se desarrolla cuando su crecimiento poblacional es fuertemente positivo. Cuando el crecimiento poblacional del parásito es cero o es negativo no hay epidemia, y la población hospedante es efectivamente inmune, aunque sus individuos sean menos que inmunes. Esta inmunidad es poblacional.

Uno de los peligros de medir la resistencia horizontal en el laboratorio es que la inmunidad poblacional puede ser fácilmente no tomada en cuenta. Un nivel de resistencia horizontal que aparece como susceptibilidad en el laboratorio puede demostrar, cuando se mide en campos de los productores, que es inmunidad poblacional. Por esta razón las mediciones de la resistencia horizontal, especialmente de laboratorio, deben ser consideradas como *relativas*, esto quiere decir, que el nivel de resistencia debe ser descrito como superior o inferior al de otros cultivares de comportamiento conocido en el campo.

En esta discusión de la inmunidad poblacional tal vez valga la pena señalar que tanto la resistencia vertical como el uso de plaguicidas aumentan la *tasa de muerte* del parásito, mientras que la resistencia horizontal reduce su *tasa de nacimientos* parásito:. La reducción de la tasa de nacimientos es un método de control más efectivo que el incremento de la tasa de muertes, porque los parásitos que no nacen jamás consumen nutrientes de su hospedante. Los parásitos muertos pudieron haber suspendido su consumo de nutrientes, pero también pudieron haber consumido mucho antes de morir.

### 14.3. Control Biológico

"Las pulgas tienen pulguitas que las muerden por detrás". Los fitoparásitos pueden verse como "pulgas" que a su vez tienen sus propias "pulguitas" parasitoides o depredadoras que se las comen, para mantener bajos sus números poblacionales. También puede haber microorganismos antagónicos que ayudan a mantener bajas esas cantidades. La eficacia de la penicilina antibiótica que mata muchas especies de bacterias ilustra cuan efectivos pueden ser estos antagonismos biológicos. El término "control biológico" (debería decir control natural biótico. El traductor.), se refiere al efecto general que tienen estos supresores biológicos en una población fitoparásita. Algunas veces es posible disminuir completamente un fitoparásito mediante la manipulación cuidadosa de sus enemigos naturales, es decir, sus parasitoides, sus depredadores, sus patógenos, sus competidores y sus antagonistas.

Sin embargo en la industria agrícola moderna el efecto *opuesto* es, por mucho, más común y más importante. Este efecto opuesto se manifiesta como *pérdida* de mecanismos de control natural biótico debido a un uso excesivo de plaguicidas, pues éstos también matan a los parasitoides, depredadores, competidores y antagonistas. Aparentemente no existe una palabra o término que describa esta pérdida de control natural, y esto nos indica qué poca importancia se ha dado al fenómeno. Podríamos llamarle, tal vez, *anarquía biológica*.

La anarquía biológica más comúnmente ocurre con los insectos de importancia agrícola, pero su efecto puede ser detectado, probablemente, en todas las categorías de fitoparásitos que han sido

combatidos con plaguicidas. Existe un caso bien documentado, que se cita como ejemplo, el de la enfermedad del cerezo del cafeto (Capítulo 21). Este hongo microscópico sólo parasita las cerezas del cafeto, y entre las estaciones de producción de "cereza", reside inofensivamente en la corteza de los cafetos, constituyendo cerca del 5 % de sus habitantes microscópicos inofensivos. Cuando los cafetos son asperjados con fungicida para controlar la enfermedad de su cereza, muchos de estos habitantes de la corteza que son competidores mueren, pero la población del hongo que induce la enfermedad aumenta, ocupando la mayor parte de la corteza. Consecuentemente en la siguiente etapa de producción aumenta la severidad de la enfermedad.

También podría ser ilustrativo un ejemplo de reproducción de pulgones. Supóngase que cada pulgón tenga diez descendientes, y que todos ellos sobreviven para producir diez más cada generación. Después de diez generaciones, habrá  $10^{10}$  pulgones (esto es, 10,000,000,000). Ahora supongamos que las hipodamias consumen la mitad de esos pulgones, de tal forma que sólo cinco descendientes de cada pulgón sobreviven para producir la generación siguiente; así, después de diez generaciones habrá  $5^{10}$  áfidos (esto es 9,765,625), lo que significa aproximadamente una *milésima* del total anterior. Y si sólo sobreviviera un áfido para reproducirse en cada generación, después de diez generaciones habrá un solo pulgón. En la práctica las catarinitas hipodamia consumen muchísimos áfidos; pero si matamos a la mayoría de con insecticidas, y la mayoría de los áfidos son resistentes a ellos, habrá mucho más áfidos que antes de la primera aplicación de insecticidas.

Las reducciones en el control natural posiblemente se expresan al máximo en el cultivo del algodón. El algodón es un cultivo "político", en el sentido de que está regulado excesivamente por consejos mercantiles, asociaciones de productores, bancos, corporaciones químicas, y departamentos de agricultura. Muy frecuentemente el productor no tiene posibilidad de escoger los plaguicidas que habrá de usar. Se ve obligado a cumplir reglamentos generales que aseguran que todas las áreas de algodón en una región sean tratadas de igual forma. En virtud de que son muy importantes los rendimientos altos y la alta calidad para los diferentes cuerpos reglamentarios, siempre se tiende más al uso excesivo de plaguicidas que al riesgo de usar un poco menos. A esta tendencia se le ha apodado "la sobrecarga plaguicida", o "la sobremuerte por plaguicida". El efecto inmediato de una sobrecarga es la reducción de las plagas en el algodón, pero el efecto a largo plazo puede ser su aumento debido a la anarquía biológica; esto, a la larga, nos llevará a otro aumento de la sobrecarga plaguicida.

De hecho hay dos factores biológicos que deben ser considerados. El primero es la pérdida de control natural por anarquía biológica y destrucción de depredadores, parasitoides, competidores y antagonistas. El segundo factor es que un fitoparásito puede evolucionar una raza nueva que es menos afectada por el plaguicida o no del todo afectada. Este efecto es muy similar al rompimiento de la resistencia vertical. En ese caso los agricultores deben cambiar de plaguicida y se da un ciclo de "floreamiento y fracaso" de la efectividad del plaguicida, fenómeno que muy probablemente se repetirá, una y otra vez. En el interin, la explosión poblacional de una nueva raza resistente en una plaga de gran importancia económica es candidata a empeorar, porque (i) no es afectada por el viejo plaguicida, (ii) un nuevo plaguicida no está inmediatamente disponible, y (iii) porque los enemigos naturales del parásito fueron destruidos por sobrecarga plaguicida, y la anarquía biológica está presente.

Cuando hay anarquía biológica muchos parásitos secundarios y terciarios del algodón son candidatos a convertirse en plagas primarias, porque sus enemigos naturales fueron destruidos. El ejemplo clásico de esto se dio en los EUA con el gusano cogollero del tabaco que normalmente no parasitaba al algodón, pero que bajo influencia de la sobrecarga plaguicida se convirtió en plaga primaria del cultivo, por que resultó resistente a todos los plaguicidas disponibles y sus enemigos naturales fueron exterminados. Esta anarquía es un fenómeno general que ocurre en la mayoría de los cultivos tratados con plaguicidas químicos; consecuentemente en muchos patosistemas de cultivos el control natural biótico ya no funciona o funciona con eficiencia reducida. Esta es la base del concepto de manejo integrado de plagas (MIP), como técnica de control de fitoparásitos que depende mucho del

restablecimiento del control natural. El uso de plaguicidas es minimizado de manera que interfiera lo menos posible con el control natural, permitiendo que el MIP puede alcanzar éxitos muy notables en cultivos que han estado sujetos a sobrecargas plaguicidas de consideración. El mero hecho de que el MIP tenga éxito es indicativo de cuan importante es en realidad la pérdida de control natural por anarquía biológica.

El efecto final de la anarquía biológica es que muchos parásitos agrícolas devienen mucho más notables de lo necesario. Esto tiene dos consecuencias importantes que se deben enfatizar; primera, cuando aparece una raza de fitoparásitos resistente a los plaguicidas es probable que se comporte con una agresividad que resultaría imposible si sus enemigos naturales existieran, así fuera en bajas cantidades. Esto significa que cualquiera de esas nuevas razas es probablemente más dañina que lo que pudo haber sido si nunca hubiéramos usado protectores químicos; y significa que si decidiéramos abandonar su uso sufriríamos serias pérdidas de cosecha en un cultivo en particular, aunque irían rápidamente disminuyendo durante varias estaciones, hasta el momento en que el control estuviese completamente restablecido.

Segunda, si queremos evaluar bien el nivel de resistencia horizontal de nuevos cultivares potenciales, debemos hacerlo bajo condiciones en las que no haya anarquía biológica. Si la medimos bajo condiciones de campo, en las cuales el parásito ha aumentado considerablemente debido a la anarquía biológica, tal nivel de resistencia nos parecerá inadecuado; pero una vez que los controles naturales se restauren, aquel mismo nivel de resistencia podría ser lo suficientemente alto para controlar al parásito completamente. En la práctica esto significa que los datos de campo deben tomarse en superficies bastante grandes y libres de protectores químicos; aunque podría no ser siempre posible encontrar tales áreas. La única otra alternativa sería el uso de medidas de laboratorio que, como se dijo, deben considerarse *relativas*. Un problema muy similar se da en el intento de estimar cuánta resistencia horizontal podríamos necesitar en un programa de mejoramiento. Para calcularla debemos utilizar un parásito cuyos enemigos naturales se estén expresando al máximo.

Vale la pena hacer notar también que el MIP sólo tendrá éxito cuando haya habido serias sobrecargas plaguicidas. Su enfoque no tendrá resultados espectaculares cuando no haya anarquía biológica, ni podrá tener éxito cuando haya serias deficiencias en resistencia horizontal (*sic* El MIP incluye a la resistencia vegetal en cualquiera de sus formas. El Traductor).

El control natural puede reforzarse con control biológico, mediante el cultivo y liberación de organismos que lo aumentan. Con parásitos de reencuentro y de nuevo encuentro podrá ser necesario ir a sus centros de origen para traer a sus enemigos naturales y usarlos como agentes de control biológico.

Insistimos, dentro de una agricultura libre de plaguicidas podríamos necesitar *menos* resistencia horizontal de la que originalmente pensamos, para poder manejar sus parásitos. De hecho ésto se debe a un efecto recíproco: la mejor forma de restaurar el control natural perdido es el uso de la resistencia horizontal; y el mejor modo de maximizar el efecto de ésta es restaurar el control natural.

Se mencionó antes (Capítulo 9) que el uso de la resistencia horizontal nos puede llevar a una muy alta frecuencia de parasitismo, pero a un daño insignificante inducido por él. Es dudoso que incluso niveles artificialmente altos de resistencia horizontal alguna vez proveerán un control absoluto de los parásitos agrícolas, en el sentido de que desaparecerá el parasitismo completamente; pero esto es algo bueno, porque si hemos de mantener buenas poblaciones de parasitoides y depredadores con fines de control natural o biológico, también debemos mantener poblaciones *pequeñas* de fitoparásitos para que se alimenten en ellos. Estas pequeñas poblaciones existirán porque incluso los niveles máximos de resistencia horizontal siempre permitirán al parásito causar daños menores que serán de poca importancia económica, pero de importancia ecológica crucial. Estos daños menores serán capaces de sustentar tanto al fitoparásito como a sus agentes de control natural biótico.

Estos tres factores (interferencia parasitaria, inmunidad poblacional y control natural biótico), sugieren que los niveles de resistencia horizontal, aparentemente inadecuados del presente, para fines



prácticos serán capaces de controlar muchos fitoparásitos de manera completamente efectiva en el futuro.

## 15. Desventajas de los Agroquímicos Protectores

A estas alturas podría ser apropiado examinar fríamente a los agroquímicos plaguicidas con calma y objetividad, liberándonos de la retórica de algunos de los ecologistas más apasionados. El uso de estos productos tiene una ventaja avasalladora, y siete muy serias desventajas.

La ventaja avasalladora estriba en que aun somos capaces de producir suficiente comida para alimentar a cada persona en el mundo. Este logro depende, incuestionablemente, del uso de protectores agroquímicos. Si dejáramos de utilizarlos completamente, digamos mañana, muy pronto morirían cientos de millones de gentes por inanición; así es que aunque tengamos grandes esperanzas de abandonar su uso no podemos hacerlo de la noche a la mañana. Se requerirá de por lo menos una década para inducir un alivio significativo en el uso de plaguicidas, y probablemente de varias décadas para alcanzar su máximo reemplazo por la resistencia horizontal. Esto es un hecho que debemos reconocer y aceptar.

También debemos reconocer que la eficiencia y seguridad de los agroquímicos protectores ha ido mejorando firmemente. Lejos están los días cuando tratábamos los cultivos con sales de plomo, de arsénico o con cianuro. Después de la II Guerra Mundial el DDT estuvo disponible y se aplicaba a los cultivos a una dosis de 2 kg/ha. Mucho más tarde fueron desarrollados los piretroides sintéticos, que son mucho menos peligrosos utilizándose a sólo una vigésima parte de la del DDT, es decir a 0.1 kg/ha. Y ahora el insecticida llamado aldicarb se aplica a una dosis de 0.05 kg/ha; en pocas palabras, es cuarenta veces más efectivo que el DDT y tiene menos efectos colaterales negativos. Aunque no nos guste el uso de los agroquímicos, debemos reconocer su tendencia general a mejorar, misma que muy probablemente continuará.

Para los lectores a quienes les gustaría aprender más respecto al uso de plaguicidas, les aconsejamos estudiar *The Pesticide Question* editado por Pimental y Lehman, en 1993 (ver bibliografía).

Consideremos ahora las siete desventajas de los plaguicidas, y comparémoslas con el uso de la resistencia horizontal.

### 15.1. Costo

Los plaguicidas son caros al adquirirlos y caros al aplicarlos; pero no hay duda que son *económicos*, y que se pagan así mismos, usualmente a un nivel de 4-5 veces su valor; tanto en protección de las cosechas, como en la preservación de su calidad. Por ejemplo, cuando yo era un niño y antes que existiera el DDT, era común algún gusano en una manzana a medio comer. Esto era una experiencia repulsiva, especialmente cuando ya no encontrábamos al gusano.

Sea como sea, el costo de los plaguicidas y el costo de su aplicación pasan al consumidor. En comparación el uso de cultivares resistentes no nos cuesta, y siempre y cuando se logre la misma protección con la resistencia, los costos de compra y aplicación de plaguicidas podrían ser eliminados.

En la práctica el uso de cultivares resistentes no necesariamente es gratuito. Incluso los cultivares resistentes, aun estando libres de parásitos, pueden tener menor rendimiento o calidad que los cultivares susceptibles tratados con plaguicidas. Es más, en algunos cultivos podría ser imposible lograr niveles adecuados de resistencia (p.e. el manzano y los gusanos de la palomilla de la manzana). Pero asumiendo todo lo demás constante, los plaguicidas son caros y la resistencia horizontal nada nos cuesta.

## **15.2. Repetitividad**

Segundo, el efecto de una aplicación plaguicida usualmente se pierde en forma rápida y el plaguicida debe ser aplicado de nuevo. La mayor parte de los plaguicidas tienen que ser vueltos a aplicar cada 10-20 días, pero algunos deben aplicarse con mayor frecuencia. Esto se debe, parcialmente, a que los plaguicidas tienden a ser lavados por la lluvia, en parte por ser no-persistentes (p.e. se descomponen) y parcialmente porque las nuevas áreas vegetales de crecimiento rápido requieren protección adicional. En comparación, la resistencia vertical usualmente dura varios años y la horizontal es "permanente".

## **15.3. Resistencia Insectil**

Tercero, muchos plaguicidas se comportan como la resistencia vertical en el sentido de que el fitoparásito es capaz de producir una raza nueva que no es afectada por el agroquímico. La mosca doméstica es un ejemplo clásico de resistencia al DDT, por lo que su uso debe haberse abandonado y se debió reemplazar con un producto nuevo. Esto ha sucedido tan frecuentemente con los plaguicidas modernos que ahora mucha gente cree que no existe un límite a la capacidad de cambio de los fitoparásitos.

En la práctica esta acumulación de resistencia a plaguicidas por los fitoparásitos, a menudo es cuantitativa. Esto significa que las dosis recomendadas tarde o temprano llegan a ser inadecuadas y, eventualmente tienen que aumentarse; pero con el tiempo las nuevas dosis también son inadecuadas. Estos aumentos graduales en el uso de plaguicidas pueden continuar hasta que las dosis aplicadas son absurdas; y la pérdida real de efectividad se convierte en causa primaria de sobrecarga plaguicida.

Algunos plaguicidas han permanecido efectivos durante un siglo o más, sin que exista ni una señal de la aparición de razas resistentes del fitoparásito. Esto es cierto para el caldo bordelés por ejemplo, así como para insecticidas naturales como la rotenona y las piretrinas. Sin embargo la mayoría de los plaguicidas eventualmente fallan frente a nuevas razas, sea cualitativa o cuantitativamente. La resistencia vertical también sucumbe ante nuevas razas del parásito, pero no sucede así con la horizontal.

## **15.4. Conocimientos Especializados**

Cuarto, la mayor parte de los plaguicidas requiere de considerable conocimiento especializado para ser utilizados. Este conocimiento es necesario, en primer lugar, para la persona que decide qué agroquímico aplicar. Esta decisión depende demasiado a menudo de un vendedor; en ese caso el uso de plaguicidas, por lo menos en parte, está gobernado por factores irrelevantes como la propaganda y la habilidad para vender. La misma crítica es aplicable a las dosis a utilizarse, que a menudo son demasiado altas o demasiado frecuentes debido a un celo exagerado en la agresividad de las ventas. Tal conocimiento especializado también es necesario al productor mismo y sus empleados, si es que el plaguicida habrá de ser totalmente efectivo y las precauciones de seguridad habrán de adoptarse en forma adecuada; muy a menudo tal conocimiento es equivocado o inexistente. No es necesario recalcar que, a nivel del productor, el control de fitoparásitos mediante el uso de cultivares horizontalmente resistentes no requiere de conocimiento especializado alguno.

## **15.5. Riesgos**

Quinto, muchos plaguicidas son riesgosos sea para las personas, sea para el ambiente o para ambos. Los riesgos para los consumidores de productos agrícolas normalmente son bajos o insignificantes, pero incluyen a gran número de personas. Los peligros son más agudos para las muy

pocas personas que directamente trabajan con estos productos. Nos referimos principalmente a trabajadores agrícolas en cuyo caso los peligros pueden ser muy serios, incluso agudos, cuando la supervisión y las precauciones de seguridad son inadecuadas.

Los riesgos ambientales son muchos y muy variados. Los más conocidos se refieren a la muerte involuntaria de animales ajenos a la aplicación, como aves e insectos polinizadores. Ocasionalmente existe el riesgo de daño irreversible, cuando alguna especie rara está amenazada de extinción. Algunos animales son particularmente sensibles a la presencia de plaguicidas. Por ejemplo, en la actualidad hay una seria declinación en la población mundial de ranas, y varias de sus especies raras parecen haber desaparecido probablemente para siempre. Otras especies sufren los efectos colaterales de los plaguicidas agrícolas; por esta razón ha habido una caída dramática en la población de aves insectívoras. Las bellas mariposas, tan comunes cuando yo era niño, ahora son raras. Usualmente los riesgos por plaguicidas no son descubiertos hasta que se ha hecho daño ambiental considerable. Entonces se origina con toda razón un clamor público, y la difícil tarea de controlar a los fitoparásitos se vuelve aun más penosa.

Por desgracia, gran parte de esos riesgos no se deben tanto a los plaguicidas, como a su mal uso. El DDT, por ejemplo, es un insecticida excelente que a la vez es increíblemente barato. Desafortunadamente se aplicó con tal irresponsabilidad y en tan enormes cantidades que se produjo un daño ambiental muy serio. A pesar de ello y en mi opinión, el DDT no debió haber sido prohibido; debió haber sido controlado. Si se hubiera dado ese control desde el principio, es probable que muchos insectos resistentes al DDT jamás hubieran aparecido, y que el adelgazamiento del cascarón de los huevos de las águilas nunca hubiera llegado a ser problema. Debe recordarse también que no todos los plaguicidas agrícolas son riesgosos. Hasta donde sabemos, un siglo de uso del caldo bordelés no ha dañado a nadie ni a nada.

Una vez más la comparación con la resistencia horizontal resulta ilustrante. Esta es absolutamente segura, tanto para los humanos como para el ambiente.

### **15.6. Destrucción del Control Natural**

Sexto, el uso rutinario de los plaguicidas agrícolas ha conducido al debilitamiento o incluso la eliminación local de agentes de control natural biótico; esto ha hecho que muchos fitoparásitos sean más difíciles de combatir y más perjudiciales. La anarquía biológica resultante ya se discutió (Capítulo 14), pero es difícil calcular su impacto. El mejor indicador proviene del hecho que muchos especialistas en MIP dependen sobremanera de una restauración del control natural o biológico perdido por mal uso de plaguicidas. Este daño podría ser el efecto colateral más importante del uso de plaguicidas, y a tal extremo que incluso algunos científicos agrícolas no se lo imaginan. Parecería innecesario agregar que el uso de la resistencia horizontal no daña al control natural; y que en realidad constituye la mejor forma de restaurarlo.

### **15.7. Efectividad Incompleta**

Séptimo y final, la efectividad de los plaguicidas agrícolas está lejos de ser completa. Como vimos antes, aun estamos perdiendo alrededor de un 20% de cosechas en el campo debido a fitoparásitos, a *pesar* del uso masivo de los agroquímicos que cuestan miles de millones de dólares cada año. Sólo en productos comestibles las pérdidas precosecha serían suficientes para alimentar a mil millones más de personas. ¿En que estamos mal? ¿Es posible que nuestros granjeros estén usando muy pocos plaguicidas, a concentración muy baja y con poca frecuencia? ¿Es posible que estén aplicándolos en forma equivocada, inoportuna y muy inexperta? ¿Es posible que los plaguicidas agrícolas en sí no sean

muy buenos? ¿O es posible que no sean la respuesta adecuada? Si es que los plaguicidas agrícolas no son la respuesta, sólo nos queda una alternativa. Adivinen cual es.

## 16. ¿Cómo escapó de nuestro control la fitosanidad?

Cuando yo estudiaba licenciatura, a fines de la década de 1940, nos enseñaron que *toda* la resistencia a los fitoparásitos era temporal y que *toda* resistencia vegetal estaba condenada, tarde o temprano, al fracaso. Nuestros profesores cuestionaban seriamente cuán sabio resultaba el fitomejoramiento por resistencia y el esfuerzo constante de tratar de mantenerse "un paso adelante del parásito". Solían platicarnos de las más dramáticas pérdidas recientes de cosecha como resultado del fallo de la resistencia. Sugerían que haríamos bien en estudiar mejor los plaguicidas agrícolas y citaban algunos de esos notables y nuevos agroquímicos recién descubiertos. Uno de ellos, muy nuevo y muy llamativo, era el di-cloro, di-fenil, tri-cloro-etano comúnmente llamado DDT. Su descubridor, el doctor suizo Paul Müller, recién había recibido el Premio Nobel 1948 en Fisiología o Medicina, porque el DDT era tan efectivo para matar mosquitos transmisores de malaria y fiebre amarilla, como lo era para matar moscas domésticas transmisoras de tifoidea y cólera, así como para controlar a las pulgas transmisoras de la peste bubónica; sólo por mencionar enfermedades del hombre. Pero también había muchas enfermedades de los animales, transmisibles por insectos, aparte de las innumerables plagas agrícolas que podían ser controladas con ese agroquímico. El DDT era seguro o relativamente seguro, especialmente si recordamos que los insecticidas de uso común, en esos viejos y terribles tiempos, incluían al plomo, al arsénico, a los cianuros y a los vapores de azufre en combustión. Es más, el DDT era increíblemente barato. Incluso se decía, en aquellos días, que podría combinarse con pinturas domésticas para mantener a los hogares libres de insectos.

Obviamente, decían nuestros maestros, el futuro radica en los agroquímicos y no en la resistencia del hospedante. Esta enseñanza no tenía nada de especial; era típica de su tiempo y de lo a menudo llamado "estado del arte". Además representaba "la punta de lanza de la investigación" y de la "sabiduría heredada". Quizá valga la pena resaltar que los científicos modernos debaten a menudo qué producto químico, de entre sólo dos, ha salvado más vidas humanas: el DDT mediante el control de la malaria, la fiebre amarilla, la tifoidea y el cólera; o la penicilina.

También debe mencionarse que a pesar de la "sabiduría heredada" hay algunos ejemplos (no más de media docena) de resistencia vertical que ha permanecido útil durante muchas décadas. Así, el trigo en Canadá todavía tiene resistencia vertical a una enfermedad llamada roya del tallo (*Puccinia graminis tritici*), y los jitomates en los EUA mantienen resistencia vertical al marchitamiento (*Fusarium oxysporium lycopersici*). Las razones de esta durabilidad son demasiado complejas como para discutir las aquí; pero la durabilidad, por sí misma, amerita dos comentarios. Primero: siempre que podamos demostrar que una resistencia vertical es durable, obviamente debemos usarla. Sin embargo también hay que hacer notar que la resistencia vertical que es durable en una parte del mundo usualmente es temporal en otra.

Segundo, los pocos ejemplos de resistencia vertical durable han contribuido para desorientar a los mendelianos y hacerlos creer que muchos otros casos de resistencia monogénica podrían ser durables. Quizá esta esperanza mal enfocada, junto con otros factores, convenció a los miembros de esa escuela en persistir tan tenazmente y por tanto tiempo en el fitomejoramiento por resistencia temporal.

Debido al efecto de la "Reina Roja" (Capítulo 11) los fitomejoradores han estado abandonando el fitomejoramiento *vertical* desde la II Guerra Mundial, pero lo que debieron haber hecho era considerar el uso de la resistencia horizontal. Sólo que en esos días se entendía tan poco de ella, y su valor estaba tan en duda, que el fitomejoramiento horizontal parecía una tarea tanto desalentadora cuanto fútil.

También debemos recordar que los resultados del caldo bordelés en la década de 1880, y del DDT en la de 1940, eran *impresionantes*. Los científicos agrícolas estaban maravillados; y a medida que más y más de ellos abandonaban la resistencia vertical, escogían el uso de los productos que los habían maravillado. Comparativamente nada respecto a la resistencia horizontal era deslumbrante.

Algo más a considerar es que durante todo este siglo los científicos agrícolas han tenido que enfrentarse con el problema alimentario mundial. Con una población humana que se duplica cada 30 años se vieron obligados a duplicar, también cada 30 años, la producción agrícola. Mucho de ese aumento se debió a la ampliación de la frontera agrícola; sin embargo fue a la productividad *per se* a quien se dio prioridad primaria en las ciencias agrícolas. Cómo lograrla fue cosa secundaria.

Debemos reconocer el corolario de esta situación. Ha habido verdaderos progresos notables en el mejoramiento de la cantidad, calidad, y adaptabilidad agronómica de los cultivos durante este siglo. La población humana ha aumentado dramáticamente desde que surgió la escuela mendeliana; sin embargo aun somos capaces de producir suficientes alimentos para cada habitante. Las hambrunas que hemos atestiguado en años recientes se deben a desastres locales, a incompetencia administrativa e incluso a maldad política más que a una carencia mundial de alimentos; el éxito de las ciencias agrícolas para alimentar al mundo ha sido impresionante. La inconformidad de este libro no se refiere tanto a la cantidad de alimentos que producimos, cuanto al hecho de que en el campo, a pesar de el uso exagerado de plaguicidas agrícolas, perdemos alrededor de una quinta parte de la producción debido a fitoparásitos.

Una carencia completa de interés público combinada con una jerga técnica bastante incomprensible han hecho de las ciencias agrícolas, durante la mayor parte del siglo, un círculo cerrado, casi una sociedad secreta. Lo que realmente se necesita ahora es una dosis saludable de escrutinio público y éste es uno de los objetivos cuidadosamente considerados cuando decidí escribir este libro.

## 17. Los Cáteles de los Cultivos

Existen algunos intereses poderosos decididos a mantener el *status quo* respecto al fitomejoramiento y los plaguicidas agrícolas; estos intereses creados son tanto científicos como comerciales.

Los científicos agrícolas han ignorado la resistencia horizontal, en forma tan persistente y durante tanto tiempo, que muchos de ellos se niegan a admitir que el método podría constituirse en una alternativa superior. En tanto se creyó que sólo había un tipo de resistencia a fitoparásitos, fue posible culpar a la naturaleza de nuestras fallas en el mejoramiento por resistencia. Cuando una nueva raza del fitoparásito llegaba a aparecer y la resistencia fallaba, era un obvio fracaso de la Madre Naturaleza; no de los científicos. Y si no podía encontrarse una fuente genética de resistencia, y ni siquiera se podía iniciar el proceso de fitomejoramiento, también era culpa de ella.

En estas circunstancias el fitomejoramiento claramente se constituía en un negocio no redituable; y parecía que la *única* alternativa era el uso de plaguicidas agrícolas, a más de algunos cuantos métodos de control subsidiarios como la rotación de cultivos y la quema de residuos de cosechas. (Los entomólogos modernos también poseen algunos ingeniosos trucos para inducir esterilidad, tales como inundar la parte femenina de una población insectil con machos estériles, o atraer a todos los machos hacia trampas con atrayentes sexuales sintéticos envenenados. Estas hábiles estratagemas son muy efectivas, pero sólo ocasionalmente).

Contra el aparente fallo del fitomejoramiento para resistencia también debemos reconocer el éxito de los plaguicidas. Si por casualidad usted cree que la resistencia vertical y los plaguicidas son las únicas alternativas de control, resulta razonable que se decida por el éxito en lugar del fracaso, y que escoja el uso de plaguicidas en lugar de la resistencia vertical. Pero los científicos agrícolas han sabido durante décadas que había un tercera alternativa, la horizontal. Fue un error ignorarla y ahora se les dificulta admitir el error, de ahí que su interés por el *status quo* sea creado.

Varias industrias productoras de semillas tienen intereses comerciales creados. La más prominente de ellas es la industria de la papa certificada, aunque hay muchas más. Agricultores altamente especializados producen cosechas con el único fin de ser utilizadas como semillas; tales cosechas deben ser aprobadas por inspectores gubernamentales, quienes las certifican como libres de varios parásitos. Estos inspectores pueden certificar para otros propósitos, tales como el de veracidad o legitimidad y pureza de las variedades. El productor común compra esta semilla certificada para plantar sus cultivos; pero la semilla es muy cara. En papas, por ejemplo, el costo de la semilla certificada usualmente constituye la más alta erogación para su cultivo comercial.

Positivamente los productores de semilla certificada están en contra de cualquier nueva variedad resistente que pueda utilizarse a partir de la cosecha del productor común, sin que su semilla tenga necesidad de ser certificada. Estos productores de semillas en realidad *desean* que haya susceptibilidad a los parásitos portados por ellas. Sin esa susceptibilidad sus caras semillas serían poco necesarias, e innecesaria sería la certificación de que están libres de parásitos.

No puede haber dudas de que la resistencia completa, global y durable, a la larga destruiría estas industrias especializadas en la producción de semilla. En verdad nos vemos forzados a concluir que, excepto para algunos casos de susceptibilidad que fueran estrictamente necesarios, esas industrias jamás debieron haber nacido. La necesidad actual por semilla certificada también es una indicación clara de la falla general del fitomejoramiento por resistencia. (Si desapareciera la necesidad de certificar que una



semilla está libre de enfermedades, aun podría permanecer la necesidad de certificarla por autenticidad varietal y pureza de la misma. Pero la industria de la semilla certificada disminuiría considerablemente).

Hay otra fuente aun más importante de intereses comerciales creados, que cae en el ámbito de los fabricantes de plaguicidas. Las corporaciones químicas no tienen intención de promover la resistencia horizontal porque amenazaría con una importante reducción de su mercado; en realidad evidentemente están haciendo lo contrario a una promoción. Están comprando institutos de fitomejoramiento, presumiblemente con la intención de controlar las políticas del fitomejoramiento; y también están comprando productoras de semilla y organizaciones para su mercadeo (marketing), tal vez con la mira de controlar las variedades cultivables disponibles a los productores. Que nos perdonen por asumir motivos ocultos y por sospechar que sus variedades probablemente tengan muy altos rendimientos y calidades, pero probablemente también tengan muy alta susceptibilidad a varios parásitos. Y es que de ser así requerirían grandes cantidades de plaguicidas para ser cultivadas con éxito. ¿Qué mejor manera de garantizar el mercado de plaguicidas?

Esta situación ya se está presentando. Los productores de Europa Occidental al presente, asperjan sus cultivos de trigo con plaguicidas en forma rutinaria. Esto es algo completamente nuevo y completamente perturbante; y se originó por el abandono del fitomejoramiento para resistencia de parte de esos mismos productores. Obtuvieron nuevos cultivares de muy altos rendimientos, pero que son susceptibles a varios parásitos. El proceso de aspersion requiere de tractores que atraviesan los trigales, de tal suerte que las llantas aplastan el trigo, produciendo huellas características que pueden ser vistas desde el aire; sin embargo las pérdidas de trigo por estas huellas y por el costo de asperjar son más que superadas por el uso de plaguicidas que protegen sus altos rendimientos.

Los fabricantes de plaguicidas a menudo se refieren a su acaparamiento de las compañías fitomejoradoras y productoras de semilla como a una "diversificación de actividades". Pero todas las apariencias están en su contra; son muy sospechosos sus evidentes deseos de controlar tanto al fitomejoramiento como a las variedades disponibles para los productores. No existe la menor duda de que positivamente *necesitan* cultivares susceptibles, por ser esenciales a un gran mercado de plaguicidas.

La industria plaguicida es un grupo internacional de fabricantes poderosos y egoístas que tiene recursos financieros suficientes para el intenso cabildeo político, la propaganda comercial masiva, y el establecimiento de un cártel poderoso de las semillas. Parece haber sólo un camino para frustrar su desarrollo monopólico. Y este libro se dedicará a mostrar ese camino.

## SEGUNDA PARTE: Ejemplos

## Reiteración

Breve reiteración para los lectores que decidieron no leer la Primera Parte. Hay dos clases de resistencia a los parásitos agrícolas, llamadas vertical y horizontal. La vertical opera como un sistema de cerraduras-llaves y para que funcione bien requiere, como todo sistema de seguridad o salvaguarda, de una gran *diversidad* de cerraduras y llaves diferentes. Su función es controlar la epidemia en una población vegetal, y lo logra gracias a que, relativamente, hay pocos parásitos que tienen la llave que puede abrir la cerradura del hospedante que tratan de infectar. La resistencia horizontal se constituye en la segunda línea de defensa que opera después que la cerradura de la resistencia vertical fue abierta por el parásito, y su función principal es el control del parasitismo vigente dentro de una planta individual.

La escuela mendeliana de genética y el uso de llaves y cerraduras (resistencia vertical) ha dominado la genética vegetal durante la mayor parte del siglo. Los mendelianos, por desgracia, utilizaron este tipo de resistencia sobre una base de *uniformidad*, en la que toda planta dentro de un cultivo tiene la misma cerradura. Esto equivaldría a que todas las puertas de la ciudad tuvieran la misma cerradura y a que todo casateniente tuviera la llave que puede abrir (acoplarse) a todas las cerraduras o puertas. A esta condición, que explica porqué la resistencia de “X” variedad es propensa a fallar cuando aparece una raza acoplante del parásito, yo la denomino monolock (cerradura única). Durante muchos años los fitogenetistas creyeron que ésta es la única clase de resistencia que tenían disponible.

A partir de la Segunda Guerra Mundial la acción espectacular de los plaguicidas, combinada con las repetidas fallas de la resistencia vertical, persuadieron a los científicos en favor de los plaguicidas y en contra del uso del mejoramiento por resistencia. Y eligieron este curso bajo la presión extrema del crecimiento poblacional que se duplica cada treinta años, y que nos obliga a duplicar los alimentos mundiales necesarios también cada treinta años.

Durante todo ese lapso la resistencia horizontal ha sido descuidada hasta el punto de ser casi totalmente olvidada, y aun se le descuida. Sin embargo es una esperanza de solución a los problemas causados por los fitoparásitos que destruyen actualmente una quinta parte de las cosechas, a pesar del uso exagerado de plaguicidas químicos. Propiamente utilizada, la resistencia horizontal podría originar una agricultura libre de fitoparásitos, y también muy considerablemente libre de plaguicidas.

La Segunda Parte de este libro intentará validar esta aseveración, mediante la exposición de algunos ejemplos de cómo lograrlo utilizando la resistencia horizontal.

Los lectores con bases científicas que quieran una visión científica global del trabajo de fitomejoramiento por resistencia horizontal, se les sugiere leer a Simmonds (1991), citado en la bibliografía.

## 18. Una Historia Breve de los Parásitos de la Papa

### 18.1. Introducción

Cuando los españoles en el siglo XVI, introdujeron las papas (*Solanum tuberosum*) a Europa desde el Nuevo Mundo, el cultivo era apenas un poco más que una curiosidad botánica; ésto se debía a que las papas eran plantas tropicales aclimatadas a los días cortos de las regiones ecuatoriales; consecuentemente, no formaban tubérculos durante los días largos del verano europeo, y las cosechas, naturalmente retrasadas, eran propensas a helarse antes de madurar. Irlanda fue el primer país europeo en cultivar papas a gran escala porque tiene un clima muy húmedo y benigno, con pocas heladas. Por esta razón las papas son a menudo llamadas, entre la gente de habla inglesa, papas irlandesas; para distinguirlas del camote (*Ipomoea batatas*), tubérculo muy diferente y tropical.

Durante dos siglos de selección bastante inconciente, sin duda auxiliados por cierta selección natural, los horticultores europeos eventualmente produjeron variedades nuevas de día largo, aptas de ser cultivadas durante los largos días del verano en esas regiones templadas. Estas papas modificadas, también poseían mejores características agronómicas, tales como tubérculos mayores y tallos cortos. Los cambios genéticos fueron completados en el siglo XVIII y las papas llegaron rápidamente a ser un importante cultivo comestible.

Aparte del hecho de ser un alimento excelente, hubo dos razones para el aumento rápido de su popularidad. La primera fue la revolución industrial y el crecimiento de la población urbana que habitaba las ciudades manufactureras. Esa población necesitaba comida barata y en aquellos días las papas eran mucho más baratas que el pan; que era caro debido a las tarifas impuestas al trigo de importación por los gobiernos europeos, para estimular a los productores. Además el trigo tenía que ser cosechado a mano (esto sucedió antes de las cosechadoras mecánicas) y la mano de obra, muy demandada en tiempos de cosecha, se volvía escasa a la vez que cara. Esto imponía límites absolutos a las cantidades de trigo que podía producir cualquier país.

La segunda razón de la popularidad de las papas era que gran parte de Europa tiene suelos inadecuados para la producción de trigo, y la gente que vivía en esas áreas tradicionalmente cultivaba y consumía pan de cebada. Irlanda no puede producir fácilmente trigo porque su clima es demasiado húmedo, y este otro factor contribuyó a su adopción de las papas.

En nuestros días el pan de cebada es artículo de lujo, pero en aquellos días era un signo de pobreza. Esto se debía a que la cebada padece una enfermedad causada por el hongo *Claviceps purpurea*, que induce en ella gránulos venenosos llamados ergots. Los ergots eran molidos junto con la cebada resultando en la producción de harina y pan venenosos. El veneno inducía una enfermedad llamada ergotismo, o "Fuego de San Antonio", motivada por una disminución de la circulación sanguínea. Los casos menos severos inducían alucinaciones y calambres, pero el envenenamiento agudo podría llegar a la gangrena, pérdida de miembros, abortos y muerte.

En esos tiempos era desconocida la causa del envenenamiento, cuya severidad cambiaba mucho de año en año, pero se reconocía su asociación con el pan de centeno. Cuando las papas llegaron a ser un alimento alternativo rápidamente se hicieron populares en los distritos cebaderos, y las epidemias de envenenamiento por ergot se convirtieron en cosa del pasado. A la fecha los viejos distritos cebaderos de Alemania Oriental, Polonia y Rusia Occidental aun poseen las mayores tasas de consumo de papa en el mundo. Con el tiempo la abundancia de alimento barato indujo crecimientos poblacionales. Incluso

se ha sugerido que ni la revolución industrial ni la primera Guerra Mundial hubieran sucedido sin las papas, porque no habría habido suficientes trabajadores ni soldados para su acontecer.

## 18.2. Tizón de la Papa

En la década de 1840 ocurrió una gran tragedia. Un hongo fitoparásito, cuyo horrible nombre es *Phytophthora infestans*, fue introducido accidentalmente a Europa desde México, posiblemente vía los Estados Unidos. Las papas europeas habían evolucionado en Sudamérica, muy lejos de México, y nunca habían estado expuestas a este parásito; por lo tanto se trataba de una enfermedad "de nuevo encuentro".

La papa silvestre mexicana ocurre al norte del ecuador a alturas de alrededor de 2,400 msnm, estando separadas del Altiplano Sudamericano tanto por el mar como por un cinturón de jungla baja tropical. Botánicamente estas dos áreas están completamente aisladas entre sí; en consecuencia las papas sudamericanas en Europa poseían poca resistencia a este parásito mexicano de nuevo encuentro, y así fue como surgió una espantosa y nueva enfermedad vegetal. Era la primera vez en la historia que alguien veía una enfermedad excepcionalmente mala. Después de unos cuantos días de tiempo frío y húmedo al final del verano, los verdes campos papeiros cambiaban para convertirse en una pulpa negra y pestilente, sin siquiera poderse encontrar una sola mancha verde en cualquier parte de ellos; y cuando los tubérculos eran desenterrados se veía que también estaban podridos.

Esta enfermedad fue observada por primera vez al norte de Francia en 1845 y se dispersó a través de Europa rápidamente llegando a convertirse en causa de profunda preocupación. También fue causa de una importante controversia, lo que representó el nacimiento de la fitopatología como ciencia. El reverendo M.J. Berkeley, en Inglaterra, propuso la sorprendente idea de que un microscópico hongo, siempre asociado con la enfermedad, era de hecho la *causa* de la enfermedad y no uno de sus efectos. Así se anticipaba Berkeley, por cerca de un cuarto de siglo, a la teoría que proponía a los gérmenes como causantes de las enfermedades infecciosas, de Luis Pasteur. Inevitablemente Berkeley se desacreditó, en forma general, y sus oponentes ofrecieron muchas sugerencias alternativas. La recién descubierta y misteriosa "electricidad" era culpada de casi todo, como también lo era la contaminación atmosférica causada por otra nueva abominación llamada locomotora de vapor. La opinión de Berkeley no era popular, pero tenía la razón.

El tizón de la papa pronto llegó a Irlanda y la gente pensante se dio cuenta de que acechaban grandes problemas. En aquel tiempo los católicos irlandeses todavía eran cruelmente explotados por los ingleses protestantes. Las papas habían sido llevadas a Irlanda a fin del siglo XVI, aproximadamente en la época de la rebelión de Desmond. Gerald Fitzgerald, XIV Conde de Desmond, era un católico irlandés que comandaba un ejército de italianos y españoles financiado por el Papa, y que luchaba en defensa del catolicismo contra los protestantes ingleses. Los ingleses ganaron esa guerra y reprimieron brutalmente a los insurgentes de tal suerte que el comando inglés se volvió más despiadado. En 1649 Oliver Cromwell emprendió una campaña sin cuartel contra los irlandeses otorgando gran parte de sus tierras a los ingleses protestantes, que así se convirtieron en la nueva aristocracia terrateniente. En esa época las papas ya estaban bien establecidas en Irlanda convirtiéndose en el alimento básico de los campesinos.

Los jornaleros agrícolas irlandeses eran explotados como negros y parte de su salario raquítico era devuelto como pago de renta a los terratenientes ingleses. Con la aparición del tizón de la papa los terratenientes temieron por sus rentas y por la seguridad de sus mansiones campestres en caso de haber motines; pero los campesinos temían por sus vidas, porque dependían casi exclusivamente de las papas y carecían de dinero para comprar alimentos alternativos.

En los días actuales de seguro social universal, pensiones de vejez, planes médicos, y otras expresiones de preocupación gubernamental por el votante estamos proclives a olvidar que el papel de los gobiernos más antiguos era la creación de leyes y guerras, y algo poco más que la recolección de los

impuestos necesarios para pagar esas actividades. Si los pobres y los hambrientos necesitaban auxilio era asunto de la iglesia, de la aristocracia y de las instituciones de caridad pública basadas principalmente en la beneficencia privada. Pero cuando sucedía alguna catástrofe como la falla de la cosecha de papas en Irlanda, esas organizaciones no gubernamentales eran incapaces de afrontarla. Entonces era cuando los pobres sufrían de inanición y morían. Los menos miserables reaccionaban con los pies, marchándose a otros lugares; y esta fue la causa de la gran migración de irlandeses a los Estados Unidos. Gran parte de la poca hostilidad que queda en este país hacia los ingleses proviene no tanto de la actitud del Bostoniano Partido del Te o de la guerra de 1812, cuanto del resentimiento de los norteamericanos de origen irlandés contra la negligencia inglesa durante la gran hambruna de la papa.

En la década de 1840 Inglaterra ya estaba en el proceso de abandonar un tipo de gobierno primitivo y de lograr a una administración más comprometida y cuidadosa. Bretaña, por ejemplo, abolió la esclavitud varias décadas antes de Rusia o los Estados Unidos. Sin embargo el primer ministro Robert Peel usaba cínicamente el hambre irlandesa, dentro de una de las grandes controversias políticas de la Bretaña del Siglo XIX; la controversia de las leyes del maíz. Estas leyes imponían impuestos de importación, y apoyaban a los productores británicos mediante el recurso de mantener los "precios de escasez", mismos que prevalecían desde el tiempo de las guerras napoleónicas, a principios de ese siglo.

Peel había sido electo sobre la plataforma electoral de que mantuviera las leyes del maíz, pero utilizó el hambre de la papa como excusa para repelerlas e iniciar un largo período de libre comercio. Esta acción condujo a la derrota de su gobierno, pero también abatió dramáticamente los precios del pan, y eventualmente tuvo influencia considerable en el medio oeste norteamericano al abrir un nuevo e importante mercado de trigo. Estos eventos se dieron poco después del invento de la trilladora mecánica por Patrick Bell, en la Escocia de 1827, que llegó a Canadá en 1833. Más tarde Cyrus Hall McCormick comenzó a fabricar sus famosas trilladoras en Chicago. El rechazo de las leyes del maíz también coincidió con el trazo del Canal Erie, que conectó las praderas norteamericanas, vía los Grandes Lagos, a la costa oriental de Estados Unidos y a los mercados de Europa.

Como sea, todo esto sucedió demasiado tarde para los pobres de Irlanda que vivían en chozas de turba, andaban descalzos, vestían harapos, y nada poseían excepto sus cosechas de papas, y ocasionalmente un cerdo alimentado también con papas. Cuando las papas murieron perdieron todo su abasto de alimentos.

En aquel tiempo el novelista victoriano Anthony Trollope vivía en Irlanda, estaba molesto con algunos de los reportes más sensacionalistas del periodismo amarillista y tendía a escribir objetivamente respecto a los horrores del hambre. Sin embargo aun sus relatos causaban escalofríos. Esto escribió: "A principio del otoño de 1846 la enfermedad cayó sobre los cultivos de papa como un negro manto; antes que terminara septiembre los campos completos estaban negros y el aire infectado con el olor insalubre del tizón; y antes de que octubre terminara ya se sabía que no quedaría nada de alimentos en el campo"

Aquel invierno fue inesperadamente severo y comenzó a nevar en noviembre. Los campesinos desposeídos, lanzados de sus tierras y de sus chozas por no haber pagado sus rentas, no podían ser albergados o incluso alimentados debido a lo totalmente inadecuado de los pobres albergues. Vagaban por los campos desesperados, hambrientos, helados y moribundos.

La papa es un cultivo muy productivo y altamente nutritivo; en consecuencia la población irlandesa había aumentado considerablemente a partir de que se amplió su uso. En 1800 se estimaba la población en cuatro millones, habiendo aumentado a ocho en 1845. La década de 1840 fue conocida en Europa como "los cuarentas del hambre" debido a la escasez de papas. Sin embargo en Bretaña este período fue llamado "la gran hambruna irlandesa", por la gran dependencia de los irlandeses en las papas. No se tienen estadísticas precisas, pero se estima que alrededor de un millón de irlandeses murieron de hambre, el doce por ciento de la población. Otro millón y medio emigró principalmente a los Estados Unidos, lo que representaba otro veinte por ciento, sumando un tercio de la población total. Los otros dos tercios sufrieron de hambre y desnutrición severas.

Hay relatos de cómo cierto Padre Mateo, un sacerdote irlandés que viajaba de Cork a Dublin en 1846, vio que todos los cultivos de papa eran exuberantes y saludables y alavó a Dios por su Misericordia y Bondad, creyendo que los cultivos serían productivos. En esos días poco se sabía de las epidemias humanas causadas por enfermedades infecciosas y aun menos acerca de las enfermedades vegetales. El Padre Mateo creía que la pudrición de papas del verano anterior era un fenómeno raro e improbable de volverse a presentar, pero cuando regresaba a Cork pocos días después vio con dolor que sólo quedaba un montón de desperdicio de vegetación negra, putrefacta y apestosa.

En esos días el gobierno proporcionaba algún apoyo, pero sólo en base a un intercambio "justo". Los desposeídos eran llevados a talleres, y se suponía que deberían de trabajar para el gobierno a cambio de alojamiento y comida. Nada se les daba a cambio de nada, y en la práctica esto significaba que los pobres tenían que trabajar en labores serviles y a menudo en tareas sin importancia, tales como reciclar fibra de viejos cables de yute. Pero cuando toda la cosecha de papas se perdió no hubo manera de que el gobierno montara talleres para los millones de irlandeses hambrientos. Así que, creyéndose benevolente e iluminado, el gobierno creó trabajo en las carreteras.

Se esperaba de esos trabajadores hambrientos, que se quebraran el espinazo creando nuevas carreteras a cambio de poco más de un tazón de potaje. Muchos de esos caminos iban de ningún lugar a ningún otro. La gente débil y desnutrida era completamente incapaz de labores manuales. Es más, a menudo tenían que caminar grandes distancias para llegar a su trabajo. Un contratista de la época comentó que como ingeniero se sentía avergonzado de asignar tan poco trabajo como tarea diaria, pero que como hombre tenía vergüenza de exigir demasiado.

### **18.3. Cuarenta Años de Daño por Tizón**

Cuando apareció por primera vez el tizón de la papa fue tan dañino que arrasó campos enteros. Sin embargo la severidad epidémica declinó y nunca volvió a ser tan perjudicial. En ese tiempo eso se atribuyó a misteriosas (e inexplicables) declinaciones en la virulencia del hongo causal, pero ahora sabemos que se debió a cambios fundamentales en la población general de papas.

Cada variedad de papa es un clon. Se propaga asexualmente en forma vegetativa, a partir de tubérculos "semilla", y en consecuencia todas las plantas de un clon son genéticamente idénticas. Cada *nuevo clon* sólo se produce a partir de verdaderas semillas que se desarrollan sexualmente a partir de flores polinizadas, las cuales difieren genéticamente entre sí, porque son el resultado de recombinaciones genéticas. En la Europa de esos años había muchísimos clones de papa; diferían considerablemente en susceptibilidad al tizón, entre otras diferencias.

En 1845, el primer año completo de epidemias de tizón, los clones de papa más susceptibles fueron totalmente destruidos; se extinguieron. Durante el segundo año los clones un poco menos susceptibles también se extinguieron, y alrededor del cuarto año sólo quedaban los moderadamente resistentes. La población toda de papas europeas había cambiado radicalmente en cuanto a resistencia al tizón, y en consecuencia la epidemia decayó.

A partir de semilla verdadera, nuevas variedades de papa eran permanentemente producidas por los mejoradores, por los mercaderes de semilla, por granjeros e incluso por aficionados de esos tiempos. En esos días el fitomejoramiento era un arte más que una ciencia, y existía un incentivo poderoso para obtener variedades nuevas: ésta era la única manera de evitar las severas "pérdidas de vigor", entonces atribuidas a la propagación vegetativa con tubérculos.

Con los beneficios de la ciencia moderna ahora sabemos que estas pérdidas de vigor ocurren como consecuencia de la acumulación de enfermedades virósicas transmitidas por tubérculos usados como semilla, pero que no se transmiten a las plántulas mediante el uso de semilla verdadera. Consecuentemente para poder resolver los severos problemas de pérdida de vigor los mejoradores tenían que producir muchas variedades nuevas a partir de semillas. Los modernos productores de papa

no tienen necesidad de hacer lo anterior por que usan papa certificada cuyas semillas han sido inspeccionadas oficialmente, y que demostradamente están libres de virus.

Después que el tizón entró a Europa la resistencia llegó a ser la primera prioridad de selección, al momento de escoger las plántulas que llegarían a ser clones nuevos. En realidad, cualquier plántula que no fuese resistente al tizón era inmediatamente desechada, y sólo aquellas que lo sobrevivían tenían alguna oportunidad de llegar a ser clones. Al igual que el cambio de respuestas de las papas de día corto a día largo, éste fue otro ejemplo de selección inconsciente. Queriéndolo o no, y aun sabiéndolo o no, los mejoradores no tenían opción porque sólo las plántulas resistentes podían sobrevivir; y ni que pensar en buenos rendimientos de cosecha.

Este proceso de selección por resistencia al tizón continuó durante los cuarenta años posteriores a su aparición. Sin embargo la base genética de las papas en Europa era reducida, y tal vez casi completamente derivada del material original introducido por los españoles. Esto significa que había un límite al nivel de resistencia alcanzable dentro de ese material, y existen muy pocas dudas de que los fitomejoradores de aquella Europa alcanzaron ese límite de resistencia. No se podría avanzar más sin una previa ampliación de la base genética mediante la introducción de nuevos materiales provenientes de América del Sur. Pero por lo menos el límite logrado tuvo suficiente resistencia como para permitir el cultivo económico de papas sin asperjar fungicidas contra el tizón. Las papas se cultivaban a pesar del tizón y rendían lo suficiente como para considerarlas un cultivo alimenticio importante en toda Europa. Esto era un aumento muy considerable de resistencia cuando se compara con los clones susceptibles (que fácilmente eran reducidos a masas negras y apestosas), de los "cuarentas del hambre".

Como ahora sabemos esta resistencia al tizón es la resistencia de los biometristas. Se trata pues de la resistencia horizontal debida a variabilidad continua heredada poligénicamente. Podemos asumir con seguridad que las papas europeas durante la primera aparición del tizón tenían niveles de resistencia horizontal cercanos al mínimo y, como se ha visto, éstos niveles conducen a la destrucción completa del cultivo al grado de no poder encontrar una sola mancha verde del mismo.

En un momento discutiremos nuevos clones de papa mexicanos, con niveles de resistencia horizontal cercanos al máximo. En muchos lugares tales clones se pueden cultivar sin aspersión alguna y sin pérdidas por tizón. Así, la diferencia entre el mínimo y el máximo niveles de resistencia horizontal puede ser enorme. Puede ser la diferencia entre una pérdida *completa* de la cosecha y *ninguna* pérdida.

#### **18.4. Caldo Bordelés**

En la década de 1870 las viñas de Francia comenzaron a ser arruinadas por otro hongo exótico llamado *Plasmopara viticola*, que también fue introducido del Nuevo Mundo, siendo pariente lejano del tizón de la papa. Este hongo causa una enfermedad en las uvas llamada mildiu veloso. Cuando se introdujo a Europa también se trataba de una enfermedad de nuevo encuentro y casi ocasionó el mismo daño a las vides, que el tizón a las papas, pero había una diferencia importante. Los clones clásicos de uva para vino son el resultado de muchos siglos si no es que milenios de selección, y eso les sitúa entre los cultivos más difícilmente susceptibles de fitomejoramiento. No podía intentarse reemplazar las vides susceptibles por resistentes sin que ocurriera una pérdida totalmente inaceptable en la calidad del vino. Por lo tanto no existía la menor posibilidad de que la epidemia de mildiu veloso declinara en base a cambios genéticos en el hospedante, como había sucedido con el tizón de la papa. La industria vinícola francesa encaraba la ruina total.

Entonces, en el verano de 1882, cierto profesor Pierre Marie Alexis Millardet, cuando estaba examinando vides muy dañadas por el mildiu en la famosa región de Medoc, Burdeos, notó que algunas vides de Chateau Beaucaillon estaban verdes y saludables. Esto era tan extraordinario que comenzó algunas pesquisas, y descubrió que era costumbre local salpicar las vides cercanas a la carretera con una substancia de apariencia venenosa, para disuadir a los transeúntes de comerse las uvas. También



encontró que tal substancia era una mezcla de sulfato de cobre y cal, y que se aplicaba con la intención de sembrar el verdigris de las vasijas de cobre, corroídas.

Millardet se había topado con una substancia que podría resolver el problema del mildiu veloso y la llamó caldo bordelés. Esta fue la primera aspersión fungicida utilizada en los cultivos; era, además, un fungicida increíblemente eficiente. Esto desencadenó una explosión de investigaciones al respecto. Así, se investigaron las mejores proporciones de sulfato de cobre y cal fresca; las mejores concentraciones de la mezcla y los mejores programas de aspersión. Tipos de máquinas completamente nuevas, a las que llamaron aspersoras, se inventaron para aplicar la mezcla en los viñedos. Un sinfín de otras mezclas fue ensayado, pero casi sin excepción todas resultaron inútiles o positivamente tóxicas a las vides. Pronto todas las viñas de Europa fueron asperjadas con caldo bordelés. Y también todos los cultivos de papa, porque en breve se descubrió que el caldo bordelés también controlaba al tizón.

Al poco tiempo toda una parafernalia de tinajas de madera, carretas de agua, aspersoras, sulfato de cobre y cal, se veía tanto en los campos de papa como en los viñedos. La aspersión de la papa se convirtió en parte rutinaria de su cultivo en toda Europa, y más tarde en el mundo. Esto sucedió hace poco más de cien años y, tómese nota, *todavía* seguimos asperjando ese cultivo con fungicidas para controlar al tizón, aunque el caldo bordelés haya sido suplantado por productos más convenientes o apropiados.

Después de cien años es difícil apreciar el impacto que el caldo bordelés produjo en nuestras mentes. Para empezar, tanto en el tizón de la papa como en el mildiu veloso de la vid hubieron consecuencias sociales poderosas. Pocas personas en toda Europa escaparon de ser afectadas personalmente por uno, otro, o ambos fitoparásitos; después de todo la gente pasó hambres debidas al tizón de la papa. Ambas enfermedades tuvieron también enorme impacto económico. Se dijo que el mildiu de la vid le costó a Francia más que la Guerra Franco-Prusiana. La eficacia del caldo bordelés fue *espectacular*; controlaba de forma barata ambas enfermedades, con eficiencia, seguridad y en forma completa. No puede culparse a los especialistas en fitosanidad de que hoy día continúen buscando plaguicidas con los cuales obtener los éxitos alcanzados en aquel entonces.

Hay otro aspecto de esta historia que también nos concierne. Cuando el caldo bordelés se usó por primera vez tuvo una oposición vociferante. "El cobre es un veneno", gritaban en forma incorrecta sus oponentes; clamando que la población europea moriría por consumir papas envenenadas y por beber vino igualmente envenenado. Como hecho histórico se consigna que ni una sola persona ha muerto por su uso; y que la salud humana no ha estado en peligro. Todo lo contrario; si el caldo bordelés hubiera sido descubierto unos cuarenta años antes, hubiera haber podido salvar la vida a no menos de un millón de irlandeses durante la hambruna de la papa, y probablemente a otro millón en los distritos consumidores de papa de la Europa Continental. No todos los plaguicidas químicos son peligrosos. El caldo bordelés no sólo es el más antiguo de los fungicidas agrícolas, también es el más seguro.

### **18.5. Cuarenta Años de Caldo Bordelés**

El efecto del caldo bordelés en *el cultivo* de la papa fue dramático y maravilloso. Pero el efecto en *su fitomejoramiento* fue desastroso. Durante los cuarenta años subsecuentes los fitomejoradores papeiros pudieron proteger sus nuevas plántulas con este fungicida, lo que significó que podían ignorar la susceptibilidad al tizón y concentrarse en los otros objetivos primarios del mejoramiento que, como hemos visto, son el rendimiento de tubérculos, su calidad y la adaptabilidad agronómica. Los fitomejoradores concluyeron, sin dudar, que el tizón ya no era importante porque con el caldo bordelés los cultivos podían protegerse fácil y efectivamente. De súbito desapareció toda presión por encontrar plántulas resistentes. Ya podían seleccionar plántulas bajo la protección del nuevo fungicida, haciendo del fitomejoramiento algo incomparablemente más fácil. También podían ignorar los problemas de

muerte de la mayoría de sus plantas por tizón, problema que había subyugado su trabajo durante los cuarenta años previos.

Aproximadamente entre 1885 y 1925 se produjeron algunas de las variedades de papa más famosas. Muchas de ellas aun se cultivan, como la *Russet Burbank* (1890) en los Estados Unidos, la *King Edward* (1902) y *Majestic* (1911) en Gran Bretaña, la *Bintje* (1910) en Holanda, y la vieja variedad alemana *Alfa* (1925), en muchas otras partes del mundo y permanecen como algunas de las más populares entre los consumidores.

Pero hubo un gran retroceso inherente a este fácil fitomejoramiento. No sólo se detuvo la acumulación de resistencia sino que se le dio marcha atrás. Esto sucede con cualquier carácter heredado que tenga variabilidad cuantitativa y que no contribuya a la supervivencia de la especie. Si no hay ninguna ventaja adaptativa, sea natural o artificial, tiende a perderse en las poblaciones genéticamente flexibles de reproducción sexual.

Como hemos visto (Capítulo 8), los fitomejoradores se refieren a la presión de selección utilizando la palabra presión en el sentido de hallar tolerancia a la presión, "hacerla tolerable". También refieren presiones de selección *positivas* y *negativas*. Cuando apareció el tizón en Europa por primera vez hubo una muy fuerte y positiva presión de selección por resistencia debido a que sólo podieron sobrevivir los clones resistentes, y la población general de papa rápidamente cambió en lo genético hacia un aumento de la resistencia. Pero cuando se introdujo el caldo bordelés se dió una presión de selección negativa; esto sucedió porque las aspersiones con caldo hicieron imposible distinguir las plántulas resistentes de las susceptibles, estando estas últimas en mayoría. Siendo así tuvieron mayores probabilidades de ser seleccionadas, y la tendencia de los cuarenta años previos se revirtió; la resistencia comenzó a perderse. Como también hemos visto (Capítulo 13), a esta pérdida se le conoce como erosión de la resistencia horizontal; tal erosión continuó durante cuarenta años, hasta que los mejoradores de papa fueron violentamente sacados de la autocomplacencia por la I Guerra Mundial.

Como consecuencia del caldo bordelés, la progresión de nuevos cultivares de papa gradualmente fue más y más susceptible al tizón. La variedad *Bintje*, por ejemplo, es una de las más susceptibles que se conocen, pero todavía se cultiva ampliamente por su popularidad culinaria, aunque el cultivo sea difícil por su susceptibilidad y necesite protección fungicida. Igualmente, aunque sea el cartabón para medir la susceptibilidad al tizón, la *Alfa* es la papa más popular en México, país con programas muy notables de mejoramiento papero, que se discutirán en un momento.

La pérdida de resistencia al tizón se evidenció por primera vez durante la I Guerra Mundial cuando hubo escasez aguda de comida en Europa. Hubo también escasez aguda de otros productos como el cobre, necesario en la industria de armamentos para la manufactura de cartuchos de latón para rifles y cañones. Pero el cobre también se necesitaba para asperjar los cultivos de papa, particularmente debido a que las variedades de aquel tiempo eran muy susceptibles al tizón. Alemania sufría escasez crítica de cobre no pudiendo asperjar muchos de sus campos de papa, con la ruina consecuente. La falta de alimentos contribuyó indudablemente a su derrota, y principalmente era resultado de daños extremos en los cultivos que no podían ser asperjados. Así, varios países (a ambos lados de la línea de fuego) decidieron que el tizón de la papa era de importancia estratégica y que ya era tiempo de fitomejorar el cultivo por resistencia a esta enfermedad, de tal suerte que no se tuviera que asperjar. Y decidieron usar lo último en conocimiento científico y tecnología; esto es, los recién descubiertos métodos de fitomejoramiento de la escuela mendeliana de genética.

## **18.6. Cuarenta Años de Mejoramiento Científico de la Papa**

Desde alrededor de 1925, hasta cerca de 1965, los mejoradores de papa utilizaron resistencia monogénica al tizón. Estos genes habían sido descubiertos en papas silvestres de México, y con cierta dificultad fueron transferidos a papas cultivadas. Cada gene confería inmunidad evidente contra el tizón y, cuando las papas portadoras de tal gene eran cruzadas con papas susceptibles, los descendientes

segregaban de acuerdo a las leyes de la herencia de Mendel en una proporción de tres resistentes por un susceptible.

En muy poco tiempo los mejoradores de papa de Alemania, Holanda, El Reino Unido y otros países, estaban utilizando esta técnica. Había mucho optimismo y mucha verborrea respecto a la eliminación del tizón y del caldo bordeles. Por desgracia este optimismo fue prematuro.

En 1953 un grupo de científicos ingleses y holandeses publicó un descubrimiento importante, demostrando que por cada gene mendeliano de resistencia en una hospedera de papa, había un gene correspondiente o acoplante en el tizón parásito. Publicaron este descubrimiento sin saber que H.H. Flor, trabajando con la roya del lino en Estados Unidos, había hecho el mismo descubrimiento en 1940 (Capítulo 3). Esto fue una muestra de cuán subdividida se había tornado la ciencia agrícola y de que cómo los científicos que trabajan en un cultivo, ignoran los descubrimientos importantes realizados en otro. Como hemos visto, Flor llamó a esta interfase genética entre hospedante y parásito, la relación gene a gene (o gene por gene), y es la característica definitoria de la resistencia vertical.

Los fitomejoradores de papa descubrieron gradualmente que la resistencia que usaban para controlar al tizón, probablemente fallaría después de unos cuantos años de cultivo comercial, pues se trataba de una resistencia vertical. Tomando en cuenta que la obtención de un nuevo cultivar de papa por fitomejoramiento requiere alrededor de ocho años de investigación, claramente se veía que para el fitomejorador era difícil mantenerse produciendo cultivares nuevos con resistencias verticales diferentes y nuevas, para reemplazar los cultivares cuyas resistencias habían fallado. Durante la década de los 60's, varios fitomejoradores papeiros que habían invertido toda su carrera investigando la resistencia vertical al tizón llegaron a la edad de jubilación con un sentido de frustración, y una trágica sensación de que sus carreras habían sido un pérdida de tiempo. Los programas de fitomejoramiento por resistencia al tizón de la papa habían fallado; a esto se debe que todavía tengamos que asperjar los cultivos para controlar al tizón.

### **18.7. El Sexo en el Hongo Causal del Tizón**

Cuando por primera vez se descubrió al hongo del tizón en Europa, el micólogo alemán Heinrich Anton DeBary estudiaba la reproducción en hongos microscópicos. Ya había demostrado que la mayoría de los hongos similares a *Phytophthora infestans* tenían dos métodos de reproducción completamente diferentes; un método es de reproducción asexual o vegetativa, mediante el cual el hongo emite esporas microscópicas en gran número. Esta clase de reproducción de estrategia-**r** faculta al hongo para multiplicarse muy rápida y económicamente en cuanto hay condiciones meteorológicas que lo permiten; así se produce la explosión poblacional, lo que explica porqué las epidemias de esta enfermedad se desarrollan tan rápidamente y causan tanto daño en grandes superficies.

El otro método de reproducción es sexual, y es el resultado de la fusión de dos diferentes "tipos" de células que se acoplan para producir una nueva combinación genética. Técnicamente estos "tipos" son macho y hembra pero no son llamados así debido a que no siempre se puede reconocer a qué sexo pertenecen. Cada fusión de estos dos tipos de células normalmente produce una espora simple llamada *oospora*, que es una espora dormante (durmiente), la cual faculta al hongo para sobrevivir durante el tiempo adverso de invierno o de una estación seca; esta reproducción sexual lo conduce a la recombinación genética. Las nuevas esporas serán genéticamente diferentes de sus padres y, muy en particular, habrá nuevas combinaciones de genes de parasitismo vertical. Esto induce una población de hongos poseedores de la máxima diversidad genética al inicio de cada epidemia, que es el momento cuando necesita el máximo de diversidad, si es que habrá de vencer el sistema de salvaguarda de la planta, según la teoría de la relación gene a gene.

Sin embargo cuando DeBary estudió a *Phytophthora infestans* no halló ningún indicio de reproducción sexual o de esporas dormantes, descubrimiento que lo eludió y continuó eludiendo a los científicos de todo el mundo durante cerca de un siglo; hasta que el científico mexicano Jorge Galindo

Alonso, quién trabajaba en el centro de origen del tizón, descubrió que había dos tipos (apareantes) de *Phytophthora infestans* en México, y que las esporas dormantes eran comunes en parte de ese país. Fue entonces cuando se evidenció que el hongo había sido llevado como tipo apareante único a Norte América (Estados Unidos y Canadá), de donde salió para Europa, que a su vez lo envió al resto del mundo. Y por supuesto que un tipo apareante único no puede tener recombinaciones sexuales consigo mismo, lo que evidenció que accidentalmente había sido sacado de México en una sola ocasión; por que es muy poco probable que hubiera salido más de una vez, siempre como el mismo tipo.

Ese accidente que explica porqué en Norteamérica y Europa había uno solo de los dos tipos de *Phytophthora infestans*, tuvo efectos profundos en el desarrollo de la ciencia agrícola en general y en el fitomejoramiento por resistencia en especial; también explica que existiendo sólo un tipo de hongo del tizón en Europa, éste sólo podrían vencer las resistencias verticales mediante la formación de nuevas razas por mutación genética. Comparada con la selección de nuevas razas por recombinación sexual, la proporción de mutaciones es muy baja; lo cual quiere decir que la resistencia vertical al tizón permanecerá efectiva y no será acoplada durante varios años de cultivo comercial. Esto animó a los fitomejoradores para utilizar el fitomejoramiento para resistencia vertical.

En México, donde las esporas dormantes del tizón son comunes, la resistencia vertical falla en poco tiempo porque las abundantes esporas producen muchas y muy diferentes razas del hongo, acoplándose rápidamente. Si ambos tipos hubieran existido en Europa y el resto del mundo el fitomejoramiento de la papa por *resistencia vertical* al tizón nunca se habría iniciado pues normalmente hubiera fallado durante un solo período de selección; así, los fitomejoradores se hubieran visto obligados a usar técnicas completamente diferentes de fitomejoramiento para acumular resistencia horizontal heredada poligénicamente en papa, y la influencia de ese trabajo en papa hubiera sido muy profunda en otros cultivos.

El segundo tipo de tizón fue irresponsable y accidentalmente introducido a Europa recientemente, de donde se esparció al resto del mundo a través de papas utilizadas como propágulo, lo que significa que la resistencia vertical al tizón es ahora más inútil que antes. Por lo tanto, si habrá de controlarse al tizón con resistencia horizontal va a ser necesario acumular mayores niveles de este tipo de resistencia. Esto se debe a que las esporas dormantes aumentan mucho el inóculo inicial, o cantidad de hongo al principio de cada epidemia. Y hasta el nombre de esta enfermedad de la papa tendrá que cambiar, porque el tizón de la papa en los países templado-fríos normalmente es llamado "tizón tardío" para diferenciarlo de otra enfermedad llamada tizón temprano, que ocurre en las fases iniciales de cada estación. Con un exceso de oosporas en el suelo, ahora el tizón "tardío" se iniciará mucho más pronto cada estación y ya no será llamado así.

### **18.8. Enfermedades que Porta el Tubérculo de la Papa**

Se mencionó anteriormente que las enfermedades virosas de la papa se transmiten por propagación vegetativa de los tubérculos-semilla, mas no por la propagación sexual mediante semillas verdaderas. Esto quiere decir que las enfermedades virosas se pueden acumular gradualmente en cada clon hasta que su rendimiento se ve severamente limitado. Hasta hoy el único método para resolver el problema ha sido la producción de tubérculo-semilla, que fue inspeccionado en el campo y certificado como libre de virus; pero estos tubérculos son caros.

El punto clave de este problema es que las enfermedades virosas se dispersan muy *lentamente* dentro de un cultivo. Sin aplicar control artificial de los virus, un clon de papa usualmente puede ser cultivado durante una década antes de que la acumulación viral lo vuelva incosteable. De hecho los virus se dispersan tan lentamente que el fitomejorador raramente los nota en sus poblaciones de selección. Esta es una situación comparable al fitomejoramiento bajo el abrigo del caldo bordelés cuando recién fue descubierto: Es imposible seleccionar por resistencia a enfermedades cuando la resistencia no puede ser vista; y también es imposible medirla cuando no se presenta. En consecuencia

la enfermedad debe estar *universalmente* a la vista; es decir, cada individuo de la población de selección debe evidenciar la presencia de enfermedad; de otra manera, quienes no la muestren por haber escapado a ella pueden ser tomados como resistentes.

Los virus de la papa son de origen europeo. Siendo exótica, en teoría la papa debió haber acumulado resistencia a ellos después de siglos de mejoramiento en Europa, pero tal resistencia sólo puede ser acumulada durante el proceso de *fitomejoramiento* bajo condiciones de reproducción sexual y de flexibilidad genética. No se puede acumular durante el proceso de *cultivo* porque ser clon genéticamente inflexible y reproductivamente asexual. Como los virus se dispersan de forma muy lenta, rara vez aparecen en las poblaciones de selección; en consecuencia no hay presión de selección por resistencia horizontal contra ellos y, de la misma manera que se ha perdido resistencia al tizón bajo el escudo del caldo bordelés, hemos estado perdiendo resistencia a los virus en lugar de ganarla. En los cultivares modernos de papa los niveles de resistencia horizontal a virus están probablemente muy cerca del mínimo.

Este problema nos ha acompañado durante siglos. Los mejoradores de papa han ninguneado las virosis desde antes que apareciera el tizón en Europa, durante los cuarenta años de tizón previos al descubrimiento del caldo bordelés, durante los cuarenta años de mejoramiento bajo la protección del caldo, durante los cuarenta años de mejoramiento por resistencia vertical, y por siempre. El problema aun nos acompaña.

Los fitomejoradores modernos de papas serían felices de poder incorporar resistencia viral a sus variedades, pero por desgracia no han podido hallar una "fuente genética de resistencia". Lo que deberían hacer es mejorarlas por resistencia horizontal mediante la inoculación de cada plántula de sus poblaciones de selección, con estos virus. Pero sugerir tal cosa a un fitomejorador moderno podría horrorizarlo. Los virus harían un revoltijo espantoso de sus bellísimas plántulas, la mayoría probablemente sería matada y sólo unas cuantas sobrevivirían, horribles, deformes y baldadas. Sin embargo esos monstruos poseerían cierta resistencia y podrían producir algo de semilla verdadera, como para mostrarse un poco más resistentes en la siguiente generación. Cerca de una docena de generaciones con este grado de presión de selección es todo lo que se necesitaría para reducir estos virus a la importancia mínima; lo mismo se dice para otras enfermedades de la papa que se dispersan por medio de tubérculos-semilla. Hay muchas de esas enfermedades y tienen nombres pintorescos como verrucosis, roña, nudo radical, escama, pierna negra, pudrición anular, gangrena, pudrición apical gomosa, pudrición blanda, pudrición seca y otros más.

¿Por que es tan importante todo esto? Porque los tubérculos-semilla certificados son caros; de hecho el costo de la semilla certificada es la mayor erogación inicial de una producción comercial de papas. Pero el costo pasa al consumidor y esto no debería de ser necesario.

El punto anterior se ilustra perfectamente en los países no industrializados que cultivan papas. Los productores de subsistencia no pueden pagar la semilla certificada, incluso no pueden obtenerla debido a que muy pocos de esos países poseen esquemas efectivos de certificación de semilla. Como resultado de mi propia experiencia como fitomejorador por resistencia horizontal en Nairobi, Kenya posee actualmente un par de variedades de papa llamadas *Kenya Akiba* y *Kenya Baraka* (Akiba quiere decir alacena en swahili, y Baraka quiere decir bendiciones), que pueden ser cultivadas sin necesidad de aspersiones contra el tizón y sin utilizar semilla certificada, que es tan cara. En virtud de que en Kenya hay dos estaciones de cultivo de papas al año, esos cultivares han sido sembrados, hasta ahora, por más de cuarenta generaciones vegetativas sin ninguna pérdida de vigor que sea detectable.

Por desgracia mis investigaciones de fitomejoramiento se suspendieron bruscamente cuando un científico extranjero nos visitaba, e irresponsablemente dijo -sin que le preguntaran- que no existía cosa alguna llamada resistencia horizontal y que todo mi trabajo era una pérdida de tiempo. Debido a ello me invitaron a abandonar el país; sin embargo mis dos variedades actualmente cubren cerca del sesenta por ciento del creciente hectareaje de papa en Kenya. La dieta básica en los valles altos de aquel bello

país está actualmente cambiando, del maíz y frijol tradicionales, hacia una dieta mucho más nutritiva de papas y leche.

Debe también mencionarse que la variedad mexicana "Sangema", que se describe más adelante, está siendo cultivada en Rwanda, Africa Central, sin necesidad de aspersiones ni de semilla certificada; afortunadamente estos dos pequeños países africanos son la excepción que prueba la regla, **sí** es posible un cultivo barato y no contaminante de papas. También demuestran que liberarse del uso de semilla certificada y aspersiones es una meta realista de la investigación en cualquier país donde se cultive la papa, incluso Norteamérica y Europa, a pesar del hecho de que tienen un patrón considerablemente complejo de parásitos.

Tal vez valdría la pena comentar, en este contexto, que en el mundo industrial algunos granjeros "orgánicos" se las ingenian para producir sin ninguna aspersión contra la catarinita de la papa o el tizón. Y lo pueden lograr solamente porque todos sus vecinos asperjan permanentemente los cultivos, lo que hace que estos parásitos sean muy raros. Si nadie asperjara sus papas las epidemias de tizón y catarinita aumentarían rápidamente hasta el punto en que el cultivo ya no sería económico; en realidad pocos tubérculos podrían ser cosechados en cultivos con esas características.

### **18.9. Mejoramiento de la Papa en México**

En el Valle de Toluca, México, lugar de origen del hongo del tizón, John S. Niederhauser, de la Fundación Rockefeller, fue el primer científico moderno que deliberadamente eligió trabajar con la resistencia poligénica de los biometristas, actualmente llamada resistencia horizontal. Niederhauser comenzó a trabajar con papas como actividad colateral de su trabajo con cereales y frijol, en 1947. Inicialmente, comenzó utilizando la resistencia vertical que en aquel tiempo era el fundamento de todo programa de fitomejoramiento papero en el mundo. Sin embargo el Valle de Toluca difería del resto del mundo en que tenía una superabundancia de oosporas del tizón. Esto tuvo dos efectos importantes en las epidemias de tizón en Toluca.

El primero es que las epidemias son mucho más severas, porque los grandes números de oosporas aseguran que el inóculo inicial de tizón sea muy alto, lo que significa que haya superabundancia del hongo, particularmente al iniciarse la epidemia. El segundo es que la gran diversidad de oosporas induce una concomitante diversidad de razas del tizón, lo que significa que la resistencia vertical sea rota muy rápidamente en México; esto es especialmente cierto para los cultivares extranjeros quienes usualmente sólo poseen uno o dos genes de resistencia vertical. Niederhauser demostró que la resistencia vertical era inútil en Toluca, porque normalmente era acoplada casi tan pronto como los brotes de papa iban apareciendo en la superficie cultivada.

Los españoles llevaron la papa comestible desde los Andes a México en el siglo XVIII, pero inmediatamente se descubrió que era muy difícil cultivarla; como ahora sabemos esto se debía al tizón, que en esos tiempos, desde el punto de vista científico, era desconocido. Los granjeros mexicanos descubrieron que podían producir papas en las sierras altas, donde hace demasiado frío para el hongo. También podían cultivarlas a altitudes menores, bajo riego, durante la época seca; es decir cuando la epidemia no puede desarrollarse. Pero ese tipo de cultivo es limitado y el país se privaba de un cultivo comestible de valor que abarcara la mayor parte de su área agrícola.

John Niederhauser demostró que también en las zonas de tizón era posible cultivar papas mediante la aspersión con fungicidas, pero había grandes diferencias. Mientras que en Europa el cultivo debía asperjarse al rededor de cinco veces para controlar al tizón, en el Valle de Toluca, donde él trabajaba, las mismas variedades debían ser asperjadas hasta veinte veces para lograr el mismo control.

Niederhauser también descubrió que los cultivares de papa diferían muy considerablemente en cuanto a la cantidad de tizón que acumulaban *después* de que la resistencia vertical había sido acoplada. Esto se debía a variabilidad en la segunda línea de defensa (llamada resistencia "parcial" o "incompleta" por Niederhauser, y a la que posteriormente Vanderplank rebautizó horizontal). Como ahora sabemos,

se trata del mismo tipo de resistencia que indujo el declinamiento en severidad de las epidemias de tizón en Europa durante la hambruna de los cuarentas. Fue la misma resistencia que se acumuló durante cuarenta años de fitomejoramiento papero en ausencia del caldo bordelés y que posteriormente volvió a perderse durante los cuarenta años de mejoramiento bajo la protección de este fungicida. Se trata de la resistencia que invariablemente permanece en cualquier planta después de que la resistencia vertical fue acoplada, aun cuando se encuentre a muy bajo nivel en muchas variedades modernas.

El fue el primer científico que reconoció y *utilizó* la resistencia horizontal, el primero que abandonó deliberadamente la resistencia vertical y el primero que obtuvo papas con niveles altos y muy altos de resistencia poligénica, variablemente cuantitativa. Tal vez su cultivar más conocido es *Atzimba*, que requiere de pocas aspersiones. Cuando Niederhauser salió de México, en 1972, dejó muchas variedades resistentes nuevas y su trabajo fue continuado por científicos mexicanos que produjeron mejores cultivares incluyendo a la Sangema (nombre derivado del nombre de pila de los tres científicos mexicanos que obtuvieron el cultivar: **Santiago Delgado Sánchez**, **Gelasio Pérez Ugalde** y **Mateo Cadena Hinojosa**), previamente mencionada.

La papa más popular en México todavía es el viejo cultivar alemán *Alfa* que, como hemos visto, se obtuvo durante el periodo de cuarenta años en que los mejoradores trabajaron bajo la protección del caldo bordelés; su nivel de resistencia horizontal al tizón es bajo. Como se mencionó, los cultivos en Toluca tienen que ser asperjados con fungicidas hasta veinte veces para poder controlar, cada estación, los severos tizones de esa área. A manera de comparación, los cultivares modernos como *Rosita*, *Tollocan* y *Sangema* tienen tanta resistencia horizontal al tizón que es necesario asperjarlas sólo una o dos veces durante su cultivo. Es más, las papas silvestres de Toluca, que jamás son asperjadas, logran tan bajos niveles de infestación que los científicos a menudo tienen dificultad para encontrarles tizón y utilizarlo en sus investigaciones. (Por desgracia estos cultivares mexicanos de papa no pueden ser utilizados en los países templados, por ser plantas tropicales de día corto).

Lo anterior resalta la importancia del trabajo de Niederhauser y es una indicación fehaciente de lo que puede lograrse con la resistencia horizontal. Durante la mayor parte del fitomejoramiento del presente siglo la resistencia horizontal ha sido discriminada por ignorancia y por negligencia. Como resultado, en lugar de aumentar tendió a perderse y la mayoría de los cultivares modernos de casi todas las especies cultivadas actualmente poseen muy bajos niveles, similares a los de la variedad Alpha. Es probable que cuando comencemos el mejoramiento de otras especies alcanzaremos niveles de resistencia horizontal similares o mayores que los logrados con las papas Tollocan, Rosita y Sangema.

Durante los últimos treinta años otros científicos, trabajando con papas y otros cultivos, gradualmente han concluido que el trabajo con resistencia vertical no es satisfactorio (y lo abandonaron). Lo que debieron haber hecho era imitar el trabajo de Niederhauser y haber trabajado con resistencia horizontal; pero no lo hicieron. Muchos de ellos incluso fracasaron en reconocer su existencia, y otros se negaron a creer que la resistencia horizontal era capaz de proveer el control adecuado de los fitoparásitos. Otros más declinaron utilizarla sobre la base de que el trabajo con ella era demasiado difícil. Algunos quisieron usar métodos mendelianos para aplicarlos a la resistencia horizontal; pero bajo esas circunstancias es muy difícil acumularla.

Cuando la Fundación Rockefeller envió a Niederhauser a México, también mandó a Norman Borlaug para trabajar en trigo. Estos dos brillantes científicos tuvieron carreras muy paralelas; Norman Borlaug produjo los "trigos milagrosos" de la revolución verde (Capítulo 19; pero como el mejoramiento por resistencia horizontal era tan nuevo y tan difícil, fracasó en la producción de trigos horizontalmente resistentes. Los trigos milagrosos poseen resistencias verticales, manteniéndolos vulnerables a nuevas razas de sus múltiples parásitos. Por su parte Niederhauser sí produjo resistencia horizontal, pero no pudo inducir una revolución verde papera comparable a la revolución verde del trigo y el arroz.

Norman Borlaug ha salvado millones de personas de la muerte por inanición, y cientos de millones más de la desnutrición. Puede decirse que evitó, y por mucho, los horrores que trajo el tizón

de la papa y el hambre que indujo. Gracias a este logro, uno de los mayores del siglo, recibió el muy merecido Premio Nobel de la Paz.

Pero a la larga los logros de John Niederhauser muy probablemente llegarán a reconocerse como más valiosos, porque descubrió un principio científico crucialmente importante que puede aplicarse en cualquier cultivo y, cuando se aplique, muy probablemente atestigüemos una revolución verde completamente nueva en todos y cada uno de ellos. John S. Niederhauser es la persona que probablemente merecerá el elogio final de "un párrafo en los libros de la historia".

### **18.10. Mejoramiento de la Papa en Escocia**

Hace más de 30 años, N.W. Simmonds intentó en Escocia un experimento muy original; trató de demostrar que la especie moderna de papa (*Solanum tuberosum*) realmente derivó del *Solanum andigena*, la papa de América del Sur. También trató de demostrar que la resistencia horizontal al tizón podía ser acumulada en esas dos, tan susceptibles, especies de papa. En base a la selección masal recurrente y seleccionando por características agronómicas y por resistencia cuantitativamente variable, fue capaz de reportar avances muy considerables después de sólo cuatro generaciones de mejoramiento. Tales avances ocurrieron en rendimiento, tolerancia a fotoperíodos largos, calidad del tubérculo y resistencia al tizón; muchas de sus selecciones se comparan favorablemente con los cultivares modernos. Simmons llamó "neo-tuberosum" a los materiales que obtuvo.

Además de destacarlo como uno de los pioneros de la resistencia horizontal, el trabajo de Simmons es de importancia para la tercera parte de este libro. Ahí veremos una ilustración interesante de lo que podría ser logrado por los miembros de un club de fitomejoramiento .

### **18.11. Catarinita de la Papa**

La catarinita de la papa (o escarabajo de la papa del Colorado, llamado así por el Estado de Colorado en Estados Unidos), es un coleóptero especializado en este cultivo; mide alrededor de 12 mm de largo y tiene bandas negras y anaranjadas características en sus estuches alares o élitros. A medida que los granjeros pioneros norteamericanos se desplazaban hacia el oeste, sus cultivos de papa eventualmente se enfrentaban con este parásito de nuevo encuentro, evidenciando de inmediato que sus cultivares tenían muy poca resistencia contra la catarinita. De esa manera grandes poblaciones del insecto comenzaron a expandirse también hacia el este, y durante la década de 1860 alcanzaron Illinois y Iowa, llegando a ser tan numerosos que constituían una verdadera molestia incluso en las calles y casas. Para fines de la década 1870 la catarinita de la papa (*Leptinotarsa decemlineata*) ya había llegado a New York, Bermont y Canadá.

Fue entonces cuando los productores norteamericanos comenzaron a proteger sus cultivos con un insecticida llamado "Verde de Paris", elaborado con un polvo de aceto-arsenito de cobre. Siendo el arsénico el ingrediente insecticida, la substancia resultaba extremadamente venenosa a las personas y peligrosa al ambiente. Sin embargo era el mejor insecticida disponible en ese tiempo.

En 1877 encontraron catarinitas de la papa en Alemania, e inmediatamente las exterminaron, pero eso alarmó a varios gobiernos europeos. Por primera vez en la historia elaboraron legislación cuarentenaria para impedir la entrada de un nuevo fitoparásito, llegando así la catarinita a convertirse en tópico de la mayor importancia. Durante la I Guerra Mundial incluso, hubo quién sugirió que los ejércitos aliados inundaran los cultivos alemanes de papa con catarinitas vivas liberadas por aeroplanos; probablemente este fue el primer registro de un intento de guerra biológica, pero por fortuna, prevalecieron otras opiniones más sabias y esta idea descabellada se abandonó.

Para 1922 la catarinita de la papa fue encontrada, ya establecida y sin esperanza de erradicación, en el Sur de Francia. Los coleópteros se dispersaron hacia el norte obligando a los productores



Europeos a asperjar sus cultivos con arseniato de plomo, que era doblemente venenoso y dos veces más peligroso.

La catarinita aun no llega a las Islas Británicas. E.C. Large, en su libro de 1940 *El avance del hongo*, propuso que cualquier persona que encontrara una catarinita de la papa la enviara al Ministerio de Agricultura, declarando dónde la había encontrado y proporcionando su nombre y domicilio; así mismo tal persona debería "permanecer alerta y observar lo que pasa, al igual que lo hace quien da la voz de alarma de fuego cerca de un polvorín".

La pequeña Isla de Jersey, a sólo 35 km de las costas de Normandía, produce papas tempranas para el mercado británico; como todavía está libre de la catarinita de la papa debe hacer todo lo posible por que esto se perpetúe, si no quiere perder ese mercado. Por esta razón el gobierno francés se asegura que las cosechas de papa de Normandía reciban aspersiones insecticidas extra; así protegen las cosechas de Jersey de la dispersión por vuelo de las catarinitas normandas, las que fácilmente podrían cruzar esos 35 km de mar. Este es un ejemplo extraordinario de buena voluntad internacional el cual, desafortunadamente, ha sido virtualmente ignorado por el resto del mundo.

Con el descubrimiento del DDT (Capítulo 16) fue mucho más fácil y seguro proteger los cultivos de papa; para cuando el DDT fue prohibido ya había bastantes insecticidas que lo podían reemplazar. Sin embargo en las áreas donde continúa la catarinita como plaga aun tenemos que asperjar los cultivos contra el coleóptero. Parece ser que nadie ha intentado el fitomejoramiento por resistencia contra este insecto. La razón es obvia, por supuesto: nadie pudo encontrar una fuente de resistencia en y eso se debe a que no existe resistencia vertical a la catarinita, por lo menos en sus hospedantes conocidos estudiados al respecto. Aparte el hecho de que nadie ha intentado fitomejorar horizontalmente al cultivo de papa contra esta plaga.

Y es que nadie sabe si es o no posible acumular suficiente resistencia horizontal para controlarla; y cualquiera que opine al respecto sólo estará elucubrando porque nunca se le ha investigado científicamente. Esta investigación debió haberse iniciado desde hace varias décadas. Y debemos empezar *ahora mismo*, pues como se dice popularmente: "para luego es tarde".



## 19. ¿Porqué se le Acabó el Vapor a la Revolución Verde?

Los agricultores a menudo clasifican sus cultivos en intensivos y extensivos. El manzano, por ejemplo, es un cultivo intensivo por que el fruto es muy valioso, de tal suerte que el cultivo justifica inversiones y mano de obra considerables. Los cereales, por otra parte, son extensivos porque deben cultivarse en grandes superficies, con inversiones y mano de obra relativamente bajas respecto a cada hectárea cultivada, ya que las ganancias por hectárea son relativamente bajas.

Antes de los tiempos de los fertilizantes artificiales los productores abonaban sus cultivos sólo con estiércol porcino, vacuno o caballar; y al trabajo de aplicar y esparcir el estiércol en los campos se le conocía como "estercolear". Como la gente del campo bien lo sabe, esa era una actividad mal oliente. Sin embargo, aparte lo maloliente la práctica de estercolear los cultivos tiene dos desventajas; la primera es que siempre existe un límite estricto a la cantidad de estiércol que cualquier granja mixta (agrícola y ganadera) puede producir, y esa cantidad casi nunca es suficiente. La segunda es que el método resulta muy laborioso y muy caro. Por estas razones en aquellos tiempos los granjeros solían estercolear sólo los cultivos intensivos, de tal manera que los extensivos tenían que conformarse con estiércoles sobrantes de cosechas más tempranas. Incluso una de las múltiples razones de la rotación de cultivos era el asegurarse que cada campo recibiera alguna dosis de abono, al cabo de unos cuantos años.

El propósito del estercolado era proveer a los cultivos con los tres nutrientes principales conocidos como N, P y K (referidos a los símbolos químicos del nitrógeno fósforo y potasio), porque algunos de los descubrimientos químicos más importantes del siglo XIX ya habían revelado que éstos son los nutrientes vegetales de mayor importancia. A diferencia de los animales que tienen que ingerir tejido vegetal o animal, las plantas absorben sus nutrientes como sustancias químicas inorgánicas; por esta razón es posible nutrir a las plantas con materia inorgánica ("fertilizantes artificiales").

Uno de los primeros "fertilizantes artificiales" utilizado era en realidad un producto natural llamado guano. El guano se extraía de las costas, principalmente del Perú, y consistía de excrementos acumulados por millones de aves marinas que se alimentan de peces; ricos en fosfatos y nitrógeno. Otro producto natural es la roca fosfórica.

Pero posteriormente se comenzó a producir fertilizantes artificiales en las fábricas, y fue su demanda lo que dio origen al nacimiento de algunas de las corporaciones químicas más grandes. La manufactura de fertilizantes nitrogenados es muy similar a la de explosivos; varios compuestos del nitrógeno son la base de ellos, tales como la nitroglicerina y el nitrato de amonio. Ciertas corporaciones químicas llegaron a ser muy grandes y realmente ricas gracias la demanda de explosivos durante las dos guerras mundiales.

Una de las pocas cosas buenas que quedó de la II Guerra Mundial fue el enorme espacio y capacidad para la manufactura de fertilizantes en todos los países industrializados, pues cuando terminó la demanda de explosivos junto con la guerra, todas esas fábricas resultaron innecesarias; para lo único que podían servir, sin tener que remodelarlas era para fabricar fertilizantes agrícolas nitrogenados. Su síntesis requiere de grandes cantidades de energía para poder combinar el nitrógeno atmosférico con el hidrógeno, obteniendo amoniaco como producto primario del proceso industrial.

Además de sobrar fábricas de explosivos, durante cerca de 30 años posteriores a la II Guerra Mundial se dio un periodo en el que tanto la energía eléctrica como el petróleo fueron baratos; como consecuencia la producción de fertilizantes nitrogenados creció hasta la saciedad, de tal manera que sus precios cayeron muy notablemente. Y por primera vez en la historia resultó económico aplicar fertilizantes nitrogenados en los cultivos extensivos, como el trigo.

### 19.1. Las Variedades Enanas

El trigo normalmente es de tallos largos. Pieter Bruegel El Viejo (1525-1569) pintó un cuadro llamado *Agosto* o *La Cosecha del Trigo*, en la que el trigo se ve casi tan alto como algunos de los hombres que lo están cosechando. En aquel entonces esto significaba que los tallos podrían medir entre 1.2 y 1.5 m de alto. Los tallos largos eran deseables por varias razones; era más fácil cortarlos a mano y era más fácil hacer un haz, para posteriormente apilarlo y secarlo en gavillas. Además, la paja tenía su propio valor intrínseco; de hecho llegaba a ser tan valioso y deseable como el mismo grano. Esto se debía, en parte, a que los animales de granja, particularmente los caballos y el ganado vacuno, necesitaban camas de paja.

El trigo de tallo largo, sin embargo, tiene serias desventajas ya que es propenso a abatirse cuando se moja y aumenta su peso bajo condiciones tormentosas de lluvia y viento. Este abatimiento de la cosecha de trigo o acame dificulta la cosecha y, ocasionalmente, la imposibilita. Así, la aplicación de estiércol al trigo se tornaba peligrosa, no tanto por lo caro de su práctica cuanto por su riqueza en nutrientes, que contribuía a aumentar el tamaño de la paja, el peso de la espiga, y la propensión al acame.

Actualmente los caballos han sido reemplazados por las máquinas y la necesidad de tallos largos se ha desvanecido junto con los peligros del acame; ésto se debe a que la tendencia moderna es totalmente opuesta en cuanto a la longitud de los tallos se refiere. Los trigos llamados enanos y semienanos tienen tallos muy cortos que llegan a medir hasta sesenta centímetros; estos trigos tienen la ventaja de poder recibir altas dosis fertilizantes sin peligro de acame y, como resultado, sus rendimientos pueden aumentar muy considerablemente.

Esta fue la base de la Revolución Verde. En la década de los 40's la fundación Rockefeller decidió emprender investigación agrícola en los países no industrializados y, con la cooperación del gobierno mexicano, decidieron comenzar en México. Uno de sus científicos fue Norman Borlaug quien estaba obteniendo variedades de trigo mejoradas y estaba consciente de la caída de los precios del fertilizante y de los aumentos de rendimiento a partir de la práctica de fertilización, en caso de que no hubiera acame; por supuesto también estaba consciente de la posibilidad de crear trigos enanos que fueran resistentes a él. Esto se convirtió en la esencia de sus investigaciones.

El carácter enanismo del trigo se originó en Japón, y fue incorporado a los trigos norteamericanos por O.A. Vogel. Borlaug llevó los trigos enanos de Vogel a México en 1954, y a partir de esos materiales obtuvo nuevas variedades enanas de trigo, con tan buenos rendimientos, que se volvió económico aplicarles fertilizantes artificiales en tierras de riego del noroeste mexicano. El aumento en la producción de trigo fue espectacular; en pocos años México se volvió autosuficiente. El siguiente avance consistió en que los científicos de la India, al saber de esas nuevas variedades y después de algunos experimentos, importaron grandes cantidades de semilla de México. Muy pronto la India cambió de país importador a nación exportadora de trigo. Aumentos similares de la producción ocurrieron en Pakistán, China y otros países del Medio Oriente y el Norte de Africa.

Mientras eso sucedía otros científicos de las fundaciones Rockefeller y Ford copiaban el trabajo de Borlaug en las Filipinas, excepto que su trabajo lo dirigieron al arroz. Ellos también fueron capaces de producir variedades enanas que crecían con fertilizantes baratos y que indujeron grandes rendimientos. Muy pronto países como las Filipinas, India, Indonesia y Tailandia aumentaron sus rendimientos de arroz tanto como los países productores de trigo lo habían logrado.

Los especialistas en relaciones públicas de esas dos fundaciones inventaron los términos "trigo milagroso", "arroz milagroso", y "revolución verde", pero podemos perdonar su euforia y su terminología estilo Avenida Madison. Los efectos de la revolución verde realmente fueron impresionantes. Al fin se contaba con apoyo técnico del mundo industrializado al no industrial, que realmente tenía algún significado. Millones de personas fueron salvadas de la inanición, y no menos de

mil millones más de la desnutrición; y como vimos en el capítulo anterior, Norman Borlaug recibió el Premio Nobel de la Paz. Probablemente fue el premio más merecido, jamás entregado.

## **19.2. Los Centros Internacionales de Investigación**

Fue en este momento en que varios gobiernos y organizaciones caritativas decidieron que el mundo necesitaba más revoluciones verdes en más cultivos y en más países. Para entonces los gobiernos de las naciones industriales ya habían acordado que deberían tener como meta destinar el 0.7% de su presupuesto anual en auxilio de los países no industrializados. Para lograrlo muchos de ellos fundaron sus propias oficinas de ayuda internacional. Aunque ninguno invirtió el 0.7% adoptado como meta original, aun así la mayoría no pudo gastar todo el dinero que habían presupuestado. Todos ellos terminaban el año fiscal con sobrantes presupuestarios, y les pareció obvio que la mejor manera de utilizar los sobrantes era el financiamiento de nuevas revoluciones verdes.

Así fue como se fundó un cuerpo llamado Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR) con sede en Nueva York. Su función era destinar esos fondos sobrantes a la investigación agrícola en el mundo no industrializado; y así fue como fundaron varios centros internacionales de investigación. Entre los más importantes destacan el CIMMYT con sede en México, quien trabaja con maíz y trigo; el IRRI en las Filipinas, quien trabaja con arroz; el CIAT en Colombia, responsable de la yuca, el frijol y otros cultivos tropicales; el IITA en Nigeria, con mandato similar para los trópicos húmedos; el CIP en Perú, responsable de la investigación en papa; el ICRISAT en la India, que hace investigación en cultivos del trópico semiárido; el ICARDA que se especializa en la agricultura de zonas áridas, particularmente de la región mediterránea; y el IBPGR, que tiene una responsabilidad general en cuanto a la conservación genética. En total ahora existen 18 centros cuyo presupuesto colectivo oscila alrededor de \$400,000,000 de U.S. dólares al año.

EL CGIAR cometió dos errores cuando fundó estos tan grandes y tan costosos centros internacionales de investigación. En primer lugar creó monopolios científicos en el mundo no industrializado, lo que significó que todo el dinero disponible para la investigación en un cultivo en particular fuera dirigido a un solo centro de investigación; incluso, cuando dos centros como el CIAT y el IITA traslapan sus áreas de trabajo son cuidadosamente controlados para evitar que compitan entre sí. Esto lo justifican diciendo que quieren evitar duplicaciones innecesarias porque, arguyen, la investigación es cara y la duplicación la torna doblemente cara. Pero de hecho la duplicidad es necesaria en la investigación porque propicia la competencia, factor esencial para hacer ciencia positiva. Nada estimula a un científico más que el saber que un científico rival se le puede anticipar y publicar primero; y nada neutraliza más a un científico que la conciencia de que carece de rivales. Los científicos de esos centros internacionales de investigación tienen pocos rivales, y los pocos que existen están críticamente escasos de fondos para la investigación.

El segundo error, garrafal, fue la esperanza de que estos centros indujeran nuevas revoluciones verdes. No lo lograron. En realidad son un ejemplo clásico de la falsa idea de que basta el dispendio de suficiente dinero e investigadores para obtener nuevos logros científicos. Olvidaron que la inspiración original para hacer buena ciencia proviene únicamente de los científicos; usualmente de un científico individual que a menudo ostenta suma pobreza en cuanto a subsidios, y que muy frecuentemente trabaja en laboratorios viejos que fueron condenados a la demolición décadas atrás. La inspiración científica no proviene del dinero, ni de los políticos, ni de los administradores, ni de los bancos.

El CGIAR no produjo revolución verde alguna por una simple razón: todos los científicos que contrató fueron entrenados en la tradición de la escuela mendeliana de genética. Por lo tanto creían que para fitomejorar por resistencia a parásitos primero tendrían que encontrar una fuente genética de resistencia, y cuando no la encontraban ni siquiera podían iniciar su fitomejoramiento. "En ese caso no tienes alternativa, tienes que optar por los plaguicidas", decían. Para esos miembros de la escuela mendeliana realmente no había alternativas.

Probablemente el peor de todos, al respecto, fue el Centro Internacional de la Papa (CIP). Durante años sus científicos le dijeron al mundo que no existía cosa alguna llamada resistencia horizontal. Menospreciaban los trabajos de Vanderplank de la misma forma que ignoraban el trabajo de John Niederhauser en México. Mi propio trabajo con papas de Kenya también fue ignorado, aunque fue posterior y menos importante que los mencionados. John Niederhauser, que por derecho debió haber estado al frente del CIP, fue arbitrariamente excluido de ese cargo. En la única ocasión en que visité ese lugar, me callaron a gritos durante una reunión científica. En honor a la verdad, sin embargo, debo decir que esto fue hace muchos años y que el CIP ha mejorado mucho recientemente. Sin embargo, los centros internacionales del CGIAR, como grupo, tienen antecedentes vergonzantes en cuanto a su desdén por la resistencia horizontal.

### **19.3. Problemas Secundarios Dentro de la Revolución Verde**

Los trigos y arrozos "milagrientos" eventualmente cayeron en lo que los miembros de la escuela mendeliana llamaron "problemas secundarios". Se referían a resistencias verticales y a las caídas periódicas de esas resistencias. En una ocasión México tuvo que importar vía aérea de Europa muchas toneladas de fungicida a muy alto costo, como medida de emergencia para rescatar una gran área de trigo cuya resistencia vertical había sido rota. Gran parte de los presupuestos de investigación del CIMMYT y del IRRI son gastados en "investigación de mantenimiento", eufemismo que utilizan para referirse a la producción de los nuevos cultivares que tienen que reemplazar a aquellos cuya resistencia vertical falló.

El arroz, por ejemplo, tiene resistencia vertical a la enfermedad llamada "hoja blanca" (blast) causada por *Piricularia oryzae* y a uno de sus insectos plaga llamado fulgórico café del arroz (*Nilaparvata lugens*). La hoja blanca ha probado ser un problema recurrente e interminable debido a fallas cíclicas en su resistencia vertical; mientras que el fulgórico café ha demostrado ser peor cuando falla esa resistencia, pues los arrozos milagrientos son tan susceptibles que propician explosiones poblacionales sin precedente de la plaga. Ha llegado a haber tal población de fulgóricos que algunos cultivos de arroz resistente se ven invadidos por cantidades impresionantes del insecto. Esos cultivos muy frecuentemente fueron antiguas variedades locales con niveles de resistencia horizontal adecuados para controlar infestaciones normales del fulgórico; pero la resistencia fue totalmente inadecuada para oponerse a la interferencia parasitaria y a los nuevos niveles, anormales y artificiales, de infestación. Fue en este triste y doloroso momento cuando los productores subsistenciales del mundo no industrializado por primera vez se vieron obligados a comenzar a asperjar con plaguicidas sus cultivos. Sin embargo esta historia tiene un final feliz; Peter Kenmore, entomólogo estadounidense que trabajaba en las Filipinas, introdujo métodos de manejo integrado de plagas (MIP) para beneficio de los productores de arroz de ese país. El MIP ha triunfado espectacularmente en cuanto a la reducción del uso (y costo) de los insecticidas, mientras que al mismo tiempo ha protegido los rendimientos crecientes del cultivo del arroz; estos éxitos han sido ejemplares para el resto del mundo. Y serán aun mayores cuando los mejoradores de arroz sean finalmente capaces de producir variedades con niveles altos de resistencia horizontal.

Otro problema radica en que los trigos y arrozos milagrientos han mostrado ser anormalmente susceptibles a ciertas enfermedades que anteriormente carecían de importancia. Por ejemplo, tienen poca resistencia a enfermedades inducidas por el género *Septoria*, aparentemente por que el hongo tiene poca capacidad epidemiológica en México, lugar donde esos trigos originalmente fueron seleccionados y mejorados. Estas enfermedades han adquirido mayor importancia en aquellas partes del mundo donde el hongo tiene más capacidad epidemiológica.

Los arrozos milagrientos desarrollados en las islas Filipinas también han mostrado susceptibilidad anormal en otros lugares, frente a parásitos que no existen o no tienen capacidad epidemiológica en

aquellas islas. Por ejemplo, algunos de esos arroces no pudieron ser cultivados en la India debido al tizón bacteriano y a una fitovirosis llamada "tungro".

#### **19.4. No Más Revoluciones Verdes**

Curiosamente toda la revolución verde se basó en una característica de carácter mendeliano, el tallo corto, tanto del arroz como del trigo. Esto por supuesto fue un golpe publicitario de grandes dimensiones para la escuela mendeliana de fitomejoramiento. Súbitamente, y por primera vez en medio siglo, los miembros de esta escuela encontraban caracteres cuya herencia era controlada por un puñado de genes de máxima importancia económica y agrícola (sin considerar la resistencia a parásitos), a pesar de sus problemas secundarios. Los trigos y arroces enanos llegaron a ser, sin duda alguna, los logros agrícolas más importantes de la segunda mitad del siglo XX; y fueron resultado de la herencia mendeliana. Más que nunca, los métodos mendelianos de mejoramiento por pedigrí llegaron a ser moda científica.

Este hecho tan simple tuvo dos consecuencias muy profundas. En primer lugar confirmó y prolongó el dominio de la escuela mendeliana de genética en el fitomejoramiento. La revolución verde fue aclamada como un nuevo triunfo de esta escuela, aunque en realidad tal vez sería mejor considerarlo como su último suspiro. Es posible aunque poco probable que todavía llegue a descubrirse algún carácter mendeliano de máxima importancia agrícola. La genética agrícola tuvo cerca de un siglo para encontrar ese tipo de caracteres; pero si tomamos en cuenta que virtualmente todos los genetistas agrícolas pertenecían a la escuela mendeliana, debemos concluir que encontraron muy pocos en cerca de cien años: el tallo corto en trigo y arroz, y la resistencia vertical. Todos los demás caracteres monogéticos: caracteres, como los colores en flores y semillas, son de menor importancia económica.

En segundo lugar no fue posible que los caros y monopolísticos centros internacionales de investigación generaran nuevas revoluciones verdes, porque ninguno fue capaz de encontrar un nuevo carácter mendeliano que pudiera auspiciarla. Si habremos de tener nuevas revoluciones verdes (yo creo que podemos tenerlas y las tendremos), más probablemente surgirán de la genética cuantitativa y del mejoramiento por resistencia cuantitativa, por ser durable, completa y global.

Aunque nunca se les llamó así, ya hubo otras revoluciones verdes en el pasado. La selección de remolacha azucarera a partir de la forrajera (Capítulo 2), en el siglo XIX, generó un cultivo completamente nuevo y una industria azucarera nueva también, en muchos países templados. El fitomejoramiento de la caña de azúcar que comenzó también el siglo pasado, tuvo efectos tan espectaculares en la producción de caña, como los del tallo corto en trigo y arroz del presente. La obtención de maíces híbridos en Estados Unidos y más tarde en el resto del mundo fue incluso más importante. Similarmente la obtención de nuevas variedades de soya transformó su cultivo, el cual era insignificante en dicho país, convirtiéndolo en el mayor de los EUA. Todos estos avances dependieron de la genética cuantitativa no mendeliana, y en las pocas ocasiones en que se utilizaron caracteres mendelianos éstos fueron una verdadera molestia, porque venían acompañados de la resistencia vertical a fitoparásitos, y de nada más.

#### **19.5. Preservación de Germoplasma**

Por último, la revolución verde y la escuela mendeliana de genética que la sustenta nos han llevado a cometer otra equivocación.

El centro de origen del trigo está en el Medio Oriente, en el área que los arqueólogos llaman "La fértil (medialuna) creciente". Esta área estaba colmada de pequeños productores que cultivaban una increíble diversidad de líneas diferentes de trigo. Cuando los mejoradores del cultivo necesitaban

nuevos genes de resistencia vertical para sustituir a los que ya habían fallado, normalmente los buscaban en los trigos de estos pequeños productores.

Sin embargo los trigos “milagrientos” rindieron tan por arriba de los viejos trigos, que rápidamente comenzaron a reemplazarlos.

Los pequeños productores de “La fértil creciente” y de otros lugares desecharon sus viejos trigos para quedarse con los nuevos. Y como efecto colateral de este avance tecnológico se dio una pérdida de la diversidad genética. Hubo un gran clamor respecto a esa pérdida porque se temía que muchos genes valiosos se perderían para siempre. Así nació una nueva disciplina científica a la que se le llamó preservación del germoplasma o conservación genética, a partir de este temor; y también así fue como nacieron los primeros “bancos genéticos” de trigo para asegurar la supervivencia de su diversidad. En poco tiempo comenzaron a fundarse bancos de germoplasma para otros muchos cultivos, y se emprendieron numerosas investigaciones para descubrir las mejores formas de almacenar semillas del máximo número posible de cultivares en condiciones de viabilidad durante grandes lapsos.

La conservación genética ahora se ha convertido en parte importante de la “sabiduría heredada” de los genetistas agrícolas y de los partidos (ecologistas) verdes alrededor de todo el mundo; pero nadie se ha preguntado qué es lo que estamos tratando de conservar: genes mendelianos! genes de resistencia vertical!. Por que ésto fue en lo que se basó todo ese conservacionismo del trigo. Sólo se interesaban por los genes de resistencia vertical y por nada más, aparte de vagas definiciones y desconocimientos. Y ésto se copió sin crítica alguna en muchos otros cultivos sin tomar en cuenta si poseían resistencias verticales, independientemente de que fueran necesarias.

Si eventualmente el mundo cambia los métodos de fitomejoramiento por pedigrí por los cuantitativos, no serán necesarios esos enormes bancos de germoplasma. La genética cuantitativa no depende de monogenes, sino de numerosos poligenes que varían en su frecuencia pero casi siempre están presentes. Obviamente que necesitamos *cierta* conservación, incluso en la genética cuantitativa, pero mucha menos que la que creen los mendelianos. Todo programa de mejoramiento requiere de una base razonablemente amplia, pero no más. En la práctica tal base normalmente consistirá de un rango de cultivares modernos, usualmente mantenidos con las prácticas culturales comunes. Cuando se necesitan cambios genéticos mayores los bancos pueden ser útiles, pero aun si se perdieran los viejos arquetipos y cultivares, cuando fuera estrictamente necesario podríamos regresar a los progenitores silvestres, en busca de diversidad. Desde esta perspectiva podemos decir que los bancos genéticos son como elefantes blancos....¡ y de los caros!



## 20. El Maíz en Africa Tropical

Colón llevó el maíz a España a su regreso del Nuevo Mundo. De la Península Ibérica los portugueses lo llevaron a Africa Occidental y poco después a los países del Océano Indico. Así, el maíz ha sido parte de Africa desde principios del siglo XVI y ha llegado a ser el alimento básico de gran parte de Africa desde ese entonces.

Hay una enfermedad del maíz llamada "roya tropical" ("herrumbre", "chahuixtle"), causada por un hongo microscópico llamado *Puccinia polysora*. Se le llama *herrumbre* porque el hongo produce en las hojas manchas pulverulentas (de esporas) color óxido de hierro, algo muy similar a la roya del cafeto (Capítulos 4 y 21); y se le llama *tropical* porque sólo tiene capacidad epidemiológica, o habilidad para producir epidemias, en los trópicos. Por esta razón la enfermedad no pudo sobrevivir en la Península Ibérica (suponiendo dudosamente que alguna vez entró a ésta), y consecuentemente tampoco llegó a Africa, continente libre de este parásito del maíz, durante casi cuatrocientos años.

Aparentemente la roya tropical llegó a Africa como resultado del desarrollo del aerotransporte transatlántico. Se cree que fue introducida accidentalmente en la década de los 1940's, en elotes frescos aerotransportados de América Tropical a Africa Occidental. La roya en este caso se reconoce como un "parásito de reencuentro", así llamado por que estuvo separado de su hospedante original, para reencontrarlo cuatro siglos después en un nuevo hábitat.

La enfermedad fue devastadora en Africa Tropical y perjudicó los cultivos de maíz en forma muy semejante a como el tizón dañó las papas en Europa durante la "hambruna de los cuarentas". Este fue otro ejemplo de vulnerabilidad, resultante de la extrema susceptibilidad de un cultivo en ausencia de un parásito. Cuando siglos después el parásito fue desapercibidamente llevado, el maíz reveló susceptibilidad y vulnerabilidad. El daño potencial se convirtió en daño vigente.

La roya tropical eventualmente llegó a Kenya, Africa Oriental, en 1952. Siendo un joven fitopatólogo recién egresado de la universidad llegué a Kenya en 1953, de suerte que esa enfermedad fue una experiencia formativa en mi carrera. Cuando llegué noté que los miembros del gobierno estaban considerablemente alarmados por que había temores fundamentados de la posibilidad de una hambruna seria.

En base a experiencias obtenidas en Africa Occidental, un grupo de científicos en Kenya había emprendido un programa de fitomejoramiento por resistencia a la roya tropical. Usaban los procedimientos aceptados en aquellos días, y debido a ésto lo primero que buscaron fue una fuente genética de resistencia; como no la encontraron en Africa tuvieron que utilizar germoplasma ("lineas") importado de Centro América. Inevitablemente se trataba de líneas con resistencia vertical; e ignoraban que, por mera coincidencia, la resistencia vertical a la roya tropical del maíz se rompe en forma muy acelerada. En Kenya el hongo producía razas nuevas tan rápidamente que toda nueva resistencia vertical fallaba, incluso durante los procesos de fitomejoramiento.

Yo era inexperto para ser involucrado en este trabajo, pero nadie pudo evitar que lo observara con curiosidad vivaz. Durante mi primera visita a la provincia costera me mostraron la enfermedad. Los cultivos de maíz se veían como chatarra en expendios de fierro viejo; la mayoría de las hojas mostraban poco más que el color oxidado: esto es, una que otra mancha verde. Muchas de las plantas morían antes de florear y por lo tanto no podían producir semilla. Era un panorama lúgubre. Sin embargo las cosas comenzaron pronto a mejorar.

La primera buena noticia fue que la enfermedad hacía honor a su nombre; realmente estaba confinada al clima cálido tropical. La línea ecuatorial pasa en medio de Kenia, pero aun en el ecuador la enfermedad pierde capacidad epidemiológica a alturas mayores de 1200 msnm. A nivel del mar esta pérdida de competencia sólo ocurre en latitudes mayores a los trópicos de Cáncer y Capricornio. Los temores de una hambruna sería rápidamente se desvanecieron cuando se captó que los maíces de las mesetas altas estaban a salvo. La mayor parte de la población de Kenia, y el grueso de su agricultura, se localizan en las tierras altas, sobre los 1200 msnm.

La siguiente buena noticia fue que la severidad del hongo comenzó a declinar visiblemente y continuó declinando hasta que seis o siete años después de su aparición dejó de tener importancia alguna. El problema se resolvió solo, sin la ayuda de ningún fitomejorador o fitopatólogo. Como ahora sabemos, fue la operación de procesos biológicos normales lo que *naturalmente* resolvió el problema. Esos procesos condujeron a una acumulación firme de resistencia horizontal hasta que la enfermedad perdió toda importancia. Si nos detenemos a analizar lo que sucedió, aprenderemos algunas lecciones importantes respecto a cómo fitomejorar por resistencia horizontal.

Y aquí están las lecciones.

### **20.1. Lección 1: La bancarrota de la resistencia por pedigrí**

La primera lección fue que el enfoque tradicional de fitomejoramiento era inútil (resistencia: por pedigrí). Los fitomejoradores por pedigrí utilizaron monogenes de maíces importados desde Centro América, y por medio de técnicas de transferencia genética los incorporaron en los maíces africanos. Obviamente se trataba de monogenes de resistencia vertical; pero para su desgracia el parásito era capaz de acoplarlos tan rápidamente que el uso de este tipo de resistencia resultó fallido. Como en aquellos tiempos yo radicaba en Kenia pude atestiguar la frustración de los fitomejoradores cuando su primer gene de resistencia, llamado Rpp1, fue acoplado durante los ensayos de campo, mucho antes de que hubiera semilla a disposición de los productores. El segundo gene de resistencia, el Rpp2, fue acoplado en el invernadero de investigación en una etapa aun más temprana que el primero. Después vino el acoplamiento de la combinación de ambos genes; pero para ese tiempo se hizo evidente que la roya tropical ya no era una enfermedad peligrosa, y se abandonó el programa de mejoramiento.

La resistencia inducida por métodos mendelianos demostró ser inusualmente efímera en esta enfermedad, debido a que la roya tiene capacidad para producir razas nuevas en muy poco tiempo. Sólo conozco una enfermedad cuyas resistencias verticales son acopladas más rápidamente; el tizón de la papa en México, donde los cultivares comerciales extranjeros portadores de resistencia vertical son acoplados durante su primer ciclo de cultivo, conforme los brotes van apareciendo en el campo (Capítulo 18).

Cuando observamos a la resistencia vertical como un todo, notamos gran variación en la durabilidad de las resistencias por cultivo. En el caso de la roya tropical del maíz el acoplamiento ocurre tan pronto que la resistencia carece de todo valor agrícola. En el otro extremo tenemos ejemplos de resistencia vertical que ha permanecido durante la mayor parte de este siglo, lo que la hace muy valiosa (Capítulo 16). La mayor parte de las resistencias verticales está comprendida entre estos dos extremos, lo que limita su valor. Por ejemplo, después de casi medio siglo de mejoramiento triguero, en Kenia se ha calculado que la vida media comercial de un cultivar nuevo es de cuatro y medio años. Tómese en cuenta que son necesarios casi ocho años para producir un nuevo trigo por los métodos mendelianos de mejoramiento por pedigrí.

## 20.2. Lección 2: La reivindicación de los biometristas

La acumulación de resistencia poligénica en las razas locales del maíz africano reivindicó totalmente a los biometristas; sin embargo nadie lo captó en aquel tiempo. A fines de la década de los 50's nos dimos cuenta, en Kenya, que la roya tropical del maíz había venido a menos, pero no pudimos explicarnos el fenómeno. Sabíamos que el programa oficial de mejoramiento por resistencia había fracasado, pero ya se habían dado experiencias similares en otros programas de cultivos como el trigo y la papa, en los que a menudo se perdían características importantes de resistencia. Sólo que aquí había una diferencia: la roya tropical ya no era una enfermedad de consideración, mientras que los parásitos del trigo y la papa seguían siendo muy importantes. La acumulación de resistencia por el maíz pasó desapercibida en todo el mundo, de tal suerte que incluso muchos genetistas todavía no saben de ello; y esto es entendible debido a que muchas de las cosas que suceden en Africa pasan desapercibidas a menos que, por desgracia, mueran miles de personas. Sin embargo esa acumulación de resistencia en el maíz es uno de los eventos más importantes en la genética vegetal del siglo XX. Y es importante porque al mismo tiempo que demostró el valor de la resistencia horizontal, nos demostró exactamente cómo mejorar otros cultivos con este tipo de resistencia. En cualquier caso, esta importancia no fue totalmente reconocida hasta que Vanderplank comenzó a publicar sus libros de fitopatología, tan originales e innovadores (ver la bibliografía). Fue hasta entonces que se hizo posible extraer un cúmulo de lecciones de los maíces africanos.

Poco después de la publicación en 1963 del primer libro de Vanderplank, capté que la mejor forma de mejorar los cultivos por resistencia era imitar el comportamiento de las razas locales de maíz africano, según el ejemplo de la roya tropical. Desde entonces, y con muy poco éxito, he tratado de persuadir a los demás. La tradición del fitomejoramiento por pedigrí es un adversario difícil.

## 20.3. Lección 3: Erosión de la resistencia horizontal

Cuando Africa cultivaba maíz en ausencia de la roya, no era necesaria la resistencia; por lo tanto hubo una presión de selección *negativa* por resistencia, y ésta se fue perdiendo. Este es un excelente ejemplo de erosión como resultado de cambios genéticos en la población hospedante; se trató de una pérdida masiva por erosión de la resistencia horizontal, que permitió la subsistencia de muy poca resistencia, lo que explica la gran susceptibilidad de los maíces africanos a la roya cuando ésta apareció. Es más, debido a la gran diversidad y flexibilidad genética de los maíces de subsistencia, dicha erosión se dio durante el proceso de *cultivo*.

Comparable erosión ha ocurrido en muchos cultivares modernos genéticamente flexibles, pero en este caso durante los procesos de fitomejoramiento, porque han estado sujetos a casi cien años de mejoramiento en ausencia de la presión de selección que propicia la resistencia horizontal, y ocurrió debido a la presencia de una resistencia vertical operativa, o debido al uso de plaguicidas durante el proceso de mejoramiento. Cuando esos cultivares modernos se cultivan en ausencia de plaguicidas muestran gran susceptibilidad a sus parásitos, de la misma manera que lo hicieron los maíces africanos cuando apareció la roya tropical. Esos maíces pueden enseñarnos mucho respecto a cómo hemos estado "mejorando" nuestros propios cultivos y respecto a la enorme susceptibilidad de los cultivares modernos; pero también pueden ilustrarnos respecto a cómo podemos reducir la susceptibilidad acumulando resistencia horizontal.

## 20.4. Lección 4: Flexibilidad genética

Ahora abundaremos algo en los conceptos de flexibilidad genética y presión de selección. Como acabamos de ver, los maíces africanos pudieron responder durante el proceso de cultivo a la presión de selección porque eran de polinización cruzada, a la vez que genéticamente flexibles y diversos. No sólo

podían perder resistencia horizontal ante una presión de selección negativa (en ausencia de la roya tropical), sino que también podían *ganarla* ante una positiva (en su presencia). Ambos procesos ocurrieron durante el cultivo.

La mayoría de los cultivares modernos son uniformes e inflexibles, en lo genético. Y, como vimos en el Capítulo 7, así es como queremos que sean para poder preservar las valiosas características agronómicas que poseen. Precisamente por esta razón no ganan ni pierden resistencia horizontal durante los procesos de cultivo; sólo la ganan o pierden durante el fitomejoramiento.

El hecho de que los cultivares modernos dependan tanto de los plaguicidas sugiere que perdieron mucha resistencia horizontal durante su fitomejoramiento, además de sugerir que algo malo sucede con los métodos que hemos estado utilizando la mayor parte de este siglo. En forma similar, los cultivares modernos no pueden ganar resistencia horizontal durante su cultivo ya que sólo lo hacen durante el proceso de fitomejoramiento; y si queremos que ésto realmente suceda, debemos cambiar los métodos para asegurarnos que incluyan presión de selección positiva para obtener resistencia horizontal.

### **20.5. Lección 5: Fitomejoramiento poblacional**

Se recordará, como vimos en el Capítulo 2, que los biometristas tienen su propio método de mejoramiento conocido como mejoramiento poblacional. Este método se basa en la selección masal recurrente en la que sólo los mejores individuos de cada generación llegan a ser padres durante la siguiente. Esto fue exactamente lo que sucedió con las razas locales de maíz que fueron atacadas por la roya tropical en Africa. Cuando llegó la roya la mayoría de las plantas murieron; relativamente pocas plantas sobrevivieron como para producir flores, y sólo unas cuantas fueron lo suficientemente resistentes como para producir unas pocas semillas. Fue esta minoría de plantas relativamente resistentes la que formó la generación progenitora de la siguiente generación.

Si ese desastre hubiera afectado a los productores comerciales modernos hubieran desechado el cultivo para reemplazarlo con uno diferente; después de todo eso es precisamente lo que sucede en el siglo XX, con la alternancia de ciclos de florecimiento y depresión en la producción de cultivares verticalmente resistentes. Pero los productores africanos estaban mucho más cerca a la naturaleza. Confiaban en sus preciadas variedades locales y en forma decidida rehusaban abandonarlas. Fue así como conservaron y cuidaron las pocas semillas producidas por sus diezmados cultivos; jamás pensaron en comerlas porque los agricultores de subsistencia consumen sus semillas sólo en la peor de las hambrunas, y por fortuna el gobierno les ayudó con comida durante esta hambruna. De esa manera estos productores pudieron conservar sus preciadas semillas, y estas semillas pudieron producir la siguiente generación.

Todos esos productores eran campesinos muy pobres y minifundistas de subsistencia. La mayoría eran analfabetas y no tenían preparación formal, pero mostraban gran su sabiduría en forma de esperanza, paciencia, y más que nada confianza completa en la naturaleza. Esta confianza fue generosamente gratificada cosecha tras cosecha, a medida que sus variedades locales fueron lentamente acumulando más y más resistencia, y produciendo más y más comida de la calidad que ellos preferían. Este es el ejemplo magnífico que debemos seguir cuando iniciemos el mejoramiento de otros cultivos por resistencia horizontal.

### **20.6. Lección 6: Naturaleza de la resistencia**

La resistencia que se acumuló fue indudablemente horizontal. Ciertos científicos atribuyeron la declinación de la roya al programa oficial de fitomejoramiento por resistencia vertical. Cierta autor (cuyo nombre no daré por compasión), discutiendo programas de mejoramiento y el uso de la resistencia monogénica contra enfermedades del maíz, dijo que ".....lo más espectacular fue la

obtención de resistencia a *Puccinia polysora* en Africa". Indudablemente creía que el problema había sido resuelto por el programa de resistencia vertical, ignorando totalmente que había sido un fiasco.

Otros científicos sugirieron que la resistencia era realmente vertical, pues (secretamente?) creían que esa era la única clase de resistencia que existe. Sea como sea la resistencia lleva ya cuarenta años sin mostrar signos de caída alguna, y recuérdese que bajo el método de mejoramiento por pedigrí tres resistencias verticales fallaron tan rápidamente que ni siquiera pudo completarse el proceso de mejoramiento.

Otros científicos más sugirieron que la resistencia pudo ser el producto de una mezcla de muchas resistencias verticales; si así hubiera sido los mendelianos no hubieran tenido problemas para encontrar genes de resistencia en los maíces africanos cuando apareció la roya por primera vez. De hecho no hallaron ninguno.

Toda evidencia esta claramente a favor de que se trata de una resistencia horizontal, aunque tal evidencia sea sólo circunstancial. Nadie ha hecho investigación al respecto por la simple razón que los países africanos son muy pobres y no pueden darse el lujo de la investigación académica. Sólo pueden pagar investigación respecto a los problemas más agudos; la roya tropical ya no lo es.

### **20.7. Lección 7: Segregación transgresiva**

Cuando apareció la roya por primera vez en los maíces tropicales se dio de inmediato una fuerte presión de selección positiva, es decir a favor de la resistencia. Como vimos, el mecanismo para esta selección consiste en que: los individuos más susceptibles resultan muertos, los menos susceptibles sobreviven aunque no puedan producir polen o semillas, y los individuos aun menos susceptibles logran producir polen y algunas semillas que los convierten en padres de la siguiente generación.

La siguiente generación es genéticamente diferente porque toda la progenie consiste de individuos provenientes de una minoría de plantas relativamente resistentes; y por lo mismo esta nueva generación posee niveles más altos de resistencia que cualquiera de los padres. Como vimos en el Capítulo 12, este fenómeno es llamado segregación transgresiva.

La segregación transgresiva es esencial para que se acumule la resistencia horizontal, y virtualmente para que se acumule cualquier variable cuantitativa; por lo tanto sería apropiado explicar cómo opera. Supongamos que ambos padres, altamente susceptibles, tenían solo un 10 % de los alelos que confieren resistencia horizontal; pero si cada uno de ellos tenía un 10 % *diferente*, al menos parte de la progenie obtendrá más del 10 % del total de alelos disponibles. Estos individuos serán más resistentes que sus progenitores, y bajo fuerte presión de selección positiva tendrán una ventaja reproductiva para convertirse en padres de la gran mayoría de los descendientes de la siguiente generación. Durante la siguiente generación se repite el proceso de segregación transgresiva, de tal suerte que la acumulación de resistencia continúa hasta que todos los miembros de la población poseen la mayoría de los alelos de resistencia, y ya no se necesita más resistencia.

### **20.8. Lección 8: Selección local o in situ**

En los predios de subsistencia cada productor conserva parte de su cosecha como semilla. Así obtiene una raza o variedad local genéticamente flexible, que responde a las presiones de selección del ambiente local, como sucede con un ecotipo en cualquier ecosistema silvestre (Capítulo 8). En realidad una variedad local de polinización abierta, puede considerarse como un agro-ecotipo. Consecuentemente, normalmente está en estado de excelente balance con su propio agro-ecosistema. En terminología de sistemas, esto es una optimización local.

Sin embargo, una variedad local llevada a un agroecosistema diferente se comportará menos bien, esto debido a que varios factores ambientales son diferentes, como las temperaturas, lluvias, estructura,

nutrientes y actividad microbiológica del suelo. Muchos de los patosistemas serán diferentes, debido a que la capacidad epidemiológica de tantas especies parásitas también difiere. En su nuevo ambiente la variedad local tendrá mucha resistencia a algunos parásitos, y poca a otros.

Por estas razones, cuando se mejora por resistencia horizontal el “tamizado” debe hacerse localmente. Esto es lo que llamamos (Capítulo 12) selección *in situ* o local, que significa una selección efectuada *en la futura área de cultivo, durante la misma estación de cultivo* y aplicando los *mismos sistemas de cultivo*.

Durante el programa de mejoramiento por resistencia vertical en Kenya los científicos involucrados recibieron noticia de que el maíz de Malawi era muy resistente a la roya tropical. Por lo tanto importaron ese maíz para probarlo en Kenya, resultando tan susceptible como los locales kenyanos, ésto llevó a esos científicos a la conclusión falsa de que las razas del hongo en Kenya eran diferentes a las de Malawi. Este país está a 1600 km al sur de Kenya y mucho más cercano al Trópico de Capricornio; en consecuencia la roya tropical posee menor capacidad epidemiológica en Malawi, por lo que un nivel de resistencia horizontal, adecuado ahí, era completamente inadecuado para Kenya donde la capacidad epidemiológica es mucho mayor. Como ya vimos (Capítulo 13) ésto se llama erosión ambiental de la resistencia, y nos enseña porqué, al mejorar por resistencia horizontal, la selección local: y selección local es ineludible.

### **20.9. Lección 9: No es imprescindible una fuente de resistencia**

Los maíces que fueron atacados por la roya tropical en Africa eran variedades locales (landraces, en inglés). Este es el nombre que se da a los cultivos genéticamente variables, únicos que se cultivaban antes del descubrimiento de las líneas puras genéticamente uniformes. Los maíces de subsistencia de los trópicos son algunas de las pocas cosechas que todavía se obtienen a partir de variedades locales. Aunque todas las plantas de una variedad local sean muy similares en apariencia, genéticamente difieren entre sí. Esta variabilidad no es muy grande, pero es suficiente para incluir todos los alelos necesarios para llegar a acumular niveles muy altos de resistencia horizontal. Aun más importante es el hecho de que los maíces africanos acumularon altos niveles de resistencia horizontal sin necesitar la fuente genética de resistencia que es esencial a los métodos mendelianos.

Podemos deducir que para mejorar por resistencia horizontal debemos contar con diversidad genética, aunque ésta no sea muy amplia; pero lo más importante es que no necesitamos una buena fuente de resistencia monogénica.

### **20.10. Lección 10: Presiones de selección**

Cuando por primera vez apareció la roya en una localidad de Africa Tropical fue extremadamente perjudicial, pues su presión de selección por resistencia era muy alta; pero a medida que se fue acumulando la resistencia la presión de selección declinó. Esto se debía a que las plantas menos resistentes ya no morían e incluso podían florear; sólo sufrían una reducción en su tasa de reproducción. Eventualmente todos los maíces fueron muy resistentes y la presión de selección se redujo a un mero nivel de mantenimiento; ésto significó que si aparecía un individuo susceptible dentro de una variedad local, llegaría a ser tan parasitado que su progenie sería escasa.

Esta reducción firme en la presión de selección involucra dos voces de alarma a los fitomejoradores. La primera es que la presión inicial puede ser tan alta que toda su población de selección puede ser completamente arrasada; por lo tanto, cuando la total destrucción sea muy probable se justificará el uso de plaguicidas al final del proceso de tamizado. Lo que habilitará, incluso a los individuos más susceptibles, a formar semillas.

La segunda alarma consiste en que, a medida que se acumula la resistencia y declina la presión de selección, también declina el avance genético o tasa de aumento en la resistencia. Esto se puede evitar

aumentando artificialmente la epidemia mediante el uso de surcos infectantes, alrededor y dentro del experimento. Esos surcos pueden intersectar la población de selección o tamizado a intervalos regulares, manteniendo otros surcos infectivos en todo el perímetro. Ambos tipos de surcos, los que intersectan y los que rodean, son sembrados con plantas susceptibles, las que habrán de generar grandes cantidades de parásitos que se dispersarán hacia la población de selección. De cualquier manera se debe tener mucho cuidado para asegurarse de que los surcos infectivos *no* introduzcan su polen indeseable en la población de selección. Hay varias técnicas para asegurarse de ello (Capítulo 25).

### **20.11. Lección 11: El número de generaciones de selección**

Inicialmente el maíz en Africa tenía muy bajo nivel de resistencia a la roya tropical, pero en 10-15 generaciones acumuló la suficiente para controlar la enfermedad; ésto nos indica la probable duración de un programa de fitomejoramiento por resistencia horizontal del fitomejoramiento. En la mayor parte de Africa hay dos cultivos de maíz al año; por lo tanto en 5-7 años se puede acumular suficiente resistencia. En los países templado-frios con un solo período de cultivo anual el lapso se duplicaría; sin embargo podemos reducir la duración del programa si comenzamos con plantas que tiene mayor nivel de resistencia que el que poseían los maíces africanos, y también aumentando la presión de selección con inóculo artificial. Por el contrario, será necesario más tiempo cuando el fitomejoramiento incluya resistencia a diferentes especies de parásitos, como normalmente sucederá. En consecuencia un programa de mejoramiento por resistencia horizontal, en general requerirá alrededor de diez ciclos de mejoramiento para obtener resultados que valgan la pena. Pero puede mantenerse provechosamente durante una o dos décadas más, produciendo avances menores, que serían mejoras acumuladas durante todo ee tiempo.

### **20.12. Lección 12: El enfoque holístico (global)**

A muchos científicos les gusta estudiar los mecanismos de resistencia: mecanismos de que son muchos y variados, pero para nuestros propósitos será suficiente mencionar dos de ellos. Un mecanismo de resistencia común, la hipersensitividad, es una forma de sensibilidad extrema al ataque de un parásito. Cuando este tipo de parásitos penetra el tejido hospedante todas las células que lo contactan mueren muy rápidamente y el parásito muere con ellas. Esto sucede principalmente a nivel microscópico, de modo que el tejido muerto se ve como una mancha necrótica y pequeña apenas visible a simple vista. Este es un mecanismo de resistencia vertical frecuente, pero de ninguna manera el único.

Otro es la pilosidad (En Resistencia Vegetal a Insectos y Acaros, esto no es un mecanismo de resistencia, es una defensa. El Traductor). Las plantas altamente pilosas son resistentes a una gama de pequeños insectos como los áfidos, trips, mosquitas blancas y chicharritas. Se trata de un mecanismo de resistencia horizontal.

Un rasgo del fitomejoramiento por pedigrí es que los mejoradores normalmente eligen un mecanismo prominente de resistencia, preferiblemente aquel cuya herencia es controlado por un solo gene. La roya tropical del maíz nos ha enseñado otra cosa. Esta lección proviene de la comparación con otra roya del maíz causada por el hongo *Puccinia sorghi*, conocida como la roya común del maíz. A diferencia de la roya tropical, la roya común no se confina al trópico; se da en donde quiera que se cultive el grano y probablemente ha existido en Africa tanto tiempo como el cultivo de maíz. Aparte lo anterior, ambos parásitos son tan similares en los físico que se requiere de un especialista para saber cual es cual.

Siendo tan susceptibles a la roya tropical, las variedades locales eran al mismo tiempo muy resistentes a la roya común. Y después de 10-15 generaciones también resultaron muy resistentes a ella.

Debemos decir, ante todo, que la resistencia horizontal a una roya es diferente e independiente de la otra; es más, no se nota ninguna diferencia entre los maíces resistentes y los susceptibles, las plantas se ven igual y los granos se ven, se cocinan y saben igual. Además no hay mecanismos de resistencia evidentes. Se cree que la resistencia a cada roya es el resultado de muchos y muy diferentes mecanismos, y que es probable que cada mecanismo sea heredado y varíe cuantitativamente. No tenemos idea de los mecanismos de resistencia ni tenemos necesidad de conocerlos (sic. El Traductor). Es completamente factible lograr resistencia horizontal sin saber cosa alguna respecto a los mecanismos de resistencia involucrados.

Además de los muchos mecanismos contra cada parásito también abunda la multiplicidad de parásitos. El maíz puede albergar a muchos y muy diferentes: tizones foliares, del tallo, enfermedades de la mazorca, pudriciones radicales y otras enfermedades; así como una amplia gama de insectos que mastican, succionan o minan los tejidos. Con la especial excepción del virus del rayado, las variedades locales de maíz tienen niveles altos de resistencia a todos sus parásitos locales. Puede decirse que los parásitos del maíz son tan numerosos que ni siquiera intentamos catalogarlos (comunmente); y también puede decirse que causan tan poco daño que ni siquiera los notamos (también normalmente). La resistencia a ellos es el resultado de tantos mecanismos de resistencia que ni siquiera podemos explicarnos cómo operan. Ni lo necesitamos (sic).

En esto consiste el enfoque holístico, operando al nivel más alto del sistema. Es lo contrario al "reduccionismo", que se afoca totalmente en los detalles del nivel más bajo del sistema. Fitomejorar en base a un solo mecanismo, operante contra un solo parásito, es operar a un nivel demasiado bajo; ésto se llama suboptimización (Capítulo 10). En el análisis de sistemas la suboptimización nos lleva a conclusiones falsas y conduce al daño material de los sistemas.

La naturaleza es más sabia. En ecosistemas silvestres con patosistemas silvestres genéticamente flexibles las presiones de selección operan al más alto nivel y no hay suboptimización. Cuando fitomejoramos por resistencia horizontal debemos hacer lo mismo, debemos hacerlo con un enfoque global.

### **20.13. Lección 13: Interferencia parasitaria**

Los efectos de la interferencia de los parásitos deben ser tomados muy en cuenta al seleccionar plantas dentro de un programa de fitomejoramiento horizontal. Esta interferencia opera entre plantas individuales dentro de una población de tamizado. Las plantas más resistentes normalmente estarán rodeadas por las menos resistentes. Las aloinfecciones en plantas resistentes, a partir de las susceptibles, propiciará que tengan niveles de infección considerablemente *mayores* que si no existiera esa interferencia. Por lo tanto pueden verse terriblemente dañadas, aunque sean las plantas más resistentes en toda la población de selección.

Es por ello que cuando se está tamizando (selección) es importante seleccionar las plantas *menos* dañadas, independientemente del grado de parasitismo o de lo mal que se vean. En otras palabras, todas las mediciones de resistencia deben ser *relativas*. Sólo se conservarán las mejores plantas por horribles que se vean. En etapas tempranas del programa aun las mejores plantas pueden lucir espantosas; de hecho cualquier mendeliano probablemente abandonaría el programa en base a su "inutilidad", pero esas plantas feas son las mejores, y representan las primeras etapas de un cambio gradual y de un proceso de mejoramiento cuantitativo; ésto es muy importante.

### **20.14. Lección 14: El tamaño de la población de selección**

En los años 50's el tamaño promedio de una propiedad de subsistencia en Kenya era de al rededor de cuatro hectáreas, que representa la superficie susceptible de ser cultivada a mano por una



familia. El predio todo normalmente se sembraba con la misma mezcla de especies que incluía al maíz, el camote, yuca, varias especies de chícharos y frijoles, bananas y papaya; todas en mosaico. Un predio así se constituía en una población de selección con varios miles de plantas de maíz. Sin embargo podía haber considerable intercambio de polen entre predios a 100 m de distancia entre sí, lo que representa un intercambio considerable.

Esto nos indica cuál puede ser el tamaño de *una* población de tamizado para la selección masal recurrente efectiva por resistencia horizontal; claramente indica los miles de poblaciones de selección que intervinieron y, dependiendo de la tierra disponible y del número de gentes cooperando, puede llegar a cientos de miles de cooperantes. El tamaño preciso no es esencial pero, como regla general, entre más grande sea la población, la proporción donde se seleccionarán a los padres de la próxima generación resultará mayor, representará a una gran presión de selección, y tendrá un avance genético más rápido.

### **20.15. Lección 15: El rango de niveles de resistencia horizontal**

Hay una gran diferencia entre los niveles mayor y menor de resistencia horizontal a la roya tropical del maíz. Con muy bajo nivel de resistencia al inicio, los cultivos africanos de maíz resultaron altamente destruidos. Con los actuales y muy altos niveles la roya es controlada hasta el punto de que no causa pérdidas significativas. Esa diferencia es mucho mayor que la que los mendelianos son capaces de crear; sin embargo hay muchas razones que nos inclinan a pensar que el rango total es aun más grande.

El bajo nivel de resistencia presente cuando se dio el primer reencuentro era considerablemente *mayor* que el llamado mínimo. Por razones muy complejas como para exponerlas aquí, las presiones negativas de selección se esfumaron bastante antes de que indujeran ese mínimo nivel de resistencia, cuya única forma de conocerlo es poner experimentos donde se ejerza fuerte presión de selección por susceptibilidad. Obviamente las plantas experimentales tendrían que ser protegidas con fungicida una vez que se lograra ése límite de gran susceptibilidad, pero aparte de eso, no sería difícil conducir tal experimento.

Lo mismo es cierto para encontrar el nivel máximo. Los maíces africanos cuyas poblaciones ya no son susceptibles a la roya tropical probablemente tienen resistencia horizontal *menor* que el máximo, pero ésto sucedió porque las presiones de selección desaparecieron a medida que la habilidad reproductiva del maíz ya no fue afectada por la roya. Un experimento bastante simple determinaría cuánta resistencia adicional podría acumularse para alcanzar el nivel máximo posible.

Hasta donde sé estos experimentos jamás han sido realizados y sólo podemos especular respecto a los posibles resultados. Pero podemos confiar en que cualquier nivel de resistencia horizontal que esté por encima del mínimo tiene valor, considerando que la destrucción de los cultivos africanos de maíz no fue completa; incluso en el peor año, los productores obtuvieron al menos un poco de semilla para sembrar el siguiente cultivo, aunque en términos de agricultura productiva el daño a sus cosechas haya sido total.

A partir de ésto podemos concluir con completa seguridad que la mayoría de los cultivares modernos poseen bastante *más* resistencia horizontal que el mínimo mencionado. Aunque también podríamos mencionar unos cuantos cultivos que se perderían totalmente sin la protección del tratamiento plaguicida. Unos de ellos sería cualquier variedad europea de papa que se sembrara en México durante una epidemia de tizón; pero incluso estos cultivares poseen más que el mínimo nivel de resistencia horizontal. Esto debe animar a cualquiera que planea el fitomejoramiento con esta clase de resistencia, porque incluso los cultivares más susceptibles poseen suficiente resistencia para iniciar un programa de mejoramiento.

Los maíces africanos también nos enseñan que un nivel de resistencia horizontal por debajo del máximo proporcionará el beneficio de un control completo del parásito sin tener que utilizar agentes

protectores; esto también es importante. Todo lo anterior debe animar a los fitomejoradores que piensen en forma equivocada que aun alcanzando el máximo nivel de resistencia horizontal se podrá contar con la capacidad real de controlar al parásito.

### **20.16. Lección 16: Resistencia horizontal global (comprehensiva)**

Los campesinos de subsistencia cultivan el maíz en Africa Tropical sin el auxilio de plaguicidas y sin serios problemas de plagas; esto tiene dos significados. El primero es que los maíces locales tiene resistencia horizontal global contra todos sus parásitos locales. Y podemos creer ésto porque si la resistencia a uno solo no fuera adecuada, ese parásito causaría daños importantes. Si ningún parásito causa daño significativo, ninguna de las muchas resistencias horizontales presentes es inadecuada (ya veremos más adelante el caso del rayado viroso del maíz).

En segundo lugar observemos el mismo argumento, pero desde el lado opuesto, y consideremos cualquier parásito de cualquier cultivo, que *efectivamente* cause daño significativo. Cuando eso ocurre es porque el cultivo no tiene niveles adecuados de resistencia horizontal. En otras palabras, podemos declarar que *cualquier* parásito *de cualquier* cultivo, es importante sólo en la medida de la pobreza de su resistencia horizontal, y si podemos aumentar artificialmente la resistencia por fitomejoramiento, podremos controlar todos los parásitos importantes de tal cultivo. Sin embargo sólo el tiempo dilucidará cuan universalmente válido es este argumento.

### **20.17. Lección 17: Presiones de selección para otras cualidades**

Aparte la resistencia, los nuevos maíces que emergieron del desastre de la roya tropical eran indistinguibles de sus susceptibles progenitores. Fue obvio que se acumuló suficiente resistencia sin sacrificar el rendimiento, la calidad de la cosecha o la adaptabilidad agronómica; ésto nos enseña que cuando queramos fitomejorar por resistencia horizontal debemos utilizar los mejores cultivos disponibles; es decir, que debemos escoger los mejores cultivares (en términos de rendimiento, calidad y adaptación) aunque sean éstos los que posean la mayor susceptibilidad a los parásitos, pues nuestra tarea es acumularles resistencia horizontal sin sacrificar las otras cualidades. También significa que durante todo el programa de fitomejoramiento debemos ejercer presión de selección para obtener esas cualidades, y en la práctica ésto no será difícil aun considerando que debemos conservar las buenas cualidades que existan. Como en la práctica puede ocurrir cierta erosión, sólo debemos asegurarnos que no ocurra durante el programa; aunque es fácil restaurarla en los últimos estadios del mismo.

### **20.18. Lección 18: Selección de semilla**

Vimos en el capítulo introductorio que las pérdidas ocurren antes y después de la cosecha. Las pérdidas post cosecha pueden deberse a insectos de granos almacenados y otros agentes que inducen pudriciones, siendo algunos cultivos más susceptibles a estos parásitos que otros. Lo anterior significa que también es posible, durante el almacenamiento, seleccionar por resistencia horizontal los granos leguminosos y cereales cosechados. En algunos cultivos como la fruta fresca y las hortalizas las posibilidades de estos trabajos son muy pobres, pero con muchos cereales y leguminosas de grano las posibilidades de acumular resistencia a sus plagas de almacén son considerablemente mejores. En general, sin embargo, las plagas de almacén son susceptibles de control variando sus factores ambientales. Por ejemplo, no habrá pudriciones durante el almacenamiento cuando el grano esté seco; y cuando el grano se almacena en condiciones herméticas, sin oxígeno, sus plagas tampoco pueden sobrevivir.

Un aspecto importante de la selección de semillas se da a nivel de laboratorio, cuando el cereal o grano leguminoso son el producto a proteger. En este caso el rendimiento se mide por el peso total de las semillas provenientes de una sola planta, pero es importante que las semillas sean de tamaño óptimo. Por ejemplo, varios cientos de granos pequeños y rugosos tienen menos valor que unas cuantas decenas de grano grande y pesado. Por esta razón es necesario pesar y contar las semillas que se cosechan de cada planta, porque en ese caso se recomienda calcular el peso de cien o mil semillas, dependiendo de la especie cosechada. Las plantas con el máximo rendimiento, tamaño óptimo y demás, serán los padres de la siguiente generación. Sin embargo existe una precaución importante a esta regla: en etapas tempranas del programa de mejoramiento es probable que todas las semillas sean pequeñas y rugosas, simplemente porque todas las plantas, incluso las mejores, fueron severamente parasitadas. Una vez más, todas las medidas de la resistencia deben ser consideradas relativas.

La semilla también puede ser seleccionada en busca de otras cualidades como el color, la dureza y la gravedad específica. Esta se mide depositándolas en soluciones salinas de concentración conocida, para separar las flotantes de las que se hunden. Alternativamente se puede utilizar una máquina discriminadora (actúa por gravedad). Resulta claro que algunas pruebas destructivas como el cocinado, sólo pueden ser utilizadas después de acumular bastante semilla de una línea pura.

### **20.19. Lección 19: Demostración de la resistencia horizontal**

Como vimos en la Lección 6, aun no ha sido demostrado que la naturaleza de la resistencia del maíz en Africa Tropical es inequívocamente horizontal; nuestra evidencia es sólo circunstancial. Por lo tanto los fitomejoradores que trabajen con ella desearán una indicación más definitiva de su naturaleza.

La mejor prueba de su naturaleza consiste en demostrar que es heredada poligénicamente. Esto se logra haciendo una cruce experimental con una planta susceptible, y midiendo la resistencia de cada individuo descendiente en una progenie de alrededor de cien plantas. Cuando la frecuencia de cada categoría de resistencia se grafica debe aparecer una curva en forma de campana (Apéndice A), indicativa de una distribución normal y evidencia clara de la herencia poligénica. En forma contraria, cuando en la progenie aparece una proporción fija de resistentes a susceptibles la herencia de la resistencia fue controlada por monogenes, y en ese caso es casi seguramente vertical.

Es importante medir la resistencia con precisión razonable, en una escala de 0 a 100. En el pasado muchos investigadores han simplificado su trabajo mediante la clasificación de sus plantas resistentes en muy pocos grupos. Cuando estos resultados se analizan estadísticamente dan la impresión de que su herencia es mendeliana y controlada por pocos genes; pero esa impresión es falsa. Se debe al agrupamiento, no a la genética.

### **20.20. Lección 20: Medidas de la resistencia horizontal**

Los maíces africanos también nos enseñaron cual es la mejor medida de la resistencia horizontal: Cuando no hay parasitismo significativo en el cultivo de un productor hay suficiente resistencia; cuando ocurre lo contrario (parasitismo de efectos económicos en rendimiento o calidad) debe continuarse el programa de mejoramiento. Sin embargo las medidas deben hacerse bajo condiciones de cero interferencia parasitaria, y manifestaciones máximas del control natural biótico (Capítulo 14). Estos criterios han prevalecido en el maíz de subsistencia de Africa tropical durante cerca de cuarenta años.

### **20.21. Lección 21: El rayado viroso del maíz**

Una enfermedad del maíz, llamada "rayado" es interesante por que parece contradecir algunas de estas lecciones. El maíz evolucionó en América, pero el rayado se originó en Africa; por lo tanto se trata de una enfermedad "de nuevo encuentro" transmitida por una chicharrita (*Cicadulina spp*). Este

descubrimiento fue una de las primeras demostraciones de enfermedad virosa transmitida por insectos, y fue hecho por mi mentor y viejo amigo H.H. Storey, a quien conocí durante mi primer viaje a Kenya. El virus maíz normalmente mata a la planta infectada, e increíblemente la población de maíz no desarrolla resistencia a él.

La explicación radica en las chicharritas. Esos insectos son gregarios, suelen formar colonias, y en términos ecológicos tienen una distribución “por contagio” al azar; es decir en manchones o parches; además no todas las chicharritas portan el virus. En la práctica sólo el tres por ciento de las plantas, que a la vez portan el virus, son atacadas por el insecto. Se trata de un ejemplo clásico de baja frecuencia de parasitismo, tan baja que no es suficiente para ejercer una presión de selección por resistencia. Como consecuencia directa las variedades locales son muy susceptibles al virus. Planta infectada, planta que muere. También es un ejemplo clásico de daño extremo por parasitismo. Y contraste claro de lo que sucede con la roya tropical en donde cada planta de la población está expuesta al mismo nivel de infección, con el nivel máximo de parasitismo. La lección recibida es que debe existir amplia distribución del parásito y máximas *frecuencias* de parasitismo dentro de nuestras poblaciones de selección. Las distribuciones por contagio o “en parche” permiten que ciertas plantas escapen al parásito (escapismo), y se manifieste una resistencia simulada o falsa.

Mi amigo y colega Ivan Buddenhagen (quien desarrolló los útiles conceptos de viejo encuentro, reencuentro y nuevo encuentro, y además posee profundos conocimientos del parasitismo agrícola) demostró que, si se les disturba, las chicharritas pueden fácilmente ser inducidas a re-distribuirse para posarse en un maíz hospedero diferente. Mediante el recurso de perturbar a las chicharritas todos los días, con dos hombres arrastrando una vara de bambú ligeramente abajo de la punta de las plantas, pronto obtuvo un 100% de rayado viroso en sus poblaciones de selección. Así demostró que en pocas generaciones de tamizado era posible lograr niveles altos de resistencia a esa enfermedad; sin embargo esa resistencia no permanece en maíces de polinización abierta. Con tan sólo el tres por ciento de infestación natural de chicharritas se origina una presión de selección negativa, y el maíz se torna nuevamente susceptible por erosión de la resistencia horizontal. Esto evidencia claramente que un cultivo genéticamente diverso y genéticamente flexible tiene ventajas, pero también desventajas.

Se pueden mantener niveles altos de resistencia al rayado viroso en cualquier programa de producción de híbridos del maíz, simplemente asegurándonos de que todos los padres son infestados por chicharritas y removiendo las plantas que presenten los más severos síntomas.

Tal vez sea adecuado comentar que aunque los maíces africanos son muy susceptibles al rayado viroso, de hecho poseen niveles *adecuados* de resistencia horizontal; considerando que sólo el 3% de las plantas es infectado y muerto por el virus, la enfermedad resulta inofensiva o poco significativa, máxime si se toma en cuenta que las plantas sobrevivientes pueden reponer la pérdida. Este es un ejemplo clásico de parasitismo de baja frecuencia y daño muy agudo, pero como el daño total es bajo no se requieren niveles mayores de resistencia horizontal. Ocasionalmente algún periodo de cultivo puede resultar muy extraño y favorecer a las chicharritas, de suerte que la pérdida de plantas puede llegar al 30%, pero ésto es tan raro que no justifica un programa de fitomejoramiento.

En términos de patosistema silvestre la distribución por contagio o parches tiene ventajas de supervivencia (adaptativas) para el parásito, pues confinando su ataque a unos cuantos hospedantes individuales no ejerce suficiente presión de selección, y así mantiene a su hospedante con niveles bajos de resistencia. De ser necesario puede consumir totalmente unos pocos hospederos, sin amenazar su habilidad ecológica y competitividad evolutiva.

Podemos sacar otra lección del rayado viroso. Cierta vez conocí en Africa a un fitomejorador que acababa de llegar de Europa y que, sin comprender bien la enfermedad, estaba fitomejorando contra el rayado viroso del maíz. Dependía de la infestación natural de sus poblaciones de selección, después removía el 3% atacado por la virosis sobre la base de que esas eran las plantas susceptibles, y conservaba el 97% restante por ser, según él, resistentes. Nunca avanzaba porque obviamente no estaba seleccionando por resistencia; sólo estaba quedándose con las plantas susceptibles que escapaban a la

enfermedad. Debemos aprender que cuando fitomejoramos por resistencia horizontal hay que asegurarnos que las plantas seleccionadas fueron realmente parasitadas. Deben ser verdaderamente resistentes, no sólo en apariencia.

## 20.22. Lección 22: El maíz híbrido

Hay una importante lección respecto al fitomejoramiento del maíz que no la aprendimos del maíz en Africa Tropical, y éste es el momento adecuado para exponerla. Los fitomejoradores estadounidenses fueron los primeros en comprender el problema de fitomejorar cultivos propagados por semilla cuya polinización es libre. Los cultivos que se autopolinizan, tales como el trigo, arroz y frijol, se pueden manipular genéticamente mediante la técnica de las líneas puras (Capítulo 7); pero los cultivos de polinización cruzada no pueden ser mejorados de la misma manera debido a que el proceso de autopolinización, esencial para producir líneas puras, les resulta perjudicial. Cuando se autopoliniza el maíz obtenemos una "depresión por consanguinidad" en la cual se reduce severamente el vigor y el rendimiento. Este fenómeno vegetal fue observado por primera vez en Inglaterra en 1876 por el famoso autor de la teoría de la evolución C. Darwin.

Darwin también notó lo contrario a la depresión consanguínea llamándolo "vigor híbrido", lo que técnicamente se llama *heterosis*. Si dos líneas de maíz altamente consanguinizadas y severamente deprimidas se cruzan, la progenie exhibe el vigor híbrido y produce alrededor de 20 % más que el mejor maíz de polinización abierta. Esa progenie es llamada "variedad híbrida" y al maíz se le dice maíz híbrido.

William James Beal, en Michigan, fue la primera persona que intentó mejorar al maíz explotando la heterosis. En 1908, George Harrison Shull en Cold Spring Harbor, New York, demostró que la progenie de dos líneas de maíz consanguíneas era capaz de producir un cultivo uniforme, de rendimiento superior a cualquier variedad de polinización abierta; sin embargo era imposible producir cantidades suficientes de semilla híbrida para propósitos comerciales.

En 1918, Donald F. Jones resolvió este problema en la ilustre Estación Experimental Agrícola de Connecticut, en New Haven, donde también fueron descubiertas las vitaminas. Jones utilizó el método del "híbrido doble", obteniendo una cruce a partir de dos cruces sencillas, y usando un total de cuatro líneas consanguíneas. Su híbrido doble usualmente se representa como  $(A \times B) \times (C \times D)$ . El resultado fue una variedad híbrida y uniforme que rendía 20 % más que el mejor maíz de polinización cruzada.

El método del híbrido doble de Jones resolvió el problema de la producción comercial de semilla, convirtiéndose en la base de uno de los avances más productivos en toda la historia de la agricultura en Estados Unidos. El primer maíz híbrido fue vendido por la Estación Experimental de Connecticut en 1921.

El segundo híbrido fue desarrollado por Henry Agard Wallace que fundó su propia compañía productora de híbridos, para después incorporarse a la política y llegar a Secretario de Agricultura y a Vicepresidente de los Estados Unidos. Durante los siguientes quince años posteriores al descubrimiento de Jones el doble híbrido ya era económicamente importante; para 1950 virtualmente todo el maíz de la franja maicera eran híbridos dobles. Para 1970 la mayoría de los cultivos comerciales de maíz en el mundo industrializado eran híbridos dobles.

El híbrido doble tuvo un efecto secundario muy profundo e importante en el fitomejoramiento. La progenie de un maíz híbrido no hereda el vigor y regresa a los niveles del maíz de polinización abierta, que son más bajos. Esto significa que cada vez que se cultiva el maíz se debe comprar semilla híbrida; pero los productores no tienen inconveniente en hacerlo pues el costo adicional de esta semilla es una inversión excelente. Esa rápida pérdida de vigor híbrido también implica que el fitomejorador que genera los nuevos híbridos esté protegido de la competencia ilegal. Ninguna persona puede producir maíces de ese híbrido porque sólo el fitomejorador posee las líneas consanguíneas originales que le permiten obtener su híbrido doble.

La producción de maíces híbridos propició el florecimiento de empresas privadas dedicadas al fitomejoramiento del maíz en Estados Unidos; muchas de las que se enriquecieron con sólo las técnicas de hibridación reinvirtieron buena parte de sus ganancias en investigación para producir mejores híbridos. De estas surgió la idea completamente nueva de los "derechos del fitomejorador", idea muy importante para este libro como veremos en su Tercera Parte.

Actualmente muchos países tienen legislación diseñada para proteger las nuevas variedades cultivadas, de la misma manera que los derechos de autor de un libro protegen lo que alguien escribió. En consecuencia un cultivar registrado puede obtener regalías de la misma manera que las ganan los libros. Así, un fitomejorador puede abrigar la esperanza de producir un "best seller" como lo hace cualquier autor de libros.

Los derechos del fitomejorador no pueden operar en la descendencia de los híbridos de polinización abierta, tales como el maíz, el pepino, las sandías y la cebolla, debido a que el vigor híbrido se pierde en la siguiente generación; pero son valiosos en cualquier otro tipo de cultivo como forma de empresa privada, de la misma manera que lo son los derechos de un escritor, un escultor, un pintor, un fotógrafo o un músico. Lo mismo se dice de las patentes de invención dentro de la iniciativa privada.

### ***20.23. Otras cosas que no nos enseñó el maíz de Africa Tropical***

Hay otros dos aspectos del fitomejoramiento poblacional moderno que no surgen del estudio de los maíces africanos. Ellos son la técnica de selección familiar también llamada "surco por espiga", y la técnica de selección tardía. Veremos más detalles en el Capítulo 25.

## 21. La Pérdida de Resistencia en el Cafeto

### 21.1. Origen del Cafeto

A pesar del hecho que el cafeto es un viejo cultivo mundial, no hay referencias antiguas o históricas respecto a él. No se menciona en los escritos antiguos de Egipto, Sumeria, Grecia o Roma. No se habla de él en la Biblia o el Corán. Parece ser que la primera referencia histórica del café es árabe, y data del Siglo IX DC.

El taxónomo sueco Carlos Linneo (1707-1778) pensaba que el café se originó en Arabia, más específicamente en *Arabia Félix* (en Yemen del Sur). Consecuentemente lo llamó *Coffea arabica*. Esa área es productora del café más fino del mundo, la moca (moka), variedad que por desgracia, virtualmente ahora no se puede conseguir.

En realidad Linneo estaba equivocado. Como ahora se sabe, el café es originario de Africa y de sus mesetas orientales ecuatoriales. *Coffea arabica* es probablemente un híbrido accidental de dos especies silvestres, cuyo origen tentativo podemos determinar buscando la fecha y el lugar de este accidente.

El café arábigo debió aparecer por lo menos un siglo antes del primer registro histórico que se tuvo de él en 850 DC. La fecha más antigua que podemos determinar estaría relacionada con el tráfico de especias de los antiguos romanos. En su libro *El Comercio de Especias durante el Imperio Romano*, J.I. Miller describió la manera en que los romanos obtenían la canela (*Cinnamomun zeylanicum*), que en ese tiempo era producida sólo en una área general de tierras bajas del sureste de Asia y su fuente era conservada como secreto comercial.

Los romanos creían que la canela procedía de Africa, pero en realidad era llevada a Madagascar, desde el año 2,000 AC, por antiguos pobladores austromesianos, quienes la embarcaban en Indonesia atravesando el Océano Indico. Ese pueblo también introdujo a Madagascar el plátano, el arroz y una especie asiática, el ñame,. Los habitantes actuales de Madagascar descienden de ellos. Su lenguaje no es africano ya que pertenece a la familia de las lenguas austromesianas. A diferencia de otros pueblos africanos, los habitantes de Madagascar también cultivan el arroz inundado (paddy), a la manera asiática, desde la antigüedad.

Parece ser que aquellos marinos dependían completamente de los vientos monzones para hacer el viaje de 6500 km a través de mares abiertos, y que por esa razón sus viajes eran estrictamente estacionales. También es probable que dependieran del coco para proveerse de agua fresca para beber y de vitamina C para evitar el escorbuto. Uno de sus artículos de comercio era la corteza aromática del árbol de la canela, y el mercado principal de esa corteza era la ciudad de Roma.

Desde Madagascar la canela era transportada en canoas a la Costa Oriental de Africa a un área cercana a la frontera actual entre Kenya y Tanzania que en aquellos tiempos se llamaba Rhapta. A partir de allí la ruta comercial era terrestre. Esto era necesario debido a que el viaje por mar alrededor del Cuerno de Africa hacia el Mar Rojo era muy peligroso. Las caravanas terrestres se enriquecían notablemente durante el curso de esos viajes, y cuando llegaban al Mediterráneo llevaban animales salvajes para el circo romano, esclavos nubios, ébano, marfil, oro, incienso y otros lujos raros africanos.

La ruta terrestre atravesaba la Kenya actual hacia el sur de Etiopía, donde se bifurcaba. Una bifurcación se dirigía al noroeste, el Nilo Azul, para llegar a Alejandría en botes ribereños de donde partían a Roma por mar; la otra se dirigía al noreste, a Assab en la costa del Mar Rojo, donde todavía

existen las ruinas de un antiguo puerto romano, y después de corta travesía terrestre salía hacia Suez, el Mediterráneo y Roma.

Lo importante de esta ruta comercial es que atravesaba el corazón de las áreas tradicionalmente cafetaleras de Etiopía, aunque los romanos aun desconocían todo respecto al café. Es inconcebible que el comercio romano de las especias, tan sofisticado que incluía la canela indonesia, no supiera de una bebida tan estimulante e importante como el café, que en esos tiempos tampoco se consumía en Abisinia. Por lo anterior podemos concluir que el café, durante el período de las caravanas romanas de las especias, aun no existía en Etiopía. El comercio romano cayó junto con el imperio, por lo que podemos situar la aparición del café no antes del año 450 DC, pero tampoco después de su primer registro histórico (850 D.C). Por conveniencia aceptemos una fecha tentativa alrededor del año 650.

El origen del café arábigo se pueden determinar con cierto grado de confiabilidad a partir de datos botánicos. Hay alrededor de 60 especies de café silvestre en Africa y la India; esas especies son todas diploides, esto es, poseen dos juegos de cromosomas, uno de ellos proveniente del macho y el otro de la hembra. Cada juego tiene once cromosomas por lo que el café diploide posee 22. (Un cromosoma es una sarta microscópica de ADN, el código genético que controla todo lo heredable).

El café arábigo es tetraploide; lo que quiere decir que posee cuatro de esos paquetes de cromosomas. Se cree, sin ninguna confirmación, que se trata de una nueva especie originada por la hibridación entre dos diploides silvestres, lo que es raro. Ese tipo de híbridos normalmente son estériles debido a que sus dos paquetes de cromosomas no se acoplan entre sí. Sin embargo ocasionalmente ocurre una duplicación espontánea del número de cromosomas y el híbrido se torna completamente fértil, pues en este caso posee dos juegos dobles de cromosomas, cada uno de ellos capaz de acoplarse con el otro. Es muy probable que el café arábigo se originó de esta manera.

De inmediato surge la interrogante ¿dónde ocurrió esta hibridación accidental?. Uno de los rasgos botánicos más notables de Etiopía consiste en que no cuenta con cafetos diploides silvestres, cosa en la que podemos confiar porque muchos botánicos, yo incluido, los hemos buscado sin éxito. Una segunda pregunta relacionada con la primera es ¿cual es la identidad de los padres silvestres del cafeto arábigo.

Se dice que el poco conocido y ya finado científico I.R. Doughty. hibridó dos diploides silvestres, *Coffea eugenioides* y *Coffea canephora* en la Estación Experimental de Lyamungu, en las faldas más bajas del Kilimanjaro, Tanzania. Aparentemente lo logró a fines de la década de 1930 obteniendo un híbrido estéril. Poco espues una ramilla lateral experimentó la duplicación espontánea de sus cromosomas convirtiéndose en tetraploide fértil. Aparentemente esta rama fértil era idéntica a *C. arabica*.

Por desgracia su trabajo se vio interrumpido por la II Guerra Mundial, y cuando regresó a Lyamungu después de la guerra su híbrido había desaparecido. A pesar de que Doughty era un científico brillante en varios aspectos, no le gustaba escribir; por lo que poco publicó. Habiendo muerto hace ya muchos años, sus registros experimentales se perdieron. Caray, yo estuve con él en varias ocasiones pero nunca se me ocurrió discutir con él sus trabajos con cafeto. También ha muerto un colega de él que recordaba sus investigaciones y me las mencionó,. Por lo tanto estas evidencias son sólo “de oídas”, y deberán repetirse los trabajos de identificación de progenitores silvestres del café arábigo realizados por Doughty,.

Pocos cafetos diploides silvestres se pueden cultivar, y todos ellos (aun presentes en forma silvestre en Africa Occidental) producen un café inferior al arábigo. Tal distribución natural explica porqué los cafetos fueron desconocidos a los romanos. Uno de esos diploides cultivados es *C. canephora*, productor del café comercial “robusta”, utilizado por Doughty en su experimento de hibridación.

Los límites orientales de distribución natural de estas especies se encuentran en Uganda o posiblemente Kenya Occidental, pero muy al oeste de la ruta de la canela. La otra especie que utilizó Doughty, *C. eugenioides*, es una especie africano-oriental, sin valor culinario, que también llega hasta Uganda. En el caso de que ambas fueran las progenitoras del café arábigo, su centro de origen debe



localizarse donde coincidan sus distribuciones naturales. Esto es, en el área general de la Uganda moderna.

En conclusión, la hipótesis es que el café arábigo tetraploide derivó de la hibridación de *C. eugenioides* y *C. canephora*, en Uganda, alrededor de 650 DC. Los nuevos tetraploides a menudo tienen características considerablemente diferentes de cualquiera de sus progenitores. Muy frecuentemente tienen requerimientos climáticos diferentes a cualquiera de ellos, por lo que a menudo florecen en una área nueva llamada centro de diversificación, el cual puede estar muy lejos y ser muy diferente del centro de origen. Tal parece que eso pasó con el café arábigo. Uganda es demasiado cálido y húmedo para él, por lo que probablemente desapareció de ahí tan pronto como se originó, pero mientras eso sucedía alguien lo llevó a Etiopía que se convirtió en el centro de diversificación.

Las tierras altas de Etiopía, relativamente frías, están separadas del ambiente tropical, húmedo y lujurioso de Uganda por un brazo árido y obstaculizante del Desierto de Sahara que se extiende desde el Sur de Sudán hasta el Cuerno de África. Debemos presumir que las semillas del café arábigo fueron llevadas por viajeros de Uganda a Etiopía, tal vez como regalo de un rey a otro; y tenemos buenas razones para creerlo porque aparentemente las llevaron libres de una enfermedad del cafeto silvestre. Pronto regresaremos a este punto.

Obviamente el café se hizo popular en Etiopía y mucho se diseminó su cultivo. Para el siglo XIX se convirtió en un importante artículo de comercio con los árabes que vivían al otro lado del Mar Rojo, en la Península Arábiga. Tómese en cuenta que El Profeta ya había prohibido a sus fieles beber alcohol, por lo que los musulmanes sólo bebían agua, jugo de frutas y leche. Por lo tanto el café se convirtió en una de sus bebidas importantes, y después de una guerra que interrumpió su abasto desde Etiopía los árabes decidieron producirlo. Comenzaron cultivándolo en el Yemen, al sur de Arabia (como ya vimos Linneo creyó que el café era originario de esta área), y después de siglos de selección y mejoramiento árabe sus cultivos se volvieron famosos, como la moka, el más fino de todos.

Durante el siglo XVII el café se hizo popular en Europa. La primera cafetería en Londres fue establecida al principio de ese siglo, y en poco tiempo las cafeterías se convirtieron en centros importantes de carácter social, político, literario y de negocios, tanto en Europa como en América. En su diario de Londres (1660-1669), Samuel Pepys menciona frecuentemente las cafeterías, frecuentemente conocidas por el nombre del propietario. La cafetería de Lloyd se hizo famosa como centro de intercambio de seguros, y las de Boodle y White se convirtieron en famosos clubs londinenses. En Francia las cafeterías se volvieron tan importantes que su nombre (café) se adoptó en casi todos los idiomas en el mundo.

## 21.2. La Distribución Mundial del Cafeto

La producción árabe fue insuficiente para los mercados explosivos de Europa, lo que hizo que el café cada vez fuera más caro. En consecuencia esto estimuló la producción en otras partes del mundo. Fueron los árabes quienes por primera vez llevaron semillas de Arabia a la India y a Sri Lanka. Los holandeses las llevaron a la Isla de Java en la moderna Indonesia, y en 1706 llevaron un cafeto de Java a Amsterdam. Un descendiente de esta planta fue donado al *Jardin Des Plantes*, de París, como regalo. De esta planta los franceses enviaron semillas a Martinica en las Indias Occidentales, donde intentaron mantener un monopolio que falló, pues el cafeto pronto fue cultivado en varias partes de América Central y del Sur. Son de interés cuatro puntos respecto a esta parte de la distribución mundial.

El primero se refiere a la reducción de la base genética. El cafeto es singular entre los cultivos arbóreos en cuanto a que se trata de una planta autopolinizada, lo que significa que todas las semillas provenientes de un solo árbol son iguales: se reproducen "fieles a su tipo". Como vimos en el Capítulo 1, técnicamente hablando es homocigótico. Así, cada vez que llevaban plantas o semillas de café de un país a otro aumentaba la homocigosis y se reducía la base genética. Esto significa que el café llegó al Nuevo Mundo como línea pura, genéticamente uniforme, por lo que todos los árboles eran en la realidad idénticos.

Esa uniformidad tiene ventajas agrícolas y comerciales importantes, pero dificulta el trabajo de fitomejoramiento porque el mejoramiento genético, para inducir variabilidad, depende de la cruce de tipos diferentes. Fitomejorar los cafetos del Nuevo Mundo fue imposible hasta que se introdujeron líneas nuevas; esto sucedió a niveles muy limitados, y sólo durante este siglo.

El segundo punto de interés es que cuando se llevaba de un país a otro, el cafeto dejaba atrás sus plagas y enfermedades; para cuando llegó a América virtualmente estaba libre de parásitos, lo que le dio enorme ventaja comercial sobre el Viejo Mundo donde los parásitos son comunes. Hasta hace muy poco tiempo era muy difícil su combate porque no existían los fungicidas e insecticidas modernos. Así, esta ventaja se volvió total, y le llevó a un dominio comercial ilustrado por el hecho de que América produce el 80% del total mundial. Esto a pesar de que durante cerca de 250 años los cafetos latinoamericanos estuvieron representados por *una sola* línea. Tal grado de monocultivo y uniformidad genética es una positiva invitación a ruinosas epidemias.

Lo que nos lleva al tercer punto, y a un aspecto muy poco positivo. Todos los cafetos de América estaban libres de parásitos, pero eso les inclinaba ser susceptibles a cualquiera que llegara al Nuevo Mundo. Como ya vimos, la vulnerabilidad de un cultivo significa que es susceptible a cualquier parásito, siempre y cuando éste tenga capacidad epidemiológica. Cuando el parásito llega al área cultivada se manifiesta la susceptibilidad, revelándose la vulnerabilidad. El daño potencial se vuelve real.

Una vulnerabilidad importante de cafetos del Nuevo Mundo se refiere a la roya de las hojas causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, descrita en el Capítulo 4 al hablar de la auto y la aloinfección. Este parásito fue tal vez incorrectamente culpado del fracaso de varios cultivos de cafeto en el viejo mundo, y cuando llegó a Brasil en 1970 causó pánico en el comercio mundial del aromático. Desde entonces se ha dispersado a todos los cultivos de Centro y Sudamérica, pero afortunadamente mostrose sólo perjudicial a los cafetos cultivados en condiciones cálido-húmedas y, en virtud de que la mayoría de sus áreas cafetaleras son relativamente frescas y secas, la roya: roya del se controla fácilmente. Pero ya volveremos a este problema.

El cuarto punto de interés, originado en los tránsitos internacionales del cafeto, se relaciona con la resistencia de la planta a sus plagas y enfermedades. Cuando surgió el primer híbrido de cafeto arábigo en Uganda, hace cerca de 400 años, tenía tanta resistencia a sus parásitos como los progenitores silvestres; nivel muy alto, si se considera que todas las plantas silvestres deben tener resistencia a todos sus parásitos. Lo anterior es axiomático porque todo individuo o especie que tiene poca resistencia es incapaz de sobrevivir a la competencia evolutiva y ecológica, lo que le obliga a acumularla so pena de haberse extinguido hace mucho tiempo.

Como ya vimos, el nuevo híbrido de cafeto fue llevado a Etiopía en 650 DC, y aparentemente uno de sus parásitos se quedó en Uganda, el hongo *Colletotrichum coffeanum* que produce una enfermedad de la cereza del cafeto. El nuevo híbrido se cultivó en Etiopía durante cerca de 1400 años en ausencia de esa enfermedad. Como sabemos, las plantas que crecen en ausencia de un parásito tienden a perder resistencia a él, deviniendo muy susceptibles y probablemente también muy vulnerables. Todos los parásitos restantes existían en ese país; en consecuencia los cafetos de altura etíopes se mantienen resistentes a todos ellos.

Pero hay una excepción a esta regla. En el oriente etíope hay una provincia relativamente árida, Harrar, donde se ha cultivado el cafeto durante siglos, y donde la mayoría de los parásitos tiene una capacidad epidemiológica reducida gracias a la atmósfera y el suelo que son relativamente secos. En consecuencia los cafetos de Harrar han perdido resistencia, y cuando son cultivados en ambientes más húmedos, como en el sur de Etiopía, se muestran muy susceptibles a los parásitos, incluyendo la roya de la hoja y la enfermedad de la "cereza".

Es muy probable que los árabes se llevaron ese café susceptible a Yemen del Sur, donde se cultiva en condiciones aun más secas que las de Harrar. Estos cafetales probablemente perdieron más resistencia, y son los que fueron llevados a Indonesia, luego a Europa y al Nuevo Mundo. Parece no haber duda en que el café de las Américas tiene una base genética muy estrecha, además de ser muy

susceptible. De hecho todos los cafetos arábigos del mundo exterior a Etiopía han sufrido erosión de su resistencia horizontal: erosión de la a muchos parásitos.

La situación es jocosa. Si los holandeses hubieran exportado a Java los cafetos de Etiopía en lugar de los del Yemen, *no habría enfermedades ni plagas de importancia económica en todo el mundo* (excepto la enfermedad del cerezo del cafeto). En otras palabras, todos los problemas parasitarios del cafeto arábigo se deben a erosión de la resistencia horizontal, de la que haremos tres comentarios.

El primer comentario no es una crítica a los primeros valientes exploradores holandeses, porque no había manera de que pudieran saber de erosión de la resistencia; tampoco podrían haber llegado al sudoeste de Etiopía, pues en esos años era parte inaccesible del Africa “más negra” (la región más desconocida y peligrosa del continente en esos tiempos). Yemen del Sur está cerca del mar y, hasta donde los holandeses sabían, era el único lugar donde existía y se producía el café. Linneo mismo creía en esto, como ya vimos.

El segundo comentario se refiere a cuan importante resulta la erosión de la resistencia. El 80% de la producción mundial de café proviene de latinoamérica, por que el área esta libre de la mayoría de los parásitos que quedaron atrás cuando fue traída la planta al nuevo mundo; lo que indica lo peligrosos que son tales parásitos al dificultar la producción de café en el viejo mundo, dejando en desventaja a quienes ahí lo cultivan.

Tercero; las consecuencias de la erosión dan indicios del potencial de la resistencia en cultivos como el cafeto. Eventualmente será posible fitomejorar el cultivo con suficiente resistencia como para poder cultivarlo en cualquier parte del trópico templado, sin usar plaguicidas y sin pérdidas de rendimiento o calidad. De hecho esas variedades ya existen, como veremos en un momento.

Dado que los cafetos de américa son muy susceptibles, también resultan vulnerables a los parásitos de reencuentro, situación peligrosa, pero con la clara ventaja de que hay mucho camino por recorrer para aquellos fitomejoradores que trabajan con resistencia a plagas y enfermedades del cafeto, siempre y cuando deseen hacerlo con resistencia horizontal.

### **21.3. Enfermedad de la Cereza del Cafeto**

Para fines del siglo pasado los ingleses comenzaron a cultivarlo en Kenya, a partir de la estrecha base genética de cafetos susceptibles. Después de la I Guerra Mundial, iniciaron un proyecto de gran expansión para producir café en la frontera de Kenya con Uganda. Por primera vez en 1300 años el café arábigo estableció contacto físico, en el centro de origen, con sus progenitores silvestres; y sucedió lo inevitable: *Colletotrichum coffeanum* atacó al cultivo causándole la enfermedad devastadora hoy conocida como enfermedad de la cereza: enfermedad de la cereza del o frutilla del café. Este problema era nuevo para la ciencia, pero no para la naturaleza. Como ya vimos, era común en los cafetos silvestres, sólo que se había quedado en su lugar de origen cuando el nuevo híbrido fue llevado a Etiopía alrededor de año 650 DC.

Como implica su nombre, el hongo ataca a las frutillas del café, cuando el fruto está inmaduro y aun verde. Aun cuando el parásito sobrevive en la corteza de manera no parasitaria, sólo puede parasitar a las cerezas sin hacer daño a otras partes del árbol. Las cerezas, por supuesto, contienen los granos de café que son el producto cosechable. En un árbol muy susceptible todas las cerezas pueden resultar destruidas por la enfermedad, meses antes de la cosecha; obviamente la enfermedad puede ser muy perjudicial.

Como ya vimos también, estamos tratando con un parásito dereencuentro. El cultivo fue llevado de una a otra parte del mundo dejando atrás al parásito. Eventualmente, cuando el parásito reencontró al cultivo, ya susceptible, el parasitismo causó grandes daños debido a la pérdida de resistencia. Este es un ejemplo típico de parasitismo de reencuentro, referido a una terrible enfermedad. El proyecto de expansión cafetalera en los límites de Kenya y Uganda fue un completo fracaso, llevando a la ruina financiera a los veteranos de la I Guerra Mundial que se habían convertido en productores de café.

Esta enfermedad fue descrita por primera vez en Kenya en 1926 por J. MacDonald quien observó que algunos árboles eran más resistentes que otros y recomendó el uso de la resistencia como el mejor método de control. Pero no creyeron en él, principalmente porque el mejoramiento del café se llevaba mucho tiempo. También se pensaba que esa resistencia sería temporal y que fallaría con la aparición de nuevos parásitos. Incluso en aquellos tiempos comenzaba a creerse que todos los tipos de resistencia a fitoparásitos eran propensos a caer tarde o temprano. Además, tratándose de una resistencia cuantitativa se le consideraba como de mal signo. Y como no había buenas fuentes de resistencia se pensaba que el mejoramiento era difícil por no decir imposible. En esa virtud detuvieron los trabajos de fitomejoramiento, y la investigación en Kenya se dirigió a los fungicidas químicos.

Irónicamente las mejores selecciones de cafeto de MacDonald, que poseían buenos niveles de resistencia horizontal a la enfermedad de la cereza, tuvieron éxito en las partes de Africa donde la enfermedad tenía menor competencia epidemiológica. Y, aunque todavía con cierta susceptibilidad, la mayoría de los cafetos de Kenya se consideran actualmente más resistentes que los susceptibles de Harrar.

Yo conocí a MacDonald en mi primera visita a Kenya en 1953 cuando ya era un anciano. Es una lástima que su percepción respecto a la resistencia a la enfermedad de la cereza del cafeto fue reconocida mucho después de su muerte.

La enfermedad comenzó a expandirse a los cafetos cultivados de Africa. Para 1970 ya había llegado a Etiopía donde el café generaba 60 % de las divisas. Aparentemente la enfermedad fue llevada por personas que querían mejorar la producción etíope con semillas de Kenya. Normalmente la enfermedad no es portada en las semillas, pero parece ser que este envío de semilla iba muy sucio y contenía restos de tejido enfermo del fruto. Fue una desgracia que ciertas personas distribuyeran esa clase de semilla entre sus amigos de toda el área, y que la enfermedad cubriera todas las áreas cafetaleras del sur y oeste de Etiopía. En poco tiempo la enfermedad amenazaba con destruir más del 40% de los rendimientos exiguos de café.

En aquellos tiempos el café etíope se cultivaba según tradiciones multicentenarias. Ni se plantaba en filas que facilitarían su cultivo mecánico, ni se estercolaba ni se podaba. Los cultivos eran una mezcla genética donde la mayoría de los árboles eran diferentes entre sí. El único cultivo que recibía era el deshierbe anual de la densa vegetación tropical, y eso para que los piscadores (cosechadores) pudieran llegar a los árboles. La producción promedio equivalía a solo el 10 % de los mejores rendimientos comerciales en la vecina Kenya. Bajo esas circunstancias la enfermedad fue ruinosa y no podía pensarse que la aspersión con fungicidas fuese una idea práctica o económica.

En ese momento pidieron ayuda a la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) y ésta me invitó a trabajar en Etiopía para dirigir las investigaciones respecto al, aparentemente, insoluble problema. De hecho les costó trabajo persuadirme a aceptar tarea tan difícil. Sin embargo una vez en Etiopía mis colegas y yo descubrimos pronto que, aunque los cultivos del cafeto como un todo eran muy susceptibles a la enfermedad, había gran variación entre árboles individuales. Los más susceptibles perdían todas las frutillas meses antes de la cosecha, pero los más resistentes no perdían *una sola* cuando ese momento llegaba.

Como ya vimos (Capítulo 20) este espectro de susceptibilidades nos indica cuan grandes pueden ser las diferencias entre los niveles mínimo y máximo de resistencia horizontal. Algunos de los fitomejoradores por pedigrí más conservadores arguyen que la gama total de variación es tan endeble, que es una pérdida de tiempo fitomejorar en su búsqueda; pero ese argumento resulta claramente refutable con este ejemplo de la enfermedad de la cereza del cafeto.

Cerca del uno por millar de los árboles tenían un alto nivel de resistencia. Recorriendo todo el país y revisando alrededor de medio millón de árboles, mi equipo de científicos etíopes y de la FAO llegó a identificar 640 cafetos resistentes.

El café en Etiopía normalmente madura en noviembre. En enero de 1974 mi contraparte etíope, el Dr. Teklu Andrebahn y yo, mientras tomábamos un atajo atravesando un cafetal en Agaro, cerca de

Jimma, nos topamos con un árbol cargado de frutillos maduros. Este fue un descubrimiento afortunado, tan estimulante para nosotros como el descubrimiento de Donald Johanson del fósil homínido “Lucy”, en el desierto de Afar (descubrimiento hecho el 30 de noviembre de 1974 a unos cientos de kilómetros de allí). El descubrimiento de Johanson fue, igualmente, afortunado y cercano al nuestro tanto en tiempo como en espacio.

Este único árbol, obviamente era anormal, pues maduraba 8-10 semanas después del resto; por esa razón fue ignorado por los cosechadores ya que en el tiempo de cosecha sus cerezas aun no maduraban. Es igualmente obvio que este árbol era muy resistente pues portaba una cosecha impresionante de frutillas sanas a pesar del hecho que le rodeaban árboles susceptibles, que crecía en una área donde la enfermedad era particularmente severa.

Cada árbol resistente que encontrábamos era numerado cronológicamente, según el orden de descubrimiento, con los dos dígitos iniciales indicando el año de su encuentro. Este árbol fue llamado 741; es decir, el primero de los resistentes que identificamos en 1974. También era anormal respecto a que en lugar de que la frutilla fuera rojo brillante al madurar, era amarilla. El 741 resultó ser el mejor de todas nuestras selecciones resistentes. Hoy constituye la variedad principal de cafeto etíope y se cultiva en miles de hectáreas.

En aquel tiempo ignorábamos lo anterior y además teníamos que evaluar muchas otras selecciones. La primera cosecha de los árboles resistentes recién identificados se guardaba para semilla de modo que cada uno de esos árboles originaba cerca de mil plántulas. El cafeto empieza a producir a los tres años; por lo que después que transcurrieron observábamos los árboles parentales para medir su resistencia, rendimiento, y calidad de tasa. Se eliminaban las progenies de los peores árboles mientras que la de los mejores se conservó para avanzarlas más. Se les hacían pruebas de homocigosis, y sólo se conservaban las que demostraban reproducirse fieles a su tipo (esto es las que resultaron ser líneas puras a partir de su autopolinización natural). Cuando comenzaron a fructificar se midió su resistencia a la enfermedad y otros parásitos, y se demostró la naturaleza horizontal de la resistencia.

A fines de 1974 salí de Etiopía para emprender otra tarea de la FAO, quedándose a cargo del proyecto mi asistente. Como resultado de su esfuerzo se liberó media docena de variedades nuevas muy resistentes, muy rendidoras y de gran calidad, sólo ocho años después de la aparición de la enfermedad. Esto no tenía precedentes en el mejoramiento de árboles porque normalmente se lleva varias décadas en obtener resultados útiles usando los métodos de mejoramiento por pedigrí.

El reemplazo de los viejos y susceptibles cafetales etíopes con los nuevos, fue una enorme tarea; sin embargo el replante con nuevas variedades permitió al país modernizar la caficultura. Esta vez sembraron en hileras para permitir las labores mecánicas de cultivo y para tener acceso fácil a los cafetos, permitiendo las podas adecuadas que inducen altos rendimientos. Estos árboles también resultaron resistentes a todas las plagas y enfermedades localmente importantes, de suerte que ya no son necesarios los plaguicidas químicos; así, las variedades nuevas no sólo resolvieron el problema de la enfermedad del cerezo del cafeto, también llevaron la producción cafetalera etíope a la modernización y, como resultado, el promedio nacional de producción aumentó mucho. Las primeras nuevas variedades se entregaron a los productores en 1978, y para estos días se han plantado al rededor de 50,000 ha, principalmente con el Cultivar 741. Los nuevos cultivares han logrado algo más; nos dieron una demostración clara de lo que puede lograr la resistencia horizontal, produjeron un control permanente, completo y global de los parásitos del cafeto; y también demostraron que esos altos niveles de resistencia horizontal no chocan contra los altos rendimientos, la buena calidad del producto o la buena adaptabilidad agronómica.

Los cafetos del resto del mundo son susceptibles a muchos parásitos diferentes porque perdieron resistencia horizontal durante los siglos que fueron cultivados en los climas secos de Harrar y Yemen del Sur. Pero todos los cafetos susceptibles pueden ser reemplazados en el curso de los replantes normales con cultivares nuevos resistentes, como los etíopes. El uso indiscriminado de plaguicidas químicos que se presenta en todas las áreas cafetaleras del mundo podrá cesar. Indudablemente que este cambio

requerirá de décadas para ser llevado a cabo; incluso deberán hacerse muchas pruebas antes de intentar su inicio pero, en principio, no hay razón para que los cultivos de cafeto no alcancen rendimientos máximos, estén completamente libres de parásitos y plaguicidas, y posean alta calidad de tasa.

Los nuevos cultivares etíopes pueden resultar extremadamente valiosos para otros países de Africa donde la enfermedad de la cereza del cafeto limita al cultivo. Esto es especialmente cierto para los productores más pequeños y pobres, quienes generalmente carecen de experiencia y dinero para asperjar sus cultivos. Por desgracia el sucio dictador militar Haile Miriam Mengistu, quién derrocó y asesinó al emperador de Etiopía matando también a millares de etíopes, prohibió la exportación de semilla de los nuevos cultivares. Ese gobierno adoptó la actitud de que sus cultivares eran un “secreto comercial” que no debía llegar a manos de sus “competidores”. Sin embargo durante el caos de la reciente guerra civil y la caída del tirano alguien subrepticamente llevó semillas del 741 a Kenya. De ahí tarde o temprano se dispersará a otros países de Africa. Los gobiernos que quieren mantener el monopolio sobre un cultivo no pueden tener éxito como no lo tuvieron los franceses cuando intentaron su monopolio del café en el Nuevo Mundo hace 250 años en las Indias Occidentales.

La industria química está muy cerca ya de poder sintetizar económicamente el café. El cultivo entonces llegará a la ruina como sucedió con los cultivos de linaza para aceite, frente a las pinturas plásticas, y con varias cosechas de fibra como el cáñamo de Manila y el sisal (henequén) cuando aparecieron las fibras manufacturadas con nylon. Los países productores de café no deben verse entre sí como competidores; sus verdaderos competidores son las grandes corporaciones químico-alimentarias que en cualquier momento comerciarán el café sintético a precio económico. Por esta razón los países productores de café deberían ayudarse entre tanto, como puedan, para mantener bajo el precio del café, tan bajo como económicamente sea posible y por tanto tiempo como puedan.

#### **21.4. Conservación Genética**

Todo cafeto cultivado en Etiopía eventualmente será reemplazado por las nuevas variedades resistentes a enfermedad. Durante ese proceso la variabilidad genética de los viejos cafetos se perderá de igual manera que se perdió la variabilidad de los cultivos de trigo (Capítulo 19). Esto trae al escenario el asunto de la conservación genética que es de la mayor preocupación para algunos fitogenetistas. Si se pierde la variabilidad genética será más difícil el fitomejoramiento pues, en teoría, cuando no hay variabilidad es imposible fitomejorar. Por estas razones se arguye que debemos conservar la variabilidad existentes en “bancos de genes” o germoplasma, los cuales pueden asumir la forma de colecciones de semillas de especies anuales cuidadosamente almacenadas, o de jardines botánicos en el caso de las especies arbóreas.

Cuando apareció la posibilidad de reemplazar todos los cafetos etíopes los conservacionistas de genes se preocuparon respecto a la posibilidad de que se perdiera la variabilidad, y surgió una controversia que enfatizaba que la conservación es un asunto mucho más complejo de lo que se ve a primera vista. Algunos argumentos sugirieron que la conservación genética a menudo puede ser cara, y quizá un lujo innecesario.

El primer argumento, y el más obvio, es que no podemos asignar a los productores la carga de la conservación genética; esto significa que si las nuevas variedades amenazan con pérdida de variabilidad, no podemos esperar que los productores continúen con el cultivo de variedades inferiores sólo para preservarla.

Segundo; siempre ha existido duda respecto a si vale la pena conservar las viejas variedades. En el caso de los cafetos etíopes las antiguas razas locales son susceptibles a la enfermedad del cerezo del café, por lo que ese material es de valor dudoso para un programa de fitomejoramiento. Sólo los miembros de la escuela mendeliana podrían argüir que este material puede portar genes valiosos que merezcan ser conservados; pero las resistencias monogénicas, siendo verticales, son propensas a fallar, y las fallas de resistencia en los cultivos arbóreos que eventualmente se reemplazan pueden ser desastrosas, ya que

tales replantes se hacen dos o tres veces en un siglo y resultan algo caros. Hasta donde sabemos no existen ningún otro carácter monogénico que valga la pena conservarse en el cafeto.

El tercer argumento en contra de la preservación del germoplasma cafetalero etíope es que los cafetos semisilvestres aun presentes en los bosques despoblados de Kaafa, la provincia de mayor producción en el suroeste de Etiopía, tienen considerable variabilidad genética. Esos cafetos son principalmente autocultivos, sobrantes de cultivos ya abandonados. De cualquier forma la población de cafetos lentamente cambiará como respuesta a la presión de selección de la enfermedad de la cereza del cafeto, puesto que los árboles susceptibles producirán mucha menos semillas que los resistentes, de suerte que la susceptibilidad se irá reduciendo y eventualmente será eliminada de esa población, tal como sucedió con la susceptibilidad de la roya del maíz que fue eliminada en Africa Tropical (Capítulo 20). Pero este proceso requerirá de varios siglos porque una nueva generación requiere de tres años, y la mayoría de los cafetos puede llegar a los 50.

El argumento más importante probablemente surge del trabajo ya descrito de L. R. Doughty. La mejor manera de obtener nuevas variedades de cafeto es probablemente la resíntesis de *C. arabica* a partir de sus progenitores diploides, por que es ahí donde existe la variabilidad real y por que esas poblaciones diploides no se ven amenazadas; es más, los nuevos tetraploides podrían ser genéticamente estables, a la vez que muy resistentes a todos los parásitos. Así, la conservación genética parece no ser necesaria, por lo menos en el café arábigo.

### **21.5. La Resistencia Vertical en un Cultivo Perennifolio y Siempre Verde**

Ahora debemos analizar una contradicción aparente. Se dijo antes (Capítulo 7) que la resistencia vertical requiere de diversidad genética y de un patosistema discontinuo para que pueda funcionar como sistema de salvaguarda. Por esta razón una relación gene a gene sólo puede evolucionar en especies anuales, o contra los parásitos foliares de árboles y arbustos deciduos. El cafeto es una planta perenne, siempre verde, donde aparentemente el patosistema de la roya es continuo. Pero a pesar de ello hay resistencia vertical a la roya de la hoja.

La explicación radica en un elegante truco biológico que sugiere que el hábito deciduo en los cafetos puede tener que ver tanto con el parasitismo como con la aparición de condiciones estacionales adversas, tales como un invierno templado o una sequía tropical temporal. Las esporas de la roya deben contar con agua libre sobre la superficie de la hoja para poder infectarla. Esto significa que sólo pueden infectar a su hospedante durante la época de lluvias, porque durante la de secas no se da la infección. Además, en la estación de secas el cafeto se libera de toda hoja infectada con el hongo de la roya; las hojas caídas mueren y la roya muere con ellas. Este fenómeno hace que el cafeto sea *funcionalmente* deciduo, únicamente respecto a las hojas con roya, y que el patosistema sea discontinuo. Cuando comienzan las nuevas lluvias el cafeto ya está limpio de roya y sólo puede ser aloinfectado. La efectividad de su resistencia vertical es renovada cada estación seca.

Esta pérdida de hojas durante la sequía ilustra cuan dañina puede ser la enfermedad en el cultivo de cafeto: el café arábigo normalmente se cultiva como línea pura genéticamente uniforme, claro ejemplo de cerradura universal o única (monolock), lo que intensifica las epidemias de roya muy considerablemente. Es más, como ya se vio anteriormente, todo el café arábigo cultivado fuera de Etiopía provino del Yemen y es anormalmente susceptible a la roya. Durante la sequía en otras áreas de cultivo del cafeto, esos cafetos están propensos a perder tantas hojas que su supervivencia se ve amenazada y tienen que ser asperjados regularmente con fungicida, si se desea que mantengan sus hojas y sobrevivan, independientemente de su rendimiento.

En los viejos días, en Kenya se solía asperjar al cafeto con fungicidas a base de cobre sólo por su “efecto tónico”. Incorrectamente se pensaba que el cobre era un nutriente y que de esa manera ayudaba al árbol a conservar las hojas. Aparentemente el fungicida controlaba infecciones no visibles de roya, que de ser permitidas hubieran causado la defoliación de los árboles durante la sequía. A partir de mi

experiencia en Etiopía ahora resulta claro que el café arábigo fácilmente puede poseer suficiente resistencia horizontal para controlar todos sus parásitos, y que esa resistencia no entra en conflicto con el rendimiento o calidad del grano de café; adicionalmente, esos cafetos etíopes tienen tanta resistencia horizontal a la roya que tal enfermedad es sumamente rara. Ese nivel de resistencia horizontal es posible aun cuando existe un subsistema vertical sobre el subsistema horizontal.

Aunque parezca increíble los genetistas de café de todo el mundo todavía están trabajando la resistencia vertical contra la roya. Con las excepciones notables de A.B. Eskes en Brasil y del equipo de la FAO en Etiopía, todos son miembros de la escuela mendeliana, y aparentemente aun ignoran la resistencia horizontal a esta enfermedad. La mayor parte del mejoramiento cafetalero del mundo se basa ahora en una serie de programas de retrocruza, usando el aparentemente inmune *Híbrido de timor* como fuente de resistencia. Esta fuente es un híbrido natural entre arábigo y robusta que posee resistencia vertical y alto nivel de resistencia horizontal a la roya. Por desgracia su rendimiento, calidad de tasa y adaptabilidad agronómica son pobres, lo que explica la necesidad de las retrocruzas. Sin embargo la retrocruza reduce la resistencia horizontal a la vez que separa los genes de resistencia vertical. Cuando falle la resistencia vertical de estos nuevos cultivares de cafeto puede ser que la resistencia horizontal sobrante sea muy baja.



## 22. La Caña de Azúcar

### 22.1. Un Cultivo muy Antiguo

Hay cuatro razones para pensar que la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es de domesticación muy antigua. Primero porque las cañas cultivadas son muy diferentes de sus progenitores silvestres, particularmente en las características domesticadas de dulzura y jugosidad. Segundo, porque la caña de azúcar, como los modernos trigo y maíz, no puede sobrevivir por sí misma en ambiente silvestre; depende del cultivo humano para su supervivencia. Tercero, porque ha perdido su habilidad natural de autopropagarse por semilla y, excepto en las estaciones experimentales, sólo se propaga vegetativamente por trozos. Finalmente, existe un impresionante rango de variedades de caña en el centro de origen, localizado en el área general de Papúa, Nueva Guinea.

Se piensa que en el norte de India ocurrió una hibridación accidental entre una caña de azúcar y un pariente silvestre llamado *Saccharum spontaneum*. Esto determinó una especie nueva llamada *S. barberi* de tallos más duros y más delgados. Estas cañas híbridas resultaron más adaptadas a los subtrópicos y las grandes alturas, donde las cañas originales o nobles lo hacían pobremente; y, aunque producen menos azúcar, son más resistentes a plagas y enfermedades que las cañas llamadas nobles. Fue uno de estos híbridos el que se llevaron a China en tiempos muy lejanos, para posteriormente llevarlo a Persia (el Irán Moderno) y de ahí a Europa.

Muchos de estos eventos pueden sacarse de los registros históricos. Alejandro Magno, durante sus conquistas del norte de India en 326 A.C., vio al cultivo y su producto. Los griegos llamaban al azúcar “la miel de los carrizos”.

En el siglo I A.C., Discorides escribió respecto a “una miel llamada saccaron, colectada de carrizos en la India y en Arabia Félix (El Yemen moderno) con la consistencia de la sal, que podía ser masticada con los dientes” (*sic*). Los griegos sólo sabían del azúcar moreno o del azúcar color de miel. Este “saccaron” se comerciaba en Alejandría en esos tiempos, pero la planta o caña llegó al Mediterráneo hasta que los árabes conquistaron Egipto y la introdujeron ahí en 641 A.C. Este fue el período de las deslumbrantes conquistas árabes durante las cuales la llevaron por sus caminos de todo el norte de Africa, a España, donde después de 500 años todavía se cultivan alrededor de 35,000 ha de caña de azúcar.

Los portugueses la llevaron a Madeira, las Islas Canarias, las Azores y a Africa Occidental. En su segundo viaje en 1493, Colon la llevó a la Española (República Dominicana y Haití) donde, tanto las primeras caña como los primeros colonizadores españoles, fueron exterminados por los caribes nativos. El primer azúcar de las Indias Occidentales se produjo en la Española en 1506, y para 1550 ya había llegado a la mayor parte tropical del Nuevo Mundo.

### 22.2. Los Parásitos de Nuevo Encuentro

En el curso de su transferencia de la India a Europa, a Africa y al Nuevo Mundo a través del Atlántico, dos cosas bastante típicas sucedieron con la caña de azúcar; la primera fue que virtualmente todas sus plagas y enfermedades quedaban atrás, de tal suerte que la industria azucarera del Nuevo Mundo tuvo enormes ventajas comerciales sobre el viejo mundo porque estando libre de parásitos era

mucho más productiva; la segunda fue que su base genética era extremadamente estrecha. En el centro de origen de la caña existe una impresionante variedad de clones diferentes; pero aparentemente sólo uno fue llevado al Nuevo Mundo. Todavía existe ese clon; en India se le llama “Puri”; en España se le llama “Algarobena”; en Egipto “Amarilla de Egipto”, y en el Nuevo Mundo se le llama “caña criolla”; o simplemente “criolla”, que se interpreta como “nativa”. Lo extraordinario de esta caña es que fue el único clon presente en el Nuevo Mundo durante más de 250 años.

La caña criolla es una variedad de *Saccharum barberi* y es tan rústica que puede crecer casi en cualquier parte del Trópico o Subtrópico. En este sentido el Nuevo Mundo fue afortunado en que la base genética de la caña recibida fuera estrecha, porque casi por pura casualidad recibió uno de los mejores materiales genéticos disponibles, y lo recibió libre de parásitos.

Hacia finales del Siglo XVIII una caña noble, *Saccharum officinarum*, fue llevada del lejano oriente al Nuevo Mundo, mostrando tener mayor rendimiento de azúcar que la vieja caña criolla. Se cree que la nueva caña fue llevada por el almirante francés Bougamville, en honor de quien se nominaron una planta ornamental y unas islas melanésicas del Pacífico. Bougamville colectó esta nueva caña cuando circunnavegaba el mundo, entre 1766 y 1768.

El mismo llevó esta caña a la isla francesa de Bourbon (hoy llamada Reunión) en el Océano Indico, donde fue conocida como “Bourbon” antes de llevarla a Martinica, Guadalupe y Haití. El nombre original de esta caña es “Otaheite”, y fue llevada a las Indias Occidentales en 1793 por el capitán Bligh, famoso por el motín ocurrido en su barco, el “Bounty”.

Debido a su rendimiento superior la Otaheite rápidamente reemplazó a la caña criolla, y una vez más toda la industria cañera del Nuevo Mundo dependió de un solo clon. Esta situación fue peligrosa porque se comenzaron a dispersar más y más plagas y enfermedades hacia lugares donde nunca habían existido antes, a medida que más y más cultivares se transferían alrededor del mundo.

La caña Otaheiti resultó muy susceptible a un desconocido parásito de nuevo encuentro, lo que creó grave vulnerabilidad del cultivo en las islas francesas del Océano Indico donde súbitamente se colapsó en la década de 1840 y fue reemplazada por variedades inferiores. Esto sucedió aproximadamente durante la hambruna papera irlandesa (Capítulo 18), cuando nadie sabía nada respecto a las enfermedades vegetales y las fallas de los cultivos se atribuían a causas tan mal definidas como los miasmas o vapores malignos. Por esta razón no se sabe cual fue el parásito que la destruyó. En 1860 la Otaheiti falló en Brasil; en 1872 también súbitamente falló en Puerto Rico y, una por una, en el resto de las islas de las Indias Occidentales entre 1890 y 1895.

### **22.3. Fitomejoramiento de la Caña de Azúcar**

En 1888 se hizo un descubrimiento singular simultáneo en Barbados y Java. Los científicos británicos Harrison y Bovell en Barbados, y el holandés Soltwedel en Java, descubrieron que era posible, después de todo, producir caña de azúcar a partir de semilla verdadera. Esto significó que el mejoramiento se hiciera prácticamente posible por primera vez. De ahí se desató una ola de mejoramiento cañero con efectos tan contundentes en la producción de caña que se ha sugerido que esta fue la primera revolución verde.

Entonces se fundaron estaciones experimentales en los principales países productores de caña y surgió un convenio mediante el cual las nuevas variedades eran nominadas con las iniciales de la estación experimental originadora, seguida de varios números. Así, todas las variedades “CO” provenían de Coimbatore en la India, todas las “B” de Barbados, las “H” de Hawaii y las “POJ” de la estación holandesa Proefstation Oost Java. Sin la menor duda la más famosa de las cañas nuevas fue la POJ2878. Esta variedad tuvo tal éxito que eventualmente se cultivó prácticamente en cualquier país del mundo convirtiéndose en el ancestro de toda variedad moderna de caña.

A pesar del ejemplo magnífico de mejoramiento de la remolacha, todas las estaciones experimentales que fitomejoraban caña de azúcar adoptaron el enfoque mendeliano sin tomar en cuenta

que no existe un solo carácter mendeliano de importancia en la caña que sea agrícolamente significativo. El enfoque biometrista o cuantitativo hubiera sido más adecuado.

Los mejoradores por pedigrí que trabajaban con caña de azúcar mejoramiento: creían firmemente en la importancia de los pedigrís; y estaban convencidos que la única forma de obtener nuevos cultivares era la cruce de un padre de alta calidad y rendimiento con una madre de iguales características. Incluso hablaban de “sangre buena y sangre mala” en la caña de azúcar, y creían que era imperativo conocer el pedigrí de cada caña, tantas generaciones atrás como fuera posible. Sus registros de investigación se parecían a los libros de pedigrí de los mejoradores de caballos de carreras.

La característica principal de este método de fitomejoramiento es que el fitomejorador mantiene su atención en el pasado, hacia los padres, abuelos, bisabuelos y así sucesivamente; lo contrario a lo que sucede en la evolución natural. En un proceso de evolución el pasado está literalmente muerto, y se fue para siempre porque la evolución atiende al futuro no hacia atrás. Son las generaciones presentes, mejor adaptadas, las que aportarán mejor descendencia a las futuras. Los métodos de mejoramiento de los biometristas imitan la evolución natural, en cuanto a que se afocan al futuro, a la progenie, y no hacia los antepasados. Los fitomejoradores poblacionales no se interesan en los pedigrís.

Como sea, el fitomejoramiento es un proceso continuo, y no es fácil cambiar los métodos en medio de un proceso. Una vez que las estaciones experimentales cañeras adoptaron los métodos por pedigrí, permanecieron así hasta nuestros días. No estamos diciendo que el mejoramiento por pedigrí es inútil en la caña de azúcar; sí ha producido resultados sobresalientes, pero el mejoramiento poblacional puede producir aun mejores resultados, y la mayor parte de las veces en menos tiempo.

La excepción a esta regla de universalidad del mejoramiento por pedigrí en caña de azúcar se encuentra en Hawaii: en Hawaii, donde los mejoradores cañeros decidieron emprender un programa enteramente nuevo en base a metodologías poblacionales de fitomejoramiento que ahí llamaron la técnica de la “olla mezcladora” o crisol (melting pot). La técnica consistía en mezclar polen de 20 buenos padres y utilizar esa mezcla para polinizar al azar millones de flores de unas 20 buenas madres; así produjeron suficiente semilla verdadera para originar tres millones de plántulas, que fueron seleccionadas “a ojo” y reducidas a 600,000 selecciones con la apariencia visual de una caña de azúcar. Esas selecciones se ralearon por contenido sacaroso, conservando para futuras selecciones y desarrollos a las de mayor contenido sacaroso. En cada selección ocurría una reducción drástica en el número de sobrevivientes, de igual manera que aumentaba la complejidad de las pruebas de selección.

Las mejores plantas de cada generación de selección se adoptaron como cultivares nuevos, y eventualmente, se convirtieron en padres de una nueva generación de selección que también comenzó con tres millones de plántulas. Este método, por supuesto, es una selección masal recurrente; el método básico del fitomejoramiento poblacional. Tal método pone énfasis en la segregación transgresiva de los caracteres de variabilidad continua que son heredados poligénicamente, tales como el contenido de sacarosa, el rendimiento de caña al momento de la cosecha, la resistencia horizontal a plagas y enfermedades y así sucesivamente.

Resultado de algunas décadas con este tipo de fitomejoramiento es la riqueza de cultivares sobresalientes de caña que posee Hawaii; sin embargo no son muy útiles en otras partes del mundo por las diferencias ambientales y los diferentes patrones que presentan las plagas y enfermedades.

Además de la protección química de la superficie de corte del trozo de caña que utilizan para sembrar un nuevo cultivo, los cañeros hawaianos no usan insecticidas ni fungicidas pues no sufren problemas importantes de parasitismo; además tienen los más altos rendimientos de azúcar del mundo, equivalentes al doble de cualquier otro país. Sin duda esos rendimientos se deben por lo menos en parte al clima magnífico de sus bellas islas; pero el mejor clima del mundo no inducirá rendimiento altos a menos que se cuente con magníficos programas de fitomejoramiento.

Considerando que la caña de azúcar proviene de un patosistema continuo (Capítulo 6), todas las resistencias a sus plagas y enfermedades son horizontales. Las verticales, que han causado tanto

problema en los cultivos derivados de patosistemas silvestres discontinuos como las papas, tomates, trigo, arroz, chícharos y frijoles, no se presentan en la caña de azúcar.

La durabilidad de esa resistencia en la caña está bien establecida. Al principio de este siglo, por ejemplo, apareció una enfermedad de nuevo encuentro, el mosaico viroso, en los cañaverales de Sudáfrica donde todas las variedades existentes, excepto la “Uba”, eran muy susceptibles; sólo que esta variedad era tan mala que a menudo se referían a ella describiéndola más como un bambú que como una caña. La industria azucarera Sudafricana enfrentó la ruina; pero fue salvada por la POJ2878 y por las variedades que de ésta obtuvieron, por ser resistentes al mosaico. Esta enfermedad jamás ha vuelto a ser de importancia en esa área.

Historia similar puede relatarse para cualquier área cañera donde apareció ese mosaico viroso. Ha habido algunas apariciones súbitas del virus en varios lugares, pero la enfermedad ha sido totalmente controlada mediante el uso de variedades resistentes; en ocasiones la resistencia es tan alta que la enfermedad no se detecta y esto conduce a algunos mejoradores a liberar variedades susceptibles a ella. Este error a menudo se ha interpretado, en forma errónea, como rompimiento de una resistencia vertical (que no existe), resultado de la aparición de una nueva raza acoplante del parásito.

En 1936, durante su discurso a la Sociedad Americana de Fitopatología, el presidente de la sociedad, G.H. Coons, mencionó el control de enfermedades mediante el fitomejoramiento por resistencia. En aquellos días se consideraba esencial encontrar primero una fuente de resistencia y las técnicas conducentes de transferencia genética, a fin de utilizar la resistencia monogénica o vertical que normalmente es de efecto temporal. También en esos días los fitomejoradores de trigo, papa y frijol ya comenzaban a pensar que *cualquier resistencia a enfermedades* estaba condenada a fallar tarde o temprano por aparición de nuevas razas del parásito. Coons pensaba diferente; en su discurso como presidente describió cómo la industria azucarera de Louisiana se arruinó durante los años de 1923 a 27 debido a tres enfermedades de reciente introducción: el mosaico, el muermo rojo y la pudrición radical, ante las cuales todas las viejas variedades de caña mostraban susceptibilidad.

Cuando las viejas variedades se reemplazaron por otras más nuevas y resistentes las enfermedades virtualmente desaparecieron y el rendimiento promedio estatal de azúcar aumentó un 50 %. Para Coons esta resistencia era durable; y estaba en lo correcto puesto que ha permanecido 60 años y nadie ha sugerido, en serio, que la resistencia caerá ante nuevas razas de estos parásitos. Quizá los mejoradores por pedigrí que trabajan con trigo, arroz, papa, chícharos y frijol deberían observar más cuidadosamente a la caña de azúcar. Quizá todos los fitomejoradores por resistencia vertical del mundo deberían ir a Hawaii para ver cómo los investigadores cañeros de esta isla obtuvieron estos logros.

Es seguro asumir que todas las resistencias de la caña a sus plagas y enfermedades son horizontales; esto significa, en teoría, que cualquier variedad es permanente y que nunca se reemplazarán por fallas en la resistencia. En la práctica, sin embargo, existen dos situaciones bajo las cuales aparentemente puede fallar un cultivar o puede volverse inadecuado.

Como ya se mencionó, puede suceder que un nuevo cultivar de caña no sea probado con suficiente cuidado antes de liberarse ante los productores. Podría resultar muy susceptible a, digamos el mosaico viroso, debido a que esta susceptibilidad no fue detectada por una experimentación fallida o inadecuada ya que el virus es muy raro cuando toda la caña en una área es resistente. Sólo hasta después, cuando el nuevo cultivar estuviera establecido como cultivo predominante podría expresarse una explosión de la enfermedad y hacer evidente hasta ese momento la susceptibilidad del nuevo cultivar. Es entonces cuando se vuelve tentador y fácil para el fitogenetista culpar a la naturaleza y clamar que la resistencia era vertical y que fue rota, en lugar de admitir sus propios descuidos. Como hemos visto (Capítulo 13) esta pérdida aparente de resistencia es llamada falsa erosión en la resistencia horizontal.

La segunda falla ficticia de la resistencia ocurre cuando se manifiesta vulnerabilidad del cultivo, como en repetidas ocasiones ha ocurrido con el mosaico viroso. En la década de 1970 dos enfermedades más de la caña de azúcar llegaron al área del Caribe, 500 años después que el cultivo había

sido introducido. La primera fue el “carbón”, causada por el hongo microscópico *Ustilago scitaminea* enfermedad espectacular en la que todo el cogollo de la caña se transforma en un “látigo negro o carbonoso” que llega a medir hasta 1.8 m de largo y queda cubierto de esporas microscópicas con apariencia de hollín muy tenue. Se ha estimado que uno de éstos látigos puede producir hasta 100 billones de esporas. Esto es una muestra de la más extrema capacidad de reproducción de un estratega-  
**r.**

La segunda enfermedad fue la roya de la caña de azúcar *Puccinia erianthi*, pariente cercano de la roya que causó tanto problema en trigo (Capítulo 19) y maíz (Capítulo 20). Esta produce en las hojas pústulas color óxido, que matan a la planta por defoliación en un cultivar susceptible.

En toda el área del Caribe había cañaverales susceptibles a una u otra de estas enfermedades de reencuentro. Susceptibles sólo por que fueron seleccionadas en ausencia de ellas, por lo que tuvieron que ser reemplazados con resistentes para resolver el problema. Y se resolvió en forma permanente.

La mencionada susceptibilidad sólo ocasionalmente era muy peligrosa. Cuba es el segundo productor más importante en el mundo, después del Brasil, con una producción de hasta 11 millones de toneladas de azúcar; cuando apareció la roya en la isla, un tercio de los cultivos era susceptible, por lo que sufrió pérdidas considerables de producción, hasta que pudo reemplazarlos en el curso de varios años.

Aproximadamente en las mismas fechas los científicos cañeros de Barbados vaticinaron la llegada del látigo negro y la roya, debido a que ambas enfermedades ya existían en tierra firme Sudamericana. Barbados tiene su propia estación experimental de caña y gran riqueza de cultivares de donde escoger; así, decidieron probar tantas de ellas como fuera posible, en Sudamérica, para saber anticipadamente qué cultivares eran susceptibles. La idea consistía en eliminar cualquier cultivar susceptible, como parte de una rutina de replante, y lograrlo *antes* del arribo de las enfermedades a la isla. Esta es la mejor manera de resolver problemas de vulnerabilidad en un cultivo.

Barbados envió 1600 cultivares a Guyana para ser probados; cada cultivar se probó dos veces porque había dos enfermedades. Guyana es un país muy pequeño y muy pobre, con pocos científicos, que además tienen exceso de trabajo; así, la tarea que desempeñaron resultó muy pesada, pero sabían que sus resultados podrían ser de inmenso beneficio, tanto para Barbados como para todo el Caribe. Este fue un ejemplo magnífico de cooperación internacional y de la asistencia que los países no industrializados pueden darse entre sí.

Los resultados fueron muy gratificantes. Cuando el carbón y la roya finalmente llegaron a Barbados ya habían sido reemplazadas todas las cañas susceptibles, por lo que estas enfermedades no causaron daño alguno.

## 23. Clones Antiguos

Existen bastantes plantas cultivadas que sólo pueden propagarse por métodos vegetativos mediante el uso de trozos, injertos, tubérculos, bulbos, cormos o rizomas. Este método de propagación significa que esos cultivos existen como clones, por lo que todos sus individuos son genéticamente idénticos, excepto si se da una mutación, lo que es muy raro. Una población clonal es, además, genéticamente uniforme e inflexible (Capítulo 8). Debido a que la propagación mediante semilla verdadera es imposible, se deduce que la mayor parte de estos clones ha sido cuidadosamente conservada y cuidada por generaciones de campesinos desde lejanos tiempos; de otra manera se pudo perder completamente la calidad de la cosecha. En el estudio de la resistencia horizontal estos viejos clones son de interés desde varios puntos de vista.

El primer punto es que todos ellos son muy resistentes a todos sus parásitos de viejo encuentro. Cualquier clon que fuese susceptible a uno solo de sus parásitos hubiera sido abandonado hace siglos, o probablemente hace miles de años.

El segundo punto es que todas sus resistencias deben ser horizontales. Si la resistencia a uno solo de sus parásitos hubiese sido vertical, se habría roto hace siglos o miles de años con el consecuente abandono del clon. Su mera supervivencia, hasta el presente, demuestra la naturaleza durable y horizontal de su resistencia.

El tercer punto es que sus niveles de resistencia fueron lo suficientemente altos para permitir el cultivo económico sin el uso de protectores químicos. El primer fungicida efectivo, el caldo bordelés, tiene poco más de 100 años y el primer insecticida, el DDT, poco más de 50. Cualquier clon que fuese susceptible, antes que estos plaguicidas se descubrieran, habría sido abandonado. Para todo propósito práctico, su resistencia era completa.

El cuarto punto es que su resistencia horizontal era *global*, en el sentido en que todos sus parásitos de viejo encuentro eran controlados. La susceptibilidad a uno solo de los parásitos de importancia hubiera condenado el clon al rechazo o la extinción.

El quinto punto es que muchos de estos viejos cultivos son difíciles de mejorar, de tal suerte que los fitogenetistas normalmente son incapaces de superar lo logrado por los antiguos y desconocidos agricultores que los obtuvieron. A pesar de ello muchos de estos cultivos con frecuencia incluyen cientos o miles de clones descendientes; esta gran producción de clones debió requerir de muchos años y es indicativa de su antigüedad y de la durabilidad de su resistencia.

El sexto punto es que muchos de esos clones tienen rendimiento y calidad muy altos. El fitomejoramiento moderno se ha mostrado incapaz de mejorar rendimiento o calidad en, por ejemplo, las vides clásicas para vino, los olivos, las palmas datileras, el lúpulo, las bananas o plátanos y las piñas. Esto indica que los niveles altos de resistencia horizontal no son incompatibles con los altos rendimientos y calidades del producto cosechado.

El último punto es que algunos de estos cultivos también poseen patosistemas discontinuos, ya que han seleccionado relaciones gene a gene de resistencia vertical. Estas resistencias verticales deben haber cesado de funcionar en el momento en que se hizo el primer cultivo clonal. Esto indica que los altos niveles de resistencia horizontal son posibles en aquellas especies que estuvieron normalmente protegidas por un sistema de salvaguarda basado en la resistencia vertical y en la variabilidad genética.

También debemos considerar la antigüedad de estos clones. Hay cuatro categorías de evidencia de antigüedad. La primera categoría se basa en los registros escritos que, en el caso de los egipcios, sumerios, indús y chinos, se remontan hasta 5,000 años atrás.

La segunda categoría se relaciona con los progenitores silvestres de las plantas cultivadas. Toda especie cultivada de planta se derivó de una o más especies silvestres y, usualmente, podemos rastrearlas con confianza total. Ocasionalmente, sin embargo, aparentemente no hay un progenitor silvestre porque tal vez desapareció. La explicación más lógica es que los antiguos cazadores-recolectores las explotaron hasta la extinción, pero lo hicieron sólo después de haber logrado las formas domesticadas. Esto pudo haber ocurrido en los albores de la agricultura, cuando agricultores y recolectores aun vivían juntos. Las formas domesticadas sobrevivieron porque los agricultores siempre tienen cuidado de conservar el material propagativo de sus cosechas; no así los recolectores quienes a menudo son descuidados respecto a las plantas silvestres y, en el curso de unas cuantas generaciones no notaron una declinación en las poblaciones de plantas sujetas a su actividad recolectora. Eventualmente la declinación pudo continuar hasta la extinción.

Esta desaparición de progenitores silvestres ha ocurrido con la pimienta negra, el ajo, el jengibre, el olivo, el azafrán y las turméricas. Entre otros cultivos, todavía propagables por semilla, también se ha dado la pérdida de progenitores silvestres como ocurrió con la piña, el haba, la yuca, el chile, el maní o cacahuete, la soya, el camote y el té.

En muchos cultivos los cambios atribuibles a la domesticación son tan drásticos que las plantas cultivadas modernas se parecen poco a su progenitor silvestre. El trigo, el maíz, la caña de azúcar y el tabaco han cambiado tanto que es difícil identificar a sus progenitores. En manos de los agricultores primitivos ignorantes de la genética vegetal, estos cambios sólo pudieron obtenerse muy lentamente a través de largos períodos de tiempo histórico. La alteración profunda es otro indicio de antigüedad de la domesticación.

La siguiente categoría de evidencia se relaciona con la pérdida de reproducción por semilla, e incluso de la producción de flores, lo que hizo esencial la propagación vegetativa. Los antiguos agricultores debieron haber sabido que se puede aumentar el rendimiento de las partes vegetativas de una planta cuando se eliminan las flores. Esto se debe a que las flores, y en mayor grado las semillas son el “sumidero fisiológico” que se queda con la parte del león de los nutrientes, en perjuicio de otras partes de la planta. Si esos agricultores llegaban a toparse con un clon que no formaba semillas, y mejor aun, que no formaba flores, lo conservaban cuidadosamente. Otras cosas permaneciendo constantes, ese clon ahorraría muchas labores. Y si aquellos agricultores tenían muchos clones de donde escoger, harían a un lado los portadores de semilla, dejándolos propensos a la extinción. La pérdida de flores y/o semillas se dio en clones viejos de plátano, ajo, azafrán, rábano, piña y ñame.

Aquellos agricultores no siempre podían encontrar líneas incapaces de florear o dar semilla. Ni siempre desearon que esto ocurriera porque para ciertos cultivos la semilla es el producto cosechable, como ocurre por ejemplo con todos los cereales y las leguminosas de grano. En estos últimos casos la consideración primaria era encontrar plantas que no dispersaran las semillas al madurar, cosa que ocurre con todas las plantas silvestres. Obviamente cualquier planta que retenía las semillas hasta el momento de la cosecha resultaba valiosa y era preservada; y cualquier planta que las esparciera alrededor sería difícil de cosechar y eliminada tan pronto como dispusieran de plantas que las retienen. La pérdida de dehiscencia o dispersión de la semilla también es símbolo de domesticación antigua; como lo es la pérdida de las brácteas que las protegen, como ocurre con el maíz y el trigo.

Una última categoría de evidencia de antigüedad se refiere a la variabilidad de los viejos clones. Cuando se obtuvo una gran variabilidad a pesar de la pérdida de habilidad en producir semilla, el proceso debió requerir un largo período de tiempo histórico para lograrse. Esto se debe a la evidente dificultad para producir un nuevo clon, aparte el hecho de que el nuevo clon sea *buena*, especialmente si el cultivo en cuestión normalmente no produce semilla verdadera. Lo anterior es cierto, particularmente para el plátano, la caña de azúcar, el ñame, el jengibre y las turméricas.

Para facilitar la siguiente relación, damos la lista de viejos clones sin orden específico alguno, y en ningún orden de importancia e interés.

### 23.1. Aroides

Las aroides (araceas) son cultivos tropicales poco conocidos en los países templados porque esas raíces nunca han llegado a ser artículo de comercio internacional. Hay varios géneros de aroides comestibles, de las cuales las más comúnmente cultivadas son la *Colocasia* originaria del Viejo Mundo y la *Xanthosoma*, del Nuevo. Las aroides tienen nombres vernáculos tales como taro, tannia, eddo, dasheen y coco-yam. Todas las aroides cultivadas son clones, tan antiguos, que su edad probablemente deba medirse en milenios más que en siglos. Se ha intentado cierto fitomejoramiento moderno pero éste no ha culminado en algún cultivar nuevo.

Las labores de cultivo en las aroides requieren de considerablemente mayor trabajo que el maíz o el camote. Por esta razón no son competitivas y su producción no ha aumentado mucho en los últimos 100 años; sin embargo la producción mundial se estima en cuatro millones de toneladas anuales. El único parásito peligroso es una enfermedad de nuevo encuentro en la *Colocasia* del Pacífico Sur, causada por el hongo *Phytophthora colocasiae*. Sin embargo la importancia de esta enfermedad declina a pocas décadas de su aparición, a medida que los clones más susceptibles son eliminados y reemplazados por los más resistentes.

### 23.2. Plátano o Banana

Mucha gente le dice “árbol” a la planta de banano (*Musa spp*), pero éste es botánicamente incorrecto; la planta no tiene tejido leñoso y por ésta razón se describe botánicamente como una hierba. Sin embargo es la hierba de mayor tamaño que se conoce; algunas de sus plantas alcanzan una altura de 7.5 m. Como el ajo, los clones cultivados de plátano no producen semilla y son de origen muy antiguo; también tienen niveles excelentes de resistencia horizontal frente a todos sus parásitos de viejo encuentro.

El plátano se originó en las tierras bajas y tropicales del sureste de Asia, de donde fue llevado a Madagascar y Africa Oriental por viejos pueblos austronesianos que navegaban directamente a través del Océano Índico en el segundo milenio A.C. De Madagascar, el plátano fue llevado a Africa Oriental y de ahí gradualmente se dispersó hasta Africa Occidental, en donde los portugueses lo encontraron, siendo los primeros europeos en verlo.

Un clon llamado *Pisang ambon* de Malasia e Indonesia, fue llevado a principio del Siglo XIX a Martinica, en donde se le rebautizó *Gros Michel*, que significa “Miguelote”, probablemente con una connotación obscena. La Gros Michel se considera en la actualidad la mejor banana comestible en el mundo, y se cultivó por décadas en decenas de millares de hectáreas en las mal llamadas, por la United Fruit Company, “repúblicas bananeras” del Caribe.

Fue un monocultivo sin precedentes. Consideramos monocultivo a la siembra de una sola especie o un solo clon que, sin mezclarlo con otros cultivos y sin rotarlo, se siembra continuamente. Los monocultivos propician las mejores condiciones para que una epidemia sea realmente perjudicial. Siendo una hierba con tejido suave y succulento deberíamos suponer que el banano tiene muchos parásitos y que el peligro de epidemias se agrava de diferentes maneras. El plátano es una planta siempre verde, perenne, cuyas epidemias son continuas. Siendo una planta tropical que crece en un ambiente siempre tibio y húmedo, induce las explosiones poblacionales de parásitos con muy pocas posibilidades de que declinen. A pesar de eso la Gros Michel se cultivó durante décadas produciendo unos cinco millones de toneladas anuales de fruta en poco más de 100 000 ha, como un solo clon donde



todas las plantas eran idénticas entre sí, y a pesar de ello no hubo epidemias. Al menos epidemias inducidas por parásitos de viejo encuentro.

Es interesante comparar este viejo plátano con los clones modernos de papa en Europa. Estos últimos no se pueden cultivar sin el uso de la muy cara semilla certificada libre de virus y otros parásitos del tubérculo, y sin la aplicación rutinaria de insecticidas y fungicidas para controlar los parásitos foliares. Algo marcha definitivamente mal con las papas.

Eventualmente una epidemia peligrosa se desarrolló en las bananas del Nuevo Mundo, pero fue el resultado de un parásito de *nuevo encuentro*, un hongo llamado *Fusarium oxysporum cubense* que causa una marchitez llamada “mal de Panamá”. Este parásito de nuevo encuentro es nativo del Nuevo Mundo, proveniente de parientes botánicos silvestres de la banana. Sin embargo se encontró que otros clones eran resistentes, lo que permite que continúe su cultivo en áreas enormes de uniformidad genética completa, con clima muy favorable a la enfermedad. Posteriormente otras enfermedades de nuevo encuentro tales como el moko y la sigatoka han resultado peligrosas. Debe hacerse notar que hasta hoy no ha sido posible el desarrollo de grandes plantaciones bananeras en Africa Tropical o el sureste de Asia, probablemente debido a que los parásitos de viejo encuentro se tornan peligrosos bajo condiciones de monocultivo extenso.

En su centro de origen, donde no existen las enfermedades de nuevo encuentro, la Gros Michel aun se cultiva bajo su nombre original, *Pisang ambon*. Y cientos de otros viejos clones son cultivados por agricultores de subsistencia de todos los trópicos, sin el uso de protectores químicos y produciendo unos 15 millones de toneladas anuales de este alimento nutritivo.

### 23.3. Pimienta Negra

La pimienta negra (*Peper nigrum*) es originaria de la India y su propagación por semilla normalmente no es posible, tanto porque las plántulas descendientes carecen de las cualidades agrícolas y culinarias deseadas, cuanto porque las semillas son viables sólo unos cuantos días. El cultivo llegó a varias partes del sureste de Asia en forma de clones que, aunque son muy viejos, no hay muchos de ellos.

En la Europa Medieval había gran demanda de pimienta para preservar la carne. En esos días los granjeros no tenían posibilidades de alimentar a sus animales durante el invierno porque no existían los cultivos forrajeros como el nabo y la remolacha. Consecuentemente tenían que sacrificar todo animal excepto los pies de cría durante el otoño; por desgracia no contaban con métodos efectivos para preservar la carne porque no había refrigeración. Bajo esas condiciones la carne tenía que ser ahumada o salada, para después impregnarla exageradamente con ajo y pimienta negra, y disfrazar su mal sabor (y olor). La gran variedad de embutidos tradicionales, típicos de varios países de Europa, data de aquellos malos y viejos tiempos.

El comercio de la pimienta era un monopolio; de hecho el monopolio era doble. Los árabes controlaban tanto las rutas marinas como las terrestres desde India hasta Europa y los venecianos controlaban las rutas marítimas dentro del Mediterráneo. En esos días la pimienta era tan valiosa que se convirtió en el principal incentivo tanto de Vasco de Gama, como de Cristóbal Colón, para buscar rutas alternativas a la India. Ya descubierta la ruta alrededor de Africa por los portugueses, éstos enviaron una fuerza naval expedicionaria para apoderarse del monopolio de la pimienta. Así fue como comenzó a declinar la riqueza de Arabia y Venecia. Desde entonces los clones de pimienta negra han sido llevados a todos los trópicos húmedos, pero en gran medida han sido suplantados por la pimienta roja (*Capsicum spp*) del Nuevo Mundo. El desarrollo de nuevos cultivos forrajeros en Europa, redujo aun más la demanda de esta especie.

La producción mundial de pimienta negra se basa en un reducido pero muy antiguo número de clones. Los parásitos ocasionalmente dañan a la pimienta negra, pero normalmente se debe a métodos poco apropiados de cultivo moderno (por ejemplo, no cultivarlos en suelos ricos en humus que tienen

gran riqueza orgánica), o debido a parásitos de nuevo encuentro tales como las marchitez fungosa inducida por *Fusarium* o *Verticillium*.

### 23.4. Cítricos

Algunos clones de cítricos son modernos; los clones viejos a menudo se propagaban por medio de semillas nucelares (los árboles procedentes de semillas nucelares -Capítulo 28- viven también durante muchas décadas). Los viejos clones fueron cultivados durante centurias sin el uso de plaguicidas. Esos cultivos hubieran sido imposibles en caso de ser susceptibles, incluso a una sola especie parásita. En nuestros días los parásitos de nuevo encuentro, las consideraciones comerciales cosméticas que demandan frutos sin mácula alguna, la erosión ambiental de la resistencia horizontal, el monocultivo, la incompatibilidad de los injertos, etc. etc., han conducido al uso creciente de protectores químicos en este cultivo.

### 23.5. Palma Datilera

La palma datilera (*Phoenix dactylifera*) es una planta excepcional en cuanto a que cada palma actúa como macho o como hembra pero nunca como ambos. El nombre botánico de esto es *dioico* (del griego di=dos, oicos=casa). Ser dioico significa que la autopolinización es imposible; sólo puede darse la polinización cruzada. Pero también significa que es imposible contar con líneas puras, por lo que la palma datilera es heterocigótica en extremo. Nunca se reproduce fiel a su tipo, y aunque la propagación por semilla es posible no resulta práctica. Las palmas obtenidas de semilla verdadera normalmente producen fruta de tan pobre calidad que no sirven ni para alimentar camellos. Esto significa que el único método práctico de propagación sea vegetativo, por desgracia esto también es dificultoso porque se deben usar los brotes basales, y estos sólo son procreados por una palma madura, a una tasa de producción de tres o cuatro por año. Así, la producción de una población clonal grande, a partir de una sola palma, requiere de muchas décadas de propagación intensiva. La propagación casual requiere mucho más tiempo.

El mejoramiento de la palma es igualmente difícil. Por ejemplo, ¿cómo vamos a seleccionar al macho sobre la base de calidad en la fruta, si la fruta sólo la dan las hembras?. Se puede hacer, pero se requiere mucho y muy paciente trabajo experimental. Este tipo de trabajo se dificulta aun más si se toma en cuenta el tiempo generacional de las palmas, que es de 6-7 años, de semilla a floración.

Considerando tanta dificultad debemos reconocer que los productores prehistóricos que domesticaron la palma hicieron un trabajo fantástico. La palma se cultiva en la franja desértica que va de Marruecos en occidente, a Pakistán y la India en el oriente. En toda esa área hay cientos de clones diferentes; cada uno de ellos fue seleccionado y preservado cuidadosamente a partir de cientos, tal vez miles sino es que decenas de miles de palmas inservibles obtenidas a partir de semilla. La mayoría de los clones son muy viejos (algunos podrían ser sobrevivientes del neolítico), sin descartar la posibilidad de que algunos sean relativamente modernos. A pesar de la baja velocidad de propagación vegetativa y de la aun más lenta capacidad para producir nuevos clones, hay alrededor de cien millones de palmas cultivadas en el mundo.

Poseen niveles excelentes de resistencia horizontal a todos sus parásitos de viejo encuentro; pero en Marruecos y Argelia la enfermedad de nuevo encuentro, *Bayoud*, causada por el hongo *Fusarium oxysporum albedinis*, está matando millares de palmas de gran calidad cada año, extendiéndose inexorablemente hacia el oriente por el desierto del Sahara. Nadie sabe el origen de la enfermedad, pero su arribo relativamente reciente a las costas occidentales de Marruecos sugiere que es del Nuevo Mundo. Las palmas provenientes de semilla normalmente son resistentes, pero las clonales de mayor

calidad son las más susceptibles. Sin embargo ya se conocen algunos clones resistentes, de calidad razonablemente buena.

### 23.6. Higuera

Un clon del higo comestible (*Ficus carica*), llamado *Sari Lop*, ha sido cultivado en Turquía por no menos de 2,000 años. Plinio El Viejo, antiguo autor romano (23-79 DC), en sus escritos botánicos menciona por su nombre al clon *Dottato*; este clon aun se cultiva ampliamente en Italia. Otro clon, el *Verdone*, se ha cultivado en países del adriático durante muchas centurias.

Los clones de higo tienen muchas especies parásitas, pero ninguna de importancia. Es más, las higueras son deciduas, y se cree que tiene relación gene por gene con algunos de sus parásitos. A pesar de ello tales clones han sido cultivados durante siglos sin el uso de protectores químicos, y nadie ha sugerido jamás un fallo en la resistencia. Poseen resistencia horizontal durable, completa y global, que de ninguna manera se ve amenazada o comprometida por la resistencia vertical adicional.

### 23.7. Ajo

El ajo (*Allium sativum*) está entre las más antiguas plantas cultivadas y hay registros de esto en las viejas culturas chinas, hindús, sumerias y egipcias. Nunca da semillas; se puede propagar a partir de “dientes” individuales o de bulbilos inflorescentes, pero de ninguna otra manera. Nadie sabe cuándo perdió la habilidad de formar semilla verdadera, pero eso sucedió probablemente hace miles, más que cientos de años. Asimismo, nadie ha podido identificar con certeza al progenitor silvestre del ajo cultivado; hecho indicativo y claro que todos sus clones existentes son viejos de verdad. Hay muchos clones cultivados con amplias diferencias agronomicas y culinarias entre sí, que fueron cultivados durante siglos sin necesidad de protección química alguna. Cada clon posee altos niveles de resistencia horizontal a todos sus parásitos, y esas resistencias han prevalecido por milenios.

Los modernos productores de ajo con frecuencia tratan sus cultivos con plaguicidas para obtener mejor rendimiento y calidad. Sin embargo es probable que muchos de estos clones sufran erosión ambiental de la resistencia horizontal (Capítulo 13) al ser cultivados en ambientes tan diferentes del original. Pero también podrían estar involucrados algunos parásitos de nuevo encuentro.: parásitos de

### 23.8. Jengibre

El origen del jengibre (*Zingiber officinale*) es desconocido. Se cultiva en Asia Tropical desde la antigüedad, pero no se conocen las formas silvestres; se trata de la especia más importante de la cocina china y es uno de los integrantes principales de los “curris” hindús, el jengibre ya era conocido por los antiguos griegos y romanos, por lo que siempre ha sido una especia importante para Europa, donde originalmente se le usó para disfrazar el sabor rancio de la harina, de donde nace el “pan de jengibre”. Actualmente se cultiva en todos los trópicos y su propagación es exclusivamente vegetativa a partir de pocos clones conocidos. No tiene parásitos peligrosos, pero en los cultivos comerciales modernos algunas veces utilizan plaguicidas para combatir a sus plagas y enfermedades de poca importancia.

### 23.9. Vid

Hay más de 10,000 ha de viñas en el mundo, destinadas principalmente a la producción de vino, pero también de uva de mesa y de pasitas (uva seca). Todas las vides (*Vitis vinifera*) sin excepción son clones, y la gran mayoría son muy antiguos. Se cree que hay unos 10,000 clones, pero sólo una docena son los responsables de los mejores vinos en el mundo; y la mayoría han sido cultivados durante siglos o

milenios sin usar plaguicidas. Obvio es que estos clones poseen resistencia horizontal durable, completa y global.

Pero en el siglo XIX fue introducido a Europa, desde norteamérica, un parásito de nuevo encuentro, el áfido radical tradicionalmente llamado *Phylloxera vitifoliae*, a quien los taxónomos de torre de marfil, en forma por demás irritante, ahora llaman *Dactulosphaira vitifoliae*. Las vides europeas eran tan susceptibles a la filloxera que amenazó con la ruina a la industria vinícola europea. El problema se resolvió introduciendo especies americanas de vid a Europa, muy resistentes a la filloxera, como patrones portainjertos: patrones de los vástagos de las vides clásicas de vino. Debe agregarse que esta resistencia es horizontal, y que ha durado más de un siglo, sin la mínima sugerencia de falla alguna.

Poco después del descubrimiento de los patrones resistentes se importaron a Europa grandes cantidades de vides americanas; inevitablemente también se importaron otros parásitos de nuevo encuentro. El peor de éstos fue el mildiu veloso (*Plasmopara viticola*) quien amenazó a la industria vitícola por segunda vez con la ruina. Como hemos visto (Capítulo 18), el problema fue resuelto con el descubrimiento del caldo bordelés por Millardet.

Los parásitos de la vid enfatizan la importancia de distinguir entre los parásitos de viejo y los de nuevo encuentro. La viticultura ha estado por más de un siglo tan plagada por parásitos de nuevo encuentro, que la gente tiende a olvidarse que por varios milenios fue un cultivo libre de parásitos y de plaguicidas.

Tal vez más que ningún otro cultivo las vides clásicas para vino nos enseñan que no necesariamente debe haber conflicto entre los niveles altos de resistencia horizontal y la calidad de la cosecha, en este caso es tan suprema y exquisita, que es imposible avizorar su mejoramiento.

### 23.10. Lúpulo

A través de todo el hemisferio norte solamente se cultivan alrededor de ocho tipos de lúpulo (*Humulus lupulus*). El número total no se ha aclarado pues algunos cultivares son mezclas de clones diferentes pero muy parecidos; sin embargo el lúpulo se propaga vegetativamente y sus clones son antiguos en su mayoría. En Inglaterra el lúpulo *Golding* ha sido cultivado por no menos de 250 años, pero el más popular, *Fuggle*, descubierto por casualidad como plántula en 1861, ocupa alrededor de 80 % de la superficie total. En Europa Continental el tipo *Hallertauer* domina el sur de Alemania, y el tipo *Saaz* predomina en Checoslovaquia. Consecuentemente las cervezas tradicionales de esas regiones son diferentes.

Los únicos parásitos peligrosos del lúpulo son los parásitos de nuevo encuentro, o aquellos parásitos comunes que atacan a los cultivares que no fueron adecuadamente probados por resistencia durante el proceso de fitomejoramiento. Los campos de lúpulo con sus caros sistemas de soporte o espaldera de alambre se consideran instalaciones permanentes debido a que es una planta perenne. Sin embargo las partes aéreas de la planta tienen patosistemas discontinuos porque mueren (y desaparecen) cada otoño. Por increíble que nos parezca y con todo nuestro conocimiento moderno, parte del fitomejoramiento antiguo del lúpulo involucró la resistencia vertical. Parece imposible que alguien pudiera desear fitomejorar un cultivo perenne de larga duración por resistencias temporales. Esto es otra indicación de cómo ha dominado la fitogenética la escuela mendeliana.

### 23.11. Rábano Rústico (*rusticano*)

Las raíces de *Armoracia rusticana*, cuando se rayan o raspan y la raspadura se mezcla con aceite, vinagre y sal, producen un condimento picante conocido como salsa de horseradish. Su cultivo ha tenido que ser propagado vegetativamente porque las semillas fértiles son muy raras. Aparentemente el rábano rústico es de origen híbrido, lo que puede explicar la esterilidad de la mayoría de sus semillas.

Cuando hay semillas fértiles las plantas originadas no son fieles a su tipo, produciendo descendientes de valor agrícola dudoso. Consecuentemente la mayor parte de los clones del rábano rusticano tiene centurias de edad, y ha sido cultivada, afortunadamente durante toda su historia, sin necesidad de protectores químicos.

### 23.12. Olivos

Un olivo (*Olea europaea*) vive tantos siglos, que se cree que algunos de los que fueron plantados por los antiguos romanos podrían estar vivos aun. Cuando los olivos se obtienen de semillas su variación es tan grande que es casi imposible obtener un árbol superior a los que ya existen. Esto significa que deben ser propagados vegetativamente, a partir de los chupones: chupón que nacen en la base de su tronco; sin embargo los chupones son tan poco frecuentes que el proceso de propagación resulta lento. Por esta razón muchos de los más antiguos olivares son una mezcla de clones. Este problema de propagación se resolvió recientemente enraizando varetas en cámaras de propagación muy húmedas.

La mayor parte de los clones de olivo son viejos en verdad, y su edad debe medirse más en miles que en cientos de años. Han sido cultivados con éxito desde entonces sin necesidad de protectores químicos, aunque recientemente algunos productores comenzaron a utilizarlos obteniendo rendimientos y calidades que pagan la aplicación. Sin embargo esto no niega el hecho de que los olivares tienen suficiente resistencia horizontal como para permitir su cultivo económico, lo cual ha sido cierto durante toda su historia.

### 23.13. Piña

Al igual que la banana, la piña (*Ananas comosus*) normalmente carece de semilla y su propagación es vegetativa. Sus clones, siendo algo inestables, tienden frecuentemente a producir mutantes, por lo que se conocen muchos de ellos. Sin embargo un solo clon, incluyendo los mutantes parecidos a él, domina el cultivo de la piña en todo el mundo. Se trata del clon *Cayena*, que por primera vez fue llevado a Europa (a desarrollarse en invernaderos) en 1820, pero se cree originado en Venezuela varios siglos antes. Muchos productores se quejan de la susceptibilidad del clon a varios parásitos, especialmente el piojo harinoso homóptero (*Dysmicoccus brevipes*) que marchita y destruye la planta a partir de las raíces. Actualmente se piensa que gran parte de esa susceptibilidad podría ser el resultado de la erosión ambiental de la resistencia horizontal, o de pérdidas de control natural biótico. El cultivar cayena domina la producción mundial por sus excelentes rendimiento y calidad; su susceptibilidad leve a parásitos no amenaza este dominio. La mayor parte de los otros cultivares son más resistentes a los pocos parásitos conocidos de la piña.

### 23.14. Azafrán

El azafrán (*Crocus sativa*) es la más fina de todas las especias y es la base de la paella española, del *bouillabaisse* francés, de los *bolobanes de azafrán* ingleses, del *gilderne* judío, de la *challa* rusa, del *zaffrani chawal* hindú, y del *Sholezard* persa; también es la especia más cara de todas, puesto que consiste de las anteras de la flor de *crocus*; por lo tanto es el cultivo cuya cosecha demanda de más mano de obra que ninguno.

El azafrán no existe en forma silvestre, lo que nos da idea de su antigüedad. Como el ajo, el *crocus* cultivado no echa semilla y sólo puede ser propagado por medio de cormos. La multiplicación del cultivo es un proceso muy lento porque cada año se forman solo dos o tres cormos en la base del más antiguo. No se sabe cuantos clones existen, pero es evidente que todos ellos son antiguo y que han sido cultivados por miles de años sin necesidad de plaguicidas.

### 23.15. Henequén, Pita o Sisal

El sisal (*Agave sisalana*) ocurre en forma silvestre en áreas semidesérticas de México y Centroamérica donde se propaga vegetativamente en forma natural, pero también a partir de semillas; aunque en forma muy limitada. Su cultivo fue introducido a África Oriental en 1893, y esta área fue el productor comercial más grande hasta que la demanda mundial de la fibra se colapsó debido a la aparición del nylon. Se piensa que toda la superficie cultivada en África Oriental consistía de un solo clon o no más de dos, pero indistinguibles entre sí. El clon no tiene parásitos importantes a pesar de que se le cultivaba en un amplio espectro de ambientes, donde pudo haber sufrido erosión ambiental de la resistencia horizontal. Sin embargo puede ser vulnerable a sus parásitos de reencuentro, en las áreas donde aun se cultiva a escala reducida.

### 23.16. Curry (turmeric)

Esta planta tropical (*Curcuma longa*), pariente botánico del jengibre, produce tallos subterráneos amarillos que se usan como especia y como productor de colorantes. Como especia es la base de todos los currys. No se le conoce en forma silvestre y sus clones cultivados jamás producen semilla. Igual que el ajo sus clones son de origen muy antiguo y derivaron por propagación vegetativa de progenitores silvestres desconocidos. No hay muchos clones; su nombre clonal normalmente deriva del lugar de la India donde se cultiva. Aunque se le conocen varios parásitos ninguno de ellos es suficientemente peligroso como para amenazar el cultivo, por lo que los protectores químicos no son necesarios.

### 23.17. Vainilla

La vainilla (*Vanilla planifolia*) es la única orquídea que se cultiva sin propósitos ornamentales. Es nativa de México, y ya era cultivada por los totonacas al arribo de los españoles en 1520. El cultivo es propagado vegetativamente y se cree que sólo hay unos cuantos clones, aunque muy antiguos. No tiene parásitos de importancia.

### 23.18. Ñame

En términos de evolución la familia botánica del ñame es tan antigua que se esparció por todos los grandes continentes, antes de su separación por deriva continental. En consecuencia se trata de uno de los muy pocos cultivos que se domesticó en América, África y Asia, aunque en cada continente se domesticaron especies diferentes; los ñames se cultivan por sus tubérculos almidonosos. Cada año se producen unos veinte millones de toneladas de tubérculos, dos terceras partes de ellos en África Occidental. Lo que aquí exponemos se refiere al ñame de esa región (*Dioscorea rotundata*).

Al igual que la palma datilera el ñame es dióico. Sin embargo las plantas hembra y macho producen tubérculo y son cultivadas. Algunos de sus clones nunca echan flor y ninguno de ellos semilla bajo condiciones normales de cultivo.

En consecuencia es muy poco frecuente y poco probable el descubrimiento de nuevos clones con altos rendimiento y calidad; de donde se deduce que al igual que el ajo, el rábano rústico y el curry, estos clones no renovables son muy antiguos. No hay parásitos peligrosos en el ñame; su resistencia es durable, completa y global, a pesar de su ambiente permanentemente tibio y húmedo, propio de las selvas tropicales.



## TERCERA PARTE: Soluciones



## 24. Clubs de Fitomejoramiento

### 24.1. Introducción

El fitomejoramiento por resistencia vertical es complejo a la vez que difícil. Requiere institutos de investigación grandes y caros, provistos con científicos muy especializados.

Sin embargo, el enfoque biométrico que trabaja con resistencia horizontal es mucho menos complejo, menos especializado, menos caro y menos difícil. Aunque el fitomejoramiento biometrista se encuentra más allá de la capacidad de personas privadas, queda bien dentro del alcance de cualquier grupo de aficionados decididos que resuelven organizarse así mismos en clubs de fitomejoramiento. Estos aficionados pueden pertenecer a asociaciones de productores, pueden ser productores por sí mismos, aficionados a la jardinería, ambientalistas, o ser activistas preocupados por el problema alimentario mundial y la contaminación por plaguicidas. Los clubs de fitomejoramiento: clubs de pueden desempeñar varias funciones importantes.

Primero, la abundancia de estos clubs podría exponer colectivamente, ante el escrutinio público, el aspecto global de la fitogenética. Debido a su naturaleza técnica y a la pérdida general de interés público, esta rama de la ciencia ha sido abandonada a su propia suerte durante demasiado tiempo. La ciencia requiere, en forma fundamental, que todo resultado experimental y cada idea nueva sean expuestos de la forma más amplia posible al examen público, a la duda, a la crítica y a la prueba. Si el público hubiera tenido más interés en la fitogenética es poco probable que la escuela mendeliana escuela de genética hubiera llegado a dominar la educación agrícola, el fitomejoramiento y el control de parásitos agrícolas, tan total, innecesaria e inapropiadamente durante los últimos 90 años. Los fitotecnistas han contado con estos 90 años para examinar las posibilidades postuladas en este libro y, con pocas y notables excepciones, no lo han hecho. Por lo tanto parece indiscutible que esta rama de la ciencia requiere de un estímulo externo y del viento fresco, limpio y vigorizante de la competencia. Tal competencia es más probable que provenga de los clubs de fitomejoramiento.

Segundo, los clubs de fitomejoramiento parecen ser la única forma de derrotar el ilegítimo interés comercial que favorece el *status quo*. Esos intereses creados descansan en la susceptibilidad de los cultivos a sus plagas y enfermedades, incluyen más que nada a la industria de las semillas certificadas y a la de los plaguicidas agrícolas, mantienen innecesariamente altos los costos de los alimentos y la contaminación ambiental por plaguicidas, y pueden ser neutralizados por la competencia efectiva. Para que la competencia lo sea, debe producir un rango amplio de cultivares nuevos, muy productivos y de gran calidad con resistencia parasitaria durable, completa y global; y para que esto suceda requerimos de cinco cosas. La primera es la formación de clubs de fitomejoramiento que sean fuertes e independientes, integrados por individuos decididos y preocupados, que se sientan libres para fitomejorar en la manera en que ellos elijan. La segunda es que estos clubs sean eficientes y abundantes.

Tercera; como hemos visto, los parásitos precosecha destruyen aproximadamente el 20 % de la producción total alimenticia. Esta pérdida sería suficiente para alimentar mil millones de personas y ocurre a pesar del uso exagerado de protectores químicos. Los clubs de fitomejoramiento no podrán eliminar completamente esas pérdidas, pero recorrerán un camino largo antes de lograr su reducción; es más, los clubs que tengan éxito muy probablemente aumentarán los rendimientos por encima de los niveles actuales, cosa muy diferente a reducir las pérdidas por parásitos. Así, los clubs pueden convertirse en factores importantes para aliviar el problema mundial alimentario.

Cuarta; los clubs tendrán la función general de reducir, y en algunos cultivos eliminar el uso de plaguicidas químicos. Sin duda es evidente que esta es la mejor manera de reducir la contaminación ambiental originada por ellos.

Quinta y última. los clubs pueden ser divertidos. Pueden inducir entre los activistas una sensación de auto realización, pueden ser fuente de nuevas amistades con intereses similares a los propios, y una nueva proposición de metas para los fitomejoradores aficionados. Tales aficionados pueden incluir desde productores comerciales, hasta jardineros que cuidan las plantas de su propio jardín personal simplemente por amor. Los clubs poseen una atracción adicional consistente en un potencial para generar sumas importantes de dinero en regalías. Los momios son mucho más altos que en cualquier lotería.

## **24.2. Un Típico Club de Fitomejoramiento**

Puede estar integrado por gente dedicada que se preocupa del problema mundial alimentario y del ambiente. La mayor parte de sus miembros pueden ser productores profesionales o jardineros, listos para emprender el trabajo de fitomejoramiento; sin embargo, algunos de sus miembros podrían ser profesionistas con experiencia en campos científicos, en la agronomía, en las leyes o en la contabilidad. Los clubs podrán contar con sus administradores oficiales, tales como un presidente, un secretario y un tesorero, por lo que podría haber actas constitutivas y reglamentos. Dependiendo del país específico el club puede tomar varias formas; por ejemplo de club privado, de sociedad, de corporación o de fundación.

La mayor parte de los clubs eventualmente se especializarán en un cultivo normalmente importante como alimento, y comúnmente cultivado en su localidad. El objetivo podría dirigirse a los altos rendimientos o calidades mediante la obtención de nuevos cultivares que posean altos niveles de resistencia durable a todas las plagas y enfermedades localmente importantes.

## **24.3. Objetivos y Metas**

Siendo diferentes, los clubs pueden tener objetivos diferentes. Los clubs integrados por productores, por ejemplo, pueden interesarse en obtener nuevos cultivares, simplemente porque no están satisfechos con los comercialmente disponibles. Los clubs integrados por ambientalistas podrían preocuparse primordialmente por reducir la contaminación causada por plaguicidas. Otros clubs podrían interesarse por ayudar a los países no industrializados más pobres. Los clubs universitarios podrían abocarse principalmente a la enseñanza de estudiantes, a través de ejemplos prácticos. Algunos clubs podrían estar interesados principalmente en obtener regalías. Pero la mayor parte puede buscar una combinación de los anteriores objetivos.

La meta final de cualquier club sería obtener cultivares de gran calidad, competitivos, que se puedan cultivar con éxito económico, sin pérdidas significativas causadas por fitoparásitos, con un uso mínimo de plaguicidas (excepto herbicidas), y sin ninguna necesidad de utilizar semilla certificada. Un club podrá alcanzar ésto acumulando niveles altos de resistencia horizontal a todos los parásitos localmente importantes, al mismo tiempo que conserva los rendimientos y calidades del producto cosechado y los más altos niveles de adaptabilidad agronómica.

Pero un club podría concluir que su meta final es inalcanzable, o que en todo caso se trata de objetivos a muy largo plazo; sin embargo, en mayor o menor grado todos los componentes de esa meta final son variables cuantitativas. Siendo así, la meta a corto plazo del club podría consistir en lograr mejoras graduales en todos los componentes. De esta manera cada cultivar nuevo producido por un club será superior a cualquier viejo cultivar en la mayoría de sus atributos, de tal suerte que el proceso de fitomejoramiento se vuelve acumulativo y progresivo.

#### **24.4. LISA (Low-Input Sustainable Agriculture)**

En el pasado reciente el incremento veloz de la población humana nos ha llevado a enfatizar en la *producción agrícola total*, con poco interés en los métodos para lograrlo o en la sustentabilidad de los sistemas agrícolas que la puedan mejorar. A medida que aumentan los prospectos de que el crecimiento poblacional se estabilice, surge un nuevo énfasis en LISA.

LISA es el acrónimo de “Low-Input Sustainable Agriculture” (Agricultura Sustentable de Baja Demanda -de energía-). La baja demanda se refiere al costo de producción, que debiera ser mínimo; y particularmente a las prácticas de cultivo que consumen demasiada energía, tales como el arado profundo, y el gasto involucrado en el uso de cultivares susceptibles que requieren plaguicidas y semilla certificada libre de parásitos. Entre esos costos también se incluye el uso de fertilizantes artificiales que a menudo se utilizan en exceso. Los fertilizantes son esenciales para alimentar al mundo, pero es innecesario el uso excesivo conducente a la contaminación de aguas superficiales y ríos.

Los componentes de sostenibilidad de LISA incluyen todos los aspectos ambientales que no deben ser dañados de ninguna manera. Esto significa que no debe haber erosión del suelo y que no debemos extenuar sus nutrientes, cambiar su estructura, o acumularle residuos perjudiciales; que no debemos agotar las aguas superficiales, abatir los organismos encargados del control natural, ni dañar a los organismos que no están bajo combate; que no tenemos porque incrementar los fitoparásitos, particularmente los del suelo, ni aumentar la contaminación por plaguicidas, por herbicidas o fertilizantes, ni aumentar la contaminación atmosférica por quema de residuos de cosechas, y así sucesivamente. La sustentabilidad o sostenibilidad también se refiere a los propios cultivares; la sustitución de cultivares verticalmente resistentes que han fallado por acoplamiento de su resistencia no representa sostenibilidad alguna.

La piedra fundamental de LISA es, obviamente, la resistencia global completa y permanente. En pocas palabras, es el uso adecuado de la resistencia horizontal.

#### **24.5. Los Derechos de los Fitomejoradores**

El concepto de los derechos de los fitomejoradores es el mismo concepto de una patente o de un derecho de autor, también conocidos como protección de la propiedad intelectual. La mayor parte de los países industrializados ya tienen legislación que controla los derechos del fitomejorador. El propósito general de tal legislación es promover la renovación y el fitomejoramiento, por particulares, mediante la protección y recompensa a la iniciativa privada a través de derechos de autor y regalías.

Existe el temor amplio de que el fitomejoramiento moderno sea demasiado complejo, y que sólo pueda ser emprendido por grandes institutos provistos de muchos científicos altamente calificados, a costos anuales millonarios. Incluso, hasta que no se establecieron estos derechos no hubo manera de que esas caras instituciones pudieran recuperar el costo del fitomejoramiento. Esto significó que virtualmente todo ese trabajo, durante éste siglo, sólo fue realizado por gobiernos, universidades subsidiadas e institutos de investigación. Por lo tanto el poco fitomejoramiento privado que hubo se limitó a la producción de semillas híbridas en los cultivos de polinización abierta, como el maíz, donde la semilla híbrida puede utilizarse una sola vez (Capítulo 20). El avance espectacular de la investigación privada para producir los maíces híbridos nos ha demostrado el potencial de la iniciativa privada.

Como aparentemente es caro y complejo, también se teme que el fitomejoramiento no gubernamental sólo pueda ser emprendido por corporaciones muy grandes y muy ricas, tales como las manufactureras de plaguicidas. En consecuencia esto ha conducido al temor de que los derechos de los fitomejoradores propiciará la formación de cárteles de producción monopolística de semillas y

variedades, más que la innovación general del fitomejoramiento. Otro temor es que los pobres países en desarrollo tengan que pagar regalías a los ricos e industrializados.

Sin embargo todos esos temores surgen de los métodos de fitomejoramiento por pedigrí, pues efectivamente ellos requieren de instituciones grandes y caras que sólo producen cultivares de amplia adaptación climática.

Pero si utilizamos el método de fitomejoramiento de los biometristas el panorama resulta muy diferente. Este método no necesita de institutos grandes y caros y se ajusta muy bien a la capacidad de cualquier grupo de aficionados decididos que se hayan organizado en clubs de fitomejoramiento; es más, se basa en la selección local, y culmina en la producción de cultivares locales de adaptación climática limitada. No hay manera de que los países pobres tengan que pagar regalías a los ricos.

Dependiendo de cada país, los derechos del fitomejorador sobre un cultivar específico estarán garantizados al propietario de ese cultivar por el gobierno, por períodos que pueden variar entre 15 y 22 años. Estos derechos recompensan al fitomejorador por su iniciativa, así como por sus gastos y por su trabajo para obtener el cultivar. Esto se logra mediante la prohibición de propagar y/o vender el cultivar a menos que se tenga licencia para ello, garantizando al propietario las regalías por venta de todo material propagativo. La similitud con los derechos de autor y regalías por autoría de libros es muy estrecha. Una vez que expira la patente o derecho, la propiedad intelectual pertenece al dominio público.

De igual manera que una persona tiene permiso de fotocopiar documentos con derecho de autor a salvo o de grabar música para su uso personal y no para la reventa, los productores agrícolas podrán utilizar parte de su cosecha del cultivar legalmente protegido, con fines propagativos en su propio predio; pero no podrán vender nada de eso a menos que tengan licencia para ello. Este es el llamado privilegio-del-productor. De igual manera, cualquier fitomejorador podrá utilizar uno de esos cultivares como material progenitor en sus programas de fitomejoramiento. Esto es el equivalente a un nuevo escrito que está siendo influenciado por uno más viejo legalmente protegido, o al de un artículo científico que hace referencia bibliográfica de escritos anteriores. La propiedad intelectual siempre tiene paternidad, y cuando ésta es buena la progenie también lo es.

La autoridad competente registra todo el comercio y controla la recolección y distribución de regalías de los cultivares protegidos. Para dar de alta los derechos de un fitomejorador en Europa, el solicitante debe entregar una muestra de su nuevo cultivar a las autoridades, quienes lo sujetarán a pruebas de campo y laboratorio a fin de confirmar que cumple con los requerimientos necesarios. En los EUA, sin embargo, esos derechos funcionan como patentes, y al igual que las patentes que protegen los inventos mecánicos, sólo se basan en descripciones más que en pruebas reales. Este sistema es tal vez menos efectivo que el europeo.

## **24.6. El Reparto de las Regalías**

Cada club debe tomar sus propias decisiones respecto al destino de las regalías que gane. En general las regalías pueden cubrir tres funciones; la primera es el apoyo financiero del club en sí, incluyendo sus actividades y perspectivas de crecimiento. La segunda consistiría en incentivar a sus miembros, especialmente los responsables del desarrollo de los cultivares ganadores, quienes recibirían una parte importante de las regalías como recompensa personal. Finalmente, el dinero sobrante se repartiría entre el resto de los miembros.

Debe recordarse que un cultivar excepcionalmente afortunado puede ganar regalías millonarias cada año; y que lo puede hacer durante muchos años; y se debe tomar en cuenta que entre más clubs haya menores serán las posibilidades de ganar regalías. Pero también reconozcamos que el dinero no es el motivo fundamental para integrar un club de fitomejoramiento, y que si los prospectos de ganancia de regalías se redujeron sobremanera, su significado sería que la idea de poner en marcha el club tuvo un enorme éxito.

## 24.7. Organización Básica

Una de las primeras decisiones que debe tomar un club de fitomejoramiento es la selección entre una organización centralizada o descentralizada.

La primera requeriría de un pequeño predio, sede del club, con tierra suficiente como para llevar a cabo una selección poblacional simple de alrededor de cien mil plantas, dependiendo de la especie cultivada que se pretende mejorar, aparte el trabajo de invernadero y otros ensayos de campo. Tal organización sería operada por una docena de miembros activos que tendrían que dedicar, en períodos críticos, todo su tiempo a trabajos duros como la preparación del terreno, la siembra, la inoculación de las plantas, el deshierbe, la selección y las cruces. Estos miembros activos deberán estar dispuestos a dedicar sus tardes, sus fines de semana y sus vacaciones a las actividades del club. Todos los miembros serían co-responsables de las operaciones y compartirían en forma igualitaria, además del trabajo, los gastos, las recompensas y las satisfacciones.

La organización descentralizada probablemente incluiría a unos cien miembros activos, cada uno con suficiente tierra de cultivo o de jardín como para seleccionar mil o poco más plantas que conformarían su pequeña población de tamizado. Dependiendo del cultivo a mejorar, cada miembro activo podría necesitar de un pequeño invernadero y de equipo de varios y diferentes tipos. Así, cada miembro activo sería independientemente responsable de tener su población de selección, de seleccionar la(s) mejor(es) planta(s) de ella, y de enviar la(s) seleccion(es) al jurado del club. Los individuos que produjeran un cultivar ganador serían quienes merecerían una proporción significativa de las recompensas y las satisfacciones.

La decisión entrabas estrategias depende de varios factores. La organización central será adecuada a un pequeño club de unos cuantos miembros que disfrutan del trabajo cooperativo y de la compañía de otras personas. Esta organización también es adecuada para los cultivos extensivos como el trigo, que requiere relativamente poca atención por planta. La organización descentralizada será preferible para un club grande cuyos miembros son individualistas. Esta organización es mejor para los cultivos intensivos como la papa o la piña, en los que cada planta necesita de atención individual considerable.

## 24.8. Constitución de un Club

Todo club deberá tener una constitución comparable a las de otras sociedades privadas o profesionales; la constitución estará permanentemente abierta a las enmiendas y, con la experiencia, gradualmente será mejorada. Con el tiempo deberá ser posible publicar ejemplos modelo de constitución que otros clubs nuevos puedan adoptar, *in toto*, como propia.

## 24.9. Tamaño del Club

El número de miembros activos puede variar de acuerdo a la especie del cultivar a ser fitomejorado. Algunos de los clubs más grandes, por supuesto, pueden decidir trabajar en más de una especie, o en varias categorías del cultivar de una sola especie (por ejemplo frijoles negros, blancos, rojos y amarillos).

Como hemos visto los cultivos intensivos requieren de muchos miembros activos porque las plantas de la población de selección deben ser manipuladas individualmente. Los cultivos extensivos, por otra lado, necesitarán de pocos miembros activos porque la mayoría de la población se maneja “en bulto” durante todo el proceso de tamizado. Algunos cultivos como el frijol son intermedios entre las situaciones anteriores, lo que modificará la organización y el tamaño del club en la medida de lo posible.

## 24.10. Categorías de los Miembros

Los clubs normalmente tendrán varias categorías de membresía:

**Miembros activos:** Son aquellos que desempeñan el trabajo de fitomejoramiento con su propio peculio, y en algunos casos con sus propios predios, invernaderos, equipos o jardines. El número de miembros activos puede variar ampliamente dependiendo de la organización básica original. Pero también dependerá mucho de la especie de cultivo, del tiempo que cada miembro pueda dedicar a las actividades del club, y de los factores ahorra-tiempo que estén a disposición del club. Algunos clubs tendrán media docena de miembros mientras que otros llegarán a 50 o 100. Pero el club, como un todo, deberá tener capacidad para seleccionar muchos miles de plántulas cada verano, aunque el número puede variar considerablemente según el cultivo.

**Administradores:** Algunos de los administradores del club preferiblemente deben ser profesionistas; pero deben ser electos por voto. Así, un biólogo, un abogado y un contador, pueden asumir la responsabilidad de los asuntos científicos, legales y financieros; sin embargo el presidente, el director y el secretario normalmente serán electos de entre la membresía no especializada.

**Miembros agricultores:** Algunos clubs constituídos por aficionados podrían decidir contar con un mínimo de productores profesionales que podrían contribuir permitiendo el uso de parte de su terreno y maquinaria, e insumos que normalmente están fuera del alcance de los aficionados, que constituyen la mayoría en un club de ese tipo. Entre las funciones más importantes de un miembro agricultor estarían la de multiplicar los nuevos cultivares potenciales, y la de efectuar ensayos de campo para hacer la selección final entre esos cultivares.

**Miembros pasivos:** Miembros pasivos son aquellos que carecen de habilidad, tiempo o facilidades para efectuar trabajo de fitomejoramiento, pero que a pesar de ello desean apoyar al club con sus cuotas a cambio de compartir las regalías que el club pueda ganar. Estos miembros deberán cubrir cierto mínimo de años antes de recibir cualquier regalía; su función primordial será la de aportar al club fondos adicionales de emergencia durante los años críticos, cuando el club no obtenga regalías. Deberán ser considerados como benefactores del club, pero si el club tiene éxito y gana regalías serán considerados como socios o como capitales asociados.

**Miembros profesionistas:** Los miembros profesionistas pueden tener diferentes áreas de especialización como la científica, la agrícola, la hortícola, la legal, la financiera, la mecánica o administrativa. Su función primaria es asegurar que el club funcione bien en todos los aspectos profesionales.

**Miembros investigadores:** Son los miembros que prefieren investigar problemas específicos, más que llevar a cabo las rutinas de fitomejoramiento. Un club puede contar con varios investigadores, posiblemente compitiendo, a quienes se asignan problemas de agudeza o urgencia especial para ser resueltos. Estos miembros pueden ser científicos en sí, o alternativamente tener contactos científicos útiles. Su investigación involucraría experimentos de campo y laboratorio, trabajo bibliográfico, o la localización y consulta de especialistas.

**Miembros técnicos:** Los técnicos deberán contar con habilidades poco comunes que los capacite para efectuar trabajo especializado que esté más allá de la capacidad normal de otros miembros activos, por ejemplo en los laboratorios. Un técnico no necesariamente necesita ser profesionista, y cualquier miembro activo podrá aprender ciertas habilidades con la meta de convertirse en miembro técnico. Normalmente estos miembros serán miembros activos,

en términos de membresía, pero serán descargados de las tareas rutinarias de fitomejoramiento.

### **24.11. Calificación de los Miembros**

La calificación de los miembros debe abarcar dos aspectos importantes: Normalmente deben ser productores o aficionados muy avanzados dispuestos a contribuir con su tiempo y su conocimiento de las plantas en las actividades del club, pero también deberán estar sinceramente preocupados por las grandes implicaciones que tiene la entrada de la iniciativa privada en el fitomejoramiento.

Todos los nuevos miembros tendrían que ser electos y pagar su cuota inicial de membresía; sin embargo las cuotas pueden variar según la categoría de un miembro.

Aquel que desee participar como miembro activo debe aceptar trabajar con cierto número de plántulas cada estación, además de que en las organizaciones descentralizadas deberá poseer sus propias facilidades de trabajo, tales como un invernadero o un predio para desempeñarlo.

Quien quiera ser miembro pasivo sólo tendrá que pagar sus cuotas y ser aceptado para ese fin.

Los agricultores que deseen pertenecer al club aportarán espacio agrícola y maquinaria para las operaciones que están más allá de la capacidad del resto de los miembros activos. Sin embargo normalmente serán auxiliados por los miembros activos en el trabajo cooperativo voluntario.

Quien desee llegar a ser un miembro técnico, deberá poseer la habilidad para hacer trabajo importante en el campo, laboratorio o invernadero.

Para ser miembro profesionalista, debe contarse con la preparación profesional que los califique como tales. Los campos más comunes de profesionalización serán el legal, el financiero, el administrativo, el mecánico y el científico.

Cualquier miembro puede hacer investigación, pero el que desee convertirse en miembro investigador y ser liberado de las labores más rutinarias deberá ser capaz de ofrecer una línea de investigación, con evidencias de que es experto en ella. Se espera del miembro investigador que normalmente generará soluciones a los diferentes problemas que pueda afrontar el club.

### **24.12. Obligaciones de los Miembros**

Las obligaciones deberán estar claramente estatuidas en la constitución del club y en sus reglamentos. Debe haber métodos constitucionales para expulsar a los miembros que en forma notable no cumplen con sus obligaciones.

### **24.13. Cuotas de los Miembros**

Los clubs deberán contar con cuotas de admisión y de membresía anual. Todas las cuotas deben calcularse de manera que cubran los gastos hasta que comiencen a ganar regalías. Es muy poco probable que las cuotas que una persona está dispuesta a pagar excedan lo que le costaría la más preciada de sus aficiones (hobby). Si el club tiene éxito y produce uno o más cultivos populares, pueden abolirse las cuotas e incluso puede repartir las regalías entre los miembros.

Los miembros pasivos deberán pagar cuotas considerablemente más altas que las de los activos. La diferencia equivaldrá aproximadamente al valor del trabajo que todo miembro activo aporta cada estación de selección. Los administradores, así como los miembros activos, técnicos, agricultores, profesionales e investigadores, pagarían cuotas menores, de acuerdo a sus contribuciones en trabajo (no financieras) al club. Sin embargo todos los miembros deberán tener voz y voto, y deberán compartir las propiedades del club al igual que las regalías generales.

### **24.14. Estrategia de Fitomejoramiento**

El club deberá fitomejorar por resistencia horizontal, por ser completa a la vez que global. Lo anterior requerirá del sistema de los biometristas, que incluye un sistema de selección masal diseñado para producir cambios en la frecuencia de los poligenes que controlan los caracteres de variabilidad continua.

Si el cultivo a mejorar derivó de un patosistema silvestre discontinuo (por ejemplo una especie bianual o un árbol o arbusto deciduos), puede ocurrir una relación gene por gene, en cuyo caso la resistencia vertical debe ser genéticamente eliminada o epidemiológicamente inactivada durante el proceso de selección. Esto normalmente se hará mediante la técnica del patotipo único (Capítulo 25).

Si el cultivo derivó de un patosistema silvestre continuo (esto es, una planta perenne siempre verde), no ocurrirá la relación gene a gene por lo que no serán necesarias las precauciones contra la resistencia vertical. (La única excepción aparente a esta regla es el café arábigo -Capítulo 21-).

Deberá haber una selección local, la que se lleva a cabo en el *área de cultivo futuro*, durante el *período de cultivo* del cultivar futuro, y de acuerdo con los *métodos de cultivo* del mismo. Los métodos de cultivo del futuro pueden diferir de los actuales, por ejemplo cambios en la fertilización o irrigación.

Dependiendo del cultivo podría ser necesario contar con una generación de cruza y/o una de multiplicación entre cada generación de selección. La selección familiar descendiente de una sola semilla, más la selección tardía, son recomendables para muchos cultivos que se propagan por semilla (Capítulo 25),

### **24.15. Experiencia Práctica**

Se ha convertido en cliché del mundo computacional decir que es imposible aprender computación en libros y manuales; la única manera de aprenderla es con la experiencia práctica. Lo mismo se dice del fitomejoramiento, particularmente de aquel por resistencia horizontal. Sin lugar a dudas habrá agudos problemas y dificultades, pero ninguno será insuperable. Los miembros del club que sean completamente novicios deberán tener empuje en todo momento; rápidamente ganarán confianza a medida que la experiencia de la práctica les demuestre cuan fáciles son los sistemas de fitomejoramiento de los biometristas. También cometerán errores, pero en el peor de los casos resultarán sólo en pérdidas de tiempo y dinero; además, aprender de los errores es parte de la experiencia que se adquiere con la práctica. Una revisión superficial de las técnicas que se enlistan revelará que ninguna de ellas es difícil y que cada una puede ser dominada muy rápidamente y a partir de un poco de práctica, por cualquier aficionado con decisión.

Mucha gente que se considera analfabeta en computación piensa que aprenderla es una tarea temible; pero los que tienen la decisión de enfrentar el reto pronto encuentran que es fácil utilizar las computadoras y que su uso resulta en grandes ahorros de tiempo y labor. Además, las computadoras son divertidas y en poco tiempo pueden convertirse en algo fascinante y muy absorbente; también pueden darnos satisfacciones en todo el sentido de la palabra. Lo mismo se dice del fitomejoramiento.

### **25.16. Prepárese Para las Frustraciones**

No espere que su nuevo cultivar sea perfecto, independientemente de lo promisorio que parezca ser al principio. Una vez que el nuevo cultivar empieza a utilizarse es probable que le aparezcan varios defectos, como susceptibilidad inesperada a plagas de mínima importancia, que de esta manera se convierten en una molestia. Otras características de rendimiento, calidad y adaptabilidad agronómica pueden resultar imperfectas. Ocasionalmente un cultivar extremadamente promisorio puede mostrar defectos que lo hagan comercialmente inaceptable. Lo que importa es que los nuevos cultivares requieran menos protección de agroquímicos y, de ser posible, ninguna protección. Lo más destacado



de la resistencia horizontal es que es acumulativa y progresiva. Los primeros cultivares sólo estarán algo más que un paso en la dirección adecuada.

La obtención del cultivar perfecto podrá resultar imposible, pero los efectos combinados de muchos clubs de fitomejoramiento eventualmente nos acercarán a él.

### **24.17. Las Propiedades del Club**

El club podría rentar o comprar un pequeño predio, usando las cuotas para pagar la renta o para liquidar un préstamo bancario. El predio podría necesitar un invernadero lo suficientemente grande para afrontar las tareas básicas, como la polinización cruzada y el mantenimiento de los hospederos designados y los parásitos. Adicionalmente, el predio deberá contar con tierra suficiente para las actividades de selección (en caso de que la organización sea centralizada) y, para los ensayos de campo, lotes de multiplicación y actividades similares.

También se requerirá de equipo como la maquinaria agrícola, y será deseable contar con un laboratorio sencillo para el cultivo de parásitos. El club podría tener otras propiedades en el mismo predio tales como una sala de juntas, una biblioteca o una cafetería; así como varios tipos de herramientas, una oficina equipada y equipo científico. Algunos clubs podrían solicitar a sus miembros contribuciones en especie para las actividades del club, a partir de sus propios predios, jardines e invernaderos.

Si el club puede, podría contar con un gerente profesional de tiempo parcial o completo. Un profesionista retirado sería buen candidato, posiblemente a cambio de vivir en las instalaciones del predio.

### **24.18. Propiedad de Cultivares y Derechos por Fitomejoramiento**

Todos los cultivares que produzca el club deben ser de su propiedad exclusiva; así mismo, debe poseer en exclusividad los derechos por fitomejoramiento y las regalías que ganen sus cultivares. Sin embargo, y de acuerdo a su constitución, el club podría repartir legalmente las regalías entre sus miembros.

### **24.19. Quejas de los Vecinos**

Una de las disputas agrícolas más antiguas es causada por los productores negligentes que no deshieran, permitiendo que su maleza (o las semillas de ella) invada tierras del vecino. Disputas similares pueden originarse alrededor de aquellos clubs que “deliberadamente” permitieran que sus plagas y enfermedades se dispersaran a los cultivos de sus vecinos. Tales disputas pueden ser muy desagradables, incluso conducir a disputas legales; sin embargo la mayor parte de los productores vecinos, en principio, verán con buenos ojos las actividades del club, sus metas y objetivos, y estarán deseosos de cooperar.

La mejor manera de evitar este tipo de problemas es que algún administrador del club visite previamente a los productores vecinos y les explique con precisión qué es lo que va a hacer el club y porqué. Las explicaciones básicas serían las siguientes: (i) los parásitos “del suelo” normalmente no se dispersan a las tierras vecinas; (ii) los parásitos “del agua” pueden dispersarse en aguas superficiales de drenado, o en un arroyo o río que provee agua de riego, pero eso ocurre muy rara vez y normalmente está bajo control pudiéndose evitar; (iii) los parásitos “del viento” menores, que no son importantes. (iv) los “parásitos del viento” mayores, más importantes; de cualquier manera son omnipresentes, independientemente de lo que haga el club, y si el productor vecino utiliza plaguicidas no resultarán de importancia para él; de ser necesario el club podría aceptar la responsabilidad de pagar un gasto

extraordinario o un trabajo adicional, cuando fuera necesario, para mejorar el control con plaguicidas; (v) si el productor vecino cultiva plantas cuya resistencia vertical se rompe durante las actividades del club, debe explicársele que los patotipos designados que utiliza el club son, todos ellos, razas comunes establecidas desde hace tiempo en la localidad. El club no puede ser culpado de las fallas en la resistencia vertical en la tierra de sus vecinos.

También podría ser posible que el club aislara sus trabajos hasta cierto punto. Por ejemplo, los lotes de selección podrían colocarse en medio de un gran campo o predio que contenga un cultivo diferente. En general, sin embargo, los requerimientos de la selección local restringen las necesidades de aislamiento, tanto en el tiempo como en el espacio.

### **24.20. Parásitos Ilegales**

En la mayor parte de los países el trabajo con algunos fitoparásitos es ilegal cuando están bajo restricciones cuarentenarias. Por ejemplo, en la mayoría de Europa y Norteamérica es ilegal trabajar con la verrucosis de la papa: verrucosis de la (*Synchytrium endobioticum*), en Gran Bretaña con la catarinita de la papa: (*Leptinotarsa decemlineata*), y en la mayoría de Canadá con el nemátodo dorado (*Globodera rostochiensis*). Ningún miembro activo debe intentar violar la ley al respecto y todos deben aceptar que sus cultivares sean susceptibles y tal vez vulnerables a los parásitos exóticos. En caso de que un parásito exótico sea accidentalmente introducido y se establezca, los fitomejoradores lo tendrán que tomar en cuenta para acumular, en unos cuantos años, resistencia contra él.

Debe reconocerse con claridad que estas limitaciones ocasionalmente pueden restringir el rango geográfico de los cultivares de un club. Por ejemplo, las papas obtenidas por un club de Inglaterra pueden no contar con resistencia a la catarinita de la papa, por lo que tendrían poco valor en Europa Continental o Norteamérica. En forma contraria, por supuesto, las papas fitomejoradas en la Europa Continental altamente resistentes a la catarinita, serían cultivables en Gran Bretaña. Suponiendo que los nuevos cultivares fueran lo suficientemente populares como para reemplazar a los antiguos, la vulnerabilidad que causa este insecto podría llegar a desaparecer y la necesidad de legislación cuarentenaria también desaparecería.

### **24.21. Boletines**

Un club puede preocuparse por contar con boletines para difundir la información entre sus miembros, incluso puede nombrar una persona especializada para editarlo y producirlo. Los clubs con intereses similares pueden intercambiar sus boletines. La mayor parte de los clubs probablemente contarán con sus propias computadoras, correo electrónico y tableros de publicidad que serían muy útiles al respecto.

### **24.22. Federaciones de Clubs**

Si la idea de los clubs de fitomejoramiento se vuelve popular, podría ser posible formar federaciones de clubs y, eventualmente, quizá una confederación internacional.

### **24.23. Sociedades Profesionales**

Siempre será posible para estos clubs obtener la membresía en sociedades y asociaciones de profesionales tales como las de fitomejoramiento nacional e internacional, de fitopatología, de entomología, de horticultura, agricultura y forestales. Incluso, sin contar con membresías, las asociaciones a menudo podrán vender material didáctico (transparencias y carteles de síntomas,

transparencias de parásitos microscópicos, hojas sueltas y libros), y algunos podrán ofrecer servicios tales como conferencias, identificación taxonómica de especímenes y asesoría especializada.

#### **24.24. Asesoría Especializada**

Algunos científicos son candidatos a ser requeridos para asesorar los clubs. Cuando así sea debe haber seguridad de que los científicos estén completamente familiarizados con los nuevos conceptos y técnicas del fitomejoramiento por resistencia horizontal. Igualmente, los miembros de los clubs deben asegurarse de no recibir influencia de las ideas preconcebidas que tienen los miembros de la escuela mendeliana de genética. Ninguno de estos problemas es tan fácil como parece.

Posiblemente el cambio más difícil de mentalidad en los científicos entrenados en la tradición de la escuela mendeliana es liberarse de las ideas profundamente establecidas del fitomejoramiento por resistencia vertical. En primer lugar hay que olvidarse de la necesidad de una fuente de resistencia. Hay que olvidarse de las retrocruzas y de las técnicas de transferencia genética porque la transferencia genética de la resistencia horizontal es imposible. Y también hay que olvidarse del fitomejoramiento contra una sola plaga como proceso de acumular resistencia a varias. Un cultivar debe ser resistente a *todas* sus parásitos localmente importantes. Y debe recordarse también que la resistencia horizontal es cuantitativa y que bastará con aproximadamente una docena de ciclos de mejoramiento para desarrollarla en forma completa. Lo más importante de todo, quizá, será el no dejar pasar por alto los efectos tan desorientadores de la interferencia parasitaria, de la anarquía biológica y de la inmunidad poblacional.

¿Cómo puede decidir el miembro de un club si algún especialista está ofreciendo la asesoría adecuada?. Examínesele cuidadosamente respecto a los puntos expuestos en el párrafo anterior. Si da la impresión de estar mal informado o sesgado en la consideración de esos conceptos, búsquese otro especialista.

#### **24.25. Publicaciones Científicas**

Un miembro o un equipo del club puede hacer un descubrimiento cuya publicación en una revista científica sea justificable; de darse el caso las reglas de publicación a ser aplicadas serán las mismas que se siguen en una institución científica; esto es, el artículo será publicado bajo el nombre o nombres del autor o autores pero debe de consignarse el nombre del club en el cual los autores realizaron su investigación. Esto es así porque el crédito de un descubrimiento científico pertenece a quienes lo hicieron, pero también debe reconocerse el de la fuente que hizo posible la investigación, mediante sus fondos y sus instalaciones.

#### **24.26. Auditorías Financieras**

El tesorero del club será responsable de los registros de contabilidad, mismos que serán auditados a intervalos periódicos por auditores profesionales.

#### **24.27. Clubs Universitarios de Fitomejoramiento**

Varias escuelas superiores de agricultura y universidades podrían interesarse en la fundación de clubs de fitomejoramiento, con los profesores al mando permanente de las actividades y los estudiantes como miembros activos. Las actividades de los clubs podrían constituirse en cursos universitarios oficiales que proporcionarían puntos curriculares al profesor y créditos al estudiante. El curso sería diseñado inicialmente para los estudiantes con intención de hacerse productores, y les entrenaría en el

mejoramiento de los cultivos por resistencia horizontal. La clave central de los clubs universitarios es que estos estudiantes serían miembros de por vida de un club, y en el curso de sus vidas tendrían derecho a recibir muestras de todos los nuevos cultivares producidos por él. La membresía permanente también aseguraría interés permanente del productor y su participación en las actividades del club. Después de dos o tres décadas un club universitario con varios miles de miembros activos, y tal vez cientos de cultivares nuevos, podría tener gran influencia en su región agrícola. Esto, sin lugar a duda, llegaría a cubrir las metas originales de las escuelas de agricultura que originalmente se fundaron sobre la base de grandes concesiones de tierra para su arranque (especialmente en Estados Unidos). Deberán fundarse clubs separados para cada especie cultivada de importancia en una región. Un solo club que tuviera éxito traería gran prestigio a su universidad, además de las ganancias por derechos del fitomejorador que podrían ser compartidas equitativamente entre el club y sus miembros.

Las instituciones de enseñanza que se involucren no necesitarán asesoría técnica ni ningún libro, éste incluido, excepto un alerta general para sacudirse de la forma de pensar de los genetistas de la escuela mendeliana.

### **24.28. México**

México no tiene legislación específica para el fitomejoramiento, pero cuenta con algunas universidades excelentes. La Universidad Autónoma Chapingo inauguró el primer club de fitomejoramiento en el mundo el 17 de marzo de 1995. Se trata de un club de mejoramiento del frijol (*Phaseolus vulgaris*), que cuenta con estudiantes de todo ese país. Los estudiantes de esa universidad, en su mayoría, son hijos e hijas de productores agrícolas que podrían regresar a la tierra de sus padres al terminar sus carreras. Para esos estudiantes el concepto de membresía permanente a un club de fitomejoramiento es muy atractivo porque los proveen con experiencia práctica que después puede continuar por el resto de sus vidas, probando y utilizando los cultivares de su propio club. Además, esto nutre al club con la participación de los productores de la más alta calidad. Adicionalmente estos clubs pueden generar profesores que tengan la oportunidad de hacer investigación durante grandes periodos de tiempo, lo cual es prácticamente imposible con los actuales apoyos para la investigación, ya que éstos normalmente duran de tres a cinco años sin garantía de renovación. Está claro que un club que tenga éxito podrá traer gran prestigio a su universidad, y puede ser de beneficio para el país.

### **24.29. Clubs Para el Beneficio Social (caritativos, en el original)**

Con la mira de apoyar a los países no industrializados podrían organizarse clubs de fitomejoramiento en los que sí lo están; su funcionamiento sería similar al de las sociedades que fundaron misiones y las operaron durante el siglo XIX. Esto es, podrían coleccionar fondos en el país de origen y enviar fitomejoradores a los países más pobres para ayudarlos en la producción de nuevos cultivares de subsistencia y nuevos cultivares comerciales. Este tipo de actividad podría ser de primera importancia en los clubs de mejoramiento operados por las universidades de países no industrializados. En los industrializados esta actividad sería de poca importancia porque los clubs tenderían a ganar mucho dinero por regalías.

Hay dos razones especiales para justificar esta actividad de carácter caritativo. Primera; los cultivos tropicales se dividen en *comerciales* como el té, café, cacao, caña de azúcar y hule y *de subsistencia* como el maíz, arroz, sorgo, camote, yuca, frijoles y ñames. Los cultivos de subsistencia son los que alimentan al productor y su familia, y muy ocasionalmente la venta de los sobrantes les permite ganar algún dinero; mientras que los cultivos comerciales siempre les han generado dinero para financiar, incluso alguna investigación, a partir de impuestos nacionales a la exportación de esos productos. Pero los cultivos de subsistencia que no producen dinero alguno normalmente ven morir la investigación que

puede apoyarles (o ésta no nace); y se trata de cosechas que alimentan a la gente que llega a constituir hasta el 90 % de la población de los países no industrializados. Recientemente los centros internacionales de investigación han estado haciendo investigación en los cultivos de subsistencia, pero se han visto plagados con todos los problemas inherentes a la escuela mendeliana y a los monopolios científicos (Capítulo 19). Esos centros internacionales necesitan competencia, porque la ciencia se nutre con ella y sin ella se asfixia. Es más, los productores de los países no industrializados necesitan ayuda; bastante más en verdad que los centros internacionales de investigación, y los gobiernos de esos países difícilmente pueden proveerla.

Si así lo desease, algunos de los clubs ricos (por su éxito o por estar apoyado por una de las ricas fundaciones) puede ser caritativos absteniéndose del registro de sus derechos sobre un nuevo cultivar, y permitiendo que sean del dominio público, es decir, que estén disponible para todo mundo sin pago de regalías.

### ***24.30. Esquema de Participación de los Productores, en Países Tropicales***

Algunos cultivos de subsistencia en los países no industrializados son susceptibles de participar en esquemas de beneficio a los productores. Esos esquemas tendrían que ser organizados por la institución nacional de fitomejoramiento de los países involucrados. El establecimiento y operación de una institución de esa naturaleza normalmente correría a cargo del gobierno, pero también podría quedar en manos de un club de beneficio social que trabajara con permiso de ese gobierno.

Por estas razones el Capítulo 17 se referirá a los esquemas de participación de los productores en los países tropicales.

## 25. Técnicas

### Notas para los lectores

*Cerca de 120 técnicas diferentes serán descritas en esta sección. La única manera razonable de enlistarlas sería el orden alfabético, aunque en ocasiones ésto pueda resultar irritante. He tratado de evitar el obsesivamente estricto orden de los militares, a grado tal que me sentí libre de usar adjetivos para incluirlos en esta lista. Igualmente, quise evitar la forma asnal que tienen los índices de los libros de cocina en los que la palabra frijol está enlistada bajo la letra “C” (esto es, “Como cocinar frijoles”). Por lo tanto es muy posible que mi enlistado a nadie le guste.*

*Cuando no encuentre una técnica vagamente recordada, use usted el índice principal de este libro donde incluí una amplia referencia cruzada.*

*En las descripciones que siguen usamos término técnicos, pero cada uno de ellos se explica y define, sea en contexto o más comúnmente en el glosario. Algunas repeticiones fueron inevitables por lo que pido a mis lectores su comprensión.*

### 25.1. Abejas

Cuando un club trabaje un cultivo polinizado por abejas, puede ser muy efectivo el uso de colmenas en la población que será alofecundada al azar o cerca de ella. En consecuencia, los clubs pueden decidir contar con los servicios de un apicultor entre sus miembros o pueden invitar a alguno que sea amigable para que ceda el uso de una o más colmenas a las actividades del club.

Como las abejas visitan cualquier flor que les provee de néctar, es obligación del fitomejorador asegurarse que sólo las plantas deseables para la mejora del cultivo estén a su disposición. Esto se puede lograr de la siguiente manera: un método consiste en tener una generación especial de cruza con sus propias colmenas, cultivada bastante lejos de otros cultivos de la misma especie, sea en tiempo o espacio. Este método tiene la probable desventaja de desperdiciar cada estación alterna de selección y que por lo tanto duplique la duración del programa de fitomejoramiento.

El otro método consiste en usar la generación de selección al mismo tiempo como generación de cruza. En este caso debe aplicarse una selección negativa para eliminar todas las plantas que no van a ser seleccionadas o sus inflorescencias, antes que empiece la floración. Esto significará que pueda haber pocas plantas floridas para alimentar las abejas, y que siendo ésto una limitante para ellas se puedan ver obligadas a irse a algún otro lugar; el problema puede ser resuelto plantando un perímetro de plantas de especie diferente que también les gusten. Así se contará con suficientes abejas para que también visiten cada flor de la población de selección.

Con los cultivos normalmente autofecundados que también pueden ser alofecundados por abejas (como los frijoles), será necesario un gene marcador que identifique las semillas de las plantas que resulten de la polinización cruzada (alofecundación). Este es uno de los pocos ejemplos en que un carácter mendeliano monogénico puede ser realmente útil.

### 25.2 Agroquímicos protectores

Al inicio de los programas de fitomejoramiento por resistencia horizontal los parásitos pueden amenazar con la destrucción total de la población a tamizar. Bajo esas circunstancias es completamente

aceptable aplicar plaguicidas hacia el final de la generación de selección para asegurarse de que las plantas menos susceptibles sobrevivan y produzcan algunas semillas.

### **25.3. Ampliación de la base genética**

(Ver expansión del programa; problemas, errores y accidentes)

### **25.4. Arroz, aspectos especiales**

Una de las diferencias principales entre el arroz y los otros cereales autofecundados es que su polen es muy efímero y muy sensible a la desecación. Esto significa que los gametocidas masculinos sean mucho menos efectivos que en otros cereales. Sin embargo el arroz tiene una bastante mayor tasa de reproducción y las plantas provenientes de una sola semilla producirán cientos de ellas. Por lo tanto la cruce manual seguida de una generación de multiplicación será muy efectiva.

### **25.5. Asesoría especializada**

Todo club va a necesitar la asesoría de expertos en materias que están más allá del conocimiento de sus miembros; por lo tanto deberán tratar de establecer relación amistosa con algún centro de extensión agrícola cercano cuya obligación sea la asesoría de los productores. Los especialistas de esos centros podrán no tener las respuestas a todas las preguntas de un club, pero al menos sabrán dónde acudir y a quién consultar para encontrarlas.

Unos cuantos de esos expertos probablemente desaprobarán este libro porque invita abiertamente a los aficionados para que compitan con ellos, y además clama que la competencia es necesaria y que será efectiva. Pero los expertos también son humanos y la gran mayoría de ellos será amigable, cooperativa y abierta, aunque podremos toparnos con algunos que sean problemáticos; en ese caso no permitan que alguien los haga de lado aunque interponga dificultades aparentemente insuperables en su camino, o aunque clame que “eso no se puede hacer”; simplemente ignórenlo y busquen a otros.

### **25.6. Biblioteca**

La mayoría de los clubs deseará iniciar su propia biblioteca y quizá elegir un bibliotecario responsable de la selección, compra y cuidado de los libros y revistas; también podría organizar el intercambio de folletos con otros clubs. (Ver folletos y publicaciones).

### **25.7. Burós Internacionales de Agricultura (Commonwealth Agricultural**

#### **Bureaux International -CABI-)**

Los burós internacionales de agricultura: burós internacionales de que se localizan en el Reino Unido proporcionan varios servicios *bona fide* (de buena fe) a gobiernos nacionales, institutos de investigación e investigadores que trabajan por todo el mundo. La función principal de los burós radica en la producción de resúmenes de todas las publicaciones relacionadas con las disciplinas agrícolas. Actualmente están disponibles en discos compactos para computadora y son una nueva herramienta, magnífica para la búsqueda de información e investigación bibliográfica. Sin embargo estos discos son muy caros y es aconsejable que los clubs consulten en las bibliotecas especializadas en lugar de adquirir sus propios sistemas. Los burós también proporcionan servicios de identificación de insectos,

nemátodos, hongos y bacterias fitopatógenas. En el Apéndice D proporcionamos una lista de los más destacados burós y sus domicilios.

### **25.8. Calidad del producto cosechado**

La evaluación de la calidad de un producto cosechado puede ser un proceso complicado. Por ejemplo, los trigos con bajo contenido de proteína tienen baja calidad panificadora, por lo que su harina debe mezclarse con la de trigos con alto contenido para obtener un pan blanco decente. En general el alto contenido de proteína significa un grano fuerte con mucho gluten adecuado para un buen pan blanco, mientras que el contenido bajo de proteína y de gluten significa un grano débil y una harina más adecuada para hacer bizcochos. Similarmente, en el caso de la cebada la calidad maltera depende de un grano uniforme, bien lleno, con una tasa de germinación alta, así como alto contenido de enzimas para convertir el almidón en azúcares. Las cebadas más rendidoras pueden resultar poco adecuadas para hacer malta y es mejor utilizarlas sólo para alimentar animales.

En años recientes ha habido mejoras contundentes en las técnicas de evaluación, particularmente respecto a lograr medidas precisas de variables complejas en gran cantidad de muestras muy pequeñas; sin embargo estas evaluaciones requieren de laboratorios complejos, y están más allá de la capacidad de la mayoría de los clubs de mejoramiento.

En general los clubs deben asumir que su objetivo primario es el mejoramiento por *resistencia*, y que el resto de las cualidades de los progenitores originales se preservará durante el proceso, hasta cierto punto. El trabajo de fitomejoramiento será una apuesta en cuanto a que podrán producir cultivares con excelente resistencia, pero que pueden no ser adecuados para cualquier otro propósito. En otras palabras, las pruebas de calidad serán conducidas por laboratorios profesionales sólo después que haya concluido el trabajo de mejoramiento y que se hayan producido las líneas primeras puras. Si algún club llega a ser muy rico a partir de sus regalías, puede establecer su propio laboratorio y contratar a sus propios técnicos con la mira de lograr calidades específicas.

### **25.9. Características de los cultivares**

Dentro de la especie de un cultivo usualmente existe variabilidad debida a los tipos diferentes de cultivares. Por ejemplo podemos tener papas precoces, papas tardías y papas de cultivo normal; manzanas de cocina o de mesa; frijol blanco, negro o bayo; y así sucesivamente. Cada club debe decidir con qué especie de cultivo habrá de trabajar y qué tipos de cultivar escoger dentro de esa especie de cultivo. Algunos clubs pueden decidir trabajar con más de un cultivar, especialmente si han optado por programas de fitomejoramiento conexos o compatibles

### **25.10. Catálogos**

La selección de equipo a menudo suele ser difícil, ya sea por la plétora de opciones en un país industrializado o por que su escasez en los no industrializados. Los clubs de fitomejoramiento deben contar con tantos catálogos como sea posible, pues éstos son una fuente de ideas e información respecto a equipo y aparatos que ahorran tiempo y trabajo, y a menudo una compra juiciosa puede ahorrar cientos de horas de trabajo tedioso. Como el equipo varía considerablemente en precio y calidad, antes de hacer compras honerosas se recomienda consultar a un especialista. En los boletines del club deben recomendarse los nuevos usos del equipo, y aquel equipo que demuestre ser excepcionalmente útil. Al respecto puede ser beneficioso el intercambio frecuente de información entre los clubs.



### 25.11. Categorías de parásitos

Los parásitos pueden ser clasificados de varias maneras, independientemente de su clasificación taxonómica. Según su método de dispersión pueden agruparse en parásitos del suelo, del aire, del agua (por ejemplo de riego) y de las semillas. Según el número de ciclos de reproducción que tengan en cada estación o en cada epidemia; pueden clasificarse en monocíclicos (un solo ciclo), oligocíclicos (unos cuantos ciclos) y policíclicos (muchos ciclos). Otra clasificación se refiere al tipo de daño que causan; así, las enfermedades pueden ser mildiús, marchitamientos, carbones, royas, tizones, podredumbres; mientras que las plagas pueden agruparse en barrenadores del tallo, minadores, chupadores, plagas del suelo, masticadores, agallógenos, y así sucesivamente. Los parásitos también difieren ampliamente en su daño y en la frecuencia del mismo.

Las técnicas de cría o cultivo y de inoculación difieren considerablemente de acuerdo a la categoría de los parásitos, pero también varía la dificultad del tamizado. Los detalles están fuera del alcance de este libro, por lo que antes de iniciar un programa de mejoramiento se debe consultar a un especialista.

### 25.12. Cereales alógamos (alofecundados)

Como regla general no se recomienda que los clubs emprendan el mejoramiento de cereales alógamos, por dos razones. En primer lugar porque pueden ser de poca importancia (como la cebada maltera para whisky), y en segundo porque se ha hecho tanto trabajo en ellos que será difícil lograr mejorarlos aun más; el maíz cae en la segunda categoría. Algunos de los cereales tropicales alógamos (sorgo) son localmente importantes, pero normalmente están más allá del alcance de los clubs. Sin embargo no quedaría fuera de lugar hacer un bosquejo breve de los métodos.

Cuando se trabaja con una variedad local no mejorada, a menudo resulta fácil producir una población mejorada mediante la conservación de sus mejores plantas para semilla, especialmente si se convence a los productores locales para que usen un poco de fertilizante. Después de pocas generaciones de tamizado se obtendrá una mejor variedad local que rinda significativamente más que sus progenitores; esta variedad local algunas veces es llamada variedad sintética. Idealmente los productores que las utilizan deben mantener las presiones de selección por rendimiento, calidad y resistencia, continuando la selección de los mejores individuos para semilla. (Ver Rimpau, Capítulo 26).

Una alternativa más complicada es la producción de líneas autofecundadas, con la mira de llegar a producir variedades híbridas. Los métodos para esto pueden llegar a ser muy técnicos y están más allá de las metas de este libro; sin embargo, si algún club emprende la tarea de producir híbridos tiene a su disposición manuales técnicos excelentes. Algunos híbridos de sorgo que tienen gran éxito se producen en los Estados Unidos, y los de maíz se producen por todo el mundo. Lo más importante que hay que hacer notar aquí es que todo el tamizado por resistencia horizontal debe hacerse *antes* de cualquier intento por producir líneas autopolinizadas o cruza.

Una nota precautoria nos llega de la India. Ahí lograron una variedad híbrida totalmente nueva y exitosa de cebada perla (*Pennisetum typhoides*), que rendía tan bien que la producción total alcanzó más del doble sin haber aumentado el área cultivada. Los fitomejoradores indús estaban exaltados y se felicitaban por su capacidad para inducir su propia y espectacular revolución verde. Trágicamente su exaltación fue prematura. Habían utilizado una fuente de resistencia mendeliana contra una enfermedad llamada mildiú (*Esclerospora graminicola*), y la resistencia vertical falló. Durante una sola estación el maravilloso nuevo híbrido fue arruinado y abandonado.

### **25.13. Cereales autógamos (autofecundados)**

Nuestra experiencia con estos cereales se basa principalmente en el trabajo de Beek, quien trabajó con resistencia horizontal a parásitos del trigo en Passo Fundo, Brasil. Su proyecto fue parte del Programa de Resistencia Horizontal de la FAO (Capítulo 7). Para los lectores que sean profesionistas y requieran más información se recomienda consultar la bibliografía

### **25.14. Cereales, procedimientos de selección**

Beek (1988) probó los siguientes cuatro procedimientos de selección en los cereales: selección: : (i) selección de una sola planta, que en este libro llamaremos selección temprana; (ii) selección masal de semillas, que en este libro llamamos mejoramiento masal; (iii) selección de líneas, que aquí llamamos selección familiar; y (iv) la selección natural, que deja todo el trabajo a la naturaleza. Para mayores detalles, que están lejos de los fines de este libro, puede consultarse la publicación original. Baste decir que todos los procedimientos dieron resultados, pero que la selección familiar fue el mejor. Esta es una materia en la cual los clubs deben consultar a los expertos, y preferiblemente emprender alguna investigación.

### **25.15. Ciclo de mejoramiento por selección temprana:**

La selección temprana tiene la ventaja de que con ella puede completarse, en un año, un ciclo de mejoramiento (ésto es, de una polinización cruzada a la siguiente). Fue el principal método usado por Beek en Brasil (ver Bibliografía), cuando trabajó con trigo y usó gameticidas para inducir policruzadas al azar en la generación de tamizado, después de asegurarse que todas las plantas indeseables habían sido eliminadas por selección negativa. Sin embargo hay más ventajas en el uso de la selección tardía y de la familiar.

### **25.16. Clasificación de la semilla**

Cuando el producto cosechado es semilla (cereales, leguminosas de grano), las semillas pueden ser clasificadas en base a su tamaño, color, peso específico, dureza, etc. A menudo este trabajo es parte del proceso de selección postcosecha, y existen disponibles varias máquinas de laboratorio que pueden realizarlo en forma muy rápida y eficiente. Alternativamente, cuando se tenga que clasificar sólo unas cuantas semillas, será preferible hacerlo a mano.

### **25.17. Coeficiente de selección**

El coeficiente de selección, en una población de tamizado, es la diferencia entre el número de plantas que se retienen y el de plantas que se desechan.

### **25.18. Conflictos entre los cultivares locales y los cosmopolitas**

Cuando se utilizan los caracteres cualitativos de la genética mendeliana, tales como la resistencia vertical, es posible producir cultivares de muy amplio rango geográfico. Esto ha desembocado en el concepto de la estación central de fitomejoramiento que usa “pruebas en múltiples sitios” para producir cultivares de adaptabilidad cosmopolita. Los trigos y arroces milagrientos de los primeros tiempos de la revolución verde, por ejemplo, consistían de unos cuantos cultivares que se plantaban en enormes áreas de muchos y diferentes países, resultando en una uniformidad genética increíble. Esto, en consecuencia,

resultaba en una gran vulnerabilidad del cultivo debido al potencial de fracaso de esas resistencias verticales. El éxito de esos trigos y arroces “milagrosos” confirmó, sólo en apariencia, la opinión mendeliana generalizada de que un cultivar que se adapta bien a una región será igualmente bueno en otras regiones.

Los fitomejoradores que trabajan con caracteres cuantitativos, como la resistencia horizontal, tienen diferente visión. Aquí la idea es producir un sistema balanceado en el que las múltiples variables cuantitativas del cultivar logren equilibrarse con las múltiples variables cuantitativas del agroecosistema local. El cultivar debe ser un agroecotipo, y en particular sus múltiples resistencias horizontales deben balancear las capacidades epidemiológicas de las diferentes especies de parásitos en su agroecosistema. Al llevar ese agroecotipo a otro agroecosistema, donde la capacidad epidemiológica es diferente, mostrará mucha resistencia a algunos parásitos y poca resistencia a otros. Esta es la razón básica para hacer selección local.

Los miembros más ambiciosos de cualquier club, por lo tanto, deben evitar soñar con nuevos cultivares cosmopolitas que puedan “dominar el mundo” y darles a ganar fama y fortuna. Este es un caso en el que “lo pequeño es bello”.

En la práctica, por supuesto, cada “localidad” de fitomejoramiento normalmente es bastante grande; por ejemplo, un cultivar de papa podría ser exitoso en la mayor parte de Europa, pero sería ilusorio esperar que también lo fuera, digamos en México, el altiplano etíope, o el norte de la India.

Esta sería una de las ventajas de la proliferación de clubs de fitomejoramiento privados, que se basen en la resistencia horizontal y se estimulen con las regalías. Podrán escapar del desatinado concepto de los cultivares cosmopolitas milagrosos, y de la muy peligrosa uniformidad genética que inducen. Por el contrario, pueden inducir una diversidad genética rica, un amplio espectro de cultivares para los productores, y una gran selección de productos para el consumidor.

### **25.19. Contaminación de los terrenos del club**

Los miembros activos deben aceptar que sus invernaderos, campos y jardines resultarán contaminados por los parásitos del suelo que se utilicen en los procesos de selección. De hecho la selección efectiva conduce a altas contaminaciones, por lo que algunos miembros podrían temer que fueran permanentes y que sus terrenos sufran daños duraderos. Este temor es infundado porque una vez que el trabajo de selección termina, y después de algunas rotaciones adecuadas, las contaminaciones desaparecen en pocos años.

### **25.20. Conteo de semilla**

Cuando se mide al rendimiento de los cultivos que producen semillas normalmente es necesario conocer el peso y el número de semillas producidas por planta. Con los frijoles blancos haricot, por ejemplo, donde son preferibles las semillas pequeñas, podrían retenerse los materiales que tengan un bajo “peso por 100 semillas”. Por otra parte, el “peso por 1000 semillas” de trigo debe ser alto porque son preferibles las semillas grandes.

Existen varias máquinas de laboratorio para hacer el conteo de semillas.

### **25.21. Contratos comerciales**

Cualquier club podría decidir que, mediante contratos comerciales, le coticen algunas de sus actividades como la preparación del terreno, su inoculación o la siembra de semillas en macetas o sucedáneos. Muchas firmas comerciales tienen máquinas para preparar y tratar el suelo a granel, o para sembrar grandes números de semillas en bancadas de macetas.

## 25.22. Cosecha

Un aspecto especial de la selección masal recurrente es que cada planta debe cosecharse individualmente. Esto significa que la cosecha se haga a mano. Sin embargo, cuando llega el momento de la cosecha normalmente quedan pocas plantas, o sólo unas cuantas de ellas están etiquetadas señalándolas como la selección final. Cada planta individual, o su producto, debe ser puesta en un contenedor separado y llevada al laboratorio para la selección postcosecha.

## 25.23. Crías de insectos

Hay dos razones para criar insectos en condiciones controladas. La primera es contar con insectos de una raza designada capaz de acoplar la resistencia vertical de una población de selección. La segunda es aumentar la infestación contra una especie parásita en la que no hay la resistencia vertical.

El uso de razas que acoplan la resistencia vertical no se da a menudo debido a que la relación gene a gene es muy rara en los insectos fitoparásitos. Sabemos de su existencia en los casos de la mosca de Hess del trigo (*Mayetiola destructor*), algunas chicharritas del arroz, particularmente el fulgórico café (*Nilaparvata lugens*), y ciertos pulgones.

La cría de insectos para fines generales de infestación es mucho más común. El procedimiento más frecuente consiste en mantener poblaciones sobre plantas vivas desarrolladas en invernaderos y en cajas a prueba de insectos, aunque hay otras técnicas. Los insectos que pasan por períodos obligados de dormancia pueden ser mantenidos adecuadamente durante el invierno o durante las estaciones de sequía tropical (estiaje). Las crías deben ser multiplicadas para obtener poblaciones suficientemente grandes como para infestar una población de selección; ésto se logra reproduciéndolas en hospedantes enmacetados que crecen dentro de jaulas, que eventualmente se llevan a la población de selección donde serán liberadas, permitiendo que los insectos escapen. Los insectos liberados pueden ser inducidos para que infesten surcos transectantes y periféricos sembrados antes que la población de selección, o directamente a ésta.

Las técnicas de cría de insectos son muy variadas, por lo que debe consultarse a los expertos. Las cajas usualmente consisten de una armazón forrada de tela de mosquitero de la que se utiliza para las ventanas. Los marcos, cuando son de alambre, pueden enterrarse en el suelo de la maceta, o pueden cubrirla en su totalidad cuando son de otro material. En cualquier caso la malla debe ser a prueba de escape, especialmente en su base. Con algunos insectos podría ser preferible trabajar dentro de un insectario o invernadero a prueba de escapes, e infestar directamente a la población de selección aun en estado de plántula, antes de transplantarla al campo.

## 25.24. Descendientes de una sola semilla (método de los)

El método de descendiente de una sola semilla probablemente sea el mejor, pero seguramente es el más rápido para producir líneas puras de un cultivo autofecundado (trigo, arroz y frijol), a partir de una población con variabilidad genética y heterocigosis. Esta técnica se diseñó para producir muchas líneas homocigóticas dentro de una población por mejorar, conteniendo quizá varios cientos de individuos heterocigóticos. De esa población sólo se selecciona una semilla autopolinizada por cada individuo, y se siembra para que produzcan la generación siguiente. El proceso se repite 4-6 veces, y es rápido debido a que no se hace selección por rendimiento, calidad, resistencia o cualquier otro carácter en ninguna de las generaciones. Normalmente es posible producir en el invernadero tres generaciones por año de un cultivo anual; pudiéndose utilizar la hidroponía para acelerar el proceso. En muchas plantas podemos reducir el tiempo generacional mediante una cosecha precoz de las primeras semillas,

aun cuando estén inmaduras. Esta propagación acelerada significa que puede lograrse la obtención de homocigosis en dos o menos años. Cuando todos los individuos de la población alcanzan la homocigosis se aplica una selección local en condiciones de campo, y sólo los mejores individuos se multiplican como líneas puras nuevas.

El método tradicional podría requerir un tamizado bajo condiciones de campo por generación autofecundada, y en los climas templados donde sólo puede haber una estación de selección anual, el proceso requiere 4-6 años.

### **25.25. Designación (de patotipos y hospedantes)**

La designación es necesaria en todos los cultivos en los que ocurre la relación gene por gene; ésto permite asegurar que las resistencias verticales no estén operando durante el proceso de selección, y es la base de la técnica de un solo patotipo. Se trata de un aspecto críticamente importante del fitomejoramiento por resistencia horizontal y cualquier negligencia durante este paso del proceso fácilmente puede arruinar todo el programa. También se constituye en la parte del programa durante la cual los fitomejoradores aficionados deben consultar a los expertos. El proceso de designación incluye seis fases, que son las siguientes:

1. Enliste todos los parásitos importantes presentes en el sitio de trabajo, y luego identifique a cada uno de los que tengan relación gene a gene con el cultivo. En la mayor parte de los programas sólo habrá dos o tres de éstas especies. (Los cultivos derivados de patosistemas silvestres continuos no contendrán relaciones gene a gene).
2. Por cada especie parásita con relación gene a gene, escoja un cultivar popular en el que la resistencia vertical haya fallado. Ese cultivar podrá estar aun en boga debido a sus altos rendimientos y calidad, aunque su cultivo sólo sea posible bajo la protección de plaguicidas. Puede escogerse como hospedante designado a una línea pura o clon, según el caso. Tal hospedante debe mantenerse continuamente durante todo el programa de mejoramiento, así sea mediante la sucesión de generaciones superpuestas. Para ésto normalmente se necesitará un invernadero.  
Es posible contar con un solo hospedante designado que sea atacado por todos los patotipos designados, situación ideal siempre y cuando pueda lograrse. Alternativamente, y en el otro extremo, puede llegar a ser necesario contar con un hospedante designado diferente para cada especie parásita.
3. Escoja un patotipo vertical para cada especie parásita en la que esté presente la relación gene a gene. Cada patotipo vertical debe ser escogido por su capacidad de acoplarse con el hospedante designado; en cuyo caso se convierte en el patotipo vertical designado. Es *esencial* que sólo haya *un* patotipo designado por cada especie parásita.
4. Cada patotipo designado se cultiva en el hospedante designado durante todo el programa. Así se tendrá disponible para usarlo en la inoculación de cada población de selección, y asegurar que cualquier resistencia vertical que exista no opere durante el proceso de selección.
5. Cada patotipo designado se inoculará en cada uno de los rangos de cultivares que fueron escogidos como progenitores potenciales en el programa. Sólo los cultivares *susceptibles* a *cada* patotipo designado pueden usarse como progenitores. Los cultivares que no sean susceptibles, incluso a un solo patotipo designado, no pueden ser usados como progenitores ya que poseen resistencia vertical funcional.
6. El objetivo consiste en identificar 10-20 cultivares, siendo cada uno de ellos susceptible a cada uno de los patotipos designados. Esos cultivares se convierten en progenitores originales de la población de selección. Debe mantenerse un pequeño banco de semillas: banco de por cada uno de esos progenitores, y de ser necesario reponerse durante la duración de todo el programa.

Lo anterior se requerirá para hacer pruebas en caso de que se pierda algún patotipo y tenga que reponerse.

### **25.26. Distribución (espacial) por contagio**

Durante el proceso de tamizado es áltamente deseable que cada hospedante individual sea parasitado, y en segundo lugar que todos ellos sea *igualmente* parasitados. Muchos parásitos se distribuyen de una manera que los ecólogos llaman “distribución por contagio”. Esto es, que sus densidades poblacionales varían mucho de una parte de la población hospedante a otra. Lo anterior resulta en que algunos sean muy parasitados y que otros no, lo que hace que la selección por resistencia sea más difícil.

Hay varias razones que explican la distribución por contagio. En general, esa distribución es más frecuente entre los parásitos del suelo, y usualmente se debe a que son inmóviles y a que permanecen dormantes hasta que una planta hospedera comienza a desarrollarse justo encima de ellos. Esto último incluye a los insectos de la raíz, nemátodos, y tanto a los hongos como a las bacterias que causan marchiteces y pudriciones.

Algunos virus transmitidos por insectos se dispersan lentamente porque sus insectos vectores o portadores son raros; lo que puede significar que sólo unas cuantas plantas de la población de selección resulten infectadas.

Ciertos insectos son gregarios porque suelen congregarse o porque sus madres depositaron los huevos en un solo lugar, y ahí permanecieron. Otros parásitos de las partes aéreas son inmóviles; aquí se incluyen a las escamas y a los áfidos ápteros.

Se puede lograr una distribución más uniforme de los parásitos del suelo inoculando cada semilla o plántula de la población de selección; por ejemplo, puede agregarse una pequeña cantidad del cultivo del parásito en cada maceta justo antes de depositar el suelo en ellas. Esto normalmente es una tarea para el técnico del club. Igualmente, cada plántula puede ser inoculada con un virus antes de transplantarla. Pero los insectos gregarios a menudo pueden ser disturbados para inducirlos a volar hacia otra parte de la población de selección. (Ver selección en rejilla, gradientes parasitarios, surcos transectantes y circundantes).

### **25.27. Emasculación**

Cuando se poliniza a mano la flor de una planta autofecundante, normalmente es necesario eliminar las anteras inmaduras, si es que se desea evitar cualquier posibilidad de autopolinización. Esto se hace normalmente un día antes de la apertura natural de las flores, por lo que la flor aun cerrada debe ser abierta para llegar a las anteras aun inmaduras y estériles, para romperlas o arrancalas con fórceps y tirarlas al suelo. Al siguiente día las flores abrirán y su estigma estará listo para recibir el polen.

Con las especies obligadamente alógamas y heterógamas no es necesaria la emasculación. Esto se debe a incompatibilidad con su propio polen, por lo que no puede darse la autopolinización. En el caso de las especies opcionalmente heterógamas, y con algunas autógamias, el polen de otras plantas resulta más efectivo que el de la misma planta. En este caso tampoco es necesaria la emasculación si se realiza la polinización artificial (a mano) en forma temprana.

Cuando se trabaja con plantas autofecundantes de la familia de los pastos (gramíneas) como el trigo, arroz, cebada y avena, se recomienda el uso de gameticidas masculinos.

### **25.28. Ensayos de campo**

Será necesario comparar los nuevos cultivares potenciales contra los estándares de la industria agrícola, a partir de ensayos de campo controlados estadísticamente. La comparación debe incluir el rendimiento, la calidad y la adaptabilidad agronómica, con y sin uso de plaguicidas. Consúltese a un experto en cuanto a los detalles de conducción y análisis de esos experimentos, que normalmente serían efectuados en el predio del club. El resultado de esos ensayos determinará qué líneas serán enviadas a registro con las autoridades, como cultivares nuevos sujetos a regalías de fitomejorador, en caso de ser aprobados. La meta del club debe ser obtener cultivares nuevos iguales o mejores a los estándares de la industria agrícola, aun cuando los nuevos cultivares *no* sean protegidos con plaguicidas y aun cuando los de la industria sí lo sean.

### **25.29. Equipo**

Ver: catálogos, maquinaria agrícola, invernaderos, surco por espiga, laboratorio, biblioteca, oficina, macetas, limpieza de semilla, siembra de semilla (invernadero/campo), pasteurización del suelo, procesado del suelo (fertilizantes), trilla.

### **25.30. Equipo de laboratorio**

La mayor parte de los clubs van a necesitar algún tipo de laboratorio, que en general tendrá tres funciones; la primera es esencial pues consiste en realizar selecciones; la segunda es opcional y consiste en la identificación de parásitos; la tercera depende de la especie cultivada, de la naturaleza del parásito y de la multiplicación de éste.

Los clubs más pequeños y los nuevos deben depender totalmente de los servicios especializados que les puedan proporcionar los expertos de alguna universidad cercana, de un instituto de investigación o de una agencia gubernamental de extensión y asesoría. La mayoría de los clubs deberán contar con su pequeño laboratorio propio, que podrá consistir de no más de un cuarto donde puedan llevarse a cabo actividades de selección postcosecha. Conforme un club crece en tamaño y posibilidades el laboratorio puede aumentar su modernidad; sin embargo la regla que normalmente debe seguir aplicándose es la misma: “lo pequeño es bello”. Es muy fácil el dispendio de grandes sumas en equipo caro que eventualmente se ve convertido en un elefante blanco. En esa virtud, el equipo de laboratorio sólo debe ser comprado cuando hay uno o más miembros que sepan y deseen utilizarlo.

- 1. Equipo de selección o tamizado:** Usualmente este es el equipo más barato, aunque el costo varía con la naturaleza del cultivo que va a ser seleccionado. Es necesario para la selección de laboratorio de las plantas individuales previamente seleccionadas en el campo. En el caso de los cereales y leguminosas de grano, las trilladoras de plantas individuales y el equipo para pesar y contar semillas es lo más importante. En otros cultivos (frutas, tubérculos) no es difícil obtener el peso y también resulta fácil contarlos a mano. Podría ser deseable adquirir equipo sencillo para cocinar y degustar esos productos (su sabor). Para pruebas más complejas usualmente se hacen contratos con laboratorios comerciales o del gobierno.
- 2. Equipo para identificar parásitos:** **Insectos-** Es una buena idea, pero no es esencial, coleccionar especímenes de los insectos que parasitaron cada generación de selección. Normalmente será necesario contar con gabinetes para coleccionarlos, frascos para matarlos y alfileres para montarlos. Los pequeños, como áfidos y mosquitas blancas, pueden coleccionarse: colección de en líquidos preservativos o montarse en portaobjetos. Para información de los miembros del club será útil una colección de los más importantes, debidamente identificados. Será necesario contar con microscopios de disección y compuestos (ver fitopatógenos, equipo para).

**Nemátodos-** Para apoyar los trabajos de identificación será útil contar con una colección de nemátodos: colección de montados en portaobjetos. También puede ser necesario contar con equipo sencillo para separar nemátodos del suelo o la vegetación; así mismo, podría necesitarse un sistema de conteo de nemátodos. Para el trabajo con estos organismos es esencial el microscopio compuesto (ver fitopatógenos, equipo para).

**Fitopatógenos-** Los artículos más caros son los microscopios compuestos y de disección, que son esenciales si se va a emprender trabajo de laboratorio con enfermedades de las plantas. Sin embargo esos microscopios también pueden usarse en el trabajo entomológico y nematológico. Aparte los microscopios, cierto equipo doméstico y barato a menudo podrá sustituir al equipo caro. En las remotas selvas africanas yo operé un laboratorio de fitopatología en forma perfectamente adecuada, casi totalmente equipado con ingredientes y artefactos caseros. Una olla doméstica de presión es un sustituto efectivo y barato de un autoclave para esterilizar medios de cultivo; una estufa de cocina, alimentada con tanques portátiles de gas, sustituye en forma totalmente efectiva a un horno esterilizador; las botellas de leche y medicamentos sustituyen a la vidriería de laboratorio que es mucho más cara; muchos ingredientes de cocina como la gelatina, algunas frutas, jugos, papas y legumbres, sustituyen a los medios de cultivo, así como los detergentes y blanqueadores a las sustancias químicas de laboratorio. Además de lo anterior, un mínimo de equipo de disección, portaobjetos, cubreobjetos, colorantes, cajas de Petri, medios de cultivo y de montado, etc., que son relativamente baratos, pueden ser adquiridos en la mayoría de las farmacias.

3. **Multiplicación de parásitos.** Para asegurar que se presenta la epidemia, que se distribuye en la población de selección tan uniformemente como sea posible, y que incluye a los patotipos designados, la población de selección normalmente será inoculada con varias especies parásitas en caso de ser necesario. Este es un trabajo para un miembro técnico del club.

Muchos de los hongos fitopatógenos son parásitos obligados (royas, mildiús), y deben ser cultivados en hospedantes vivos dentro del invernadero. Otros hongos son parásitos facultativos (marchitez, antracnosis, bacterias), por lo que pueden ser cultivados en frascos de vidrio en el laboratorio. Dependiendo del patógeno, se puede cultivar en una superficie de agar o gelatina dentro de una caja de Petri o frasco; otros pueden cultivarse en botellas taponadas con algodón, que contienen serrín o salvado esterilizados, con o sin nutrientes adicionales. Para algunos fitopatógenos los medios líquidos de cultivo, en grandes frascos cónicos, también son posibles siempre y cuando se mantengan ventilados con un agitador magnético. Algunas cajas para insectos son más fácilmente manipulables en el laboratorio que en el invernadero (ver cría de insectos). El equipo para trabajar con virus mecánicamente transmitidos puede reducirse a una licuadora y un poco de polvo de carborundum para frotar los extractos virosos sobre las hojas; sin embargo, aunque hay equipo sofisticado como una ultracentrífuga o un microscopio electrónico, éste resulta muy caro y complicado para un club de fitomejoramiento (ver catálogos, inoculación, selección de laboratorio).

### **25.31. Equipo de oficina**

Usualmente los pequeños clubs pueden confiar en que sus miembros contribuyan con tiempo de trabajo y servicio de sus computadoras, fotocopiadoras, teléfono, fax, etc., para las actividades administrativas y para el papeleo derivado de los folletos, minutas y avisos. Los clubs más grandes y ricos que cuenten con sus propias instalaciones preferirán comprar su propio equipo de oficina. Sin embargo a menudo existe la tendencia de que la “cola mueva al perro”, y de que los administradores piesen que su trabajo es más importante que apoyar las actividades para las que se creó la oficina.



### 25.32. Expansión del programa de mejoramiento

Ocasionalmente puede ser necesario expandir el programa de mejoramiento en alguna de las tres siguientes formas.

Primera; la base genética original (esto es, los progenitores originales de la población de selección) puede resultar demasiado estrecha para acumular los niveles requeridos de resistencia horizontal. En ese caso debe ampliarse mediante la introducción de nuevo material genético a la población. Cualquier cultivar moderno que sea bueno puede utilizarse siempre y cuando sea susceptible a todos los patotipos designados.

Segunda; en los trabajos de selección local podría llegarse a la conclusión de que la localidad original de mejoramiento es demasiado grande. En ese caso será deseable dividir la población original en dos o más subpoblaciones, cada una con un sitio de selección diferente en alguna forma, y con patrones de patosistema también de alguna manera diferentes.

Tercera; un parásito exótico, previamente ausente, puede ser introducido al área de investigación sin darnos cuenta. Por ejemplo, podría establecerse la catarinita de la papa en el Reino Unido. En ese caso el programa debe incluir esta nueva especie parásita. Cuando venga acompañada de resistencia vertical será necesario asignarla como patotipo que se acople con todos los hospedantes designados originales.

### 25.33. Fijación de nitrógeno

Los cultivos de la familia botánica *Leguminosae* (esto es, las leguminosas de grano como lentejas, chícharos y frijoles; y las forrajeras como la alfalfa) son ricos en proteínas. El constituyente más importante de la proteína es el nitrógeno y las leguminosas son singulares en el mundo vegetal porque tienen nódulos radicales que lo fijan. Estos nódulos están formados por bacterias del género *Rhizobium*, capaces de extraer nitrógeno del aire y convertirlo en proteína. Se origina así una simbiosis de verdadera cooperación en la que la planta proporciona carbohidratos a la bacteria y la bacteria proteínas a la planta. Este subsistema del ecosistema es conocido como un simbiosistema.

Cualquier club que esté mejorando leguminosas: mejoramiento de forrajeras o de grano debe incluir la eficiencia del simbiosistema en sus criterios de tamizado. Tanto la leguminosa como la bacteria varían en su efectividad como simbiosistas, y en esa medida varía el rendimiento agrícola. Si se va a hacer selección por alta efectividad en la fijación de nitrógeno debe haber un tamizado simultáneo tanto de la leguminosa como de la raza de *Rhizobium*; ésto se logra haciendo el trabajo de tamizado entre un amplio rango genético de la planta contra uno igualmente amplio de la bacteria, para hacer posible encontrar combinaciones muy efectivas de ambos. Para algunos clubs puede ser preferible ignorar este aspecto y simplemente concentrarse más en el rendimiento, la calidad y la resistencia; para otros este aspecto podría quedar incluido en el trabajo de tamizado, en cuyo caso debe tomarse en cuenta lo siguiente:

La fijación efectiva de nitrógeno se define por dos criterios; el primero significa que el crecimiento de la leguminosa debe ser vigoroso y verde obscuro, en *ausencia* de cualquier uso reciente de fertilizante nitrogenado o de estiércol; así mismo, no se permite en forma absoluta el uso de estiércol, abono verde o fertilizantes nitrogenados en campos o jardines donde se hace la selección. Segundo, las raíces deben tener grandes cantidades de nódulos bien desarrollados que sean rojos por dentro. Si cualquiera de estos indicadores no se presenta la fijación de nitrógeno es pobre; pero si hay una fijación excepcionalmente buena, deben conservarse tanto la bacteria como la leguminosa hospedante.

La bacteria se puede preservar secando los nódulos en un desecador, para conservarla durante varias semanas. Poco antes de la siembra debe ser mojada y molida; la pasta resultante se mete en una licuadora con una pequeña cantidad de leche descremada y esta suspensión se usa para inocular las semillas mojándolas, para luego secarlas en un lugar sombreado.

Cuando el club cuenta con un técnico capaz la bacteria puede ser aislada, cultivada y purificada. No es difícil determinar la eficacia de los cultivos de *Rhizobium*, pero estos detalles están más allá de las metas de este libro, por lo que debe consultarse a un experto. El punto central es que cualquier club que cuente con una buena y poco usual combinación de *Rhizobium* y línea pura de leguminosa, puede pretender el comercio de ambas.

Como existen cultivos patentados comerciales de la bacteria para inocular la semilla, en algunos países puede ser posible que algún club también los patente y obtenga regalías originadas por sus propias razas de *Rhizobium* y por sus cultivares de leguminosa.

### **25.34. Folletos y publicaciones**

Algunos clubs podrían decidir producir sus propios folletos. La función primaria de éstos es mantener informados a los miembros respecto a los acontecimientos dentro del club, y una función secundaria sería el intercambio con otros clubs, de tal suerte que puedan intercambiar orientaciones y sugerencias útiles. Ocasionalmente una simple orientación puede ser muy útil y ahorrar cientos de horas de trabajo. Algunos miembros podrían pensar que al publicar y enviar información a otros clubs están cediendo sus secretos profesionales, pero en general no es así. Al trabajar con cultivos o especies diferentes y al estar aplicando métodos de fitomejoramiento local, la mayoría de los clubs no estarán en competencia con otros. Lo anterior significa que los cultivares de un club no podrían ser ideales para el área de otro, pero incluso si lo fueran la competencia es saludable. Es más importante el hecho de que todo mundo se beneficia intercambiando información, y que esto más que recompensa la pérdida de “secretos profesionales”.

### **25.35. Formación de líneas puras**

Hay tres métodos para formarlas a partir de una población de selección de plantas heterocigóticas con variabilidad genética.

En primer lugar se encuentra el método tradicional utilizado por los mejoradores de pedigrí. En éste, las mejores plantas de una población heterocigótica con variabilidad genética se autopolinizan y se conservan sus semillas para ser plantadas en la siguiente estación de selección. Esta progenie todavía es variable, aunque en menor grado. Las mejores plantas de ella (se recomienda la selección familiar) son nuevamente autopolinizadas, conservando sus semillas para plantar la siguiente generación de tamizado. El proceso se repite unas 4-6 generaciones. Al final las mejores plantas son suficientemente homocigóticas como para constituirse en líneas puras. La desventaja de este método es que se necesita de una estación de tamizado por cada generación de autopolinización (esto es, 4-6 estaciones de tamizado).

El segundo es el método de mejoramiento en masa, en el que a una población genéticamente mezclada (no a las mejores plantas dentro de ella) se le permite la autofecundación durante 4-6 generaciones, conservando su grado original de variabilidad. Al final de este proceso todas las plantas son homocigóticas y las mejores de ellas se seleccionan para producir las nuevas líneas puras. Este método evita hacer selección en cada generación, por lo que resulta más rápido (esto es, la población puede ser multiplicada fuera de estación o en un invernadero).

En tercer lugar está el método de descendientes de una sola semilla. La ventaja del mismo es que ahorra mucho tiempo, por lo que puede producir nuevas líneas puras a partir de dos años. Este es el procedimiento que recomendamos.

### **25.36. Gameticidas masculinos**

Un gameticida masculino es la substancia que se asperja en plantas autofecundables para volverlas andro-estériles y así convertirlas en heterógamas. En algunos cultivos el uso de estos productos puede ahorrar muchísimo trabajo eliminando la polinización manual, que demanda mucha mano de obra. En cultivos como el trigo, la cebada y avena pueden inducirse fácilmente millones de polinizaciones cruzadas con el simple hecho de asperjar aproximadamente la mitad de una pequeña población que va a ser mejorada. Sin embargo, en muchos otros cultivos, particularmente dicotiledóneos, los gameticidas masculinos son menos efectivos o totalmente ineficientes.

Una de las primeras decisiones que puede tomar un club nuevo es el uso de gameticidas masculinos. No serán necesarios cuando la polinización manual sea fácil o cuando una sola de ellas produzca muchas semillas; alternativamente, cuando no se conozca el gameticida adecuado, éste puede ser muy deseable pero impráctico. Cuando su uso sea factible el club de todos modos tendrá que contar con información de un experto respecto a la mejor substancia a aplicar, sus dosis y momentos de aplicación. La investigación con gameticidas masculinos es relativamente fácil, por lo que un club podría decidirse por llevar a cabo sus propios experimentos a partir de la asesoría de los expertos. Aun cuando el gameticida sea satisfactorio y de uso rutinario, el club podría investigar substancias y técnicas alternativas en busca de mejoras al método.

Beek (1988), trabajando con trigo, usó el Ethrel (ácido 2-cloroetil-fosfórico) a concentración de 2000 ppm en agua, asperjado a una dosis de 1000 l/ha, seguido de una aspersión de ácido-3 giberélico a concentración de 150 ppm, aplicados cuando la espiga había llenado una tercera parte. Esto induce un 60-80 % de polinización cruzada, lo cual es completamente adecuado porque cualquier autopolinización que pueda ocurrir resulta en plantas heterocigóticas que aun así producen una progenie variable. Este tratamiento tiene algunos efectos colaterales, tales como una mayor susceptibilidad a ciertas enfermedades, y alteraciones en los hábitos de crecimiento.

El gameticida masculino se aplica en las plantas que serán progenitores femeninos, usualmente sembradas en franjas de dos metros de ancho. Los progenitores masculinos no son tratados y se cultivan en franjas de un metro. La aspersora consiste de varias boquillas montadas en un aditamento tan ancho como la franja de progenitores femeninos. El aditamento es operado por dos personas que recorren la franja, femenina asperjando las plantas hasta el escurrimiento. Para evitar que la aspersión contamine la franja masculina, detrás de la aspersora y cubriendo totalmente las plantas asperjadas se arrastra una cubierta de plástico. El aditamento de aspersión se conecta a una manguera de presión proveniente de un tanque montado en un tractor que avanza a lo largo del lote experimental. El tractor y el aditamento se mantienen al paso de los operadores, lo que puede hacer necesario contar con otras dos personas que carguen la manguera de presión para evitar dañar las plantas de trigo tratadas.

Para poder eliminar el material fecundado por polen indeseable debe efectuarse un tamizado negativo antes de la anthesis; esto puede involucrar bastante trabajo pero es muy importante. La mejor técnica consiste en deshacerse de todas las plantas que no hayan sido etiquetadas durante la selección o tamizado de campo. Debe utilizarse un par de tijeras grandes o algo similar. Tanto la franja femenina como la masculina deben inspeccionarse para este fin, porque incluso las plantas que fueron tratadas con el gameticida masculino producirán algo de polen.

### **25.37. Generación de cruza**

Muchos cultivos, especialmente los que no pueden ser fácilmente alofecundados durante la generación de selección, requerirán de una generación de cruza. Para esto se toman varias semillas de cada nuevo progenitor, se plantan y cultivan en el invernadero, y se hace la polinización cruzada. El número total de progenitores y de semillas de cada padre se calcula fácilmente a partir de la capacidad

del club, como un todo. Cuando hay una generación de multiplicación esos números se reducen considerablemente.

Inicialmente los padres originales (10-20 cultivares o líneas puras) deben cruzarse en todas sus combinaciones y aproximadamente en las mismas proporciones, para producir la primera generación. Cuando esos progenitores son líneas puras su progenie exhibe poca variabilidad; pero esta progenie se cultiva, se le permite autopolinizarse, y origina la segunda generación, que muestra una considerable variabilidad. Sin embargo fue necesaria esa generación de multiplicación para producir suficientes semillas y para contar con la primera población de selección: población de.

Al terminar cada generación de selección las semillas de las plantas seleccionadas se convierten en progenitoras de la siguiente. Estos padres deben alofecundarse exactamente de la misma manera como se cruzaron sus progenitores. De ser necesario, la siguiente generación se lleva a maduración y se le permite autopolinizarse como nueva generación de multiplicación.

Las generaciones de cruce y multiplicación deben protegerse con plaguicidas por lo menos en los primeros ciclos, ya que aun son muy susceptibles y no pueden ser expuestas al riesgo de perderse.

El procedimiento anterior variará ligeramente durante la última selección y durante la selección de familias o familiar.

### **25.38. Generación de multiplicación (del material vegetal)**

Cuando se aplica selección temprana en una generación anual de selección podría ser necesaria una generación de multiplicación después de la polinización cruzada, para poder producir suficiente semilla a utilizarse en la siguiente generación de tamizado. La multiplicación vegetal también puede ser necesaria para otros aspectos del fitomejoramiento.

Para multiplicar una generación se requiere de espacio considerable, el que puede calcularse dividiendo la población total de selección por el factor de reproducción vegetal. La población de selección total es aquella que será seleccionada por los miembros activos durante la siguiente estación de tamizado. Supongamos que hay cien miembros cada uno tamizando mil plantas; en ese caso la población total de selección será de 100,000 plantas. Si suponemos ahora un factor de reproducción vegetal de 50, esto significa que, en promedio, cada progenitor dará origen a 50 semillas; en ese caso el tamaño de la población de multiplicación será de 100,000 dividido por 50, que nos da 2,000 plantas. En la práctica deben tomarse precauciones para que siempre tengamos un remanente de semillas en caso de accidentes.

La generación de multiplicación puede ser protegida con plaguicidas, fertilizada, irrigada, y en general sobreprotegida para asegurar el máximo rendimiento de semilla. También se permite la autofecundación, ya que la alternancia entre las autofecundaciones y las alofecundaciones tiene ventajas genéticas. Hay tres formas de manejar la generación de multiplicación; en el invernadero durante el invierno, en el campo durante el verano, o en el hemisferio sur, también durante el invierno.

El uso del invernadero en invierno es probablemente el método más satisfactorio aunque no sea el más barato; es rápido, permite una generación de selección cada verano, y las plantas siempre están bajo el control total de los miembros del club. En este caso la hidroponía puede ser muy útil.

La multiplicación de campo durante el verano es el método más barato y asegura el control de las plantas; sin embargo se desperdicia una estación de tamizado, lo que duplicaría la duración del programa de mejoramiento, porque todos los veranos alternados se usarían para multiplicar en lugar de tamizar.

La utilización del hemisferio sur significaría enviar nuestra semilla, durante *su* verano, para multiplicarla ahí. Cuando se encuentra un club de fitomejoramiento que quiere cooperar, este método resulta barato y eficiente; consistente sólo del flete aéreo más el trabajo recíproco de multiplicar *sus* semillas durante *nuestro* verano. Sin embargo esto puede suponer tres problemas que podrían ser insuperables. El primero se refiere a la legislación cuarentenaria internacional, y a la posible necesidad de aplicar una cuarentena vegetal dependiendo de los dos países involucrados; esta restricción puede

suprimir totalmente el intercambio de semilla. El segundo es que es muy probable que haya muchos más clubs en el hemisferio norte que en el hemisferio sur, pero esa diferencia se puede superar mediante el pago de su trabajo de multiplicación de nuestra semilla. También podría ser posible encontrar a un agricultor competente que pueda multiplicarla a cambio de una cuota adecuada. Finalmente existe el problema de la confiabilidad; a los miembros de un club podría no gustarles saber que su preciosa semilla fue confiada a extraños al otro lado del mundo.

Tómese nota de que no se debe realizar ningún trabajo de tamizado durante el proceso de multiplicación ya que ésto podría interferir seriamente con el concepto fundamental de selección local.

### **25.39. Genes marcadores**

Un solo gene mendeliano que controla un carácter sencillo como el color o la pilosidad, puede ser una prueba útil de que hubo polinización cruzada. Esta prueba puede utilizarse como una técnica de mejoramiento en una especie autofecundada que tenga un porcentaje mínimo de polinización cruzada. Por ejemplo, todas las plantas usadas como progenitor femenino podrían carecer de este gene mientras que los progenitores masculinos podrían poseerlo. En este caso sólo se conservan los progenitores femeninos y su progenie segrega en dos partes, la que lo tiene y la que no. Sólo se conservan las plantas con el gene marcador porque son el resultado de la polinización cruzada. Durante el último tamizado podemos eliminar el gene marcador, en caso de que sea indeseable.

### **25.40. Germinación de semillas**

Algunas semillas (en leguminosas y yuca) tienen una cutícula muy gruesa o una dormancia persistente, lo que dificulta su germinación. A menudo muchas semillas deben ser tratadas con agua caliente, ácido sulfúrico, lija, etc., y otras tienen que ser vernalizadas (esto es, darles cierto tiempo de frío) para que puedan germinar. Otras semillas comenzarán a germinar inmediatamente después de mojarlas y sin ninguna otra dificultad. Normalmente ningún club deberá tener problemas en aprender respecto a la germinación de las semillas del cultivo que eligió.

Dependiendo del cultivo a mejorar, la semillas puede germinar antes o después de ser plantada. La pregerminación requiere bastante trabajo, pero ahorra el desperdicio de macetas y de espacios vacíos que son consecuencia de los porcentajes bajos de germinación. Por otra parte, hay equipo comercial para la horticultura moderna capaz de sembrar miles de semillas individuales en macetas pequeñas o cepellones, y ahorrar cientos de horas-hombre de trabajo tedioso.

Los horticultores comerciales modernos tienen máquinas sofisticadas para sembrar semillas en “capas” especiales, que posteriormente se puedan cortar para formar cepellones individuales; éstas normalmente son de plástico, pero las más adecuadas son de peat (materia orgánica natural, de cierto tipo), de tal forma que todo el cepellón se puede transplantar cuando la plántula ya está lista. El peat decadente se desintegra, por lo que las raíces de la plántula pueden atravesarlo y afianzarse en el suelo que las rodea. El mismo resultado puede obtenerse con bloques de espuma plástica biodegradable, especiales para el enraizado. Las máquinas que realizan este trabajo son caras y sólo se utilizan una vez al año; por lo anterior, si un club posee una de estas máquinas debe considerar la posibilidad de convencer a algún productor comercial para que siembre su semilla bajo contrato con la máquina del club. Un problema menor del método es que las semillas nunca alcanzan el 100 % de germinación, por lo que tanto las macetas o cepellones, como los espacios en los bancos se desperdician cuando la germinación falla; sin embargo los ahorros en horas hombre más que recompensan lo anterior.

La otra alternativa es sembrar las semillas a mano. Esto requiere de mucha labor pero es preferible cuando el club no tiene dinero. El mejor método consiste en pregerminar las semillas en una toalla de papel humedecida, y cuando aparecen las primeras raíces se transplanta al suelo húmedo de su

maceta con el auxilio de una aguja de disección. Con la práctica es posible sembrar varios cientos de semillas pregerminadas por hora. Para ésta clase de trabajo siempre es importante estar cómodo, en un banco o silla decentes, y contar con las herramientas adecuadas. La incomodidad puede reducir considerablemente la velocidad y eficiencia del trabajo.

### **25.41. Gradientes parasitarios**

Gradiente parasitario significa que de una parte de la población de selección a otra hay un aumento o decremento gradual en la densidad poblacional del parásito. Cuando no son bien entendidos, puede caerse en la tendencia de seleccionar las plantas de una área con baja densidad parasitaria, sobre la base falsa que son las menos parasitadas, y en consecuencia las más resistentes. Este error puede evitarse aplicando la selección en rejilla.

### **25.42. Hidroponia**

La hidroponia, llamada algunas veces “acuicultura”, es el cultivo de plantas en una solución nutritiva, en lugar del suelo. Las raíces pueden ser directamente suspendidas en la solución o en un medio inerte de enraizamiento como la grava, embebido en la solución o dentro de una película tubular de plástico depositada sobre el suelo. En el último caso, la planta crece a través de un pequeño orificio en la película, y la solución nutritiva se bombea continuamente a través del tubo. Las ventajas de la hidroponia son: (i) puede lograrse una alta densidad de plantas en espacios reducidos de invernadero; (ii) se logran crecimientos y maduración rápidos, resultando en ciclos reproductivos más cortos; (iii) se reduce la incidencia general de plagas y enfermedades; y (iv) se ahorra mano de obra. Varios tipos de equipo de hidroponia están disponibles en forma comercial, por lo que deben consultarse los catálogos. Este sistema es recomendable particularmente para la descendencia de una sola semilla, tanto en selección tardía como para la formación de líneas puras.

M.A. Beek, trabajando en Brasil, usó la hidroponia para multiplicar trigo fuera de estación y para obtener los descendientes de una sola semilla. Así descubrió que el trigo en condiciones de campo fuera de estación, tiene una tasa de multiplicación de 10-20; mientras que en las mismas condiciones, pero en hidroponia de invernadero, tiene un factor de multiplicación de 1200-4000. Esta tasa alta de multiplicación posee cuatro ventajas.

Primera, cuando se usa selección temprana se logra obtener una población  $F_2$  muy grande de semillas, que será la nueva población de selección. Segunda, proporciona un medio seguro y rápido de multiplicación de nuevos cultivares potenciales. Tercera, permite la cruce manual (cuya tasa de efectividad es de 100%, contra un 60-80% obtenible con gametocidas masculinos) seguida por la generación de multiplicación. Cuarta, es muy útil en la técnica de descendencia de una sola semilla. Otra ventaja de la hidroponia es que nos libera de factores adversos como el mal tiempo y los parásitos del suelo.

Así, Beek encontró que es fácil obtener unas 15,000 plantas de trigo en un invernadero que mide 8 x 12 m.

### **25.43. Hospedantes designados**

Debe escogerse un hospedante designado para cada especie de parásito en el que exista una relación gene a gene. Respecto a estos parásitos se consultará con un experto.

El hospedante designado para cada parásito debe ser cultivado en forma continua durante la duración de todo el programa de fitomejoramiento, para tener la capacidad de mantener vivo al patotipo designado.

No es necesario saber qué genes de resistencia vertical se presentan en el hospedante designado; sin embargo, si ya existe este conocimiento y está disponible, será preferible designar un hospedante con muchos genes de resistencia a cualquier otro con sólo algunos de ellos. Esto se debe a que el hospedante con muchos genes permitirá la adopción inicial de un rango mayor de progenitores originales.

#### **25.44. Humidificadores**

En los viejos tiempos los horticultores inducían el enraizado de varetas eliminando la mayoría de sus hojas para reducir la pérdida de agua, disminuyendo la intensidad de la luz mediante el uso de sombra densa que reducía la transpiración, y aplicando un medio enraizador rico en microorganismos y nutrientes. Bajo esas condiciones las varetas enraizaban, pero tan lentamente que a menudo se pudrían antes de lograrlo.

Esos problemas se pueden eliminar con el uso de un humidificador. En este caso las varetas se seleccionan por área foliar máxima, se les proporciona la máxima luminosidad, y se auspicia una fotosíntesis y crecimiento rápidos. La pérdida de agua se compensa mediante un riego frecuente y automático que aumenta la humedad (de donde proviene el nombre del aparato). La humedad puede controlarse con un humidostato o con un interruptor de tiempo. Si aumenta demasiado la temperatura por el exceso de luz, se puede inducir el enfriamiento por ventilación y de ser necesario por evaporación, mediante un aumento de la humedad. El medio de enraizado debe ser biológica y nutricionalmente inerte para reducir los riesgos durante el enraizamiento. La vermiculita, o una mezcla de arena y gránulos expandidos de poliestireno (agrolita), son adecuados. Con especies particularmente difíciles de enraizar puede ser de ayuda una hormona de enraizamiento.

En un humidificador las varetas verdes de papa producirán raíces en 5-10 días. Las especies que previamente han demostrado imposibilidad de enraizamiento, como el té y el cafeto, usualmente echarán raíces en menos de diez semanas. Una vez que se formaron las raíces las varetas deberán enmacetarse, y se les dará cuidado intensivo durante unos cuantos días antes de ser llevadas fuera del invernadero.

#### **25.45. Identificación de parásitos**

Usualmente hay unas 10-20 enfermedades por especie cosechada, y quizá el doble de insectos plaga. Normalmente un técnico o miembro profesional del club tendrá poca dificultad para aprender a identificarlos con confiabilidad. En caso de duda debe consultarse a un experto ajeno al club.

La mayor parte de los países cuentan con un servicio de asesoría agrícola que incluye el servicio de identificación de plagas y enfermedades y la publicación de “volantes” con sugerencias. Uno de los servicios más autorizados en cuanto a identificación de parásitos lo ofrecen los Burós de Agricultura Internacional (International Agricultural Bureaux) de Inglaterra, servicio que podría ser el único disponible para los clubs de algunos países no industrializados. (Ver Apéndice “D”).

#### **25.46. Injerto**

Injertar es la técnica que consiste en unir un brote o yema, llamado vástago, en otra planta llamada portainjertos. El propósito normal de un injerto es la protección de clones de gran calidad, que se injertan en un portainjertos resistente a enfermedades de la raíz. Por esta razón se injertan la mayoría de los árboles frutales (cítricos, frutas con hueso como el durazno, y pomáceas como la manzana). Pero también es una técnica aplicada al mejoramiento de la papa y utilizada para inducir su floración sin que se forme el tubérculo. Esto se logra injertando vástagos de papa en portainjertos de jitomate. Los

nuevos tallos de la papa injertada crecen continuamente hacia arriba, produciendo inflorescencias a pocos centímetros de distancia entre sí.

### **25.47. Inoculación**

Usualmente la población de selección tendrá que ser inoculada con varias especies parásitas, para asegurar:

1. Que el parásito se presente y ejerza presión de selección por resistencia horizontal.
2. Que el parásito presente se distribuya tan uniformemente como sea posible.
3. Que se asegure la presencia del patotipo designado, en caso de que exista una relación gene por gene.

Dependiendo de la naturaleza, tanto del cultivo como del parásito, hay tres métodos de inoculación:

1. Puede ser posible inocular la semilla antes de que germine. Esto es particularmente cierto para las enfermedades bacterianas y para algunas fungosas.
2. Alternativamente es factible inocular, antes del trasplante, plántulas jóvenes producidas en los invernaderos del club. Según el caso, pueden depositarse en el suelo de las macetas o sobre las plantas (enmacetadas), parásitos del suelo como los nemátodos, algunos insectos, y diferentes fitopatógenos fungosos o bacterianos. Las plántulas también pueden ser inoculadas por inundación con una suspensión de parásitos del suelo, particularmente bacterias. Esto requiere de bandejas o bancos especiales inundables, que contendrán la suspensión por períodos cortos previos al trasplante. El suelo de las macetas absorbe la suspensión, por lo que el parásito queda uniformemente distribuido en el campo después del trasplante.
3. Por último, la población de selección puede ser directamente inoculada y/o infestada en el campo. Esto se logra mediante la aspersión de parásitos fungosos y bacterianos suspendidos en agua, o mediante la liberación de grandes números de insectos voladores o de esporas, criados en laboratorio. Las infestaciones con insectos usualmente se inician llevando insectos enjaulados al campo, y liberándolos para permitirles dispersarse entre las plantas que constituyen la población de selección (hay muchos otros métodos). Para reducir los gradientes de densidad parasitaria tanto como sea posible, las cajas deben previamente ser distribuidas uniformemente entre la población de selección. En algunas especies como chicharritas y mosquitas blancas es posible lograr que se redistribuyen por agitación mecánica. Alternativamente podría ser preferible la infestación mediante surcos transectantes y periféricos. Otro método involucra llevar del invernadero al campo plantas enmacetadas muy enfermas o infestadas, y confiar en la dispersión natural de los parásitos; en este caso y cuando se trate de parásitos transportados por el viento las plantas portadoras o inoculantes deben colocarse aprovechando su dirección. Este método se usa principalmente con hongos parásitos obligados como las royas y los mildiús polvorientos. Los virus son transmitidos mecánicamente o por insectos; la transmisión mecánica usualmente se basa en el molido de tejido enfermo, que se efectúa en un mortero al que se adiciona polvo de carborundum y agua. Parte de esta mezcla se frota en cada planta de la población de selección con los dedos. El proceso es aceptable en plántulas de invernadero antes de transplantarlas, pero es muy laborioso para plantas en el campo. La inoculación de campo es posible mediante la aspersión mecánica, pero debe consultarse a un experto. Los virus que requieren de vectores deben inocularse con insectos que previamente se hayan alimentado en plantas infectadas, aplicando los métodos de infestación descritos más arriba.



Normalmente es mejor hacer las inoculaciones durante el crepúsculo, inmediatamente después de haber empapado las plantas mediante aspersiones. Para algunos insectos puede ser mejor liberarlos por la mañana. Consulte a un experto.

En etapas tempranas del programa existe el peligro real y verdadero de perder toda la población de selección cuando se le inocula con demasiadas especies parásitas. Probablemente sea buena idea incorporar un solo parásito adicional, después de cada ciclo de mejora genética: ciclo de, a la lista de inoculantes o patotipos designados originales. (ver distribución por contagio, surcos transectantes y periféricos).

### **25.48. Inoculación del suelo**

Cuando se utilizan plantas transplantadas, la mejor manera de evitar la (mala) distribución por contagio y de asegurarse de que no tendrán posibilidades de escapar a la infección, es inocular el suelo ocupado por cada plántula. Pero las plántulas son delicadas, y a menudo la resistencia horizontal sólo se presenta conforme van madurando. Sería contraproducente que demasiadas de ellas murieran en forma prematura.

Para evitar este peligro probablemente sea buena idea inocular con una sola especie parásita cada estación, adicionando diferentes especies de parásitos por cada una de las estaciones subsecuentes; de esta manera cada especie parásita estará bien distribuida en los lotes de selección y su distribución se mantendrá uniforme mediante su cultivo continuo en el mismo lote, cada estación. De la misma manera, la población de selección estará expuesta a un rango creciente de parásitos conforme vaya desarrollando resistencia global. Si las plántulas fueran expuestas desde el principio a todos sus parásitos probablemente habría una mortalidad total.

Un segundo método de evitar el riesgo de mortalidad excesiva es la inoculación de los cepellones al momento de trasplantarlos, en lugar de inocularlos al momento de la siembra. Alternativamente la inoculación puede hacerse directa al hoyo del suelo poco antes de depositar en él la plántula; ésto puede resultar en ahorros considerables de inóculo y horas-hombre porque muchas plántulas son candidatas a ser eliminadas por otros parásitos (por ejemplo el tizón) durante su selección.

El método de inoculación que se utilice dependerá del parásito involucrado. Muchos parásitos fungosos y bacterianos pueden ser inoculados en suspensiones acuosas, sea con una regadera o inundando una bandeja que contenga los cepellones. Otros parásitos son diluidos en un medio sólido, como el serrín, el salvado o el suelo mismo. La preparación del inóculo debe ser responsabilidad del club, asumida por el miembro técnico, y asesorada por especialistas, por lo menos al principio.

### **25.49. Invernaderos**

La función de un invernadero es proveer las mejores condiciones de crecimiento para las plantas. En particular, mantenerlas en mejores condiciones durante el invierno y protegerlas de los extremos de temperatura, viento, lluvia, granizo, nieve e insolación. Ocasionalmente los invernaderos son a prueba de insectos para proteger a las plantas.

Los invernaderos a menudo pueden duplicar la tasa de avancefitomejoramiento: en los programas de mejoramiento ya que permiten algunos trabajos como la cruce y/o multiplicación durante un invierno moderado o una estación tropical seca (estiaje). Es entonces cuando se posibilita contar con una generación de selección cada verano (o cada estación lluviosa en los trópicos), en lugar de cada estación alternada de cultivo. El invernadero es esencial también para la selección local de los cultivos de invernadero (tomate y pepino).

Dependiendo del cultivo a mejorar será necesario un invernadero que permita una variedad de funciones del club, como el cultivo de hospedantes y parásitos designados o no designados.

Ocasionalmente cada miembro activo podría requerir de su propio invernadero; en este caso la posesión de un invernadero privado podría llegar a ser criterio primario para ser admitido en un club, o para elegir el cultivo de ese club.

La mayoría de los problemas de los invernaderos se asocian con el calor y su control. Los invernaderos mantienen el calor debido a que el vidrio es transparente a la luz exterior que incide, pero opaco al calor interno que generan. La luz es absorbida por los objetos dentro del invernadero, para luego ser irradiada como calor que no puede escapar de él. En los trópicos y durante los veranos a menudo hay mucho calor. Y por las noches de invierno a menudo hay poco.

Es muy importante el enfriamiento de los invernaderos sobrecalentados. Nunca debe intentarse refrescar los invernaderos con una unidad de refrigeración, porque para que sea efectiva resulta prohibitivamente cara. El único método efectivo de enfriamiento es asegurar un buen flujo de aire que permita la evaporación de grandes cantidades de agua interior (La ventilación sin una evaporación masiva es poco eficiente, y conduce al desecamiento catastrófico del invernadero y sus plantas). El agua cuando se evapora absorbe mucho calor; ésto hace necesaria la ventilación debido a que el aire saturado debe removerse y ser reemplazado por aire más seco. La tendencia natural del aire caliente a elevarse proporciona ventilación natural. Así, el aire caliente y húmedo saldrá a través de ventilas en el techo, y el más fresco y seco entrará a través de las cercanas al piso. Todas las ventilas pueden cerrarse durante la noche o durante el tiempo frío, y en los invernaderos más eficientes se controlan automáticamente abriéndolas y cerrándolas con servomecanismos. La tasa de movimiento de aire puede incrementarse con extractores que también pueden ser controlados automáticamente. De la misma manera muchas de las superficies interiores, incluso las de las plantas, deben conservarse mojadas. En un invernadero pequeño ésto se logra fácilmente a mano, utilizando una manguera con una boquilla de aspersión fina; sin embargo la eficiencia aumenta si se utiliza un sistema de tubos y boquillas automáticos.

En el trópico normalmente no es necesario calentar los invernaderos, excepto a grandes alturas donde pueden ocurrir heladas nocturnas o durante los veranos moderados; sin embargo cuando las plantas están amenazadas por el peligro de daño por heladas, particularmente durante el invierno, es esencial calentarlos. Los problemas principales del calentamiento son el costo del combustible y el del sistema de calefacción, el cual debe garantizar buena distribución del calor, siendo un hecho que el aire caliente tiende a ser demasiado seco.

A menudo se sombrea los invernaderos para reducir la intensidad de la luz y por lo tanto el sobre calentamiento. En los trópicos los invernaderos con buena sombra y propiamente ventilados y húmedos proporcionan un microclima que se siente agradable al entrar en ellos; sin embargo también debe decirse que la sombra excesiva puede perjudicar a las plantas que requieren luz abundante. El método más común para sombrearlos consiste en pintar el vidrio por fuera con pintura blanca; es lo mejor. Debe aplicarse pintura emulsionable a base de plásticos (vinílica) que haya sido adecuadamente diluída con agua; esto puede hacerse con aspersoras equipadas con boquillas de aspersión fina. Inicialmente es mejor utilizar pintura altamente diluída, ya que así, de ser necesario, puede aplicarse una segunda capa; de otra forma la remoción de un exceso de pintura es difícil. Algunos invernaderos se sombrea con sistemas de persianas o rejillas que pueden ser controladas automáticamente, pero no los recomendamos porque son caros y complejos.

Los invernaderos pueden construirse con vidrio o plástico. Tradicionalmente las piezas de vidrio eran montadas en marcos de madera, pero actualmente es más común utilizar acero o aluminio. La madera ya no es preferible porque es cara y de escasa durabilidad debido a la pudrición; el acero es el material más fuerte pero hay que pintarlo para evitar que se oxide. Así, el aluminio resulta ser el mejor material para construir la estructura pues no se oxida, no se pudre, y no hay que pintarlo.

Los invernaderos de plástico consisten de grandes películas de polietileno que se restiran sobre un marco de metal ligero; su gran ventaja es que son muy baratos. Sin embargo es de corta durabilidad debido a que tiende a polimerizarse con el sol y a romperse con el viento; hay un plástico más caro, especial para invernaderos, que tiene un refuerzo de nylon y que dura más. Alternativamente puede

usarse el plástico barato, colocado como sandwich entre dos capas de alambre de malla de gallinero para protegerlo de daños por el viento.

El piso de los invernaderos es más importante de lo que cree la mayoría de la gente. Podría parecer que el concreto es más limpio y eficiente, pero de hecho el de tierra o grava proporciona mejor calor y control de la humedad, particularmente si se mantiene mojado.

Finalmente debemos decir algo respecto a la bancada. Las plantas grandes que crecen como enredadera, tales como los jitomates, pepinos y el frijol trepador, deben plantarse a ras del suelo. Cuando se siembran en el suelo mismo del invernadero pueden generar problemas de rotación, preparación del suelo y maltrato por los trabajadores; estos problemas pueden reducirse si se siembran en macetas colocadas en el piso. El trabajo es más fácil cuando las plantas se colocan en bancos a la altura de la cintura. Tradicionalmente las bancadas se construían con tiras de madera que facilitan el drenaje. Ahora pueden hacerse bancadas ligeras con marcos metálicos tubulares que posean una expansión terminal. Pero también se pueden construir bancadas más permanentes (y caras) de concreto. Para algunos cultivos pueden hacerse bancos inundables especiales, útiles para inocular con bacterias fitopatógenas gran número de macetas pequeñas.

Dependiendo de la naturaleza del cultivo a mejorar, puede ser necesario contar con un invernadero relativamente grande. Entre sus funciones más importantes mencionaríamos el mantenimiento de los parásitos y hospedantes designados, la preparación de inóculo, la polinización cruzada y la multiplicación de semilla. Si el cultivo en cuestión normalmente es de trasplante será también función importante del invernadero la producción de plántulas. Cuando el proceso de mejoramiento requiere del enraizado de varetas o del injerto de vástagos, será necesario un humidificador. (Ver macetas).

### **25.50. Investigación**

Durante el siglo XIX la gente hablaba de “los aficionados talentosos” que no eran científicos profesionales, pero que sin embargo se las ingeniaban para hacer descubrimientos científicos importantes. Con el aumento en este siglo de la burocratización de la ciencia, esos investigadores han sido eliminados de la investigación activa. Los clubs de fitomejoramiento les ofrecen la oportunidad de volver, y sus folletos la oportunidad de publicar. En verdad, la mera idea de un club de mejoramiento claramente significa un llamado a los aficionados talentosos.

Cuando por primera vez se llevó la vainilla (*Vanilla fragans*) de su centro de origen en México, a los trópicos del viejo mundo, creció muy bien pero no hubo rendimiento ya que sus flores nunca producían vainas. Ahora sabemos que eso se debió a la ausencia del insecto que naturalmente la poliniza. En 1841, en Reunión, el aficionado talentoso Edmond Alvius, que había sido esclavo, inventó cómo polinizar flores de vainilla con un palillo de dientes, método que se sigue utilizando hasta nuestros días. Cualquier miembro de cualquier club tiene potencial para hacer descubrimientos de importancia comparable.

La mejor investigación proviene de la identificación inicial del problema, luego vienen las ideas de cómo resolverlo, y después la comprobación de estas últimas. La identificación correcta del problema radica en hacerse las preguntas adecuadas, pues es frecuente que no se entienden las causas de un problema. Los aficionados a menudo aventajan a los profesionales en cuanto a originar nuevas ideas, porque están libres de gran parte del pensamiento rutinario y de la idea preconcebida. Ante todo la inteligencia sólo es la habilidad de resolver problemas nuevos, y no es necesario contar con entrenamiento científico para ser inteligente. Poner a prueba nuestras propias ideas puede ser por lo menos tan estimulante como resolver un juego o rompecabezas difícil, y ésto nos proporciona un sentido de satisfacción. Finalmente, debido a que toda el área de resistencia horizontal y selección masal recurrente ha sido tan desafortunadamente olvidada durante este siglo, hay muchos descubrimientos esperando que alguien los realice.

Es imposible predecir el éxito en investigación, y lo mejor que podemos hacer aquí es señalar áreas que probablemente sean fructíferas.

Una de las áreas más promisorias es la búsqueda de nuevos métodos para vencer el problema de la distribución por contagio en algunas poblaciones de selección. Mi amigo Ivan Buddenhagen encontró una solución simple a la distribución contagiosa de la chicharrita del maíz (*Cicadulina spp*) que vectoriza el virus rayado en Africa (Capítulo 20). Ponía dos hombres para que arrastraran horizontalmente una garrocha que iba doblando apicalmente a las plantas, lo que hacía que todas las chicharritas se dispersaran y usualmente volvieran para ocupar una planta diferente. Haciendo ésto todos los días, en poco tiempo todas las plantas estaban infectadas con el virus.

Otra área que necesita investigarse es la polinización cruzada aleatoria en cultivos autofecundados. El uso de gameticidas masculinos es de importancia especial, particularmente en dicotiledóneas autofecundadas. Esto involucra tanto la experimentación con nuevas sustancias como la identificación de los mejores momentos y dosis de aplicación. También amerita ser investigado el uso de abejas para la polinización cruzada al azar, y posiblemente otros insectos.

Es el área general de los problemas de distribución espacial de los parásitos donde probablemente más se necesita que la investigación sea puramente pragmática. Los científicos aficionados a menudo surgen con soluciones ingeniosas que difícilmente podrían ocurrírsele a un profesional. No hay porque ser modesto en cuanto a proponer una posible solución para un problema; asimismo, no se dude en consultar a un experto; discuta sus problemas con él. Muchos gobiernos emplean profesionistas con la única función de asesorar a los productores; por lo tanto, no se sienta usted culpable cuando demande parte del tiempo de esos profesionistas; para eso están.

### **25.51. Jurado del club**

El jurado es un panel electo por los miembros del club, responsable de hacer la selección final entre las plantas individuales que fueron tamizadas y enviadas por los miembros activos. A cada planta se le dará un número para mantener anónimo el nombre del miembro que la seleccionó; de esta manera será evidente el manejo justo del proceso. Así, el jurado seleccionará las mejores 10-20 plantas, sea como (i) progenitores de la siguiente generación de selección, o como (ii) nuevos cultivares potenciales. Se asume que esas selecciones, usualmente hechas en base al rendimiento y calidad, tienen los mejores niveles disponibles de resistencia horizontal. Debe recordarse que estas plantas no debieron haber sido protegidas con plaguicidas, y que por lo tanto pudieron haber sufrido severas interferencias parasitarias. Por lo tanto todas las evaluaciones efectuadas deben considerarse *relativas*, ya que se seleccionaron las mejores plantas independientemente de lo mal que se veían.

Cada selección del jurado se convierte en una línea, por lo que se etiqueta de acuerdo a un código que nunca habrá de cambiarse a menos que se convierta en un cultivar registrado bajo nuevo nombre. Todo código: códigos de o etiqueta debe indicar el nombre del club, el año de selección y el número de clon o línea. Así, CFCh 9520 significará "Club de Frijol de Chapingo, 1995, número de selección 20". Adicionalmente el jurado del club: jurado del debe anunciar y registrar el nombre de los miembros activos que produjeron lo que el jurado seleccionó, ésto con el propósito de saber quiénes se benefician con el reparto de regalías.

### **25.52. Jurados de selección (de cultivares)**

En toda organización descentralizada cualquier miembro activo puede enviar una o más de sus mejores selecciones al jurado. Dependiendo del cultivo del club, normalmente un jurado puede tener dos funciones; la primera escoger a los progenitores de la siguiente generación, y la segunda sería escoger algunas de las mejores selecciones para estudios posteriores como nuevos cultivares potenciales.

### **25.53. Laboratorio**

Un laboratorio de club debe consistir de dos áreas totalmente separadas, respectivamente llamadas laboratorio de campo y laboratorio aséptico. El laboratorio aséptico (“limpio”) debe contar con un microscopio de disección y un microscopio compuesto, así como equipo para el cultivo de hongos y/o bacterias. El laboratorio de campo sería utilizado para la selección postcosecha y contará con equipo para la valoración de plantas individuales, almacenamiento de semilla, etc. Este laboratorio muy probablemente producirá bastante polvo, por lo que debe tomarse precaución para que el polvo no contamine el laboratorio aséptico.

### **25.54. Limpieza de semillas**

Las semillas recién cosechadas a menudo vienen acompañadas de ciertas cantidades de residuo vegetal, suelo y otras basuras. Es necesario limpiarlas antes de contarlas, pesarlas, seleccionarlas, etc. Los laboratorios de valoración de semillas tienen todo tipo de equipo para cada uno de los propósitos anteriores y hay catálogos disponibles. Si cerca de usted existe un laboratorio de semillas, los empleados probablemente orgullosos de su laboratorio se sentirán muy complacidos en mostrárselo, informarle de su experiencia práctica con los diferentes tipos de equipo, permitirle consultar sus catálogos y así sucesivamente.

### **25.55. Lupino**

Es de interés especial el programa de mejoramiento del lupino de Wallace Cowling quien trabajó en Perth, del Departamento de Agricultura de Australia Occidental. Wallace comenzó su programa en 1982, y lo basó en las nuevas teorías de la resistencia horizontal. Deliberadamente decidió mejorar al lupino (*Lupinus augustifolius*) por resistencia horizontal. El cultivo era aun silvestre durante los años de la década de 1960, cuando comenzó a ser domesticado en Australia. Después de diez años de mejoramiento poblacional de esta planta autofecundada Cowling había obtenido aumentos en la resistencia a enfermedades y rendimiento, y reducciones en el contenido alcaloide de las semillas, logrando una nueva variedad lista para ser liberada.

### **25.56. Macetas (y otros medios de producción de plántulas)**

Cuando el mejoramiento involucra un cultivo que tiene que ser transplantado, mucho se puede decir respecto al uso de macetas y cepellones de varios tipos y materiales. Se puede transplantar todo un cepellón orgánico (materia orgánica de la llamada peat) que incluye la plántula, para que éste decaiga en el suelo permitiendo que las raíces salgan de él y crezcan libremente. Algunos plásticos biodegradables, conformados como bloques fibrosos (cepellón artificial) actúan de la misma forma. Los materiales para hacer cepellones orgánicos y bloques se venden comercialmente en forma de “capas o rollos” que pueden ser cortadas a un tamaño conveniente en el campo. También se dispone comercialmente de “sábanas” y rollos de “macetas” de plástico para cultivar plántulas, pero en este caso la plántula debe extraerse del plástico antes del trasplante definitivo.

Una ventaja de las capas para hacer bloques o cepellones pequeños es que pueden alimentar una máquina automática sembradora: automática. Cuando las semillas se siembran por decenas de millares en cepellones individuales, una de estas máquinas puede ahorrar cientos de horas de trabajo.

Las bolsas de plástico transparente resultan excelentes “macetas” para plantas mayores como los árboles jóvenes; sólo que debe hacerseles agujeros en el fondo para permitir el drenaje. Cuando sus

lados están expuestos a la luz, en la parte interna crecen algas verdes cuya fotosíntesis suplirá de oxígeno adicional al suelo dentro de ellas.

Muchos horticultores prefieren las viejas macetas de barro porque son porosas y permiten aereación considerable de la raíz y porque pueden ser usadas muchas veces; sin embargo son caras y se rompen fácilmente. Las de plástico normalmente no se vuelven a usar y requieren de una mezcla mucho más ligera de suelo, de tal forma que el aire pueda penetrar a las raíces; pero son baratas, especialmente si se van a necesitar decenas de millares de ellas. En general los cepellones orgánicos y los blocks de plástico biodegradable son mejores.

### **25.57. Maquinaria agrícola**

La maquinaria agrícola que se necesita normalmente no excede las necesidades normales de una pequeña granja o predio; esto significa que debe contarse con un tractor que tenga los implementos necesarios para arar, sembrar, nivelar, cultivar y cosechar el cultivo bajo mejoramiento. Algunos clubs pueden requerir de una máquina especial llamada “sembradora de precisión”, para plantar familias en lotes familiares o de espiga por surco; la decisión puede valer la pena, aunque el precio de esa maquinaria usualmente es alto. También pueden ser útiles las máquinas para trillar plantas individuales. (ver selección de laboratorio).

### **25.58. Medida de la resistencia horizontal, su relatividad**

Cuando se está seleccionando por resistencia horizontal es probable que toda la población de tamizado se vea horrible, particularmente en las primeras generaciones; en ese caso sólo deben seleccionarse las plantas menos feas independientemente de lo horrible que parezcan. La apariencia de esas plantas tiene poca relación con la de las generaciones futuras que contarán con mayores niveles de resistencia horizontal, o con los cultivos futuros en campos del productor que estén libres de interferencia parasitaria y de anarquía biológica (Capítulo 14). Por lo tanto, en el momento de hacer el tamizado todas las evaluaciones deben ser relativas a la población de selección como un todo, más que a estándares absolutos de ausencia de parásitos.

### **25.59. Mejoramiento en masa (masal)**

Es un método para mejorar plantas autofecundadas en el que es mejor hacer selección tardía que selección temprana. Consiste en permitir, durante varias generaciones, la autopolinización de una gran población con variabilidad sin hacer ninguna selección; así se obtiene una población muy mezclada que resulta bastante representativa de la original, pero en la cual cada individuo tiene un considerable grado (alto) de homocigosis. Posteriormente se hace el “tamizado” en esta población relativamente homocigótica. Por varias razones técnicas esta selección tardía es más eficiente que la selección temprana que se aplica en el fitomejoramiento más tradicional. En general es preferible un método alternativo de selección tardía que involucra a la descendencia de una sola semilla.

### **25.60. Mejoramiento por pedigrí**

Es el método tradicional de mejoramiento entre los miembros de la escuela mendeliana. Típicamente involucra caracteres monogénicos de una planta primitiva que son transferidos por retrocruza a un buen cultivar. Este método es de interés limitado para los clubs que trabajan con resistencia horizontal.

### **25.61. Mortalidad excesiva (Screening overkill) de la población de selección**

Durante los trabajos de tamizado de las primeras generación existe peligro considerable de que la población de selección resulte tan dañada que se destruya completamente. En consecuencia puede ser buena idea inocular la población inicial (de tamizado) con un solo parásito importante o dos, y después agregar una especie parásita adicional al proceso de inoculación, en cada una de las siguientes generaciones de selección.

### **25.62. Multiplicación clonal**

Para un cultivo vegetativamente propagado cada estación se multiplican, con propósitos de prueba, los clones que fueron seleccionados. Las pruebas más importantes se diseñan para que un nuevo cultivar potencial revele sus cualidades. Esto incluye ensayos de campo, en los terrenos del club, para medir la resistencia, la adaptabilidad agronómica, el rendimiento y la calidad del producto cosechado en ausencia de plaguicidas. Cualquier clon que sobrevive las pruebas se envía a la autoridad competente para su revaloración, posible aceptación, y registro como cultivar certificado y beneficiario de regalías.

### **25.63. Multiplicación de cultivares**

Cuando un club cuente con un nuevo cultivar potencial éste material debe de ser considerado como “material inicial o fundador”, por lo tanto debe de ser multiplicado. Ese material, en principio, es necesario para enviarse a registrar ante las autoridades correspondientes como candidato a regalías. Si el material es aceptado y registrado será necesario contar con material propagativo para enviarse a las organizaciones productoras de semilla, concesionadas por el club para reproducir y vender sus cultivares.

La multiplicación: multiplicación de inicial es un proceso a menudo complicado que requiere de habilidad para no correr el riesgo de que el material primario se contamine con material vegetal extraño o parásitos de diferente naturaleza. Es más, todo material inicial casi seguramente será portador de diferentes tipos de parásitos como resultado de su exposición a ellos durante la selección.

Dependiendo del cultivo en desarrollo, cada club puede contratar organizaciones especializadas que cuenten con habilidad en el manejo y producción de material fundador y material propagativo. (Ver: purificación del material fundador).

### **25.64. Nuevos cultivares potenciales**

Un club puede comenzar a producirlos durante estados iniciales del programa de mejoramiento, sin dejar de tomar en cuenta que la mayoría de los nuevos cultivares potenciales no sobrevivirán los últimos ensayos de campo, en los que son comparados contra los mejores cultivares comerciales disponibles. Los miembros de un club no deben permitirse así mismos involucrarse emocionalmente con sus propias selecciones, porque es muy probable que se frustren. Aparte esta precaución, es mejor contar con muchos nuevos cultivares potenciales que con pocos. Y no debe olvidarse la importancia de la inmunidad poblacional, la interferencia parasitaria y el control natural y biológico (Capítulo 14) que, en conjunto, sugieren que tal vez podríamos necesitar mucha menos resistencia horizontal de la que se piensa.

### **25.65. Número de plántulas de selección**

Dentro de ciertos límites cada ciclo de mejoramiento debe incluir tantas plántulas como sea posible, usualmente no menos de 100,000 por cada generación de selección. El límite superior es interpuesto por las instalaciones del club y el número de sus miembros activos.

### **25.66. Papa, calidad del tubérculo de**

La calidad de un tubérculo se juzga por la apariencia, las cualidades de cocción, y por varias pruebas de laboratorio.

La apariencia del tubérculo se valora en base al tamaño, forma, profundidad de sus yemas (“ojos”), color y textura de la cutícula (esto es, lisa o rugosa), color interno y uniformidad.

La calidad de cocción se valora según los tubérculos hayan sido hervidos, hechos puré, horneados, asados, desmenuzados, dorados, o servidos en frío como ensalada.

Algunas pruebas sencillas de laboratorio incluyen el peso específico, contenido de almidón, proteína y vitamina C, etc. Para estas pruebas el club debe tener su propio laboratorio (sencillo), o puede enviarlos a un laboratorio comercial o nacional. Debe consultarse a los expertos.

### **25.67. Papa, inoculación de plántula**

La siguiente descripción es necesariamente muy breve; para mayores detalles el especialista o miembro técnico de un club de mejoramiento de papa debe consultar al centro científico adecuado.

Cuando las plántulas tienen unas cuantas semanas de edad puede ser deseable inocularlas con uno o más parásitos antes de hacer la selección; sin embargo el tamizado no debe de ser tan severo ya que muchas plantas, cuando son muy jóvenes, tienen niveles relativamente bajos de resistencia horizontal, y muchas de las que podrían mostrar niveles adecuados de resistencia en la madurez serían innecesariamente eliminadas.

Cuando es posible eliminar la mitad o un poco más de las plántulas se logran ahorros considerables en el siguiente trabajo (transplante y tamizado de campo). Cuando no es así se tienen que seleccionar mayores cantidades.

Actualmente no existe un país en el mundo libre del tizón de la papa (*Phytophthora infestans*), por lo que la resistencia horizontal a esta enfermedad será un criterio primario de selección de todo club mejorador de papa. Se pueden obtener grandes cantidades de esporas del patotipo designado de tizón mediante el corte de hojas enfermas en plantas del clon designado, manteniéndolas después, durante 24 horas, en cámara húmeda. Después de ésto las hojas se enjuagan muy bien con agua destilada, dejándola reposar hasta que germinan las esporas y producen zoosporas. Para observar ésto se necesitará un microscopio compuesto, y si se desea pueden contarse con un hematocímetro. La suspensión de zoosporas se debe asperjar durante la tarde en las plántulas previamente mojadas, manteniéndolas dentro de una tienda de plástico para que conserven la humedad; la tienda puede ser retirada en la mañana siguiente. Durante todo el proceso debe utilizarse equipo limpio, de vidrio o plástico, evitando el uso de metal, particularmente las boquillas de bronce. La tienda debe permanecer fría durante la noche (12-15° C), por lo que al respecto puede ser útil un aire acondicionado portátil.

Los siguientes más importantes parásitos de la papa, en los países templados, son los virus. La inoculación con virus no debe iniciarse hasta que cerca del 50% de las plántulas sobrevivan a la inoculación con tizón. El virus enrollador de la hoja es probablemente el más importante, pero hay ciertas dificultades para trabajar con este parásito. La inoculación requiere de áfidos (*Myzus persicae*) que deben ser previamente criados en hojas enfermas. Asumiendo que las plántulas se sembraron a gran densidad, los áfidos ápteros podrán caminar de planta a planta, y será relativamente fácil obtener un 100 % de infección (las plantas que aparentemente escaparon a la infección pueden ser resistentes a los



pulgones y no deben descartarse a la ligera). Sin embargo es probable que los síntomas sean mucho más severos durante la primera generación vegetativa. El tamizado por resistencia a este virus, por lo tanto, puede requerir un ciclo de mejoramiento de dos años.

El virus “Y” de la papa, también conocido como “leaf drop streak” es el siguiente más importante. También es transmitido por *Myzus persicae*, pero puede ser transmitido por la savia. Lo anterior significa que las plantas pueden inocularse frotando una hoja con polvo de carborundum previamente mojado en extracto foliar enfermo. La inoculación con este virus sólo debe iniciarse cuando el 50% de las plántulas sobrevivan a las inoculaciones tanto del tizón, como del virus enrollador de la hoja. Hay otros virus de la papa que deben ser inoculados en todas las plántulas, pero durante las últimas generaciones de selección.

En los países tropicales y subtropicales las enfermedades virosas importantes no son causadas por virus verdaderos. La enfermedad conocida como “ahusado” es causada por un viroide (virus muy primitivo) que es transmitido por semilla verdadera; y la “punta morada” que es causada por un organismo micoplasmoide (forma primitiva de bacteria). El ahusado de la papa es la única enfermedad transmitida por semilla verdadera, por lo que deben tomarse precauciones cuarentenarias cuando se importa la semilla hacia un país libre del viroide.

Muchas de las “enfermedades del tubérculo” (varios nemátodos, hongos y bacterias) pueden ser inoculadas agregando cultivos de ellas al suelo de la maceta o cepellón; dicho suelo, por lo tanto, debe ser mezclado uniformemente. Tómese nota que la resistencia vertical ocurre contra algunos de esos parásitos (por ejemplo el nematodo dorado *Globodera rostochiensis*), por lo que para cada uno de ellos se requerirá un patotipo designado.

El causal de la marchitez bacteriana (*Pseudomonas solanacearum*) es probablemente el parásito “del suelo y del tubérculo” más importante en los trópicos, pero no tiene resistencia vertical.

### **25.68. Papa, multiplicación rápida**

Normalmente las papas se multiplican plantando tubérculos en lugar de semilla; sin embargo esto puede resultar un proceso agonizantemente lento cuando hay disponibles sólo unos cuantos tubérculos de un nuevo clon prometedor, pero se puede lograr una multiplicación muy rápida a partir de varetas. Para ello, los 3-5 cm terminales de tallo con crecimiento activo se cortan con una navaja muy afilada y se llevan al humidificador; estas varetas echarán raíz en alrededor de 10 días. Después de esto se plantan en macetas que en poco tiempo originarán nuevas varetas. Mientras tanto las plantas originales habrán producido tallos nuevos, de tal suerte que el número de varetas que produce cada planta se duplica cada “cosecha”, porque las dos yemas axilares inmediatamente inferiores a cada punto de crecimiento son estimuladas a crecer cuando se remueve el punto de crecimiento. Una vez que se cuenta con más varetas enraizadas que las que podemos manejar con eficiencia, las más viejas se transplantan al campo donde producirán tubérculos.

### **25.69. Papa, polinización de**

El objetivo de polinizar plantas de papa es producir semilla verdadera mediante la cruce de las mejores selecciones del tamizado del verano anterior. Cada progenitor de semilla puede funcionar como macho y hembra ya que las flores son hermafroditas al tener órganos masculinos y femeninos.

El ovario se encuentra en la base de la flor y tiene un pequeño tallo, el estilo, que termina en un pequeño nudo llamado estigma. El estigma es la superficie receptora del polen. Los órganos masculinos, llamados estambres; consisten de anteras productoras del polen que son de color amarillo brillante. Las anteras descansan en la punta de talluelos que rodean al estilo. El estilo y el estigma, que son verdes, sobresalen a las anteras.

Las flores destinadas a producir frutos deben emascularse para evitar todo riesgo de autofecundación. La flor se emascula un día antes de su apertura natural cuando los pétalos están totalmente formados pero aun no se separan. Para separar los pétalos y exponer el estilo y los estambres se usa una aguja de disección. Los estambres se parten doblándolos en sentido opuesto al estigma, permitiendo que caigan al suelo. La flor emasculada será reconocida fácilmente al siguiente día porque no tiene anteras; sus pétalos estarán totalmente abiertos y su estigma fértil y listo para recibir el polen.

Las flores que producirán el polen se dejan abrir naturalmente; se reconocen fácilmente por la presencia de las anteras amarillas. Toda la flor debe ser arrancada y llevada a las flores emasculadas para polinizarlas. Entonces se toma una antera con unas pincillas, y con su superficie polinosa se toca el estigma. Este mostrará visiblemente una pequeña mancha de polen amarillo. Las células de polen son microscópicas, por lo que esa pequeña mancha contendrá miles de células. Una antera proporciona suficiente polen para varias flores emasculadas.

No es necesario etiquetar las flores polinizadas o registrar la identidad del padre; sin embargo toda flor abierta que tenga estambres debe eliminarse al terminar el día; ésto permitirá estar seguros que todo frutillo sobreviviente es el resultado de la polinización artificial. También es buena idea anotar los clones que donaron su polen cada día, de tal forma que cada uno de ellos esté representado proporcionalmente en todo el proceso de polinización cruzada. Todos los clones de progenitores femeninos también deben quedar representados en forma más o menos igual; ésto nos asegurará que la base genética no es demasiado estrecha.

### **25.70. Papa, producción de semilla verdadera**

En varios países se dispone de todo el invierno para este trabajo. Los frutos de la papa normalmente tienen entre 100 y 300 semillas; por lo que se necesitarán alrededor de 2500 frutos para producir medio millón. No estoy seguro de cuántos frutos puede producir un injerto de papa antes de su declinación fisiológica, pero probablemente son 50; si este fuera el caso, un invernadero de producción debe contener unos 50 progenitores de semilla (que producirían los 2500 frutos), cuando la meta sea producir medio millón de ellas. El fruto se parece a un tomate pequeño, verde aun estando maduro, aunque puede adquirir un tinte rojizo o bronceado. La madurez está determinada por un ligero reblandecimiento del fruto y posiblemente por un pequeño encogimiento con el correspondiente arrugamiento de la cutícula. En caso de duda de la madurez, deje los frutos en la planta por una o dos semanas más.

Los frutos maduros deben ser ligeramente macerados en una licuadora con agua (el macerado excesivo puede romper las semillas). La mezcla resultante debe dejarse fermentar por 24 horas en una cubeta de plástico limpia. El caldo resultante, diluido con mucha agua limpia, se vierte a través de un juego de tamices para suelo, en el que cada tamiz tiene una malla más fina que el que está encima; de esta manera las partículas mayores se quedan en el tamiz superior y las más pequeñas se depositan en el basal. Las semillas serán encontradas en uno de los tamices intermedios, de donde pueden tomarse para ser extendidas en papel absorbente para que se sequen. La fermentación romperá su dormancia y en caso de ser necesario germinarán inmediatamente. Cuando tienen que conservarse para el futuro deben ser almacenarse en refrigeración a 4° C, en contenedor sellado con sílica gel dentro de él.

### **25.71. Papa, progenitores de semilla de**

Los progenitores de papa, sean los padres originales o los 10-20 clones seleccionados entre la población de selección al final del proceso, deben injertarse en portainjertos de tomate. Debido a que los vástagos (la parte injertada) no llegan a formar tubérculo, pierden su hábito “determinado” (es decir,

enano) y crecen indefinidamente hacia arriba, como enredadera, produciendo una inflorescencia con varias flores cada unos cuantos centímetros. Este tallo debe sustentarse con cuerdas y en caso necesario dejarse crecer hasta el techo del invernadero. Así no habrá escasez de flores.

Un injerto está compuesto por un vástago y un portainjertos. El tomate portainjerto debe ser una plántula de alrededor de 15 cm de altura, con un grosor similar al del vástago (de papa) por injertar. El tallo del tomate se corta transversalmente, unos 5 cm por encima de la superficie del suelo, y después se divide verticalmente hacia abajo unos 2.5 cm, utilizando una navaja nueva de afeitar, muy filosa. Es en este momento cuando se corta el vástago a injertar (proveniente de una planta progenitora) consistente de un brote vegetativo en crecimiento activo (no debe ser un brote floral), cortado a unos 2.5 cm de la punta. A continuación se corta en forma de cuña y se encaja en el tallo dividido del portainjertos. El injerto todo se envuelve con cinta especial (para injertar) llevando la nueva planta a un humidificador hasta que se inicia el crecimiento del vástago, lo que ocurre en unos cuantos días. El producto final deberá trasplantarse a una maceta grande cuando aun está en estado relativamente joven, y recibirá condiciones óptimas de crecimiento.

### **25.72. Papa, pruebas de rendimiento**

El rendimiento de papa se mide por el peso total de los tubérculos provenientes de una planta originada por propagación vegetativa. Los tubérculos más ligeros y los más pesados deben compararse contra los de peso promedio; entre mayor sea la uniformidad mejor es la variedad. Normalmente sólo se puede evaluar el rendimiento en forma precisa a escala poblacional y en campos de los productores. Tanto la medida precisa del rendimiento como su comparación con el de otros cultivares requieren ensayos de campo estadísticamente controlados. Debe consultarse a los expertos.

### **25.73. Papa, selección de tubérculos almacenados**

Podría ser necesario seleccionar tubérculos por resistencia a plagas y pudriciones de almacén, de los cuales la palomilla de la papa es la plaga más perjudicial en muchas áreas. En este caso también es válido el criterio de la selección local. Cuando tengan que almacenarse grandes cantidades de papa bajo condiciones especiales de temperatura y control atmosférico, el tamizado de la papa en almacén debe efectuarse bajo esas mismas condiciones.

### **25.74. Patotipos designados**

El patotipo designado es aquel que acopla gene a gene al hospedante designado. Debe ser cultivado en su hospedante designado durante toda la duración del programa de mejoramiento ya que se utiliza para inocular cada generación de selección. En esto consiste la técnica del patotipo único, la cual asegura que todas las resistencias verticales sean acopladas durante el proceso de selección, independientemente de cómo se recombinen los genes de resistencia vertical.

### **25.75. Pasteurización del suelo**

El suelo que se utiliza para la germinación y para el desarrollo de plántulas usualmente debe ser tratado si se quiere eliminar los fitoparásitos indeseables, especialmente el “damping off” (un hongo), y los insectos masticadores de raíces. Estos parásitos pueden destruir las plántulas demasiado jóvenes y delicadas antes de que se presente cualquier tipo posible de resistencia.

La mayor parte de los suelos se pasteurizan calentándolos a aproximadamente 80° C; esto mata a la mayoría de los fitoparásitos pero posibilita que muchos otros microorganismos benéficos sobrevivan; la ventaja del suelo pasteurizado es que puede utilizarse tan pronto como se enfría. Por otra parte, para

ser esterilizado el suelo se calienta hasta el punto en que se mata todo lo que contiene aplicando temperaturas alrededor de los 120° C o aplicando algún esterilizante químico; por esa razón debe ser guardado por lo menos tres semanas antes de usarse, para permitir que los microorganismos benéficos lo colonicen

### **25.76. Peligros de polen extraño (indeseado)**

Las poblaciones vegetales que proveerán los progenitores de la siguiente generación de selección deben aislarse del polen de la misma especie originado por cultivos cercanos o por plantas temporeras que sobrevivieron un cultivo anterior. Este polen puede ser dañino de dos maneras; sea mediante la introducción de genes de resistencia vertical que no sean acoplados por el patotipo designado, o sea porque introduzcan susceptibilidad en una población de selección que ya haya acumulado resistencia horizontal considerable.

Hay tres métodos para lograr el aislamiento. La selección de cada método depende en mucho del cultivo, de la naturaleza de sus flores y del tipo de población (selección o cruce) en el que ocurre la polinización. El primer método consiste en una protección física; es decir, las flores que habrán de ser alofecundadas se envuelven en bolsas de plástico o papel para protegerlas del polen del aire y del de los insectos polinizadores. El segundo se basa en la distancia; así, el cultivo se aísla y se sitúa tan lejos de otras plantas de la misma especie que la polinización es virtualmente imposible. El último método se basa en el aislamiento en el tiempo; es decir, la población que va a ser alofecundada se cultiva durante aquella parte del año en la que no hay plantas de la misma especie que puedan producir polen. Esta última técnica, sin embargo, puede entrar en conflicto con las necesidades de hacer una selección local (ver surcos separadores y circundantes).

### **25.77. Polinización cruzada (“alofecundación”)**

La polinización cruzada es rasgo fundamental de la selección masal recurrente porque asegura que las selecciones finales de cada generación de selección (las que se convierten en progenitores de la generación siguiente), compartirán sus genes al máximo. Por eso es que cada selección final se alofecunda con todas las demás al azar, o mediante cruces controladas.

En el caso de las plantas heterógamas la alofecundación ocurre en forma natural por lo que la generación de selección al mismo tiempo es la generación de cruces; sin embargo debe realizarse una selección negativa para eliminar el polen “intruso” mediante la remoción de plantas o flores, según el caso. Esto asegurará que sólo las selecciones finales se conviertan en padres y madres.

Algunas plantas autógamas como los cereales pueden ser convertidas a alógamas mediante el uso de gameticidas masculinos. Otras autógamas deben ser alofecundadas a mano, lo que usualmente obliga a que la emasculación sea necesaria. Las técnicas de polinización manual cambian de especie a especie, por lo que debe consultarse a los expertos. Ocasionalmente podría ser posible el uso de insectos polinizadores para alopolinizar aleatoriamente las especies autofecundables.

Debe tomarse en cuenta que cuando las plantas son heterocigóticas, el hecho de que se dé una cantidad limitada de auto polinización no es limitante. Esto se debe a que las plantas heterocigóticas inducen considerable variabilidad en su progenie, incluso cuando se autopolinizan.

Cuando los padres originales son líneas puras la primera generación no exhibirá variaciones y no podrá utilizarse para la selección; pero la segunda generación tendrá considerable variabilidad, incluso si se autopoliniza, por lo que podrá ser usada para la selección. Sin embargo de todas formas es a menudo necesaria una generación de multiplicación para producir suficientes cantidades de semilla y poder generar la primera población de selección.

Durante la primera cruce todos los progenitores originales susceptibles al patotipo designado (por inactivación de la resistencia vertical) se cruzan o combinan de todas las maneras posibles. Esto significa que cada planta debe ser cruzada con cada una de las demás para producir aproximadamente el mismo número de semillas por cada cruce. En particular no es muy importante saber cual progenitor es el padre o la madre en una cruce específica; el objetivo es que todo progenitor esté representado equitativamente en la población a mejorar.

### **25.78. Polinización cruzada de cereales**

La polinización puede hacerse en el campo, durante la generación de selección o en el invernadero mediante una generación especial de cruce (separada).

Son más fáciles las cruces en el campo; además se producen en número mucho mayor, lo cual es recomendable. Pero antes de la anthesis se debe efectuar una selección negativa para asegurarse de que ninguna planta indeseable produzca polen. Cuando el proceso de fitomejoramiento se aplique a un cereal autógeno será necesario usar un gameticida masculino que induzca entre el 60-80 % de polinización cruzada, lo cual es bastante adecuado.

La polinización en invernaderos es más efectiva, sólo que requiere de mucho trabajo delicado; y debido a que el número de cruces que se puede realizar es relativamente bajo, muy probablemente el método puede requerir de una generación de multiplicación. Las técnicas disponibles para emasculas las especies de cereales son específicas, por lo que debe consultarse a los expertos.

### **25.79. Polinización cruzada de leguminosas de grano**

Aun no se conocen gameticidas satisfactorios para las leguminosas. Lo anterior significa que todas las alofecundaciones deben hacerse a mano. Esta es la parte más laboriosa de todo el ciclo de fitomejoramiento y la etapa en que todos los miembros activos deben hacer su parte.

Los pétalos deben ser abiertos un día previo a su apertura natural para eliminar los estambres, usando pinzas finas. Así, cuando al siguiente día la flor se abre en forma natural, su estigma es artificialmente fecundado con una antera madura o con un fino pincel de pelo de camello conteniendo el polen. Algunos mejoradores etiquetan las flores polinizadas, hábito inducido por los fitomejoradores por pedigrí; pero la etiqueta no es necesaria considerando que todas las flores no emasculadas fueron removidas. Cada nuevo ejote o vaina será el resultado de la alofecundación. Debe tenerse cuidado para asegurar que cada progenitor esté igualmente representado en las cruces, pero incluso esto no es absolutamente necesario; si ocasionalmente y por accidente se incluye una flor autopolinizada, no será muy importante.

La polinización requiere un ambiente húmedo, por lo que se recomienda que el piso del invernadero se mantenga mojado durante este trabajo y que las plantas ya polinizadas se asperjen con una tenue capa de agua. Al terminar la tarea diaria todo el invernadero debe ser bien regado, pues cuando las tasas de polinización fallida son altas deben atribuirse a una humedad poco adecuada. Algunos mejoradores prefieren embolsar con bolsillas de plástico cada una de las flores polinizadas; pero esa debe ser una de las últimas opciones considerando que esto requiere de aun más trabajo. Los invernaderos se secan mucho menos rápidamente durante la noche, por lo que se recomienda hacer este trabajo por la tarde o al anochecer, siempre y cuando la especie involucrada no esté obligada a que su polinización se deba efectuar a determinada hora del día.

Es importante sentirse a gusto durante el trabajo de polinización, tener luz apropiada y una cómoda silla o banquillo. Las plantas de hábito determinado deben crecer en bancos o acarrear a bancos de trabajo durante la polinización; las trepadoras normalmente se siembran en macetas en el

suelo para que trepen por cuerdas o espalderas; en este caso deben utilizarse asientos de altura variable para polinizar las flores de los diferentes niveles de la enredadera.

### **25.80. Polinización cruzada natural**

Todas las plantas autofecundadas, como las leguminosas de grano, tienen un cierto grado de alofecundación cuyo porcentaje natural normalmente es mayor en climas cálidos. En algunos frijoles, por ejemplo, puede llegar al 3-5% en los trópicos, pero la polinización natural puede ser aprovechada con ahorros considerables en mano de obra mediante el uso de un gene marcador (por ejemplo un gene que produzca semillas negras, cuando se está mejorando frijol de semilla blanca). En las especies polinizadas por abejas a menudo la tasa de polinización cruzada puede aumentarse colocando colmenas en medio de la población de cruza.

### **25.81. Problemas, errores y accidentes**

Ocasionalmente las cosas pueden ir muy mal en un programa de fitomejoramiento y en esos momentos es muy fácil desesperarse. De hecho todos los errores y accidentes son virtualmente reparables, y lo peor que puede pasar es perder el tiempo. Algunos de los accidentes más alarmantes son los siguientes.

1. Aparición de una nueva especie parásita. Cuando ésto sucede y la población de selección es susceptible puede haber varias explicaciones. Pudo haberse tratado de una estación súmamente rara en la que un parásito normalmente inocuo y desconocido se volvió temporalmente peligroso. O pudo suceder que la población de selección resultó anormalmente susceptible a un parásito sin importancia que de otra manera hubiera permanecido en el anonimato. O pudo haber habido una manifestación genuina de vulnerabilidad del cultivo, en el sentido que accidentalmente se introdujo una especie parásita exótica al agroecosistema local. Esto último puede ser un revés, pero no es un desastre. Si el nuevo parásito continúa siendo peligroso simplemente hay que acumular resistencia contra él.
2. Pérdida del patotipo designado. Algunas veces muere el cultivo del patotipo designado, por lo que ya no se cuenta con inoculante para la población de selección. Lo primero a recordar es que cualquier patotipo designado puede recobrase; simplemente cultive al hospedante designado en el campo y pronto será infectado por el patotipo designado. Alternativamente es permisible utilizar cualquier patotipo que acople a cada uno de los progenitores originales. Lo segundo a recordar es que no es demasiado importante perder una estación de selección contra una especie parásita; un posible seguro contra esta pérdida es convenir el uso de los mismos patotipos designados con algún club vecino, ya que es poco probable que dos clubs pierdan simultáneamente el mismo patotipo designado. También puede designarse como patotipo a algún parásito que en forma rutinaria se cultiva en una estación experimental, de tal suerte que los científicos amistosos de esa estación o campo puedan ayudar.
3. Pérdida del hospedante designado. Cuando se utiliza como hospedante designado un cultivar bien conocido, reservas de sus semilla siempre están disponibles aun cuando sólo las posea el banco de germoplasma de un campo experimental. Sin embargo ningún club debe tener dificultades para mantener su propia reserva de hospedante designado, o material propagativo. Cuando se utiliza un hospedante muy poco conocido y se pierde, puede designarse a otro nuevo; la única limitante es que su patotipo acoplante debe acoplar a todos los progenitores originales de la población de selección.
4. Sospechas de la operación de resistencia vertical en la población de selección. Esto puede ser muy alarmante pero no debe producir pánico. Tómese una o dos de las plantas sospechosas y

crúcense con una planta susceptible para ver cómo segrega la progenie; si hay variabilidad continua la resistencia es horizontal, si se presenta una proporción mendeliana hay una o más resistencias verticales operantes en la población de selección. Si se trata de una resistencia vertical cualitativa (no cuantitativa), el mejor método de liberarse de ella es arrancar cualquier planta que muestre evidencias de poseerla; estas evidencias son (i), la completa ausencia del parasitismo; y (ii), la presencia de pecas de hipersensibilidad, si es que se presenta este fenómeno. La eliminación debe hacerse antes de cualquier polinización cruzada y debe repetirse cada estación de selección hasta que ya no haya evidencia del funcionamiento de la resistencia vertical. Sin embargo es probable que la aparición indeseable de ese fenómeno sólo ocurra en etapas tempranas del programa de mejoramiento; en ese caso, y si muchas plantas exhiben la resistencia vertical, es mejor comenzar todo de nuevo.

5. Sospechas de resistencia vertical cuantitativa. Este tipo de resistencia es raro y normalmente sólo se encuentra en los cereales de grano chico. La mejor forma de evitarlo es el uso de progenitores con resistencia vertical cualitativa. Sin lugar a duda este es el aspecto más difícil del mejoramiento por resistencia horizontal. En caso de duda consulte a un experto, pero hágalo antes de iniciar su programa.
6. La base genética de la población de tamizado resulta ser demasiado estrecha. En cualquier momento puede agregarse material de nuevos hospedantes a la población de selección. La precaución esencial a tomar es que cada nuevo hospedante debe ser susceptible a cada uno de los patotipos designados para asegurarse de que sus resistencias verticales, en caso de existir, sean acopladas durante la selección.

### **25.82. Procesamiento del suelo**

Cuando la semilla es sembrada en macetas debe usarse una mezcla de suelo de buena calidad. Hay muchas recetas de suelo para macetas que usualmente contienen arena, suelo y humus (esto es, restos vegetales en descomposición) en proporciones aproximadamente iguales. En el momento de hacer la mezcla se pueden agregar nutrientes en forma de fertilizante artificial; o más tarde en el agua de riego como nutrientes líquidos.

Muchos aficionados jurarían que su receta especial de suelo es la mejor, y entre los miembros habrá algunos inflexibles que insistan que su mezcla sea adoptada por el club. De hecho la composición exacta de la mezcla no es crítica porque la mayoría de las plantas son tolerantes a grandes variaciones.

### **25.83. Progenitores**

Es una de las mejores plantas que fue seleccionada durante un ciclo de mejoramiento, y que por ello será padre o madre en el siguiente.

### **25.84. Progenitores originales**

Cada uno de los progenitores originales de la población por mejorar debe ser seleccionado con cuidado especial al inicio del programa de mejoramiento. Deben ser cultivares de buen rendimiento, alta calidad del producto cosechado y buena adaptabilidad agronómica. Dependiendo del cultivo en desarrollo, debe iniciarse con 10-20 diferentes progenitores provenientes de una gama de programas diferentes de mejoramiento (esto es, no deben estar cercanamente relacionados entre sí). El resto de esta sección lo referiremos a cultivos en los que se presenta la resistencia vertical.

Todo cultivar que se elija como progenitor debe ser susceptible al patotipo designado de toda especie parásita local en la que se presente una relación gene a gene. No perjudica repetir este

comentario por ser el punto crítico de la técnica del patotipo único, y porque ésto nos permite estar seguros de que las resistencias verticales sean acopladas durante el tamizado, a través de todo el programa de fitomejoramiento. Así, toda resistencia operante durante la selección será horizontal, independientemente del bajo nivel al que inicialmente ocurra.

Si por ejemplo el cultivo en cuestión cuenta con cinco especies parásitas gene por gene, tendrá que haber cinco patotipos designados, lo que podría dificultar el hallazgo de suficientes progenitores designados simultáneamente susceptibles a los cinco patotipos. Esto podrá ser un trabajo para expertos, pero hay que recordar que las primeras investigaciones deben hacerse en la biblioteca. Hay una enorme cantidad de información publicada en cuanto a las resistencias verticales de muchas especies cultivadas; y los progenitores podrían ser tentativamente designados sobre la base única de los datos disponibles. Los únicos datos experimentales que en este caso serían necesarios constituirían la confirmación práctica de la susceptibilidad de cada progenitor.

Debemos mencionar un asunto técnico. Hay algunas resistencias verticales de efecto cuantitativo que se presentan fundamentalmente entre los cereales de grano pequeño como el trigo y la cebada. La resistencia vertical cuantitativa (o incompleta) puede ser tomada fácilmente y en forma equivocada como resistencia horizontal; ésto debe ser evitado a cualquier costo. La mejor manera de lograrlo es la designación de progenitores entre aquellos cultivares que tienen una resistencia vertical completa, susceptible de ser acoplada por el patotipo designado. Esta también es una tarea para los expertos, y principalmente involucrará investigación bibliográfica.

Los progenitores originales de la población por mejorar deben ser cultivares modernos de gran calidad y rendimiento. Debemos contar con unos 10-20 de ellos, obtenidos preferiblemente de diferentes programas y con antecedentes genéticos diferentes, pero todos deben ser susceptibles a cada patotipo designado.

Cada uno de los progenitores originales se cruza con todos los demás. Cuando esos cultivares son líneas puras no hay segregación en la primera progenie ( $F_1$ ), y consecuentemente debe ser multiplicada por autofecundación para obtener la segunda generación ( $F_2$ ) que segregará libremente. Si se cuenta con suficiente semilla, ésta se puede usar como la primera generación de selección; de no ser así será necesario multiplicarla.

### ***25.85. Programas de fitomejoramiento que estan interconectados o traslapados***

Cuando se practica la selección tardía cada ciclo de selección probablemente requerirá de uno y medio a dos años de trabajo. Esto significará que en las regiones templadas se desperdicie una estación de selección (equivalente a tres estaciones de selección en los trópicos con lluvia bimodal), por cada ciclo de selección. Una estación de selección desperdiciada se puede recuperar si se emprende en paralelo, pero desfasado del primero, un segundo (o tercer) programa de fitomejoramiento totalmente separado pero conexas. Los programas interconectados pueden duplicar o triplicar la capacidad de un club permitiéndole obtener poblaciones totalmente diferentes (por ejemplo de frijoles negros y blancos) o poblaciones similares cuyos progenitores son diferentes, pero de manera más o menos concurrente.

### ***25.86. Propiedad de los derechos del mejorador***

El club debe ser el único propietario de los cultivares que produzca y de las regalías que llegue a ganar. Sin embargo las regalías podrían tener que repartirse entre los gastos del club y sus miembros, de acuerdo a la constitución del mismo.



### **25.87. Purificación del material original (inicial)**

Se llama material original o inicial (foundation stock) al primer material propagativo de un cultivar nuevo. Dicho material debe ser muy puro en dos aspectos.

Debe ser genéticamente puro en el sentido de que “se reproduce fiel a su tipo”. Cuando es autofecundable ésto significa que deberá ser una línea pura y no contener alofecundaciones accidentales con polen extraño. Y cuando se trata de un clon deberá estar libre de mutantes y de contaminaciones accidentales con material de otro clon.

En segundo lugar debe ser higiénicamente puro en el sentido de encontrarse libre de todos los parásitos transmisibles. Este problema es más agudo en el caso del mejoramiento por resistencia horizontal que en el caso de la resistencia vertical. La razón se atribuye a que la resistencia vertical confiere protección completa, mientras que la horizontal usualmente la confiere incompleta; por lo anterior, las plantas que fueron tamizadas por resistencia horizontal tendrán que ser expuestas a todos sus parásitos importantes, por lo que serán portadoras de todos los que son transmisibles en el material propagativo. Debido a que el mejoramiento por resistencia vertical ha dominado la genética agrícola tan plenamente, este es un problema relativamente nuevo.

El material inicial que produzcan los clubs deberá ser purificado: purificación de; hay varias técnicas para lograrlo, dependiendo del parásito en cuestión. Por ejemplo, las varetas de papa que sean enraizadas en un medio estéril contendrán menos parásitos del suelo. El material original también puede ser purificado de sus virus mediante tratamientos prolongados con calor y/o cultivo de meristemos, pero estas técnicas son para expertos. Las semillas verdaderas como los cereales, pueden estar contaminadas o infectadas; las contaminadas tienen esporas de hongos o bacterias en su superficie. Estos contaminantes pueden ser eliminados mediante recubrimientos químicos de la semilla. Las semillas infectadas tienen hongos o bacterias en su interior, que pueden ser destruidos por tratamiento con calor o por agroquímicos especiales como los fungicidas sistémicos o antibióticos. Pero estas técnicas también son especializadas. Lo anterior es aplicable para el material vegetativo o propagativo de carácter clonal.

Como regla general estos tratamientos higiénicos serán demasiado complicados para la mayoría de los clubs, por lo que será mejor contratar expertos; sin embargo, las necesidades variarán considerablemente según la especie cultivada, por lo que deberá buscarse asesoría.

Se puede argumentar que los nuevos cultivares contendrán tanta resistencia horizontal que carecerá de importancia el hecho de que sean portadores de parásitos. Esto será cierto en la medida en que nos referamos exclusivamente a ellos; pero pueden ser fuente de controversia si actúan como fuentes de infección contra los cultivos susceptibles vecinos. En ese caso las autoridades que reciben los nuevos cultivares para registrarlos con fines de regalías podrían dudar, en base a la “mentalidad de la semilla certificada”, en otorgar el registro a un cultivar que no muestra síntomas aun cuando esté acarreado diferentes parásitos, especialmente si se les encuentra presentes en el material a registrar.

Es de esperarse que el uso de cultivares horizontalmente resistentes será eventualmente tan común que no preocupará a nadie la idea que tales variedades sean portadoras asintomáticas.

### **25.88. Reserva de semillas para emergencias**

Dependiendo de la naturaleza del cultivo a mejorar, las semillas que sobran de las generaciones de selección, cruce o multiplicación, deben guardarse como reserva para emergencias. Esa semilla se almacena cuidadosamente en refrigerador y en contenedores herméticos en cuyo interior se deposita un desecador como los cristales de sílica gel. La reserva se necesitará en caso de que un desastre arruine la siguiente generación, sea de selección, cruce o multiplicación. De ser necesario la reserva se usa directamente para selección o para multiplicación. Si se usa para selección deberá ser lo suficientemente

heterocigótica como para que no nos importe mucho perder una generación de cruza simple, pues es preferible perder una polinización cruzada que perder otra temporada de selección.

Cuando el cultivo es anual y vegetativamente propagado (como las papas) la reserva de emergencia se mantiene como una población viva. Cuando se trata de una planta perenne (como el manzano) puede ser mantenida como varetas enraizadas o como injerto en un árbol maduro.

Cuando el cultivo está bajo el proceso de selección tardía, bajo la forma de descendiente de una sola semilla verdadera, las reservas de emergencia se mantienen simplemente mediante el expediente de guardar las semillas sobrantes de cada familia después de haber seleccionado la semilla progenitora.

### **25.89. Resistencia horizontal, demostración de**

Antes de que un nuevo cultivar potencial sea enviado a registro con las autoridades o sea liberado a los productores debe demostrarse la naturaleza horizontal de su resistencia; sin embargo esto no es necesario para los cultivos derivados de patosistemas silvestres continuos que consecuentemente carecen de relaciones gene a gene, o para los parásitos que evidentemente carecen de esa relación.

La naturaleza de la técnica de fitomejoramiento es a menudo indicadora de que hay o no resistencia horizontal. Por ejemplo, puede ser evidencia suficiente el hecho de que un cultivar se haya obtenido por selección masal recurrente bajo condiciones en las que no hubo resistencia vertical o no fue acoplada. Sin embargo siempre existe la posibilidad remota de que la resistencia en cuestión se deba a resistencia vertical no acoplada que fue introducida inadvertidamente por polen extraño a la población de selección.

Las mejores pruebas de la naturaleza horizontal de la resistencia se obtienen mediante la cruza experimental entre el nuevo cultivar y una planta muy susceptible de la misma especie. Deben obtenerse cerca de 100 descendientes de esta cruza. Cuando se observa una distribución normal de la resistencia entre la descendencia más susceptible y la más resistente, la resistencia es horizontal. Cuando la progenie segrega en individuos resistentes y susceptibles, en proporción de 3 a 1, la resistencia es vertical.

Cuando el mecanismo de resistencia horizontal es la hipersensibilidad, y aparecen pecas o manchas de hipersensibilidad en el hospedante, inducidas por el patotipo, la resistencia es vertical.

### **25.90. Resistencia horizontal global (comprehensiva)**

Cuando fitomejoren por resistencia horizontal global, los clubs tratarán de lograr aumentos relativamente pequeños, pero simultáneos, en la resistencia a todos los parásitos localmente importantes. El cultivar que tenga resistencia horizontal muy alta a algunos parásitos pero que sea muy susceptible a otros, será de poco valor. Las mejores selecciones durante la siguiente generación de tamizado deben tener entre sí aproximadamente el mismo nivel de resistencia horizontal a todos los parásitos localmente importantes, pero deberá ser mayor que el de la generación anterior. En esto consiste el enfoque holístico.

También debe tenerse en cuenta que las estaciones de selección: estaciones de cambian. Así, las selecciones de esta estación pueden parecerse *peores* que las de la anterior. Esto puede ser alarmante a menos que nos demos cuenta que esta estación quizá fue más húmeda, lo que trajo más daño parasitario que la previa. De la misma forma, un aparente gran avance en el nivel de resistencia puede ser sólo el resultado de un daño parasitario benigno durante la estación en turno.

### **25.91. Resistencia horizontal, medida de**

La resistencia horizontal se mide más adecuadamente cuando se compara entre cultivares bien conocidos. Esto es, cuando se establece que la resistencia es mayor que la del “cultivar A”, pero menor que la del “cultivar B”. Una comparación similar tendría que hacerse para referir la resistencia a cada una de las especies parásitas localmente importantes. Estas medidas son relativas; se hacen en el campo y bajo condiciones libres de interferencia parasitaria. Asimismo, son las medidas más fáciles de efectuar y las más útiles en términos de agricultura práctica. Son las que recomendamos para los clubs de fitomejoramiento. Cuando hay anarquía biológica todos los cultivares pueden resultar igualmente afectados, por lo que sus resistencias serán similares entre sí.

Las evaluaciones de campo también pueden ser relativas a un estándar de combate logrado mediante la aplicación de plaguicidas. Para hacerlas hay que acudir a las técnicas de evaluación de pérdidas de cosechas evaluación de pérdidas, que nos indican qué tanta cosecha podría perderse si el cultivar no es tratado con el plaguicida idoneo durante la estación normal de cultivo en campos de los productores, siempre y cuando no haya interferencia parasitaria y existan controles biológicos establecidos (o reestablecidos). Alternativamente pueden ser indicativas de la cantidad y frecuencia necesaria de plaguicidas para evitar ese daño. Sin embargo las evaluaciones de pérdida de cosecha son difíciles, y en general no se recomiendan para los clubs de fitomejoramiento.

También es posible hacer medidas absolutas de la resistencia horizontal, pero se requiere de equipo complejo de laboratorio (por ejemplo cámaras de crecimiento vegetal). Además de difíciles, estas evaluaciones a menudo son difícilmente correlacionables con lo que sucede en el campo. Tampoco se recomiendan para los clubs de mejoramiento.

### **25.92. Resistencia vertical, cómo evitarla durante el mejoramiento**

Para poder medir el nivel de resistencia horizontal existente todas las resistencias verticales deben ser eliminadas o desactivadas durante el proceso de tamizado. El método más efectivo de inactivarla es la técnica del patotipo único que se basa en el uso de un hospedante y patotipos designados. La eliminación genética de la resistencia vertical es mucho más fácil porque nulifica la necesidad de un patotipo designado, pero esto a menudo no es práctico. Consiste en el uso exclusivo de progenitores originales sin genes de resistencia vertical; por desgracia esto raramente es posible, pues en la mayoría de los cultivos no existen tales progenitores. El caso del tizón de la papa es uno de los pocos ejemplos en que es posible la eliminación genética de la resistencia vertical: su eliminación genética.

### **25.93. Resistencia vertical, ¿cual es su destino?**

Las resistencias verticales acopladas durante el proceso de selección persistirán en los nuevos cultivares, producto del programa de fitomejoramiento. Incluso, cuando los nuevos cultivares sean sembrados por primera vez quizá no sean acopladas y funcionen; pero después, ya durante el cultivo comercial, puede ser que sí lo sean y no funcionen. Es de esperarse que cuando ocurra el rompimiento poco se note porque debe haber tanta resistencia horizontal que los rompimientos no sean advertidos.

### **25.94. Resistencia vertical cuantitativa**

Ese tipo de resistencia debe ser evitado porque proporciona protección incompleta antes de ser acoplada, y ninguna protección después de que lo fue. Se confunde fácilmente con la resistencia horizontal, por lo que puede llegar a ser una verdadera molestia en un programa de mejoramiento; por

fortuna sólo ocasionalmente se constituye en problema, principalmente en cereales de grano pequeño como el trigo y la cebada. En caso de duda consulte a un experto.

La mejor manera de evitar la resistencia vertical cuantitativa es la utilización de sólo progenitores que exhiban resistencia vertical *cuantitativa*. Probablemente la mejor manera de resolver este punto es la investigación bibliográfica, tomando en cuenta que la resistencia vertical cuantitativa es rara, por lo que su ocurrencia normalmente es publicada en la literatura científica.

### **25.95. Rotación (durante el fitomejoramiento horizontal)**

Cuando se mejora por resistencia horizontal a parásitos del suelo es necesario *evitar* la rotación entre una generación de tamizado y la siguiente; en otras palabras, las poblaciones a tamizar deben crecer en el mismo terreno año tras año para acumular una gran densidad de parásitos del suelo. Los miembros del club se podrán sentir inquietos ante la idea de dañar sus campos de esta manera; sin embargo la mayoría de los parásitos del suelo desaparece bastante rápido en ausencia de sus hospedantes, y el suelo se recupera con la rotación normal cuando concluyen los trabajos de mejoramiento. De cualquier forma un programa de mejoramiento que tenga éxito es, por mucho, más valioso que la acumulación de parásitos en los campos o jardines de un club; por lo que este inconveniente temporal debe considerarse como un pequeño precio que vale la pena ser pagado.

### **25.96. Selección (“tamizado”)**

En la selección masal recurrente, “tamizar” es el proceso durante el cual se examina una población vegetal con el objetivo de identificar las mejores plantas. Esta selección normalmente se hace a ojo, por lo que todas las evaluaciones deben ser relativas; es decir, sólo se seleccionan las plantas menos parasitadas o las más verdes, independientemente de lo mal que se vean en términos absolutos.

Debe recordarse que la primera generación de tamizado va a verse terrible. De hecho, incluso podría ser necesario aplicarle plaguicidas cuando exista peligro de que toda la población sea muerta por sus parásitos. Al respecto son importantes tres comentarios. Primero; en la medida de lo posible deje que los parásitos hagan por usted todo el trabajo de selección; después de todo también podemos obtener algún beneficio de estas molestas criaturas. Segundo; varios factores como la interferencia parasitaria y la anarquía biológica (Capítulo 14) harán que la mayoría de las plantas resistentes luzcan mucho más susceptibles de lo que en realidad son. Finalmente; la población de tamizado o tamizado: puede verse tan desilusionante que algunos frustrados miembros del club querrán abandonar el programa de mejoramiento en ese momento. No lo hagan; la siguiente generación de selección: generación de se verá más bien, y la siguiente aun mejor. Recuerden las variedades locales de maíz en Africa Tropical (Capítulo 20), y recuerden la actitud de sus propietarios.

Después de unas cuantas generaciones de tamizado se acumulará tanta resistencia horizontal que los parásitos ya no harán el trabajo por usted. Es más, en la misma proporción se reducirán las presiones de selección por resistencia y su tasa de acumulación declinará considerablemente. Una solución a lo anterior es el uso de surcos transectantes y circundantes; y otra es que usted haga su propio tamizado a ojo. Sin embargo esto debe hacerse de forma precisa y científica (*sic*).

### **25.97. Selección (tamizado) de campo**

Es la selección que se efectúa en los lotes, usualmente por los miembros activos del club, sea en las tierras de su propiedad o en las del club.

Se seleccionan las mejores plantas sobre la base de su resistencia global a todos los parásitos localmente importantes, su rendimiento, su calidad y su adaptabilidad agronómica. En el laboratorio puede conducirse una selección final.

La selección de campo significa elegir una pequeña minoría de las mejores plantas a partir de toda la población de selección. Normalmente se hace “a ojo”, seleccionando las plantas menos parasitadas, para lo cual se necesita práctica ya que las diferencias entre las plantas menos y más parasitadas a menudo son mínimas debido a la interferencia parasitaria (Capítulo 14). La selección a ojo debe incluir, en la medida de lo posible, los otros objetivos del fitomejoramiento (rendimiento, calidad, adaptabilidad). Cuando no sea posible juzgar estas características en el campo, y a ojo, tendrá que seleccionarse un mayor número de las mejores plantas para terminar la selección en el laboratorio.

Las mejores plantas en cada una de pequeñas áreas, por ejemplo un metro cuadrado, son etiquetadas; incluso puede seleccionarse el mejor metro cuadrado (siempre a ojo), especialmente cuando se trazaron franjas de un metro de ancho, con cuerdas o con calles. Si las franjas de plantas tienen dos metros de ancho debe haber una persona a cada lado de la franja seleccionando las mejores plantas en su mitad de la misma, y calificando a ojo cada metro de la franja. En cada área de selección se escoge un número predeterminado de plantas. Independientemente de la severidad del daño en cada metro cuadrado, deben seleccionarse las plantas *menos* parasitadas.

Algunas veces puede ser necesario hacer varias selecciones. Así, en un cultivo de cereales se puede etiquetar el mejor 10 % de plantas. Más tarde ese 10 % se etiqueta por segunda vez con una segunda etiqueta. Al momento de cosechar se colecta el 10 % de las plantas doblemente etiquetadas. Esas plantas se llevan al laboratorio para ser evaluadas individualmente.

Debe tomarse en cuenta que pudieron haberse seleccionado plantas que escaparon al parasitismo. Tales plantas tendrán una apariencia de resistencia, que es totalmente falsa, por lo que deben tratar de evitarse. Los gradientes de parasitismo falso pueden evitarse mediante la técnica de selección en rejilla (véase más adelante). Cuando la distribución del parasitismo es por contagio, deben excluirse del proceso de selección las áreas no parasitadas. Cuando esas áreas sean demasiado grandes no debe hacerse una selección por resistencia al parásito durante ese ciclo de selección en particular. Si el problema persiste debe consultarse a un experto, e incluso puede ser necesario llevar a cabo algún tipo de investigación bajo su dirección.

Ocasionalmente puede haber una planta singularmente increíble, verde y saludable, que por contraste haga ver extremadamente escuálido al resto de las plantas. Esa planta puede ser algo realmente excepcional, cosa generalmente poco probable. Es más probable que se trate de un caso de resistencia vertical no acoplada, resultado de una contaminación con polen extraño, pero podría ser que nos hemos topado con el progenitor de un nuevo cultivar excepcional (cosa también poco probable). Será mejor no deshacerse de esa planta sobre el supuesto de que su resistencia es vertical o falsa; coséchesele por separado para futuros estudios individuales.

Cuando se utiliza un gametocida masculino en un cultivo de cereales la selección se conduce solamente en surcos alternados que hayan sido tratados con él (esto es, entre la población femenina). Las mejores plantas masculinas ya habrán contribuido con su polen para el siguiente ciclo de fitomejoramiento; por esta razón es poco importante hacer selección entre ellas. Sin embargo, si escasean las buenas plantas entre las seleccionables (femeninas) también pueden seleccionarse plantas masculinas.

Algunas partes de la población de selección pueden escapar por completo a uno de los parásitos más importantes; esas áreas deben ser marcadas por los especialistas del club y no deben ser utilizadas para hacer selección.

Hay varios métodos para marcar las plantas seleccionadas; probablemente el mejor sea atar en lo alto del tallo un pedazo de estambre brillantemente coloreado. Ese estambre puede cortarse previamente a un tamaño fijo conveniente. En algunos lugares, particularmente en Africa, esos

pedacitos de estambre son especialmente atractivos para los niños quienes no pueden evitar arrancarlos. Cuando esto sea un problema utilícese como marcador una pintura que no sea tóxica.

Para hacer estas selecciones se necesita tener “buen ojo” (experiencia). La mayoría de las personas pueden adquirir un buen ojo rápidamente, usualmente en alrededor de media hora; otras, sin embargo, tienen dificultades en aprender este trabajo de evaluación, más que nada por que las aptitudes varían mucho de persona a persona. Los clubs deben ser tolerantes con estas diferencias de aptitud, y en consecuencia repartir sabiamente el trabajo.

Pueden darse varias selecciones de campo consecutivas. La ventaja de las etiquetas de color es que cada una de las selecciones se puede reconocer con diferentes marcas. Si las primeras selecciones se marcaron de rojo por ejemplo, las siguientes mejores pueden señalarse con otro color. La selección normalmente comienza justo cuando la inflorescencia inicia su formación; dos o tres selecciones serán usualmente apropiadas. La primera se dirige a las plantas verdes por ser el mejor indicador de los niveles de parasitismo. Hacia el final de la epidemia podrá hacerse otra selección conforme aumente el nivel de parasitismo. La última selección normalmente se basa en una apreciación, a ojo, del rendimiento. Esta selección final coincide con la cosecha y puede incluir una selección basada en daño a las raíces.

Si se está aplicando la selección familiar, la rejilla se reemplaza por lotes familiares donde primero se selecciona a las mejores familias, y dentro de ellas se escogen a las mejores plantas que así se convierten en la selección final.

Con los cultivos cuya cosecha se encuentra bajo el suelo (por ejemplo papas, betabeles, zanahorias, rábanos, nabos, yuca, cacahuete -cacahuete o maní-, camote, ñame), cada planta se desentierra o arranca individualmente y se deja en la superficie para que el evaluador la seleccione o la rechace. Sin embargo el número de plantas desenterradas se puede reducir drásticamente si se hicieron evaluaciones tempranas basadas en la apreciación visual del crecimiento y sanidad del follaje.

(Ver selección de invernadero, selección en rejilla, selección espiga por surco, selección en laboratorio, selección negativa, selección local, selección por popularidad).

### **25.98. Selección de invernadero**

De acuerdo a la regla de la selección local, la selección en invernadero normalmente sería aceptable sólo para cultivos de invernadero; sin embargo también es permisible utilizarla para la selección primaria de plántulas (papas, jitomates), tal como se permite hacer una selección final de productos cosechados, en el laboratorio. La selección en invernadero usualmente involucra *extrema* susceptibilidad a los parásitos utilizados para inocular el suelo de las macetas o directamente a las plántulas (por ejemplo con el tizón de la papa o parásitos del suelo). Este nivel de susceptibilidad normalmente culmina con la muerte de la plántula por lo que es útil en la medida que puede reducir el trabajo de trasplante, y muy considerablemente el tamaño de la población de selección. Sin embargo no debe exagerarse este tipo de selección por que podría eliminar niveles de resistencia que son útiles.

### **25.99. Selección (tamizado) de laboratorio**

En muchos cultivos es posible conducir una selección final de laboratorio haciendo pruebas no fácilmente aplicables al campo. Estas pruebas pueden referirse al rendimiento y calidad de las semillas de cereales y leguminosas de grano, al sabor y cocimiento de varias frutas y legumbres, al contenidos de azúcar, fibra, almidón y otros componentes alimenticios, así como al color, tamaño, o forma del producto. Como regla general las pruebas más simples y baratas se efectúan primero; las más complejas, caras y difíciles se hacen al final. La razón de ésto es obvia; al inicio de la selección de laboratorio se cuenta con muchas plantas pero sólo unas cuantas de éstas llegan a la etapa final.

Muchas de las pruebas de laboratorio son destructivas y cuando el producto cosechado es una semilla debe aplicarse una selección negativa, en el sentido de que sólo se destruyen las semillas que no nos gustan. Esto asegurará que la semilla sobreviviente sea progenitora de la próxima generación; por ejemplo, la semillas de trigo puede ser procesada entre dos rodillos de presión controlada, donde las semillas más blandas, con poca calidad de panificación, serán aplastadas, mientras que las duras, de buena calidad, sobrevivirán.

Otras pruebas no son destructivas. Por ejemplo, varios tipos de máquinas de laboratorio cuentan la semilla y la seleccionan por tamaño, peso, forma, peso específico, color, textura de la cutícula, etc. Cuando una prueba destructiva de semillas sea esencial (panificación, calidad maltera de la cebada) debe posponerse hasta que se cuente con cierta cantidad de una línea pura o de una variedad híbrida.

A menudo es posible hacer pruebas destructivas con frutos (por ejemplo tomates) después de que sus semillas fueron extraídas. Las pruebas destructivas de cultivos que se propagan vegetativamente, como la caña de azúcar usualmente son posibles inmediatamente después de la selección, siempre y cuando se haga con pequeñas cantidades de tejido. Pero pruebas globales en un clon, por ejemplo de papas, se basan en la destrucción de varios kilos de tubérculo para evaluar calidad después de los diferentes métodos de cocción, tales como hervirlas, freírlas, asarlas, hornearlas, hacerlas puré o deshidratarlas; así como pruebas químicas para medir el contenido de almidón, vitamina C, proteína, etc. Tales pruebas sólo se pueden llevar a cabo después de que el clon haya sido multiplicado.

Los detalles de la mayoría de las pruebas de laboratorio son demasiado complejos para verlos en este libro, por lo que cada club debe contar con asesoría especializada y manuales técnicos relacionados con su cultivo. Muchos países cuentan con laboratorios del gobierno o comerciales que pueden hacer esas pruebas por una cuota. Debe tenerse presente también que estas pruebas se llaman de laboratorio, principalmente para distinguirlas de las de campo. El laboratorio por sí mismo, y su equipo, normalmente deben ser sencillos y baratos, y debe estar al alcance financiero y de la capacidad técnica del club.

### **25.100. Selección de semilla por los productores**

El alto costo de la semilla certificada puede ser evitado por los productores si durante el proceso seleccionan plantas sanas dentro de sus propios cultivos para conservar la mejor semilla; esto es particularmente cierto para las papas. El productor, poco antes de la cosecha, recorre su campo y arranca las mejores plantas, hasta que cuenta con suficientes tubérculos para su próxima siembra. Esta práctica, combinada con buenos niveles de resistencia, puede controlar a los parásitos del tubérculo cuando la resistencia horizontal no es completamente adecuada; además, es de gran valor en los países no industrializados en donde no se pueda adquirir tubérculo certificado. Tal práctica puede ser tomada en cuenta por los clubs de mejoramiento a la hora de planear sus políticas.

### **25.101. Selección en rejilla**

La selección en rejilla es aquella en la que la población de selección se divide en cuadros relativamente pequeños, cada uno de ellos de tamaño conveniente. Para los cereales de grano pequeño, como el trigo, los cuadros deben ser de alrededor de un metro por lado; plantas más grandes como las papas necesitarán cuadros mayores. La selección final debe incluir a la mejor planta o plantas de cada cuadro, independientemente del nivel de parasitismo en él. Este método elimina el efecto de los gradientes de parasitismo.

### **25.102. Selección espiga por surco**

Ver selección familiar.

### **25.103. Selección familiar**

Cuando se trabaja con cultivos que son una línea pura, mucho se puede decir respecto a la técnica conocida como “espiga por surco selección:”. Este término derivó del mejoramiento de cereales y significa que todas las semillas obtenidas de una “cabeza” o una espiga, o una planta, constituyen una “familia”. Los miembros de una familia se siembran en un surco o en un pequeño lote y las primeras selecciones se hacen entre familias; conservando sólo a las mejores. La segunda selección se efectúa entre los mejores individuos dentro de las mejores familias, conservando sólo a los mejores individuos. Esta técnica conduce a un avance genético más veloz; sin embargo, si se combina con la selección tardía, la selección de individuos tiene poca importancia relativa debido a que todos los miembros de una familia son muy similares.

Ver: (selección de campo, selección de invernadero, selección en rejilla, selección de laboratorio, selección tardía, selección negativa, selección local, selección poblacional).

### **25.104. Selección (o tamizado) local**

Toda selección debe ser local. Esto significa tres cosas: que la generación de selección debe sembrarse en el *área* de futuro cultivo, en la *estación del año* del futuro cultivo, y aplicando los *métodos culturales* del futuro cultivo. No tiene caso, por ejemplo, tamizar dentro de un invernadero durante el invierno cuando el cultivo va a reproducirse en el campo durante el verano, porque los cultivares resultantes serían totalmente inadecuados.

Estos requisitos tienen cierta tolerancia. Así, no todos los miembros del club deben plantar sus poblaciones de selección en el mismo día, pero sí pueden hacerlo con una o dos semanas de diferencia. Igualmente, no todos deben estar en la misma localidad, pero tienen que residir dentro del área general del cultivo futuro. Y además debe darse cierto grado de uniformidad en cuanto a las técnicas agrícolas del futuro cultivo. Por ejemplo, si los cultivares nuevos se planean para agricultores de subsistencia que nunca usan fertilizantes, las generaciones de selección deben crecer en ausencia de ellos.

La selección local impone ciertos límites a un club. Normalmente los miembros activos deben vivir en el área del futuro cultivo y los cultivos que trabajen deben ser los mismos que se cultivan en esa área. Sin embargo la selección local permite estar seguros que un cultivar nuevo estará en balance perfecto con su propio agroecosistema local. (ver selección de campo, de invernadero, en rejilla, de laboratorio, negativa, de popularidad)

### **25.105. Selección masal recurrente**

Es el método que se utiliza para acumular resistencia horizontal; el método de los biometristas (Capítulo 2); también es el método más fácil de usar. Se elige un grupo de unos 10-20 buenos cultivares como progenitores de la población por mejorar, y se polinizan en forma cruzada, en todas las combinaciones posibles. Dependiendo de la tasa de reproducción del cultivo podría ser necesaria una generación de multiplicación para tener suficiente semilla en la siguiente generación de tamizado. Así, las mejores plantas de esta generación, se convierten en progenitoras de la siguiente. El proceso se repite tantas veces como avance se vaya logrando.

El método involucra la selección temprana, en la que los progenitores de la siguiente generación son muy heterocigóticos. La selección tardía después de unas cuatro generaciones de autofecundación,



basada en el método de mejoramiento masal o de preferencia en el de descendientes de una sola semilla, produce progenitores que tienen considerable homocigosis. La selección tardía a partir de la descendencia de una sola semilla tiene varias ventajas genéticas, y es lo que se recomienda.

### **25.106. Selección negativa**

Cuando se hace una selección masal recurrente, a menudo es ventajoso hacer un tamizado negativo. Es decir, en lugar de seleccionar y coleccionar las mejores plantas, se eliminan como maleza a las plantas menos deseables que integran la mayoría, dejando a las supervivientes (las mejores) para que se reproduzcan por polinización cruzada.

Cuando se aplica la selección temprana en algunos cultivos como el trigo, la generación de selección puede al mismo tiempo ser generación de cruza, siempre y cuando se haya usado un gameticida masculino para androesterilizar la subpoblación progenitora femenina. Bajo estas circunstancias debe hacerse un tamizado negativo para asegurarnos que todas las plantas indeseables de la subpoblación masculina sean destruidas antes de la anthesis; tal destrucción puede significar su remoción total arrancándolas, o despojándolas de la inflorescencia inmadura, mediante su eliminación (“decapitación”); así es como se permite que sólo los machos menos parasitados produzcan polen y se conviertan en progenitores de la próxima generación de selección. Cuando el gameticida masculino no haya sido totalmente efectivo también podría ser necesario aplicar un tamizado negativo en la subpoblación femenina; ésto se debe a que las plantas, dentro de esa subpoblación, podrían producir pequeñas cantidades de polen no deseado.

### **25.107. Selección por calidad de la raíz**

Cuando Beeck (1988) estaba seleccionando trigo en Brasil, tuvo que confrontar problemas serios de acidez en aquellos suelos tropicales, y problemas existentes de toxicidad por aluminio y manganeso. Las plantas susceptibles a lo anterior tenían sistemas radicales muy débiles. También había problemas importantes con parásitos de la raíz, que consecuentemente contribuían a debilitar el sistema radical; uno de sus criterios de tamizado era el vigor del sistema radical en cada planta. Al momento de la cosecha arrancaba cada una de las plantas seleccionadas, eliminando las que cedían fácilmente por contar con sistemas radicales débiles. Aquellas que requerían de un tirón vigoroso eran retenidas porque sus raíces eran fuertes.

Para algunos clubs puede ser útil el uso de este criterio de selección cuando tengan que eliminar sistemas radicales debilitados por el ataque de parásitos del suelo; sin embargo se tiene que hacer gran esfuerzo para arrancar muchas plantas con buen sistema radical. Por lo anterior, las plantas que no se arranquen fácilmente con un buen tirón deben cosecharse cortando las espigas, las que deberán ser almacenadas en su propia bolsa de papel para futuras evaluaciones individuales de laboratorio.

### **25.108. Selección “por popularidad” (organoléptica)**

Hay muchas pruebas de selección que involucran valores de juicio, tales como el color, sabor y aroma, cuya valoración no es fácil mediante el análisis químico o las medidas físicas. Esto trae una ventaja para los grandes clubs con muchos miembros, porque hace posible llevar a cabo encuestas de popularidad entre ellos. Si se llevan registros precisos también es posible valorar las habilidades individuales de los miembros, identificando aquéllos que poseen los sentidos más confiables del olfato, la vista o el gusto.

### **25.109. Selección temprana**

Ver selección temprana y tardía

### **25.110 Selección temprana y selección tardía**

Tradicionalmente la selección masal recurrente de cultivos autofecundados se lleva a cabo seleccionando entre la progenie variable que resultó de la primera cruce. Este trabajo de tamizado, por lo tanto, se efectúa a partir de individuos muy heterocigóticos que así se convierten en progenitores de la siguiente selección de selección. A éste proceso ahora se le llama “selección temprana”.

La selección tardía involucra la autofecundación de la progenie heterogénea durante 3-4 generaciones, en base al método de mejoramiento poblacional o al de descendencia de una sola semilla, para producir una población heterogénea de individuos relativamente homocigóticos. La selección tardía se hace entre estos individuos.

Aunque a primera vista parece que se requiere de más trabajo, es probable que la selección tardía produzca mejores resultados, más rápidamente, y más confiables que la selección temprana. Varios cientos de las mejores plantas se seleccionan entre la población de selección, y se sujetan a 3-4 generaciones de descendencia de una sola semilla. La semilla de la última generación se usa para tamizar en campo, a partir de una selección familiar si así se desea; ésto eliminará los efectos confusos (y no hereditarios) de la heterosis, y conducirá a una mayor frecuencia de alelos recesivos de resistencia horizontal que sólo se manifiestan en estado homocigótico. Una ventaja adicional de la selección tardía es que los nuevos cultivares potenciales están muy cercanos al estado de línea pura, y en consecuencia se pueden utilizar más pronto.

En cada ciclo de selección se trabaja un total de 4 a 5 generaciones del vegetal. Cada tamizado local debe conducirse durante el tiempo anual del futuro cultivo. En la práctica ésto significa hacerlo durante el verano. Si cada generación pudiera completarse en 60 días (por ejemplo cosechando plantas inmaduras), sería posible completar un ciclo de mejoramiento: ciclo de en un año, usando sólo tres generaciones de descendientes de una sola semilla. Si este programa resultara demasiado laborioso sería preferible un ciclo bianual, lo que permitiría cuatro generaciones de descendientes de una sola semilla, y la cosecha de plantas maduras. Con algunas especies cultivadas de cereales pueden no ser necesarias la generación de cruce, la generación masal, o ninguna. En ese caso un ciclo anual de selección resultaría menos “amontonado” o laborioso.

Si se evidencia que un ciclo de mejoramiento requiere de dos años, el club puede conducir dos programas paralelos. Un “Programa A” podría aplicarse en los años nones y uno “B” en los pares. Esquema similar podría aplicarse a un ciclo de tres años. (ver programas interconectados o paralelos de mejoramiento)

La ventaja de esta estrategia es que se pueden tamizar, en paralelo, dos o tres poblaciones genéticas que son completamente diferentes; si una resultase ser frustrante, la otra u otras nos podrían recompensar. Cuando ninguna resultase desalentadora, y conforme avanzaran los programas interconectados, el número total de nuevos cultivares potenciales sería dos o tres veces mayor. Una ventaja adicional de los programas paralelos o interconectados es que uno de ellos podría dirigirse, digamos a las variedades precoces, y otro a las tardías; o uno a variedades de frijol de semilla grande y otro a chica etc., aunque usualmente hay muchas más diferencias dentro de una especie cultivada.

Debemos agregar que la llamada estrategia de mejoramiento por selección tardía de un ciclo bianual, probablemente producirá mejores resultados y en menos tiempo que la que aplique selección temprana en un ciclo anual. Sin embargo, antes de tomar la decisión final debe consultarse a un experto.

Tal vez valga la pena resaltar que los maíces de Africa Tropical que fueron atacados por la roya (Capítulo 20) acumularon resistencia horizontal natural, que se basó en una selección temprana. Las

lecciones que podemos aprender a partir de ésto, es que cuando el nivel de resistencia horizontal es bajo y las presiones de selección muy altas, la selección temprana es adecuada. En un estado más tardío, el programa de mejoramiento podría mejorarse cambiándolo a selección tardía. En caso de duda consulte a un experto.

### **25.111. Sembradoras de espiga por surco**

Para los fines de la selección familiar, hay disponibilidad de equipo especial que siembra todas las semillas de una familia o espiga en un solo surco. Este equipo, a menudo llamado sembradora de precisión, es particularmente útil para cultivos tales como los cereales y las leguminosas de grano. (ver catálogos, selección familiar)

### **25.112. Sembradoras mecánicas**

La siembra de campo puede ser muy laboriosa cuando se hace a mano; por otra parte la selección familiar hace inadecuada la siembra con sembradoras comerciales. Varias compañías fabrican sembradoras especiales para los fitomejoradores; estas sembradoras de precisión mantienen separadas las semillas de cada familia, las plantan en surcos separados por distancias adecuadas, y también a distancia adecuada entre plantas de un solo surco. Las máquinas son algo caras, pero su costo tiene dos justificaciones muy reales: ahorran mucho trabajo laborioso, y aumentan la precisión de siembra eliminando el error humano. Consulte los catálogos de investigación agrícola.

Para la germinación en el invernadero hay otro tipo de máquinas que siembran las semilla en bandejas o bancos con macetas pequeñas. Máquinas similares son capaces de llenar las macetas, con suelo especial que fue inoculado con parásitos diferentes. Consulte a los proveedores de equipo para invernaderos comerciales.

### **25.113. Separación ciclónica**

Un separador ciclónico es un aparato que elimina las partículas de polvo del aire en que se encuentran suspendidas. El aire polvoriento se arroja dentro de un remolino generado por un ciclón (que puede ser en miniatura) dentro de un cono hueco. Las partículas son arrojadas contra las paredes del cono por la fuerza centrífuga, y de ahí caen hacia el fondo para ser capturados dentro de un contenedor que las colecta, el aparato normalmente es grande y se utiliza para eliminar el polvo de fábricas, molinos, etc.

El separador ciclónico en miniatura, de sólo tres a cinco centímetros de diámetro, es un instrumento excelente para recolectar polen y esporas de hongos. Para usarlo en un invernadero se requiere de una bomba de vacío portátil o de una instalación de vacío. Sólo se necesita un vacío relativamente bajo, como el que producen las bombas de succión que lo generan mediante el paso de aire o agua a través de un tubo venturi. Cuando este trabajo se realiza en el campo la fuente de aire a presión puede ser una llanta de repuesto. En los catálogos de los fabricantes de equipo estos ciclones pueden venir enlistados bajo los nombres de colectores de polen, de esporas, etc.

### **25.114. Servicios de extensión**

La mayor parte de los gobiernos, a través de sus ministerios de agricultura, operan servicios de extensión que proveen a los productores agrícolas con información especializada y asesoría. Muchos de esos servicios también les proveen con folletos bien ilustrados de los cultivos y sus parásitos. Los clubs de fitomejoramiento deben contar con colecciones completas de folletos referidos al cultivo que

escogieron; también deben establecer buenas relaciones con el centro de servicio de extensión más cercano, al cual deben considerar como el primer escalón en la asesoría especializada.

### **25.115. Siembra de semillas**

Ver germinación de semillas.

### **25.116. Suelos infestados por parásitos**

Muchos fitoparásitos son transmitidos por el suelo (“parásitos del suelo”); entre ellos se incluye a insectos de la raíz como los gusanos de alambre, a nemátodos, y a las enfermedades que inducen los marchitamientos y las pudriciones. El problema con el tamizado por resistencia a estos parásitos es que normalmente tienen una distribución muy dispareja, y para hacer un tamizado efectivo se requiere que cada planta (en la población de selección) quede igualmente expuesta a ellos; pero esto obviamente no sucede cuando su distribución espacial es por contagio. Hay varias técnicas para enfrentar esa distribución, pero usualmente debe consultarse a un experto.

Cuando el parásito es microscópico (bacterias, hongos) a menudo es posible inocular la semilla: inoculación de antes de sembrarla. Esto permite que su distribución sea muy uniforme.

Los pequeños y semi microscópicos, como los nemátodos, a menudo pueden cultivarse en el laboratorio o invernadero para obtener macetas con suelo altamente contaminado. Parte de este suelo puede aplicarse a máquina, en una operación, de la misma forma en que tanto la semilla como el fertilizante artificial se aplican al campo. Alternativamente, cuando se usa transplante, el suelo infectado puede mezclarse con el suelo de las macetas al momento de depositar las semillas, o puede agregarse posteriormente.

Los grandes, como los gusanos de alambre, son a menudo más difíciles de manipular porque puede resultar difícil criarlos en cantidades adecuadas. Cuando todo esto falla la selección debe reducirse a las áreas obviamente infestadas; sin embargo, cuando la frecuencia parasitaria es demasiado baja, incluso en estas condiciones, no hay que preocuparse; procédase de todas formas a realizar la selección, asumiendo que en el futuro se encontrará una solución a este problema; mientras tanto habrá muchos otros parásitos preocupantes. Además, nadie debe esperar que los primeros cultivares de un club sean perfectos.

### **25.117. Supresión de maleza**

Los agricultores de las regiones templadas y frías normalmente se refieren a la papa como un cultivo “limpiador”, en el sentido de que cuando se siembra con papas, el campo queda temporalmente libre de maleza; esto se debe a que la papa tiene un follaje tan denso que la maleza que crece debajo de ella carece de luz y no puede prosperar. La siembra densa, entre surcos y entre plantas permite que el follaje de papa sombree todo el lote, lo que tiene efecto supresor poderoso sobre la maleza. La relativamente poca maleza que sobrevive se destruyen fácilmente con escardas.

Es posible mejorar otros cultivos para que adquieran este efecto “limpiador”. Así, por ejemplo, los frijoles con un follaje denso serán mucho más fáciles de deshierbar y mucho más efectivos. El follaje abundante probablemente también contribuirá en el rendimiento, por lo que tal carácter podría ser un criterio de selección útil.

### **25.118. Surcos y periféricos diseminadores**

Se trata de surcos con plantas muy susceptibles, que transectan los lotes sembrados con la población de selección, o los rodean. Su función es producir grandes cantidades de parásitos que habrán de diseminarse a la población de selección. Cuando se trabaja con parásitos designados deben sembrarse con los hospedantes designados. En las primeras generaciones de tamizado, cuando la población de selección es muy susceptible, normalmente no es necesario que esos surcos cuenten con parásitos no designados. Sin embargo, se vuelven más y más valiosos en las generaciones posteriores de selección, a medida que van acumulando más y más resistencia. Usualmente tendrán que ser inoculados con el patotipo designado cuando las plantas que los cubran sean el huésped designado.

El uso de surcos diseminadores es una aplicación deliberada de la interferencia parasitaria, por lo que podría llevarnos a una impresión totalmente falsa de susceptibilidad en la población de tamizado. Los miembros del club no deben engañarse con este fenómeno porque puede ser muy desmoralizador cuando no es entendido. De la misma manera, esos diseminadores pueden inducir gradientes parasitarios muy notables, en cuyo caso se recomienda mucho aplicar la selección en rejilla. Cuando están involucradas muchas especies parásitas, puede ser necesario usar una mezcla de plantas diseminadoras que tengan susceptibilidad variable a diferentes parásitos.

Un peligro especial que representan es que pueden introducir ampliamente su polen indeseable en la generación de selección. Esto usualmente se evita utilizando el florecimiento no sincronizado; esto es, las plantas diseminadoras se siembran mucho antes, de tal manera que su producción de polen termine antes de que la población de selección comience a florear. Alternativamente, y según las especies involucradas, las plantas diseminadoras pueden ser “decapitadas” para destruir sus flores, o arrancadas como maleza en su totalidad, poco antes de ese florecimiento. (ver selección en rejilla, gradientes parasitarios)

### **25.119. Técnica del patotipo único**

Cuando las resistencias verticales están presentes y operando es imposible ver, medir, o tamizar la resistencia horizontal; por esta razón todas ellas deben ser acopladas, es decir desactivadas, durante el trabajo de tamizado. La técnica de un solo patotipo es el único método realmente efectivo para asegurarnos de ello. Este es el aspecto más técnico del proceso de fitomejoramiento, y normalmente puede ser captado por un biólogo o un técnico con experiencia en el cultivo de fitoparásitos.

Por cada especie parásita en la que se presente una relación gene por gene debe escogerse un solo patotipo (biotipo, raza). Este se convierte en el patotipo designado, el cual debe ser cultivado durante todo el programa de fitomejoramiento en el hospedante designado que lo acopla, porque se utiliza para inocular cada población de selección; es absolutamente esencial que sólo se designe *un* patotipo por cada especie parásita.

La identificación, aislamiento y cultivo de los patotipos designados es la parte del programa en la que los mejoradores aficionados más probablemente necesitarán ayuda de los expertos. Esta ayuda incluye lo siguiente:

- 1.- Obtención de muestras de los parásitos involucrados.
- 2.- Confirmación de su identidad taxonómica.
- 3.- Acoplamiento e inoculación de la línea pura designada.
- 4.- Mantenimiento de los cultivos parásitos.
- 5.- Identificación de los progenitores susceptibles a cada patotipo designado.
- 6.- Inoculación de la población de selección con el patotipo designado.

La técnica de un solo patotipo *debe* aplicarse a cada especie parásita en la que se presente la relación gene por gene (resistencia vertical). Cualquier omisión de este proceso impedirá completamente que acumulemos resistencia horizontal durante el programa. (ver designación)

### **25.120. Trilla**

La trilla de las plantas seleccionadas de los cultivos de grano (cereales y leguminosas de grano), normalmente debe hacerse en el laboratorio del club, trillando individualmente las plantas de tal suerte que puedan medirse los diferentes componentes del rendimiento y la calidad. Estos procesos constituyen el llamado tamizado de laboratorio, que servirá para eliminar muchas de las plantas seleccionadas al término del tamizado de campo.

### **25.121. Variedades híbridas**

Las técnicas detalladas de producción de variedades híbridas están más allá de los propósitos de este libro. Cualquier club que emprenda la obtención de híbridos de maíz o de las diferentes especies cultivadas de pepino y cebolla (cucurbitáceas y liliáceas), tendrá que contar con manuales especializados hechos por expertos. Lo único que aquí se mencionará es que la producción de variedades híbridas requiere de la autofecundación de líneas selectas para inducir una progenie con depresión por autofecundación, después de la cual las líneas deprimidas (la progenie) habrán de ser cruzadas para obtener semilla con vigor híbrido. Cualquier mejoramiento por resistencia horizontal debe efectuarse antes de las autofecundaciones, y después debe continuar la presión de selección por resistencia, durante la obtención de las líneas autofecundadas.

## 26. Tamizado de poblaciones existentes

A menudo es posible y muy provechoso utilizar poblaciones vegetales ya existentes, que cuenten con variabilidad genética. La mayor parte de los cultivos modernos son poco útiles a este propósito porque, al ser líneas puras, clones, o híbridos, tienen uniformidad genética. Pero aun hay muchas poblaciones vegetales con variabilidad genética evidente. En la agricultura comercial, las plantas forrajeras como los pastos y algunas leguminosas incluyendo al trébol y la alfalfa, tienen variabilidad. También la tienen muchos cultivos tropicales de subsistencia y variedades locales (landraces), por lo que pueden ser aprovechadas en este sentido, además de los cultivos clonales de subsistencia, que a menudo contienen gran variedad de clones. También hay varias especies tropicales de árboles que pueden utilizarse, tanto para la selección positiva como para la negativa. La positiva nos sirve para identificar a los mejores individuos que habremos de propagar en algún otro lugar. La selección negativa protege a una población existente porque permite identificar a los individuos más susceptibles, con la meta de eliminarlos, finiquitando así la interferencia parasitaria y permitiendo que opere la inmunidad poblacional.

Al tamizar una población se deben tomar varias precauciones. La primera y más obvia, es que no tiene caso seleccionar plantas individuales que se ven bien sólo debido a resistencia vertical operante; es decir cuando hay relación gene por gene; es mejor seleccionar plantas con algún parasitismo que plantas no parasitadas. Esto, normalmente, es una indicación confiable de la naturaleza horizontal de la resistencia.

La segunda es que en una población con variabilidad operará la interferencia parasitaria; consecuentemente se espera que cualquier individuo seleccionado actúe bastante bien cuando se cultive como población uniforme, cuando esté lejos de los individuos susceptibles, y cuando esté libre de la interferencia parasitaria. El peligro verdadero de esta situación es que la población original puede verse tan parasitada, que toda idea de hacer selecciones dentro de ella se desheche por parecer poco realista.

La tercera precaución también es obvia, y se refiere a que la población de selección debe estar completamente libre de protección con plaguicidas.

Tal vez deba mencionarse que la selección dentro de las poblaciones prevalecientes (existentes), ha sido el método estándar de fitomejoramiento desde los albores de la agricultura. Y que este trabajo fue hecho, casi invariablemente, por los agricultores. Los ejemplos que siguen, consecuentemente, solo representan la pequeña punta de un iceberg.

### 26.1. Cacao

Es probable el uso del tamizado negativo cuando resulte útil con fines de control de parásitos, y aunque sólo ocasionalmente se pueda aplicar. Para esto hay dos requisitos a cumplir; el primero es que la técnica funcionar mejor en un cultivo frutal y, el segundo es que el cultivo debe tener variabilidad genética. Un cultivo de cacao atacado severamente por la enfermedad conocida como escoba de bruja (*Crinipellis perniciososa*), es un ejemplo de lo anterior. Esta enfermedad induce la proliferación de los meristemos apicales, lo que resulta en una maraña desagradable de ramas, como la escoba de una bruja.

Esta técnica de control se basa en la distribución normal de la resistencia dentro de un cultivo genéticamente variable; esto es, que tiene una minoría de árboles muy resistentes y otra minoría de muy susceptibles. La mayoría restante, o moda, se encuentran entre esos extremos. La técnica más

comúnmente escogida involucraría una selección positiva mediante la identificación y propagación de los árboles más resistentes; sin embargo ésto requeriría la plantación de un nuevo huerto y la destrucción posterior del antiguo. En cambio la selección negativa se basa en la identificación y destrucción de los árboles más susceptibles. Este método de control funciona porque la interferencia parasitaria es eliminada, permitiendo que funcione la inmunidad poblacional (Capítulo 14).

Piénsese que cada árbol es una parcela experimental en un experimento de campo, y que un árbol muy susceptible está rodeado por otros más resistentes. Debido a la interferencia parasitaria cada uno de los árboles circundantes tiene varias veces más enfermedad que si no hubiera interferencia. Los árboles todavía más lejanos están menos enfermos, pero aun así tienen más enfermedad que la que tendrían en ausencia de la interferencia; así, si sacamos el árbol susceptible y también las escobas de bruja de los árboles más cercanos a él, quemándolas, detendremos la interferencia. En promedio, los árboles circundantes tendrán un nivel medio de resistencia horizontal; este nivel probablemente es suficiente para conferir la inmunidad poblacional y controlar la enfermedad cuando no haya interferencia parasitaria.

Identificando y erradicando a la minoría (quizá 1-3 %) de los árboles más susceptibles en el cultivo como un todo, y haciendo una poda sanitaria de todas las ramas enfermas, se elimina la interferencia y se controla permanentemente a la enfermedad. En la práctica probablemente será necesario un método experimental. Probablemente la primera erradicación no logre el control completo, por lo que podría requerirse una segunda para eliminar a la siguiente minoría de árboles susceptibles.

La mayor parte de los cultivos frutales se propagan como poblaciones genéticamente uniformes, sea como clones (frutas de hueso, pomáceas, olivos, higueras, datileras, vides) o líneas puras (café arábigo). Otros cultivos perennes (los curris, lúpulo, plátano, caña de azúcar, piña, pimienta negra, ñame) también se cultivan como clones. Por ésto es que la técnica de selección negativa tiene aplicación limitada; sin embargo puede funcionar en frutales tropicales de polinización abierta y propagación por semilla, tales como el cacao, el mango, el té y el marañón. La técnica también puede funcionar en plantaciones forestales jóvenes.

## 26.2. Cocotero

Hay una enfermedad del cocotero (*Cocos nucifera*) en las Filipinas, llamada *cadang-cadang* que quiere decir muerte-muerte. La enfermedad se observó por primera vez en 1926 en la Isla de San Miguel, frente a la Costa Oriental de Luzón del Sur, cerca del pueblo de Legaspi. Esta pequeña isla tenía sólo una plantación comercial de 200, 000 palmas que en un lapso de 20 años fueron todas muertas por el *cadang-cadang* excepto 80. Es difícil calcular el número total de las palmas muertas en Luzón, pero hasta hoy probablemente estamos cerca de los veinte millones.

En 1945 un científico filipino, fitopatólogo poco conocido pero muy sabio, A.E. Bigornia, visitó la isla de San Miguel y decidió que las 80 palmas remanentes deberían ser resistentes, cosa que era indudable, y como el cocotero tiene un patosistema continuo, debe tratarse de una resistencia horizontal. Bigornia colectó algunas nueces de las mejores palmas y las plantó en Luzón, donde ahora constituyen una nueva raza local resistente.

Las Filipinas tienen un excelente esquema de hibridación de cocos mediante el que cruzan palmas gigantes contra enanas para producir híbridos rendidores, de manera muy similar al maíz híbrido. La nueva variedad local de Bigornia es el progenitor gigante en este esquema de hibridación.



### 26.3. Cafeto

Ya fue descrita (Capítulo 21) la identificación de cafetos resistentes a la enfermedad del cerezo del cafeto en las poblaciones con variabilidad genética de Etiopía, por lo que sólo será necesario hacer una reiteración breve. Alrededor de uno de cada 3,000 árboles era resistente, y se identificaron poco más de 500; en otras palabras, tuvieron que examinarse cerca de medio millón de cafetos para poder encontrar el árbol perfecto (sic) al que se llamó “741”. Esto podría parecer que fue un trabajo excesivo, pero de hecho es sólo una fracción pequeña del trabajo involucrado en un programa formal de mejoramiento frutícola. Lo que es más importante, es que produjo resultados espectaculares en una pequeña fracción del tiempo requerido por cualquier programa formal, en un frutal cuyo tiempo generacional es de 3 años.

También vale la pena reiterar que el trabajo de Doughty (Capítulo 21) para resintetizar *Coffea arabica*, debería repetirse. Debido a que los alotetraploides nuevos son genéticamente estables, se pueden utilizar de inmediato como cultivares nuevos, siempre y cuando los otros atributos sean satisfactorios. Si pudieran producirse muchos alotetraploides nuevos, este enfoque sería el que más probablemente produciría cultivares nuevos con resistencia horizontal global y completa, en muy poco tiempo.

### 26.4. Especies forrajeras

Muchas especies forrajeras de pastos y leguminosas son de polinización abierta. Debido a que la mayoría de ellas han sido mejoradas en los países industrializados, los clubs de mejoramiento deben hacer indagaciones cuidadosas, antes de iniciar un programa para mejorarlas.

### 26.5. Variedades locales (landraces)

La mayor parte de la agricultura de subsistencia en los trópicos involucra el uso de muchos cultivos alimenticios propagados por semilla. Tanto el rendimiento como la calidad de esos cultivos, usualmente se pueden mejorar haciendo selección dentro de tales variedades. Este es un método a menudo aplicado para lograr resultados útiles, anticipados a las mejorías fundamentales que surgen de un programa más formal de mejoramiento. Quizá debemos agregar que la mayor parte de las variedades locales tienen niveles excelentes de resistencia horizontal a todos los parásitos localmente importantes. Consecuentemente los objetivos del mejoramiento deben ser aumentar el rendimiento, y posiblemente la calidad y adaptabilidad agronómica, manteniendo la resistencia. Esto resulta exactamente lo contrario al mejoramiento por resistencia horizontal de los cultivos industriales modernos, donde el objetivo radica en aumentar la resistencia, sin pérdidas de los otros tres atributos.

### 26.6. Arroz

Uno de los cultivos más espectaculares de arroz en el mundo pertenece al pueblo Igorot, que puebla las montañas al norte de Luzón, en las Filipinas, donde han terraceado laderas completas de las montañas para hacer cultivos inundados (paddy). Esas terrazas de piedra son muy antiguas, y en el curso de unos quince siglos muchas generaciones de agricultores han contribuido en la enorme tarea de construirlas. Las terrazas tienen fama justificada, y la mayor parte de las personas han visto, en fotografías, cómo surgen en las laderas para conformar construcciones, tan altas, que a menudo se pierden en las nubes.

Se trata de una área súmamente lluviosa en la que la lluvia llena las parcelas superiores, permitiendo que el agua sobrante se drene a las inferiores hasta la base de la montaña. Esos pueblos

viven en pequeñas villas, cada una con su propio templo y su propio sacerdote. Una de las obligaciones de los sacerdotes es ir a los campos de arroz cada estación, justo antes de la cosecha. Son ellos quienes seleccionan las mejores plantas individuales, y las llevan al templo donde son cuidadosamente almacenadas. Este proceso de selección ha permanecido por centurias; se trata, por supuesto, de un método excelente de mejoramiento de cultivos; y nada menos que de la selección masal recurrente. Esas variedades son razas o variedades locales de arroz, compuestas por muchas y muy similares líneas genéticas, que sin embargo son diferentes. Cada una de ellas está en balance perfecto con su propio agroecosistema, tiene resistencia adecuada a todas las plagas y enfermedades localmente importantes, y rinden el máximo que es posible obtener, a partir de este método tradicional de producción. Cada variedad local también tiene las características exactas de cocinado y nutrición que más gustan a esta gente.

Supongamos ahora que los fitomejoradores quieren introducir allí algunos cambios. Esto puede ser ilustrado con una historia, sin duda apócrifa, en la que algunos científicos extranjeros visitan estas villas montañosas y sugieren a la gente que aplique fertilizante nitrogenado en sus cultivos para duplicar los rendimientos. Así, parte de los agricultores romperían con sus viejas tradiciones y usarían el fertilizante. Sin duda alguna los rendimientos se duplicarían, pero por desgracia el follaje sería tan abundante, y la maduración tan tardía, que sobrevendría una total destrucción, inducida por una enfermedad llamada blast, por lo que ese rendimiento duplicado se reduciría a nada.

Cuando se cambian los métodos culturales de manera contundente, como sucede cuando se agrega fertilizante nitrogenado, las razas locales pierden su balance con el agroecosistema local. Si los agricultores tradicionalistas han de cambiar sus sistemas de producción, por otros en los que se utilice aplicaciones de nitrógeno, el cambio debe de ser efectuado de manera muy lenta. Así, cada estación deben aplicar sólo un poco más de nitrógeno que el aplicado en la estación previa; de tal suerte que antes de cada cosecha los sacerdotes puedan seleccionar las mejores plantas y semillas para la próxima estación. Suponiendo que se da suficiente tiempo a este proceso, no habrá desequilibrio ni pérdida en el balance de ese agroecosistema. Lo anterior ilustra cuan profundamente pueden cambiar las poblaciones vegetales con la selección masal recurrente.

El arroz es un cereal autofecundado, lo cual significa que las polinizaciones abiertas son sumamente raras; consecuentemente la selección masal recurrente es un proceso lento en los cultivos autofecundados. Pero si los fitomejoradores polinizan las plantas que seleccionan cada generación, en forma cruzada por métodos artificiales, el proceso se acelera y puede completarse en unos cuantos años.

Hay otra historia, también apócrifa sin duda alguna, en la que los mismos científicos sugieren a los mismos montañeses que cultiven los arroces milagrientos de la revolución verde, y además apliquen fertilizante nitrogenado para duplicar sus rendimientos. Algunos agricultores usarían las nuevas variedades, fertilizadas, y sin duda alguna los rendimientos también se duplicarían; pero por desgracia las cualidades culinarias de esas variedades nuevas podrían ser, tan diferentes de su arroz tradicional, que nadie lo comería.

La moraleja de estas historias es que los agricultores de subsistencia son personas sabias y precavidas que normalmente son poco propensas a cometer, con alimento, los errores que los científicos extranjeros les sugieren, por ser éstos a menudo un poco precipitados y quizá demasiado confiados, mientras que los sacerdotes locales, responsables de la selección de la semilla, son sabios a la vez que precavidos. Puede ser que no sepan de ciencia, pero sus viejas tradiciones son más confiables y a menudo más adecuadas que las ideas de los científicos extranjeros, probablemente entrenados en la escuela mendeliana de genética, y en el espíritu de una agricultura mecanizada e industrial.

## **26.7. Rimpau**

Hasta donde sabemos, un productor europeo llamado Rimpau, que vivió en Schlanstedt, fue la primera persona que según registros científicos aplicó la selección masal recurrente con propósitos de

fitomejoramiento. Trabajó con centeno, que es un cultivo de polinización abierta, a partir de 1866. Durante cada cosecha colectaba las espigas de mejor apariencia; las conservaba como semilla, y después de 20 años obtuvo el famoso “Centeno Schlanstedt” que tenía granos y espigas grandes, de un tamaño aproximadamente el doble que el de las variedades locales mejoradas.

Hay varios aspectos destacados en el trabajo de Rimpau. Primero; el centeno, por ser de polinización cruzada, resulta genéticamente flexible y con variabilidad genética; consecuentemente, puede responder a las presiones de selección durante su cultivo. En este aspecto es similar a los cultivos de maíz de subsistencia de Africa Tropical (Capítulo 20).

En segundo lugar, aparentemente Rimpau no se esforzó en la selección de sus progenitores masculinos. Si hubiera hecho selección negativa para eliminar las peores plantas, que posteriormente produjeron polen indeseable, hubiera tenido un avance genético más veloz; como se sabe, su trabajo de selección le tomó 20 años.

Tercero; el trabajo de Rimpau fue clásico en el fitomejoramiento, aun antes del reconocimiento de las leyes mendelianas de la herencia, en 1900. Si Rimpau hubiera seleccionado caracteres monogénicos, como la resistencia vertical, no hubiera sido capaz de reconocer sus propios alcances. Su centeno probablemente contenía varias diferentes resistencia verticales, y casi seguramente tenía sistemas de salvaguarda contra varios parásitos diferentes. Esos sistemas probablemente no eran tan efectivos como los de un patosistema silvestre bien balanceado, pero resultaron sin duda superiores a las cerraduras únicas (monolock, Capítulo 7) de la agricultura moderna.

También es interesante el hecho que Rimpau hizo selección local. Si el centeno Schlanstedt hubiera sido producido en un ecosistema notablemente diferente, su comportamiento hubiera sido menos bueno.

Por último, el trabajo de Rimpau, y su ejemplo, definitivamente pertenecen a la escuela de los biometristas. Como consecuencia de lo anterior, la mayoría de los genetistas agrícolas modernos, entrenados en la escuela Mendeliana, ni siquiera conocen su nombre.

## 26.8. Hule

El hule (*Hevea brasiliensis*) es un árbol nativo de la cuenca del río Amazonas, una área donde, se dice, sólo hay dos estaciones al año, en una llueve todos los días y en la otra todo el día. El Amazonas, de quien se dice que lleva una quinta parte del agua dulce mundial, corre aproximadamente paralelo a la línea ecuatorial. Consecuentemente, el hule crece en una área constantemente tibia y húmeda.

A pesar del clima constante, húmedo y tibio, el árbol del hule es deciduo (Capítulo 6) y cada uno se deshoja durante aproximadamente un mes de cada año. Por lo tanto el patosistema foliar es discontinuo, y existe resistencia vertical a una enfermedad llamada tizón foliar: tizón foliar del sudamericano, causada por el hongo microscópico *Microcyclus ulei*. Esta enfermedad causó una de las pocas derrotas del afamado “Modelo T” de Henry Ford.

Ford decidió producir su propio hule para manufacturar las llantas de sus automóviles. Para este fin, su compañía estableció una plantación en Brasil, cerca de Boim, sobre el Río Tapajoz, en 1928, a la que llamaron Fordlandia. Pero la plantación fracasó porque morían demasiados árboles por el tizón foliar. En 1934 Ford estableció una segunda plantación en Belterra, también sobre ese río, pero también fracasó. Lo mismo sucedió con plantaciones más pequeñas en otras partes del bajo Amazónico.

Obviamente hay una relación gene por gene, y un sistema de salvaguarda que funciona en el patosistema silvestre de esa marchitez foliar; y debido a que tarde o temprano evidentemente cada árbol es acoplado durante cada ciclo foliar, es obvio que cada uno de ellos debe poseer resistencia horizontal a la marchitez. Sin embargo ambos tipos de resistencia evolucionaron para funcionar en una selva tropical lluviosa, en la que solamente hay 18 árboles por hectárea, a densidades máximas de población.

Lo anterior significa que las esporas tiene gran dificultad para infectar un hospedante, independientemente de que sea acoplable.

La efectividad de ambos tipos de resistencia se perdió en las plantaciones de Fordlandia y Belterra. Los árboles estaban tan cercanos entre sí, y la densidad de esporas era tan alta, que cada estación todas las cerraduras bioquímicas eran acopladas prematuramente, pues cada árbol era bombardeado con esporas. Después de pocos años, los árboles más susceptibles murieron por la pérdida excesiva de hojas.

Sin embargo muchos árboles sobrevivieron en ambas plantaciones, constituyéndose, en la actualidad en una maravillosa población de selección para los científicos que buscan altos rendimientos y altos niveles de resistencia horizontal al tizón, así como resistencia a otras plagas y enfermedades.

## 26.9. Té

El té es un conglomerado de híbridos entre dos especies: *Thea sinensis* y *Thea assamensis*. La variación en este enjambre es tan amplia, que se cree que no hay dos arbustos provenientes de semilla verdadera que sean idénticos. Esto significa que los cultivos originados de semilla verdadera sean muy variables, y que cerca de 60 % del rendimiento provenga, quizá, de 30 % de los arbustos. Es más, el tiempo de fermentación varía considerablemente entre arbustos diferentes (las hojas que se cosechan tienen que ser fermentadas para hacer el té negro). Con esa variabilidad es inevitable que algunas hojas se fermenten demasiado y otras se fermenten poco. La fermentación dispareja reduce la “calidad de tasa” del té.

Consecuentemente, éste clama por una propagación vegetativa de clones selectos; sin embargo, la propagación vegetativa a partir de estacas sólo se hizo posible a partir del desarrollo, relativamente reciente, de los propagadores húmedos (Capítulo 25).

Los clones se producen mediante la selección de los arbustos más prometedores, a partir de cultivos con gran variabilidad que se obtienen de semilla verdadera. Como ocurre con todos los trabajos de selección vegetal cuando hay demasiadas plantas a seleccionar, primero se conducen los ensayos más fáciles, y al último, cuando sólo quedan unas cuantas plantas a ser probadas, se hacen los que resultan más difíciles, laboriosos y caros. Se estima que deben ser tamizadas cerca de un millón de plántulas (provenientes de semilla) para obtener un clon realmente bueno.

La primera valoración, sencilla y visual, es ejecutada por gente hábil que recorre el cultivo, marcando aproximadamente una planta prometedor por cada mil. Las pruebas subsecuentes, en cuanto a rendimiento, calidad de tasa, habilidad para enraizar, y resistencia a plagas y enfermedades, son las más detalladas y difíciles.

Por ejemplo, una enfermedad muy importante del té en el Sureste Asiático es el tizón: tizón ampuloso ampuloso, causado por el hongo microscópico *Exobasidium vexans*. Esta enfermedad es normalmente controlada con aspersiones fungicidas, y se han elaborado algunos esquemas ingeniosos de predicción que permiten a los productores saber cuándo asperjar. Aparentemente nadie ha intentado mejorarlo por resistencia, por la simple razón de que no se ha podido encontrar una fuente genética de resistencia; sin embargo el té deriva de un patosistema silvestre continuo (Capítulo 6), por lo que no existe la relación gene a gene. Pero hay gran variabilidad en la susceptibilidad al tizón ampuloso, por lo que la identificación de arbustos resistentes para obtener nuevos clones parecería ser el curso más lógico. Sin embargo ese tamizado tendría que hacerse en cultivos no asperjados, sin dejar de tomar en cuenta los efectos engañosos de la interferencia parasitaria (Capítulo 14).

Después de muchos años de fitomejoramiento normal, diseñado para producir plantas mejoradas a partir de la cruce de clones selectos, se encontró que las mejores plantas progenie producen 50% más que los cultivos no mejorados. Aun así los mejores clones originales rinden el doble, y su calidad de tasa es muy superior. Este punto puede ilustrarse mejor si analizamos el té que se produce en Africa Oriental.

El cultivo de té se inició en Kenya en la década de 1920. En aquellos días se creía que sólo podía ser cultivado a escala de plantación, por lo que se prohibía por ley que los pequeños productores cultivaran té. Se argumentaba que inevitablemente su producto resultaría inferior, lo cual dañaría el buen nombre del té keniano. Por supuesto las grandes plantaciones eran propiedad de compañías británicas, y nunca se mencionaba el hecho de que el té cultivado por los nativos podría constituirse en una competencia. También se argumentaba que toda plantación debería contar con su propia fábrica y que, por esta única razón, los pequeños propietarios africanos no podían cultivarlo.

Durante los 60's, el Instituto de Investigaciones del Té, en Kenya, produjo un nuevo clon sobresaliente al que llamaron "6/8". Ese clon no era de utilidad a las grandes compañías debido a que sus tierras ya estaban plantadas con té proveniente de semilla, y una vez plantado puede cosecharse durante 100 o más años, siendo la replantación muy honerosa. Pero como ésto ocurría en los días de la independencia de Kenya, fue rechazada la ley que prohibía a los productores nativos producirlo. Así, los pequeños productores se vieron motivados para cultivarlo, y construyeron fábricas cooperativas para procesar sus cosechas.

Esos pequeños cultivos consisten fundamentalmente del clon 6/8, de tal suerte que en estos días son esos pequeños productores los que producen el té de mejor rendimiento y calidad. El clon 6/8 normalmente logra los mejores precios en el mercado londinense, y es ampliamente demandado para mezclarlo con los de menor calidad. En la actualidad constituye el mayor cultivo comercial de Kenya, mientras que aquellos originados por semilla originan un producto inferior que, paradójicamente, está perjudicando el buen nombre del té keniano. Así, quienes actualmente producen el mejor té del mundo son pequeños propietarios y campesinos. Esto debe calificarse, seguramente, como "justicia divina" de una calidad rara y transparente.

## 27. Esquemas de Participación de los Productores del Trópico

### 27.1. Introducción

La idea que está detrás de los esquemas de participación de los productores del trópico, es que existan centros de fitomejoramiento que se encarguen del trabajo técnico, y que con fines de evaluación y selección entreguen sus semillas o clones promisorios a los productores. El concepto se inició en el trópico con los agricultores de subsistencia, pero no hay argumentos válidos para que no pueda ser establecido entre los productores comerciales de los ricos países industrializados.

### 27.2. Yuca

El concepto de los esquemas de participación de los productores en el fitomejoramiento, aparentemente comenzó en Africa Occidental, con yuca, y fue iniciado por el Instituto Internacional para la Agricultura Tropical (IITA) en Nigeria.

La yuca (*Manihot esculenta*) es un arbusto alto que produce tubérculos subterráneos cuyas hojas, en muchas variedades, resultan excelentes como infusión. El cultivo derivó de un patosistema vegetal silvestre continuo, consecuentemente no se presentan resistencias verticales (Capítulo 6). Normalmente se propaga por estacas, por lo que es probable que de ahí se originó la idea de que, en el trópico, todo lo que hay que hacer para que algo crezca es clavar su estaca en el suelo. En consecuencia todo cultivar de yuca es un clon.

Los científicos del IITA acudieron al auxilio de pequeñas escuelas rurales en muchas áreas agrícolas de Africa Occidental a donde enviaban semilla verdadera, obtenida mediante la cruce de clones prometedores. La yuca es muy heterocigótica (Capítulo 1) por lo que cada plántula proveniente de semilla es diferente a las demás. A los niños de esas escuelas se enseñó cómo romper la dormancia de las semillas, limando una muesca en su gruesa cáscara. Posteriormente las geminaban obteniendo las plántulas, todo como parte de un proyecto escolar. Después de transplantarlas a la parcela escolar, comenzaban a hacer varias pruebas; la primera prueba consistía en hervir algunas hojas y decidir cual infusión sabía mejor. Cada niño podía escoger su planta favorita y llevar a casa una estaca para plantarla en el huerto familiar. Eventualmente, cuando la planta maduraba, era cosechada individualmente para pesar los tubérculos y evaluar su calidad. Esos niños escogieron los mejores clones, y hubo estacas de sobra para plantarlos en casa.

El esquema tiene varias ventajas que son obvias. Primera; es un método excelente de educación, porque cuando estos niños crezcan y tengan sus propios huertos serán muy receptivos a la idea de ensayar nuevos cultivares, y a la de seleccionar las mejores plantas dentro de sus cultivos.

Segunda; los productores obtienen los cultivares que *les gustan* más, y no los que prefieren los científicos y estaciones experimentales. Los fitomejoradores deberían pensar como los dependientes de un comercio, que asumen que “el cliente siempre tiene la razón”; sus clientes son los productores, por lo tanto sería lógico permitirles tomar la decisión final. En forma similar, los productores que venden al público sus cosechas sólo cultivarán lo que *sus clientes* prefieran. En un sistema complejo auto organizable, este es un ejemplo de adaptación (Capítulo 29).

Tercera; puede tamizarse con cierto nivel de cuidado y atención detallada un enorme número de plántulas que los científicos jamás serán capaces de manejar; así, el número total de plantas seleccionadas aumenta sobremanera, aumentando al mismo tiempo la precisión del tamizado. Esto también significa que aumenten las posibilidades de obtener cultivares realmente excelentes.

Cuarta; el esquema puede mantenerse indefinidamente y cada escuela o granja puede ensayar clones nuevos cada estación. Lo anterior significa que el proceso de selección se expanda indefinidamente y que los mejores clones permanezcan por más tiempo, descartando los menos buenos. Además los clones preferidos por los productores pueden ser utilizados por las estaciones experimentales para mejoramiento posterior. Así, todo el esquema será acumulativo y progresivo, en el sentido de que un buen clon no tiene que ser jamás reemplazado, excepto por uno mejor, y en ese caso el mejor clon lo será en todos los aspectos, incluyendo la resistencia a todos los parásitos localmente importantes, el rendimiento, la calidad de la cosecha, y la adaptabilidad agronómica.

Quinta; los productores son gente común y corriente; por lo tanto es probable que aprecien y cuiden sus propias selecciones mucho más de lo que apreciarían el nuevo cultivar que les proporcionó un agente del gobierno, que fue seleccionado por un científico anónimo, en una estación experimental remota.

Sexta; la yuca en Africa Occidental padece dos enfermedades muy perjudiciales llamadas, una mosaico, y la otra tizón bacteriano. Tanto los padres como sus hijos escolares, fueron advertidos de que iba a haber gran variabilidad en la susceptibilidad de sus nuevos clones frente a ambas enfermedades. No fue necesario decirles que no valía la pena conservar los clones susceptibles; pero sí fue necesario prevenirlos de que la susceptibilidad podría permanecer oculta durante uno o dos años. A la larga sólo los clones resistentes a ambas enfermedades serían conservados, y las enfermedades ya no serían de importancia.

Finalmente; cuando cada productor seleccione sus propios clones habrá una biodiversidad muy útil en toda la región, pero también probablemente dentro de cada huerto familiar. Además de ser valiosa por propio derecho, la variabilidad genética es una especie de seguro. Si ocurriera un desastre, como la introducción accidental de una nueva plaga o enfermedad, la uniformidad genética extendida sería muy peligrosa, pero esos riesgos los reduce considerablemente la variabilidad. Los ecólogos están muy conscientes de que la variabilidad es la base de la estabilidad ecológica, pero aun sin considerar eso no tenemos que ser ecólogos para saber que la variabilidad es la sal de la vida.

### 27.3. Camote

El camote (*Ipomoea batatas*) no debe de ser confundido con la papa, o mal llamada papa irlandesa (*Solanum tuberosum*) descrita en el Capítulo 18. Los camotes son originarios de Sudamérica, de donde se extendieron al resto de los trópicos siguiendo tres rutas. Los marinos polinesios los llevaron de la costa occidental de sudamérica a la Isla de Pascua, Fiji, Hawai y Nueva Zelanda, haciendo este viaje increíble mucho antes de que los europeos hubieran desarrollado sus barcos de alta mar y mucho antes del descubrimiento del Nuevo Mundo por los españoles. En las islas polinesias el cultivo es conocido por su nombre sudamericano, “Kumara” .

Los españoles llevaron el cultivo de México a las Filipinas hace unos 400 años; en ambos países se conoce con el nombre mexicano de camote. Por la misma época los portugueses lo llevaron de las Indias Occidentales a Africa y países del Océano Indico, incluyendo Indonesia y Papua en Nueva Guinea; lugares donde es conocido por su nombre caribeño, batata. La palabra inglesa “potato”, es una corrupción del nombre anterior; el camote es un pariente botánico de la muy popular enredadera ornamental conocida como “gloria” o “gloria matutina”; ambas especies pertenecen a la familia Convolvulaceae. Su producto cosechable es un tubérculo que, como su nombre implica, contiene cantidades considerables de azúcar y de almidón. Aunque se propaga vegetativamente, la planta forma

semillas verdaderas que pueden germinar libremente; como consecuencia de lo anterior el número total de clones de camote en el mundo es incontable, y su variabilidad extrema.

Las Islas Salomón, en el pacífico occidental, son un ejemplo útil porque aquí fue donde, en cierta ocasión, propuse la participación de los productores en los esquemas de fitomejoramiento del camote. Hasta donde se mi proposición no fue desarrollada, pero eso es aparte.

Los productores en esas islas tienen muchos clones diferentes de donde escoger, y obviamente tienden a cultivar los que les gustan más. Todos sus clones son muy resistentes a todos los parásitos localmente importantes porque, por supuesto, cualquier clon que no lo fuera sería eliminado. Por desgracia hay un grupo de parásitos más o menos anónimos que en forma colectiva causan una condición conocida como “declinamiento”. Los clones de camote, como los de papa, tienden a acumular enfermedades virósicas y otros parásitos de transmisión vegetativa; como resultado el rendimiento tiende a disminuir, y con el tiempo rinden tan poco que son abandonados. Pero tan pronto como un clon es abandonado, aparecen otros nuevos, generados de semilla verdadera auto sembrada en los campos donde se produjo.

La vida media de un clon en las Islas Salomón es de unos 10-15 años; pero la mayor parte de los granjeros tienen o saben de uno o dos clones *viejos*. Y los describen como viejos porque tienen tantos años como ellos recuerdan; su longevidad es por lo menos cinco veces la de un clon promedio, pero podrían sobrevivir indefinidamente. Lo anterior sólo puede significar que son resistentes a cada uno de los virus y a aquellos parásitos del tubérculo que inducen la declinación de los clones efímeros. El propósito de un esquema de participación de los productores, por lo tanto, sería la producción de muchos clones con capacidad de convertirse en “clones viejos”. El esquema de participación propuesto incluiría la colección de esos viejos clones famosos, a través de todas las islas del grupo Salomón, para llevarlos a una estación central de fitomejoramiento, probablemente en Guadalcanal. Ahí serían cruzados en todas las combinaciones, para obtener y cultivar grandes cantidades de semilla y ser capaces de probar su resistencia a los diferentes parásitos transmitidos vegetativamente. La resistencia podría ser determinada mediante el injerto de vástagos clonales que hubiera sufrido severo declinamiento. Podría darse un coeficiente de selección muy alto; esto es, que sólo una pequeña parte de las plántulas se conservarían como nuevos clones potenciales. Esta selección sería rigurosamente probada por rendimiento y calidad, y sólo los mejores de ellos serían repartidos entre los productores participantes. A cada productor se le diría que los clones son de su propiedad, y que pueden hacer lo que quieran con ellos; en caso de que no les gustasen podrían destruirlos; pero si hubiese un clon que les gustara sería de ellos para guardarlo, propagarlo, regalarlo e incluso venderlo a sus vecinos.

Después de un intervalo apropiado, de quizá uno o dos años, cada participante sería visitado por un científico, quien tomaría estacas de los clones que el participante decidió conservar; las estacas se llevarían al centro de mejoramiento donde serían identificadas por su resistencia a los diferentes parásitos que causan el declinamiento. Así, los clones más populares y más resistentes se convertirían en progenitores de la siguiente generación de selección masal recurrente.

Cualquier clon que resultase inferior a los ya existentes sería eliminado sin que nadie se perjudicara. Cualquier clon que resultase superior sería conservado. Este proceso se repetiría hasta alcanzar una “meseta”, es decir, hasta que sólo fuese posible un adelanto muy pequeño.

Aunque el esquema es llamado “de participación de los productores”, no necesariamente tiene que estar formado sólo por ellos; muy probablemente podría involucrar a sus familiares. Las esposas de los productores pueden ser contactadas a través de instituciones de desarrollo de la mujer, mientras que sus hijos a través de sus escuelas.

Este esquema tiene varias ventajas, y podría convertirse en modelo a seguir por los clubs universitarios o clubs de beneficencia que operen en los países tropicales no industrializados. Primera; son los productores de subsistencia o sus familias quienes hacen el verdadero trabajo de selección; ellos saben mejor que cualquier científico lo que les gusta. Segunda; el esquema es barato porque requiere un



mínimo de apoyo científico, y es efectivo en el sentido de que genera un amplio rango de oportunidades de éxito. También es perdurable, porque involucra a la resistencia horizontal, y es global porque incluye resistencia a todos los parásitos localmente importantes, incluso al declinamiento. También resulta educacional, cooperativista, constructivo y de avanzada.

Finalmente, debemos mencionar en este análisis del camote a Al Jones, del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), en Charleston, Carolina del Sur, pionero del mejoramiento por resistencia horizontal. En 1976, junto con sus colegas publicó un artículo al respecto, en base a la selección masal recurrente. Como ahora sabemos el camote deriva de un patosistema silvestre continuo (Capítulo 6), y consecuentemente no posee resistencia vertical alguna. Por lo tanto Al Jones trabajó con resistencias horizontales, poligénicas y de variabilidad cuantitativa. Después de unas seis generaciones de selección obtuvo buenos niveles de resistencia a varias especies de insectos y hongos parásitos, así como avances considerables en características hortícolas.

Al Jones se adelantó a su época de tal suerte que a la fecha sólo unos cuantos científicos han reconocidos y justipreciado su originalidad. Ya se jubiló y por desgracia nunca recibió el reconocimiento y premios merecidos por su creatividad científica. Parece ser que todos sus superiores y supervisores eran partidarios incondicionales de la escuela mendeliana de genética.

## 28. Cultivos a Ser Evitados por los Clubs de Mejoramiento

Quizá en este momento debo mencionar, que normalmente es imposible mejorar por resistencia contra organismos saprófitos de los tejidos senescentes. Esos tejidos incluyen a la fruta madura y a cualquier otro tejido estacional que se aproxima a su lapso final. Adicionalmente, hay bastantes cultivos en los que el fitomejoramiento es muy difícil por varias razones. Aunque la dificultad tal vez sea relativa.

Hasta fines del siglo XVIII todas las telas eran producidas muy laboriosamente en telares manuales. Aunque el proceso de hilar había sido mecanizado, se creía que el de tejer era demasiado complejo para que una máquina lo hiciera. Sin embargo Edmund Cartwright, rector de Goodby Marwood en Leicestershire, Inglaterra, quien era uno de esos caracteres deliciosamente perversos y no sabía nada de maquinaria, se propuso construir un telar mecanizado por la simple razón de que le había dicho que no podía hacerse. En 1786 patentó su inconmensurablemente exitosa máquina.

Es muy posible que haya grupos de personas igualmente perversas y deliciosas a quienes les gustaría fundar clubs de mejoramiento para mejorar algunos de los cultivos que serán mencionados en este capítulo; y que lo harían por la simple razón de que alguien les dijo que no es posible lograrlo. Les sugiero que no lo intenten; les *ruego* que no lo hagan; pero si de todos modos lo intentan, nada sería más placentero para mí que me demostraran que estaba equivocado. Así pues, lo menos que puedo hacer es señalar los obstáculos.

También vale la pena comentar que sólo mencionaré seis cultivos difíciles, aunque existen otros poco conocidos que no me tomaré la molestia de mencionar. En forma contrastante hay varios cientos de especies cultivadas, en su gran mayoría fácilmente mejorable por resistencia horizontal, incluyendo los cultivos alimentarios más importantes.

### 28.1. Plátano o banano

El plátano comestible difiere de sus parientes silvestres en tres cosas fundamentales. Primero, es partenocárpico; ésto es, que produce frutos sin necesidad de polinización (fecundación sexual). Segundo, es estéril, presentándose tanto la esterilidad femenina como la masculina, en el sentido de que óvulos y polen pueden estar presentes, pero no son funcionales. Sin embargo también ocurre a menudo la esterilidad gamética, lo que significa que ni los óvulos ni el polen jamás lleguen a formarse. Tercero; la mayoría de los cultivares de plátano son triploides, o sea que tienen tres juegos de cromosomas en lugar de dos, lo normal. Con sólo este último obstáculo ya sería bastante difícil el fitomejoramiento, incluso si los plátanos produjeran semilla fértil.

Pero por increíble que parezca es posible el mejoramiento del plátano, a tal grado que los expertos creen que pueden ser cautamente optimistas. Pero eso es definitivamente una tarea para ellos.

### 28.2. Cítricos

Los cítricos son poco comunes en el sentido que son capaces de producir semillas nucelares. Una semilla normal es el producto de la fusión de una célula de polen con una célula ovárica, y cada una de

esas células contiene un juego sencillo de cromosomas; así, la semilla resultante (diploide) posee dos juegos de cromosomas. Las semillas sexualmente producidas difieren genéticamente entre sí.

Las semillas nucelares se producen asexualmente, sólo a partir de tejido materno, y pueden ser muy valiosas por que no difieren genéticamente entre sí, o de su progenitor maternal. Esto quiere decir que en la práctica puede obtenerse un clon cítrico a partir de plántulas nucelares, eliminando todas las enfermedades transmisibles por vástagos y/o varetas, particularmente los virus.

Las plantas nucelares pueden confundirnos porque dan la noción totalmente falsa de que el cítrico se está reproduciendo fiel a su tipo; incluso pueden llegar a ser un estorbo en la progenie a mejorar, debido a que hay que detectarlas (todas son idénticas) y eliminarlas. En algunas especies, como la naranja, toronja y mandarina, las plántulas nucelares a menudo predominan casi totalmente entre la progenie a mejorar.

Aparte lo anterior, el mejoramiento de los cítricos en general, es como el de la vid (léase más adelante). Normalmente producen bastante semilla fértil pero la variación es enorme, siendo poco probable encontrar una nueva planta similar a un cultivar moderno, y mucho menos que lo pueda sobrepasar. Así, muy probablemente será difícil mejorar en calidad; sin embargo, al igual que la vid los cítricos se han visto plagados por parásitos de nuevo encuentro, por lo que sería justificado un programa de mejoramiento para intentar la acumulación de resistencia horizontal y poder reducir o eliminar las aspersiones con plaguicidas. Tal programa es muy difícil, y debe ser una tarea para los especialistas.

### **28.3. Ajo**

¿Como poder mejorar un cultivo cuyos progenitores silvestres se extinguieron, y además *nunca* produce semillas?. Las únicas posibilidades son las mutaciones inducidas por radiaciones electromagnéticas o mutagénicos químicos, o mediante la ingeniería genética. Definitivamente tarea para expertos.

### **28.4. Jengibre**

El jengibre rara vez produce semillas, y también se extinguieron sus progenitores silvestres. Por lo anterior se asemeja al ajo en cuanto a las dificultades que opone a su mejoramiento.

### **28.5. Vid**

La mayoría de las variedades de vid producen mucha semilla, por lo que se considera que su fitomejoramiento es un proceso franco. Sin embargo, para producir una vid para vino, superior al *Cabernet Sauvignon* de Bordeaux o al *Pinot Noir* de Burgundy, es posible que se tenga que emprender la tarea más difícil de mejoramiento de todo el mundo. Indudablemente la mayor parte de la calidad del vino depende de los procesos postcosecha, como la fermentación, embotellado y almacenamiento, pero es imposible producir buen vino con mala uva. También es difícil imaginarse vinos superiores a los mejores clarets y burgundies. La única posibilidad realista, y a la vez remota, sería remplazar los Cabernet de Sauvignon o los Pinot Noir por nuevas variedades de la *misma* calidad, pero con niveles altos de resistencia horizontal a los diferentes parásitos de nuevo encuentro, de tal manera que se reduzca o elimine la necesidad de plaguicidas. Pero son enormes las dificultades.

Las posibilidades de obtener una nueva vid para vino blanco podrían ser un poco mejores, pero sólo un poco. Son mejores las posibilidades de obtener una nueva uva de mesa, pero aun éstas son remotas. Y es que hay muchas variedades excelentes de uva de mesa, por lo que será difícil competir

con ellas. El objetivo más realista, repetimos, sería producir variedades nuevas con la misma calidad de fruta pero con resistencia horizontal superior.

Otra posibilidad es la obtención de algún portainjerto que sea más resistente a la filoxera de la vid, pero que no reduzca la producción de uva (Capítulo 13).

### **28.6. Olivo**

Todas las aceitunas tienen una semilla, por lo que se considera que en teoría no hay dificultades inherentes para mejorar el cultivo. Las investigaciones modernas han demostrado que los olivos obtenidos de esa semilla verdadera jamás han igualado los cultivares existentes. Pero debe admitirse que esa posibilidad no ha sido probada adecuadamente, porque existen difíciles problemas logísticos asociados con la selección de *miles de árboles*. Si se intentara el mejoramiento, el criterio más importante sería la selección de caracteres que permitan la cosecha mecánica, incluyendo la producción de frutos que al madurar sean fácilmente sacudidos por una máquina y la maduración sincronizada de esos frutos, además de la resistencia horizontal.

### **28.7. Piña**

Los dos cultivos más importantes en Hawai son la caña y la piña. Los fitomejoradores hawaianos han trabajado esos cultivos por décadas; la caña con gran éxito, y la piña con poco o ninguno. Esto se debe en parte a que se requieren cuatro años para producir una fruta a partir de semilla, y a que la propagación vegetativa de una nueva planta procedente de semilla es muy lenta. Es más, a diferencia de los cañeros (Capítulo 22), los genetistas piñeros hawaianos han estado aplicando métodos mendelianos. La piña silvestre tiene patosistemas continuos, razón por la cual no se puede esperar la existencia de resistencias monogénicas (Capítulo 6). Para ser honestos con los miembros de la escuela mendeliana debemos decir que no es probable que la selección masal recurrente sea más rápida, pero sí puede ser de más éxito.

### **28.8. Turmericas**

Se trata de un triploide (ver plátano) estéril que no fructifica. Sus progenitores silvestres ya se extinguieron. Es comparable al ajo en cuanto a que su fitomejoramiento raya en lo imposible.

## 29. El Futuro

Si cuando eran jóvenes nuestros abuelos hubieran intentado predecir el futuro, no hubieran predicho las computadoras, los viajes interplanetarios, los antibióticos, los relojes de cuarzo, la televisión, los bolígrafos o la energía atómica. Del mismo modo, cuando nosotros intentamos discutir eventos futuros somos incapaces de considerar todas las cosas nuevas que aparecerán varias décadas después de nuestra muerte. A lo más que podemos llegar es a aceptar esta incapacidad y a reconocer que nuestras predicciones deben ser muy defectuosas debido a ella. Habiendo dicho ésto, sin embargo, aun es útil examinar las tendencias actuales y prever su desarrollo ulterior.

Aparentemente no hay duda que el problema más importante que encara el mundo es el de la explosión demográfica. Ahora mismo nuestra población es demasiado grande; de tal suerte que hemos podido alimentarla sólo a expensas de la contaminación ambiental con plaguicidas. Pero hay otras y más importantes clases de contaminación que ya son excesivas y que amenazan nuestro ambiente sobrepoblado y el público está bien conciente de ellas; nos referimos a las aguas negras, la basura, el smog, la lluvia ácida, los gases fluorcarbonados, los nitratos agrícolas y las emisiones industriales que contaminan aire, ríos y lagos.

Aunque la especie humana es un estratega-k, está pasando por una explosión poblacional que duplica la población aproximadamente cada 30 años, y ya es hora de detener el crecimiento positivo (Capítulo 14). En realidad deberíamos enfrentar un crecimiento negativo representado por familias con un solo hijo, hasta que nuestro ambiente recobre su comodidad. No nos equivoquemos. La sobrepoblación es mortal. Y si no la controlamos nuestros descendientes morirán de inanición, si es que no mueren de envenenamiento ambiental.

Por lo tanto el control natal es el problema más importante que encara nuestra especie. Debemos balancear nuestros buenos servicios médicos y nuestras altas esperanzas de vida con una menor tasa de nacimientos. Los activistas antiaborto y provida deben darse cuenta que, aunque deplorable, la pérdida de un feto sin consciencia es preferible a la muerte (tal vez por hambre) de un niño o adulto conscientes. Debe ser horrible morir de hambre después de un período de vida corto, pero quizá en la total miseria y desnutrición. Además debe decirse que ésa es una forma horrible de vivir.

Inclusive el aborto debería llegar a ser innecesario. Los métodos anticonceptivos han mejorado mucho durante este siglo y se pronostica que continuarán mejorando, por lo que podemos predecir con confianza que el crecimiento poblacional positivo se detendrá, y que probablemente se vuelva negativo hasta que llegue el tiempo en que todo ser humano pueda vivir en paz, seguridad y prosperidad.

Una futura posibilidad, que es estimulante, se refiere a la moderna teoría de la complejidad, mencionada brevemente en el Capítulo 10. Durante bastante tiempo los biólogos habían estado incómodamente conscientes de que la teoría de la evolución de Darwin era imperfecta. No dudaban que la teoría fuese correcta, pero sí sospechaban que tal vez estuviese incompleta. Esas sospechas ya fueron sustanciadas por la moderna teoría de la complejidad.

Como se mencionó, la teoría se refiere a los sistemas adaptativos complejos, y es descendiente directa de la teoría general de los sistemas, en la cual se basan los conceptos de ecosistema y patosistema (Capítulo 10). La teoría comenzó cuando el físico belga I. Prigogine captó que los sistemas adaptativos complejos tiene la propiedad de auto organizarse. Por ejemplo, el vapor de agua se auto organiza en cristales de seis brazos cuando se congela para formar copos de nieve. La auto organización ocurre en

un momento matemático conocido como “límite del caos” que es la frontera entre un “orden” matemático inflexible y un “caos” matemático desorganizado. Un aspecto muy especial de la autoorganización es la aparición espontánea de *emergentes*, como el sistema de salvaguarda que emerge de la relación gene a gene (Capítulo 3).

Estas ideas nuevas se basan en matemáticas relativamente nuevas llamadas teoría del caos y explican muchas cosas. Por ejemplo, la industria alimentaria que comienza con la agricultura y termina con las ventas al menudeo, es un sistema autoorganizado. Incluye a millones de personas, sin que haya una sola al frente de esa organización. Todo el sistema está a merced de sus propios poderes y capacidades de autoorganización. Cuando alguien trata de sobre controlarlo (introducirle demasiado orden), como sucedió en la antigua Unión Soviética, lo exponen a un desastroso fracaso. Por el contrario, cuando es subcontrolado (introducirle demasiado caos) se expone a perder eficiencia y cae en un torbellino de monopolios delincuentes, cárteles y vendedores de protección. Sólo se requiere un mínimo de control gubernamental (el límite del caos) para mantener una autoorganización eficiente. Comentarios similares pueden hacerse respecto a los sistemas económicos (ecos de Adam Smith), el gobierno democrático, la bolsa de valores, la evolución e incluso el origen de la vida.

Parece razonable argumentar que la genética vegetal del siglo XX ha sido sobrecontrolada. El dominio de la escuela mendeliana, el mal uso increíble de la resistencia vertical y la cerradura única, el olvido casi total de la resistencia horizontal, el exceso de plaguicidas, la anarquía biológica y la necesidad de semilla certificada para los cultivos susceptibles, son indicaciones claras de sobrecontrol y además de un sobre control de muy poca calidad.

Debido a que los organismos vivientes y los ecosistemas son tal vez los sistemas más complejos entre todos los que son adaptativos, la teoría de la complejidad es particularmente útil en biología. Ahora nos damos cuenta que la evolución Darwiniana ocurre debido a que la selección natural opera inicialmente más sobre la autoorganización, que sobre las mutaciones al azar, como se pensaba antes. Esta teoría explica, en particular, el surgimiento de los emergentes y la evolución de los *sistemas* biológicos en la evolución darwiniana. Uno de los sistemas biológicos más notables es la relación gene a gene y su subsistema de salvaguarda asociado, que pueden coevolucionar en un insecto fitoparásito y su angiosperma hospedante; a pesar de que, ante todo, estos dos organismos son tan lejanos entre sí, como es posible en el amplio espectro de la evolución biológica.

Esta nueva forma de pensar probablemente tendrá efectos profundos en la nueva rama de la agricultura que se conoce como agroecología o agroecosistemas (recordar que el patosistema cultivado es un subsistema del agroecosistema). Probablemente veremos surgir una nueva disciplina que se llame *agroevolución*, que reemplazará el fitomejoramiento clásico que ha dominado en este siglo, y que se basará en la resistencia horizontal, la teoría de los patosistemas y la teoría de la complejidad. Esta última se asegurará de que el proceso de selección se verifique en los límites del caos y que se permita que *todos* los factores ejerzan su influencia natural en la auto-organización, la aparición de emergentes y la agroevolución.

Puede esperarse que la agroevolución culmine en agroecosistemas donde no sea necesarias las medidas artificiales de control de plagas y enfermedades. Imperarán libremente los innumerables controles bióticos, incluyendo parasitoides, depredadores, competidores y antagonistas. Habrá altos niveles de resistencia durable y virtualmente completa contra plagas de prácticamente todos los cultivos. Miles de cultivos estarán a disposición de millones de productores, de tal suerte que la autoorganización se encargará de asegurar que sólo los mejores emerjan como competidores dominantes; pero serán los mejores en todos los aspectos. Probablemente haya un retorno de algunos de los policultivos tradicionales (maíz y frijol) que confieren mayor diversidad y estabilidad a los agroecosistemas. Para ese entonces existirán agroecosistemas sustentables, diversos, estables y balanceados y tal vez surjan nuevos emergentes que no somos capaces de prever o predecir, pero que pueden ser muy valiosos.

Otra predicción, muy diferente y probablemente confiable, es que aumentará muy considerablemente la producción de alimentos. Sin embargo los aumentos más importantes difícilmente provendrán de la agricultura. Ha habido mejorías impresionantes en la productividad agrícola durante los últimos 150 años, pero probablemente estamos cerca del límite. Cualquier otra mejoría probablemente se dará en el ámbito de un uso muy reducido de plaguicidas, y un aumento en la resistencia, diversidad y estabilidad de los agroecosistemas y sus patosistemas asociados.

Debemos reconocer que la agricultura ha multiplicado la capacidad ambiental de sostenimiento humano varios cientos de veces, tal vez miles, desde los días en que nuestros antecesores eran recolectores. También debemos reconocer que nuestro sistema de sembrar semillas en grandes extensiones de tierra es un método ineficiente y risible de producir alimentos. Sólo alrededor del 0.1% de toda la energía solar que incide en los campos agrícolas es ingerida como calorías dietéticas por la humanidad.

Una predicción aceptable es que la eficiencia de la producción de alimentos aumentará mediante una forma de agricultura (*si*) microbiológica en fábricas con tanques de fermentación. Hay dos tipos de fermentación por microorganismos. La fermentación destructiva, que ocurre cuando los microorganismos desdoblan los compuestos químicos para formar compuestos más simples, como la levadura que desdobra los azúcares para producir alcohol y bióxido de carbono en vinos y cervezas. Y la constructiva que ocurre cuando los microorganismos sintetizan compuestos complejos a partir de otros más simples, como ocurre con el hongo *Penicillium* que se cultiva en tanques de fermentación para que produzca penicilina a partir de nutrientes más simples.

Será posible producir microorganismos modificados que harán posible formas completamente nuevas de fermentación constructiva, con las muy nuevas técnicas de ingeniería genética. Y ya comenzaron a utilizarse en la producción de fármacos complejos, área capaz de amortizar los costos altísimos de este tipo de investigación.

Sin embargo, a medida que avance la investigación y se abatan los costos será posible la manufactura económica de sustancias más mundanas; a partir de petroquímicos y agua simple; por ejemplo, se podrán sintetizar carbohidratos como el azúcar; y a partir de ellos se podrán sintetizar almidones y aceites vegetales. Tales alimentos serían muy puros e indistinguibles de los productos vegetales más tradicionales. No hay razón alguna para que los microorganismos ingenierizados genéticamente no puedan producir proteínas, para reemplazar las producidas por muchas especies de frijol y chícharo.

Consideremos una fábrica que ocupara una hectárea y fuera capaz de producir dos mil toneladas anuales de almidón. Tal fábrica sustituiría cerca de mil hectáreas cultivadas con trigo en Norte América, o sus equivalentes quinientas hectáreas de maíz. Si la fábrica produjera dos mil toneladas de sacarosa, reemplazaría cerca de doscientas hectáreas de caña o alrededor de cuatrocientas de remolacha azucarera. Estas cantidades pueden ser imprecisas debido a que los rendimientos varían mucho en diferentes partes del mundo, pero nos dan idea de las posibilidades reales. La producción de alimentos podría aumentar entre cien y mil veces. Este aumento es comparable al cambio total ocurrido desde que la especie humana: cambió lentamente sus hábitos de recolección simple (como los de los chimpancés), pasó a hábitos más sofisticados como la excavación y el almacenamiento, se convirtió en cazadora recolectora, pasó a la agricultura primitiva, y finalmente a la moderna agricultura.

Grandes fábricas, construidas en tierras que de otra manera no serían utilizables como los desiertos o la tundra, liberarían enormes superficies de tierra cultivable para otros fines. Por ejemplo, si gran parte de esas áreas se plantara con bosque el efecto de invernadero-invernadero: inducido por el bióxido de carbono sería un problema menor, porque los árboles extraen grandes cantidades de ese gas de la atmósfera. El problema mundial de escasez de madera también sería resuelto; y es redundante mencionar que ya no sería necesario el cultivo de muchas especies alimenticias. La necesidad de mejorar esos cultivos cesaría, por lo que gran parte de este libro también resultaría superflua.

Sin embargo existe otro aspecto de la ingeniería genética que podría tener, incluso, la mayor relevancia dentro del mensaje de este libro. Nos referimos a la transferencia genética de una especie a otra. Esto se puede hacer de tal forma que las plantas cultivadas se vuelvan resistentes o incluso venenosas a sus parásitos; sin lugar a duda se trata de una idea muy ingeniosa. Es obvio que si estas técnicas tuvieran éxito y fueran ampliamente aplicadas se reduciría enormemente y tal vez se eliminaría la necesidad de fitomejorar por resistencia horizontal. En ese caso este libro se volvería obsoleto, pero por razones completamente diferentes.

¿Cuán realistas son estas ideas, y cómo afectarían los planes que la gente pueda elaborar para fundar clubs de fitomejoramiento?. El reemplazo generalizado de la agricultura por las fábricas de fermentación podría no ocurrir jamás; pero en caso de que ocurra es poco probable que suceda antes de varias décadas. Durante ese tiempo continuaría la contaminación con plaguicidas y tal vez aumentaría. También se presentarían algunas décadas críticas durante las cuales el abasto alimentario sea probablemente una limitante peligrosa. Si ese fuera el caso los clubs estarían más que justificados; sin embargo existen otras razones. En el Capítulo 10 vimos que el fitomejoramiento moderno está atascado en un callejón sin salida, y aparentemente no es capaz de retroceder; pero debe hacerlo. Pronto. Y aparentemente los clubs son el estímulo simple más importante que podría revitalizar la, hasta cierto punto, conservadora y apática disciplina del fitomejoramiento, actualmente atorada en el *cul-de-sac* (callejón sin salida) de los métodos mendelianos y sus resistencias verticales inútiles.

La ingeniería genética, capaz de transferir genes extraños en las plantas cultivadas, ya está operando constituyéndose en una amenaza a plazo corto pero poco realista, para la integridad de este libro. Poco realista porque tiene limitaciones severas; en particular porque sólo es factible transferir un gene, dos o tres como máximo, en un momento dado. Esto tiene dos significados. Primero, la mayoría de las especies cultivadas tiene muchos parásitos, por lo que diferentes especies parásitas probablemente requerirán genes diferentes. La transferencia de varios genes de resistencia contra muchos parásitos en un solo cultivar podría ser un proceso muy largo; es más, si se transfieren demasiados genes existe el riesgo real de modificar la planta, a tal punto que su utilidad se vea severamente afectada.

Sin embargo es mucho más importante la posibilidad de que estas resistencias biotecnológicas caigan *dentro* de la capacidad de cambio microevolutivo de los parásitos; y si así fuera los parásitos serían capaces de producir nuevas razas inmunes al gene en cuestión. Esto correspondería al rompimiento de la resistencia vertical por un fitoparásito, o a la pérdida de efectividad del DDT contra la mosca doméstica o los mosquitos del paludismo (malaria).

Tal vez debamos explicar la diferencia entre microevolución y macroevolución. La evolución darwiniana, o macroevolución opera en el transcurso de tiempos geológicos (esto es, millones de años) e involucra cambios genéticos que son nuevos a la vez que irreversibles. La microevolución es diferente en cuanto a que opera sobre periodos de tiempo histórico, e involucra cambios genéticos que no son nuevos y que sí son reversibles. En otras palabras, la macroevolución produce nuevas especies mientras que la microevolución produce nuevos ecotipos.

Hay límites muy estrictos a la capacidad de cambio microevolutivo de los fitoparásitos. Algunos factores están *dentro* de esa capacidad, mientras que otros caen *más allá*, o están fuera de ella.

Los que caen dentro de su capacidad son los que requieren de cambios relativamente simples. Consideremos uno de los mecanismos mediante los cuales los mosquitos de la malaria se hicieron resistentes al DDT. Después que un mosquito pica a alguien, vuela hacia la superficie vertical más cercana, usualmente una pared o ventana, y descansa mientras comienza a digerir la sangre succionada. En esta base, la malaria fue espectacularmente controlada a todo lo ancho y largo de los trópicos y subtrópicos asperjando con DDT las superficies verticales interiores de las casas. Mientras reposaban los mosquitos absorbían una dosis letal del insecticida, y morían antes de picar y poder contagiar la malaria a alguien más. Existe la tendencia actual de referirse con sospecha e incluso con horror al DDT,



pero quizá ésto sea una perspectiva equivocada; los peores aspectos del DDT son positivos, especialmente cuando se comparan con la miseria y muerte que causaba la malaria.

Actualmente existe una nueva raza de mosquitos, producida por microevolución, que no reposa cerca después de la picadura. Simplemente abandonan la casa y se alejan a una distancia considerable para descansar. Como lo más probable es que esas superficies distantes de reposo no tengan DDT, los mosquitos sobreviven. Por lo tanto el DDT cayó *dentro* de la capacidad de cambio microevolutivo del mosquito.

Hay otras muchas maneras en las que puede cambiar un parásito para vencer un plaguicida. Muy a menudo el parásito desarrolla una enzima simple que desactiva el ingrediente mortal del plaguicida. Se trata de cambios que están dentro de su capacidad microevolutiva. Y hay muchos otros muchos mecanismos de protección que caen dentro de esa capacidad. Es bien sabido, por ejemplo, que las bacterias patogénicas al ser humano pueden desarrollar resistencia a los antibióticos. De la misma forma, como ahora costosamente conocemos, los mecanismos vegetales de resistencia vertical caen dentro de la capacidad de cambio microevolutivo de los fitoparásitos.

Sin embargo otros mecanismos protectivos caen fuera de esa capacidad. El caldo bordelés está más allá de la capacidad de cambio de los hongos que causan el tizón de la papa y el mildiu veloso de la vid; aun no ha aparecido la menor sugerencia de rompimiento de su efectividad desde que se descubrió hace más de un siglo. La rotenona, que se extrae de las raíces del derris, también está más allá de la capacidad de cambio de los insectos; ésto se ha demostrado por siglos, quizá milenios de uso contra piojos del hombre en el sureste asiático. Y las piretrinas naturales, extraídas de las flores del piretro, también caen más allá de esa capacidad; los pobladores de Dalmacia, durante toda su historia escrita, aparentemente han utilizado flores silvestres de piretro para combatir a la chinche en sus camas. (Usualmente se vendía polvo de esas flores secas, en Bretaña, bajo el nombre de Polvo de Keating. Pero ésto ocurrió antes de que la era de los insecticidas modernos prácticamente erradicara chinches y piojos, junto con la necesidad de usar estos polvos).

La resistencia vertical simple, utilizada sobre la base de la uniformidad genética: uniformidad, cae *dentro* de la capacidad de cambio microevolutivo parasitario, pero la resistencia horizontal cae *fuera* de ella. Es por eso que falla la resistencia vertical y que no falla la horizontal. A riesgo de una burda sobresimplificación, diremos que la diferencia principal parece estar relacionada con la complejidad. Los cambios sencillos son fáciles, mientras que los complejos pueden ser difíciles e incluso imposibles. Por esta razón los mecanismos simples de protección, sean resultado de la resistencia natural o sea que fueron inducidos artificialmente con plaguicidas, están muy probablemente dentro de la capacidad de cambio de los parásitos, mientras que los complejos no lo están.

La resistencia horizontal es compleja. Involucra muchos poligenes y controla muchos diferentes mecanismos de resistencia; probablemente su complejidad explica su durabilidad. Pero los mecanismos biotecnológicos de protección vegetal son simples, cosa que no puede ser de otra manera puesto que su heredabilidad está controlada por uno o unos cuantos genes. Es completamente posible y en realidad probable que caigan dentro de la capacidad de cambio microevolutivo de los parásitos y que fallen, exactamente de la misma forma que falla la resistencia vertical. Bajo esas condiciones los ciclos de florecimiento-fracaso, por fallas en la resistencia vertical, se repetirán otra vez. Esto podría suceder exáctamente un siglo después de que la escuela mendeliana de genética llevó al naufragio al fitomejoramiento por resistencia del Siglo XX, gracias a su absurda preocupación por la importancia económica de los monogenes.

Después de todo, quizá no sea una mala idea el trabajo con resistencia horizontal en clubs de fitomejoramiento.

## **GLOSARIO**

## Glosario

*Nota: Cualquier término que haya sido definido en cualquier lugar del glosario, aparecerá impreso en itálicas; ésto no es aplicable a los nombres latinos de parásitos y plantas, también impresos en itálicas.*

**Acaros:** Pequeños artrópodos del Orden Acarina que llegan a ser *parásitos* importantes de plantas y animales. Difieren de los *insectos* en que tienen cuatro pares de patas. Los ácaros fitófagos frecuentemente son llamados arañas rojas. Pueden causar daño considerable alimentándose de las células superficiales de hojas y tallos, originando lesiones severas que parecen quemaduras.

**Acaricida:** *Plaguicida* específico para matar *ácaros*.

**Acoplante:** En términos de la *relación gene por gene*, una infección es descrita como acoplante cuando un gene o genes de parasitismo del *parásito* se acopla (n) al gene o genes de *resistencia* del *hospedante* (es decir, cuando la llave *bioquímica* del parásito abre la cerradura bioquímica del hospedero). Es entonces cuando falla la *resistencia vertical*, deja de operar, y la infección triunfa. (ver no acoplante).

**ADN:** Acido desoxi ribo-nucleico. La sustancia que codifica la información genética y controla toda la herencia. Tanto en plantas como en animales el ADN se localiza en los cromosomas.

**Adaptabilidad agronómica:** La adaptabilidad agronómica de un *cultivar* es gobernada por una gama de características como la forma y tamaño de la planta, (a menudo llamada arquitectura vegetal), tiempo transcurrido de la siembra a la madurez, adaptabilidad al cultivo y la cosecha mecánicas, resistencia a heladas y sequía, potencial de rendimiento, adaptación a factores del suelo y clima, respuesta al fotoperiodo, y demás.

**Afidos:** *Insectos* chupadores, parásitos vegetales del Orden Homoptera, que se encuentran entre las plagas más comunes y peligrosas de los cultivos. Los áfidos tienen varias formas diferentes (polimorfismo) incluyendo las hembras aladas para la *aloinfección*, hembras ápteras para la *auto-infección*, y machos y hembras para la cópula.

**Agricultura de subsistencia:** Producción agrícola para sostener al productor y su familia, con pocos o nulos excedentes para vender; es lo contrario de la agricultura comercial o de cultivo rentable. Casi toda la agricultura de subsistencia actual reside en los trópicos. Con frecuencia está constituida por varias especies, cada una de las cuales siendo una *variedad local*. Así, estos cultivos son genéticamente heterogéneos y genéticamente flexibles. Como se cultivan en ausencia virtual de *plaguicidas*, tienen altos niveles de *resistencia horizontal*, sin embargo su rendimiento y calidad son normalmente menores que los de los *cultivares* modernos de la agricultura comercial. Así, pueden situarse entre los *patosistemas silvestres* y los *patosistemas cultivados (sic)*.

**Agro-ecosistema:** El *ecosistema* de una especie cultivada. Difiere del ecosistema natural en cuanto a los variados y artificiales componentes de la agricultura.

**Agro-ecotipo:** La *variedad local* o nativa de un cultivo (de *polinización abierta*) a menudo es llamada agroecotipo porque, al igual que el *ecotipo* silvestre, ha respondido a las *presiones de selección* dentro de su localidad en el *agroecosistema*, resultando bien adaptada a esa localidad. En terminología de *sistemas* (teoría de los), esta adaptación se llama *optimización local*.

**Alelo:** Es una de las copias de un *gene*. Cada gene normalmente consiste de dos alelos. Cada uno aparece en uno de los dos cromosomas apareados (uno en cada *cromosoma*), y provienen uno del padre y el otro de la madre. En el mismo organismo, los dos alelos pueden ser *dominantes* (AA), *recesivos* (aa), o uno y uno (Aa). Las dos primeras combinaciones (AA y aa) son descritas como *homocigóticas*, y la tercera (Aa) como *heterocigótica*.

**Alfalfa:** Cultivo *leguminoso* forrajero (*Medicago sativa*) que es conocido como lucerne en el Reino Unido.

**Alofecundante:** Planta alógama; es decir, que no se autopoliniza por tener *polinización cruzada*.

**Alogamia, Alógamo:** (del griego: alos=otro, diferente; y gamos=matrimonio, reproducción). *Fecundación o polinización cruzada*. Una especie alógama es aquella en la que el individuo es *polinizado* naturalmente, con *polen* proveniente de una planta diferente. (ver autogamia).

**Aloinfección (aloinfección):** *Infección* es el contacto de un *parásito* individual con un *hospedante* individual, para el propósito de *parasitismo*. Aloinfección (del griego: alos=otro, diferente) significa que el parásito llegó desde algún otro lugar y que viajó hacia el hospedante. La primera infección en cualquier hospedante individual no perenne debe ser una aloinfección. La *relación gene-a-gene* (gene por gene) provee un *sistema de salvaguarda* (de 'llave y cerradura') que asegura que la mayoría de las aloinfecciones sean *no-acoplantes*. Esta es la función única de la *resistencia vertical* en un *patosistema silvestre*. (ver auto-infección, alogamia).

**Anarquía biológica:** Las pérdidas de *control natural* que ocurren cuando los plaguicidas matan a los *parasitoides*, *depredadores*, competidores y antagonistas de un *parásito* agrícola. Anarquía biológica es un término nuevo acuñado para este libro, y probablemente es un fenómeno de mucha mayor importancia que la que se le ha dado. Cuando los efectos de la anarquía biológica son considerables, el restablecimiento del control natural o el biológico causan reducciones importantes al daño por parásitos, y esto constituye una base importante del *manejo integrado de plagas* (MIP). Este efecto también sugiere que podríamos necesitar considerablemente menos *resistencia horizontal*, de la que podría pensarse necesaria, para obtener el control completo de varios parásitos agrícolas.

**Androestéril (esterilidad masculina):** Planta estéril en sus *anteras* o *polen* (sexo masculino), pero con *óvulos* fértiles. La esterilidad masculina puede inducirse con *gametocidas masculinos* o con control genético. Puede ser útil al fitomejoramiento para forzar a las plantas autógamas a ser heterógamas, o de *polinización cruzada*.

**Antagonista:** A muchas *bacterias* les es imposible crecer en presencia del hongo *Penicillium* porque produce el antibiótico penicilina. Así, el hongo es un organismo antagonista de la bacteria. Muchos microorganismos son antagonistas entre sí, y estos antagonismos son aspectos importantes del *control biológico y natural* de *parásitos* de los cultivos, particularmente de los "parásitos del suelo". La destrucción por *plaguicidas* de los antagonistas es una de las causas de *anarquía biológica*.

**Antera:** Organo masculino de la flor. Cuando madura, la antera libera el *polen* para la fertilización de un *óvulo* maduro.

**Antesis:** Estado de crecimiento de la planta cuando libera su *polen* de las anteras.

**Antracnosis:** Enfermedad vegetal causada por una especie del hongo *Colletotrichum*. Los síntomas son lesiones hundidas, de varios milímetros de diámetro, con pequeños cuerpos fructíferos esporulantes en la superficie hundida.

**Arquetipo:** Los ancestros silvestres de un *cultivar*. También el “cultivar ideal”

**Asexual:** Sin sexo. La reproducción asexual cancela la variabilidad y produce los *clones*. Muchos organismos microscópicos como los *virus* y *bacterias* poseen reproducción asexual. Lo mismo sucede con muchos fitoparásitos *estrategas-r*, como los *hongos* y *áfidos*. Esto da ventajas de velocidad y economía reproductivas a los parásitos y permite su *explosión poblacional*. Cuando continua por demasiado tiempo, la reproducción asexual se vuelve desventaja de supervivencia en una población silvestre, pero puede ser muy útil en una agrícola. La propagación asexual de las plantas se llama propagación vegetativa.

**Autofecundante:** Especie vegetal que es autógena o autopolinizada. (ver alogamia).

**Autogamia, autógeno:** (del griego: autos=mismo, y gamos=matrimonio, reproducción). Es la *autofecundación* o *auto-polinización*. Una especie autógena es aquella en la que la planta o la flor individuales son fertilizadas con su propio *polen*; sin embargo siempre ocurre algo de *polinización cruzada* en las especies autógenas. (ver: alogamia, alógeno).

**Auto-infección:** *Infección* es el contacto que hacen un individuo *parásito* y un individuo *hospedante*, con el propósito de parasitismo. La auto-infección (del griego: autos=mismo) significa que el parásito nació sobre (o dentro) del hospedante que infecta; y no tiene necesidad de viajar hacia él. Sólo es posible después de que ocurrió una *aloínección*. En términos de una *relación gene a gene*, la auto-infección normalmente es una infección acoplante; consecuentemente la *resistencia* vertical no puede controlarla, y sólo puede controlarse con la *resistencia horizontal*. (ver aloínección, autogamia).

**Autopolinización:** Es la *fecundación* con *polen* proveniente de la misma flor o planta. La autopolinización o autofecundación continuas conducen a la *homocigosis* y a la formación de *líneas puras*. (ver autogamia, autofecundante, polinización cruzada).

**Avance genético:** Es el aumento de una variable genética cuantitativa, como resultado de la *selección masal recurrente*. Por ejemplo, después de una generación de selección podría haber un 5% de aumento en el rendimiento, o en el nivel de *resistencia horizontal* a cierta especie *parásita*.

**Bacteria:** El organismo celular más primitivo. La ciencia conoce unas 1,600 especies de ellas, y algunas son *parásitos* vegetales.

**Bactericida:** *Plaguicida* que mata *bacterias*.

**Barrenadores del tallo:** Estado *larvario* de varias especies de *insectos* así llamados por hacen túneles a lo largo de los tallos de plantas herbáceas, a las que a menudo matan.

**Billón:** En este libro el término billón se utiliza a la manera británica y mexicana, significando un millón de millones ( $10^{12}$ ).

**Biometrista, biométrico:** (Del griego: bios=vida y metron =medir). Un miembro de la escuela biométrica de *genética*, en contraste con la escuela *mendeliana*. Los biometristas estudian la herencia de los caracteres con *variabilidad cuantitativa*, que son controlados por poligenes. Esta escuela desarrolló los métodos de *mejoramiento poblacional* usando la *selección masal recurrente*, utilizando la *resistencia horizontal*

**Bioquímica:** La química de los procesos en seres vivos. Así, el sistema de salvaguarda (cerraduras y llaves bioquímicas) de la *relación gene por gene* depende de sustancias bioquímicas que o se acoplan, o no se *acoplan* entre sí.

**Caldo bordelés:** El primero y el de mayor éxito espectacular de todos los fungicidas hechos por el hombre, que fue descubierto en Burdeos, Francia, por Millardet, en 1882. Se prepara mezclando una solución de sulfato de cobre con cal viva. Su descubrimiento se describe en este libro.

**Cámara húmeda o humidificador (de enraizamiento):** Cámara transparente para enraizar varetas en un medio nutricional y biológicamente inerte, poco propicio a la formación de raíces, pero al que se pueden adicionar hormonas enraizadoras. Las varetas pueden mantener tantas hojas como sea posible para inducir la *fotosíntesis*, evitando su desecación mediante humedecimiento por aspersión automática. Se recomienda la iluminación profusa, aun cuando las temperaturas se eleven dentro de la cámara. Michos cultivos, antaño de *propagación vegetativa* comercial difícil o imposible, hoy se propagan vegetativamente en estas cámaras.

**Capacidad epidemiológica:** Un *parásito* puede causar una *epidemia* sólo cuando tiene capacidad epidemiológica en áreas determinadas. El nivel de capacidad, que puede variar de área a área y de estación a estación; es controlado principalmente por factores climáticos como la temperatura, y la humedad. Por ejemplo, la roya tropical del maíz: roya tropical (*Puccinia polysora*) carece de capacidad epidemiológica fuera de las tierras bajas tropicales; los maíces europeos son muy *susceptibles* a ella, pero no muy vulnerables, debido a su incapacidad para causar epidemias en climas templados. La susceptibilidad de esos *cultivares* se hace visible si se cultivan en tierras bajas tropicales. La variación en capacidad explica la necesidad de hacer *selección local* (selección en sitio) cuando se está fitomejorando por *resistencia horizontal*.

**Carbones:** Hongos fitoparásitos del Orden Ustilaginales, llamados carbones porque producen muchas *esporas* negras que parecen hollín.

**Catarinitas (mariquitas):** Son *escarabajos* de la Familia Coccinellidae. Normalmente son ovales, semi esféricos por ser ventralmente planos, coloreados en rojo o naranja con manchas conspicuas negras. Sus larvas y adultos se alimentan de otros insectos, particularmente *áfidos*, por lo que las catarinitas son valiosos agentes de *control natural* o *biológico*.

**Centro de diversificación:** Área geográfica en la que la especie de un cultivo muestra la máxima diversificación. El centro de diversificación es, a menudo, diferente del *centro de origen*, en particular con los *tetraploides*.

**Centro de origen:** Área geográfica en la que se originó una especie cultivada. Ocasionalmente es posible hacer fitomejoramiento en el centro de origen de un cultivo. Todos los parásitos del cultivo se encuentran ahí, excepto los de nuevo encuentro, que son muy raros y que aparecen en otras partes del mundo. Cuando es posible, hay probabilidades de que la resistencia horizontal a todos los parásitos localmente importantes del centro de origen provea de buena resistencia

contra todos los parásitos de todo el mundo. Ejemplo de esto es el programa cooperativo entre el Centro de Investigaciones para el Desarrollo Internacional (IDRC-Universidad de Guelph, en Canadá; Centro de Investigaciones para el Desarrollo), y el Colegio de Postgraduados de la Secretaría de Agricultura de México, en Montecillo, Méx. Se trata de un programa multidisciplinario sobresaliente que incluye fitomejoradores, entomólogos y fitopatólogos trabajando coordinadamente bajo el liderazgo del Dr. Roberto García E. Están mejorando frijol negro (*Phaseolus vulgaris*) por resistencia horizontal global en el centro de origen de La Mixteca Poblana, región mexicana donde se encuentran todos sus parásitos. Aunque no todas las plagas y enfermedades ocurren con la misma severidad, se espera obtener niveles adecuados de resistencia a ellos. Estos nuevos cultivares serían globalmente resistentes en la mayor parte del planeta.

**Cereales:** Son pastos que se cultivan por sus semillas comestibles, y pertenecen a la Familia *Gramineae*. Los más importantes, en términos de producción mundial, son el trigo, el arroz y el maíz, incluidos en la siguiente lista:

1. Autofecundados:

<i>Triticum aestivum</i>	trigo para pan
<i>Triticum durum</i>	trigo para pastas
<i>Oryza sativa</i>	arroz
<i>Hordeum vulgare</i>	cebada
<i>Avena sativa</i>	avena

2. Alofecundados:

<i>Zea mais</i>	maíz
<i>Secale cereale</i>	centeno
<i>Eleusine coracana</i>	coracana
<i>Pennisetum americanum</i>	mijo negro o cebada perla
<i>Panicum miliaceum</i>	mijo común
<i>Setaria italica</i>	panizo
<i>Sorghum bicolor</i>	sorgo

**Cereales de primavera y de invierno:** Como su nombre sugiere, los cereales de invierno se siembran en otoño, y pueden crecer, aunque lento, durante el invierno; mientras que los de primavera se tienen que sembrar en primavera. Los de invierno tienen la ventaja de que en la primavera comienzan a crecer tan pronto empieza la fusión de los hielos, semanas antes de que los tractores puedan entrar a los campos inundados, a sembrar el trigo de primavera. Esto les confiere (i) una etapa más larga de crecimiento con el correspondiente aumento de rendimiento, o (ii) una cosecha temprana que escape al desarrollo total de plagas y enfermedades.

**Cerradura única (Monolock):** Un subsistema agrícola (ver salvaguarda única) *parásito-hospedante* que ha sido arruinado por la uniformidad. ¿Qué sucede cuando todas las puertas en la ciudad (la planta hospedante) tienen la misma cerradura, y todo habitante de ella (el organismo parásito) tiene la llave que la abre? Este tipo de uniformidad ocurre con los *cultivares* que son genéticamente uniformes, y en los que cada planta tiene la misma cerradura *bioquímica* de *resistencia vertical*. Tales cultivares suelen cultivarse a nivel poblacional de millones, probablemente miles de millones y posiblemente *billones* de plantas, todas con la misma cerradura bioquímica.

**Ciclo de mejoramiento (o fitomejoramiento):** El ciclo total de eventos que constituyen una generación de avance genético, para mejorar un cultivo. Un ciclo de mejoramiento: ciclo usualmente comienza con la *polinización cruzada* de los progenitores seleccionados, terminando

justo antes de la siguiente polinización cruzada. Pueden pasar varias generaciones, incluidas las de multiplicación, *descendencia de una sola semilla*, que puede ser multigeneracional, y tal vez una *selección tardía* para obtener los padres del siguiente ciclo.

**Ciclos paralelos de mejoramiento:** Aunque la *selección tardía* tiene la ventaja de un más rápido avance genético, tiene la desventaja de requerir de un *ciclo de mejoramiento* de dos años en lugar de uno. Los clubs que utilicen la selección tardía podrían llevar dos programas de fitomejoramiento, uno *in situ* o *local*, en años pares, y el otro paralelo en años impares.

**Clon:** Población en la que todos los individuos son descendientes por propagación asexual (vegetativa) a partir de un progenitor individual; en consecuencia todos los individuos de un clon son genéticamente idénticos. Sin embargo algunos clones espontáneamente producen *mutaciones* asexuales llamadas “sports”. La *propagación vegetativa* incluye el uso de injertos, varetas, chupones, tubérculos, bulbos, cormos, o rizomas. Los cultivos típicamente clonales son la papa, fresa, lúpulo, manzano, olivo, cítricos, palmas datileras, caña de azúcar, plátano-banano y piña.

**Cobertera:** Un “acolchado” vegetal sobre el suelo agrícola, pensado para conservar su humedad, proteger las raíces, controlar la maleza, estimular a los organismos benéficos del suelo y añadirle nutrientes. Usualmente consiste de paja, hojas viejas, corteza, o rastrojo de cereales. En jardinería se usan coberteras ornamentales de piedra molida, para macetas y prados. El acolchado de plástico, consistente en una película de polietileno, se usa para controlar la maleza, o para calentar el suelo con el efecto de invernadero, y matar “parásitos del suelo” que afectan los cultivos.

**Coficiente de selección:** Es la proporción de plantas que el genetista escoge de entre la población de selección, durante su *selección masal recurrente*. Un coeficiente de 10% significa que se conservó al mejor 10% de la población de selección de plantas, como progenitores de la siguiente generación. Con frecuencia se usan coeficientes de 1 y 0.1%, lo que significa que se ejercieron presiones de selección muy fuertes.

**Club de fitomejoramiento:** El fitomejoramiento moderno normalmente está más allá del alcance de los individuos privados, pero está al alcance de grupos de científicos aficionados, con decisión, que pueden organizarse en clubs de fitomejoramiento: clubs de . La motivación ambientalista de un club sería la producción de un *cultivar* nuevo, con *resistencia horizontal* que sea completa y global, y en consecuencia contribuya a reducir la contaminación por *plaguicidas*. La motivación humanitaria sería colaborar a reducir el problema mundial alimentario. La pecuniaria sería obtener regalías de fitomejorador.

**Conservación genética:** Es la preservación de caracteres genéticamente controlados, en bancos de germoplasma que consisten de colecciones botánicas (jardines museográficos) o semillas almacenadas. El concepto de conservación de genes fue idea original de los *mendelianos*, dirigida a preservar los genes de *resistencia vertical*. Por esa razón es de importancia relativamente menor para los *biometristas* y para los caracteres *poligénicamente* heredados como la *resistencia horizontal*.

**Control biológico y natural:** Es el control de *parásitos* agrícolas efectuado por *depredadores*, *parasitoides*, competidores y antagonistas. El efecto de ese control puede disminuir o perderse completamente por el uso de *plaguicidas*, resultando en una *anarquía biológica*. Quienes proponen el *manejo integrado de plagas* (MIP) dependen substancialmente de la restauración del control natural y biológico perdidos, mediante reducciones en el uso de plaguicidas, por que esas pérdidas son



más importantes de lo que mucha gente cree. La recuperación de esas pérdidas también sugiere que podría necesitarse menos *resistencia horizontal* de la que pensamos, para obtener el control total de los parásitos agrícolas, gracias a que al parar el uso de plaguicidas los controles naturales se restablecen.

**Crecimiento poblacional:** A diferencia del crecimiento individual, una población puede tener crecimiento positivo, estático o negativo. El positivo ocurre cuando cada individuo, en promedio, origina más de un descendiente; el estático (o cero crecimiento), cuando cada individuo origina exactamente un descendiente en promedio; el negativo ocurre cuando cada individuo, en promedio, origina menos de un descendiente. (ver: inmunidad poblacional).

**Cromosomas:** Cuerpos filamentosos microscópicos que se desarrollan en el núcleo de las células vegetales y animales durante la mitosis, o división celular. Cada cromosoma consiste de ADN, sustancia en la que se codifica toda información genética, dentro de unidades llamadas *genes*. Los cromosomas ocurren en pares; uno de los cromosoma del par proviene de la madre y el otro del padre. Representan el sistema conocido de mayor concentración de información. Las *bacterias* y *virus* no almacenan la información genética en cromosomas. (ver: diploide, monoploide doble, haploide, tetraploide).

**Cucurbitaceas:** Miembros de la Familia botánica *Cucurbitaceae*. Entre las especies cultivadas tenemos:

<i>Citrullus lanatus</i>	sandía
<i>Cucumis melo</i>	melón
<i>Cucumis sativus</i>	pepino
<i>Cucurbita maxima</i>	calabaza dulcera
<i>Cucurbita pepo</i>	calabacita
<i>Lagenaria siceraria</i>	guaje
<i>Luffa</i> spp.	lufa

Las cucurbitaceas son heterógamas, por lo que su mejoramiento genético depende de la producción de variedades híbridas.

**Cultivar:** Es una variedad cultivada. Usualmente se trata de una *línea pura*, un *don* o una *variedad híbrida*, que son uniformes genéticamente y genéticamente inflexibles. En consecuencia, un cultivar no puede responder a la *presión de selección* durante su cultivo. (ver ecotipo, variedad local o indígena, micro-evolución).

**Cultivo de meristemos:** Técnica para liberar de virus y otras enfermedades al material de propagación vegetativa. El meristemo es la parte de las plantas que, por mitosis continua, produce los tejidos nuevos. Estos tejidos permanecen libres de parásitos por cierto (corto) tiempo. Al remover el meristemo y someterlo a cultivo de tejidos es posible obtener una planta nueva libre de parásitos.

**Cultivo de parásitos:** La población de un *parásito* obtenida expresamente en laboratorios o invernaderos para *inocular* o *infestar un hospedante* o su población.

**Chinche:** *Insecto* del Orden Hemiptera, con aparato bucal chupador y alas anteriores mitad membranosas y mitad coriáceas. Muchos son plaga de importancia.

**Damping-off:** Enfermedad de plántulas muy jóvenes que pudre el tallo vegetal a nivel del suelo; las plantas atacadas caen como troncos en miniatura. La enfermedad es causada por los hongos *Phytophthora*, *Pythium*, y *Rhizoctonia*, pero se agudiza por el exceso de agua, que debe evitarse. Los

mejores métodos para controlarlas son el uso de suelos *pasteurizados* con vapor caliente, o tratados con una inundación *fungicida*.

**Daño (por parasitismo):** Es la cantidad de perjuicio real causado por un individuo *parásito* a un *hospedante* individual, o el promedio causado en una población. La *frecuencia del parasitismo* es la proporción de individuos parasitados dentro de una población. En *patosistemas* silvestres el daño por parasitismo es inversamente proporcional a su frecuencia; esto es, a mayor frecuencia menor daño y a mayor daño menor frecuencia. De esta manera el daño total por parasitismo no pasa de un nivel tolerable, y no pone en peligro la habilidad del hospedante para competir en lo evolucionario y en lo ecológico. La *resistencia vertical*, con su *sistema de salvaguarda*, reduce las frecuencias de parasitismo; la *resistencia horizontal*, como segunda línea de defensa, minimiza el daño. Los patosistemas vegetales *continuos* que sólo poseen resistencia horizontal, invariablemente tienen altas frecuencias de parasitismo, pero poco daño.: frecuencias del

**Depredador:** En el contexto agrícola, es un animal, usualmente insecto o nemátodo, que se alimenta por corto tiempo de fitoparásitos de los cultivos, contribuyendo así al *control biológico* o natural. (ver: parasitoide, hiperparásito).

**Descendencia de una sola semilla (DSS):** Es un método expedito para producir *línea puras* de cultivos *autofecundantes* que se propagan por semilla, como las *leguminosas* de grano y muchos *cereales*. De una población heterocigótica con muchos individuos genéticamente heterogéneos, se toma una sola semilla autofecundada de cada uno de ellos y se cultiva hasta que produce semillas. El proceso se repite unas seis veces hasta que se obtienen grupos de individuos *homocigóticos*, tantos grupos como semillas autofecundadas originales, pero la población (conjunto de grupos) todavía es variable. Se escogen los mejores individuos y se conservan como nuevas líneas puras. La idea del fitomejoramiento por DSS es el ahorro de tiempo ya que no se hace ninguna selección hasta que se completa un proceso. En invernadero, y con unas tres generaciones autopolinizadas por año, el sistema DSS puede producir líneas puras en dos o menos años.. El método más tradicional requeriría de selección en el campo durante cada generación autofecundada; por lo tanto, en clima templado con sólo una generación de selección anual, se requerirían 4-6 años para llegar a lo mismo.

**Deciduo (caducifolio):** Hábito de árboles y arbustos de dejar caer sus hojas (cada otoño o etapa adversa). El hábito tiene la función de auxiliarles a escapar de situaciones adversas como el frío y la sequía; sin embargo también tiene ventajas adaptativas en el control de *parásitos* foliares, proveyendo un *patosistema discontinuo* donde pueda operar una *relación gene a gene*, como sistema de salvaguarda bioquímico.

**Desecador:** Recipiente de vidrio con tapa a altamente sellable que se usa para deshidratar pequeñas cantidades de tejido, como semillas o nódulos radicales. El desecante es cloruro de calcio que, por ser tóxico, debe permanecer separado del material orgánico; alternativamente se usa *silica gel*, inocuo pero menos eficiente como desecante.

**Dicotiledonea:** Las hojas primarias producidas por plantas recién emergidas son llamadas cotiledones. Todas las plantas floridas se dividen en mono (uno) o di (dos) cotiledoneas. La dicotiledoneas son frecuentemente llamadas plantas de hoja ancha. Sus semilla se dividen en dos mitades, cada una siendo un cotiledón. Entre las cultivadas destacan los chícharos, frijoles, frutas y nueces de clima templado, las familias de las calabazas y las papas, el algodónero, tabaco, hule, te, café, cacao, yuca, camote y muchas hortalizas y especias. (ver: monocotiledoneas).

**Dioco:** Del griego di=dos y oicos=casa. Especie vegetal en la que los sexos masculino y femenino se localizan en plantas diferentes. (ver: hermafrodita).

**Diploide:** Planta o célula con dos juegos de  *cromosomas*, cada uno de ellos proveniente de cada progenitor. La diploidía es el estado normal de la mayoría de las plantas y animales. (ver: monoploide doble, haploide, triploide tetraploide.).

**Distribución normal:** Es el arreglo más común en las frecuencias de una variable cuantitativa, en una población mezclada. Por ejemplo, la altura de las personas varía entre un mínimo y un máximo, de acuerdo a una distribución normal donde las personas muy pequeñas y las muy altas son raras, y la altura más frecuente es el promedio predominante en la población. Esta distribución asume la forma de una “curva de campana”, llamada curva de Gauss, y es típica de todas las variables cuantitativas como la  *resistencia horizontal*.

**Distribución por contagio:** Espaciamiento no uniforme de parásitos, más bien formando agregados al azar. La distribución por contagio permite que algunos hospedantes sean muy parasitados mientras que otros escapan al parasitismo. Es típica de los “parásitos del suelo” y los insectos gregarios como los pulgones y las chicharritas del rayado del maíz. Es una molestia cuando se está fitomejorando por resistencia horizontal, porque los escapes pueden dar la apariencia de resistencia.

La distribución por contagio también se da en el tiempo. Por ejemplo, las mangas de langosta del desierto ocurren una vez en 10-15 años (periodo suficientemente largo como para que un hospedante anual pierda la mayoría de su resistencia a ese insecto).

Es una estrategia evolutiva de supervivencia del parásito, por que evita que su hospedero acumule resistencia contra él, sin poner en peligro la supervivencia del hospedante. (ver frecuencia, daño).

**Distribución uniforme:** Aquella donde los parásitos se distribuyen espacialmente en forma equidistante unos de los otros.. Una distribución uniforme del parasitismo determina que cada  *hospedante* sea más o menos igualmente parasitado. Es altamente deseable cuando se está haciendo  *selección* por  *resistencia horizontal*, porque al detectar diferencias en los niveles de parasitismo se estarán detectando diferencias en resistencia. “Lo contrario a la distribución por contagio”. (ver distribución por contagio, frecuencia, daño).

**Domesticación:** Proceso mediante el cual los antiguos agricultores modificaron las plantas silvestres para volverlas cultivables mediante la  *selección artificial*. Usualmente fue un proceso muy gradual mediante el cual tendían a utilizar las mejores plantas como progenitores del siguiente cultivo. Ocasionalmente, sin embargo, la domesticación avanzaba de manera repentina y espectacular, como cuando se descubrieron los trigos que tiraban o no los granos de sus espigas. Esto sucedió hace miles de años, y los descendientes de los últimos se han cultivado continuamente desde entonces. Pocas especies cultivadas se han domesticado recientemente, incluyendo al hule ( *Hevea brasiliensis*), la palma de aceite ( *Elaeis guineensis*), y los lupinos blancos ( *Lupinus augustifolius*).

**Dominante:** Un carácter genético es dominante cuando el  *gene* o  *alelo* que predomina es capaz de eclipsar al  *recesivo*.

**Ecología:** Estudio de las interacciones de las especies o poblaciones entre sí y con su ambiente. La ecología hace un uso considerable de la  *teoría de los sistemas* y los conceptos de  *ecosistema*. También tiende a enfatizar los  *niveles sistemáticos* superiores.

**Ecosistema:** Sistema (biológico) que ocupa una área determinada y que incluye a las interacciones de todos los organismos en ella, tanto entre organismos, como las de ellos con su ambiente.

**Ecotipo:** Una variante local resultado de las *presiones de selección* peculiares de la localidad, y dependientes del *ecosistema*. Los ecotipos son el resultado de la *microevolución*. (ver cultivar, variedad local)

**Efecto de vertifolia:** Es la pérdida de la *resistencia horizontal* durante el proceso de fitomejoramiento por *resistencia vertical*, observado primeramente por Vanderplank. El nombre derivó del *cultivar* de papa "Vertifolia" ("hojas verdes") porque ahí se descubrió un bajísimo nivel de resistencia horizontal al tizón, cuando su resistencia vertical fue acoplada. El mecanismo a observar es que los niveles de resistencia horizontal permanecen ocultos cuando no hay *parasitismo*, cuando se brinda la protección química de los *plaguicidas*, o bajo una *resistencia vertical* operante. Son raras las plantas con altos niveles de resistencia horizontal en las *poblaciones de selección*, por lo que suelen ser seleccionadas las que tiene poca resistencia, en base a sus otros atributos. Durante décadas de fitomejoramiento la resistencia horizontal puede alcanzar niveles peligrosamente bajos.

**Emergente:** Es cierta a característica de un *sistema* que sólo se hace evidente por que emerge a un *nivel sistemático* determinado (superior) y es imposible a menor nivel. Así, un *sistema de salvaguarda* es un emergente sólo posible al nivel de población, por que debe existir una población de muchas "cerraduras" diferentes y muchas "llaves", para que funcione el sistema de salvaguarda, incluso para que exista. Al nivel inferior de "cerradura" individual, o "perno" individual de la cerradura, el sistema de salvaguarda es imposible. El peligro de hacer investigación a nivel sistemático demasiado bajo es que el emergente tiene pocas posibilidades de manifestarse. Esto puede conducirnos a la suboptimización.

**Entomología:** Disciplina científica que estudia a los *insectos*. La entomología agrícola estudia los insectos plaga, los polinizadores, los parasitoides, los depredadores, los vectores, y otros relacionados con la agricultura.

**Epidemia:** Es el *parasitismo* que se estudia al *nivel sistemático* de población. Una epidemia vegetal puede ser continua o discontinua (permanentes o efímeras), y eso determinará la importancia relativa de los dos tipos de *resistencia* y los dos tipos de *infección*.

**Erosión de la resistencia horizontal:** erosión de la : Es una pérdida cuantitativa de *resistencia horizontal*. Hay cuatro categorías de erosión: (1) Erosión en el hospedante, como resultado de cambios genéticos en él. Esto sólo puede ocurrir durante el cultivo de un cultivar que sea genéticamente flexible, no en los demás. También ocurre cuando se hace fitomejoramiento en ausencia de sus parásitos o cuando las poblaciones de selección están protegidas por *plaguicidas* o por resistencia vertical operante. (2) Erosión ambiental, que resulta cuando un *cultivar* es llevado de una área donde su parásito posee poca *capacidad epidemiológica* a otra de elevada capacidad. (3) Erosión en el parásito, que surge de cambios genéticos en él; sólo en raras ocasiones es importante, y sólo con parásitos facultativos. (4) Erosión falsa, que aparece como resultado de una investigación defectuosa culminada en la obtención de un cultivar "resistente", que posteriormente resulta susceptible. (ver: rompimiento de la resistencia).

**Escarabajo:** *Insectos* del Orden Coleoptera caracterizados por un par de alas anteriores coriáceas que se unen en el dorso formando una línea recta, y cubren las alas membranosas posteriores.. Muchos coleópteros son parásitos importantes de los cultivos y otros lo son de productos almacenados;

pero otros, como las *catarinitas*, son benéficos por que se alimentan de insectos plaga. Hay unas 300,000 especies de escarabajos en el mundo, lo que los sitúa, por mucho, como el Orden más grande de organismos vivientes.

**Espora:** Cuerpo reproductivo microscópico de *hongos*, *bacterias* y otros organismos, que pueden ser producidos sexual o asexualmente. Tienen la misma función reproductiva que las semillas de las plantas superiores.

**Estambre:** El órgano masculino de una planta que floréa. Cada estambre porta una *antera* que contiene el *polen*.

**Estigma:** Parte femenina del ovario de una flor, la que recibe el *polen*.

**Estolón:** Tallo subterráneo por medio del cual se une un tubérculo de papa a la planta madre.

**Estratega-k:** Para cualquier especie la capacidad de carga ambiental es constante y se representa con la letra **K**. Estratega-**k** es una especie de tamaño poblacional “constante”, por estar gobernado por la capacidad de carga de su medio. Los organismos que son estrategias-**k** tienden a originar individuos grandes y longevos, que se suceden a sí mismos por reproducción relativamente poco frecuente. Los elefantes y las secuoyas californianas son estrategias-**k**. (ver estrategia-**r**).

**Estratega-r:** Especie en la que el tamaño poblacional es gobernado por su propia tasa de reproducción, normalmente abreviada con una **r**. A su vez, la tasa de reproducción es gobernada por la estación del año (condiciones ambientales prevalecientes). Un estrategia-**r** se reproduce en forma muy económica y rápida, con enormes cantidades de descendientes muy pequeños, siempre que los recursos y el tiempo meteorológico lo permitan. Este comportamiento culmina en *explosiones poblacionales* inevitablemente seguidas de una *extinción poblacional*. Muchos fitoparásitos son estrategias-**r**, y sus explosiones poblacionales son alarmantes, perjudiciales y difíciles de controlar. La *relación gene a gene*, y el *sistema de salvaguarda del subsistema vertical*, aparentemente evolucionaron para cumplir la única función de bloquear las explosiones poblacionales de estos *parásitos*. (ver estrategia-**k**)

**Evolución:** Los macro o micro efectos de la selección natural. La macroevolución (o evolución darwiniana) ocurre durante periodos de tiempo geológico induciendo cambio genéticos nuevos e irreversibles. Da origen a especies nuevas. La microevolución ocurre durante periodos de tiempo histórico, e involucra cambios que no son nuevos y que pueden ser reversibles. La formación de *ecotipos* por selección natural, y la de *cultivares* por *selección artificial*, son ejemplos de micro-evolución. (ver selección)

**Explosión poblacional:** explosión : Crecimiento muy rápido de una población, que puede ocurrir durante etapas favorables a las especies que son *estrategas-r*. Muchos parásitos agrícolas son estrategias-**r** y sus explosiones poblacionales pueden ser alarmantes y difíciles de controlar. La función de la *relación gene a gene* y de los *subsistemas verticales* en un *patosistema vegetal silvestre* es el control de esas explosiones, pero sólo lo puede lograr si funciona como sistemas de salvaguarda basados en la *variabilidad genética*. (ver extinción poblacional)

**Extinción poblacional:** extinción : Es la destrucción de la población de un *estratega-r*, que ocurre cada fin de la estación favorable. Entre los fitoparásitos ésto ocurre típicamente en los *patosistemas discontinuos* que pierden el tejido *hospedante* durante el otoño en plantas *deciduas*, o con la muerte de

toda la planta, excepto sus semillas, en las hospederas anuales. Con parásitos específicos de los cultivos ésto puede ocurrir durante la cosecha, como el desentierro de papas o la siega de cereales. (ver explosión poblacional)

**F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, .....F<sub>n</sub>**: Notación de los *mejoradores por pedigrí*, para referirse a las generaciones de descendencia filial originadas de una *polinización cruzada*. Esas generaciones normalmente son *autopolinizadas*, y el número de la generación es una indicación del grado de homocigosis; así, F<sub>6</sub> se considera lo suficientemente homocigótico como para ser una *línea pura*.

**Fecundación**: Es el proceso de fertilización sexual del *óvulo* femenino por el *polen* masculino; puede haber auto o alofecundación

**Fertilización**: Aplicación de nutrientes naturales o artificiales al suelo.

**Fitomejoramiento**: Disciplina científica abocada al mejoramiento de los cultivos mediante métodos genéticos. (ver: mejoramiento por pedigrí, mejoramiento poblacional).

**Fitopatología**: Disciplina científica abocada al estudio y control de las enfermedades de los cultivos, usualmente causadas por microorganismos como los *hongos*, *bacterias* y *virus*.

**Flexibilidad genética**: Una población tiene flexibilidad genética cuando puede responder (modificándose genéticamente) a las *presiones de selección*. Por ejemplo, si una población *hospedera* tiene muy poca *resistencia horizontal*, ganará resistencia al recibir la presión adecuada. Esto sucede porque los individuos resistentes, al ser menos parasitados, tendrán ventajas reproductivas sobre los susceptibles y, consecuentemente, la proporción de resistentes aumentará en la siguiente generación. (ver inflexibilidad genética).

**Forraje**: Cualquier cultivar que se siembra para consumo de los animales de campo, como la remolacha, alfalfa, *pastos*, maíz o *leguminosas*.

**Fotosíntesis**: Proceso mediante el cual la clorofila de los tejidos vegetales verdes convierte la energía solar, el agua y el bióxido de carbono en carbohidratos, liberando oxígeno como desperdicio.

**Frecuencia (del parasitismo: frecuencia del )**: Es la proporción de individuos hospedantes que sufre *parasitismo*. El *daño* por parasitismo: daño por es el perjuicio real que inflige a cada individuo *hospedero* el *parásito*, y usualmente se expresa como el promedio dentro de la población hospedante. En *patosistemas* vegetales silvestres el daño es inversamente proporcional a la frecuencia de parasitismo; ésto es, a mayor frecuencia menor daño. De esta manera el daño total del parásito nunca excede los niveles tolerables y permite al hospedante conservar su habilidad para la competencia evolutiva y ecológica. El *sistema de salvaguarda* de la *resistencia vertical* reduce la frecuencia del parasitismo. La segunda línea de defensa, la *resistencia horizontal*, reduce el daño. Los *patosistemas vegetales continuos*, poseedores de resistencia horizontal, invariablemente sufren altas frecuencias de parasitismo, pero poco daño.

**Frutas con hueso**: Frutas de la Familia Rosaceae, que tienen una sola semilla dura, a la que llamamos hueso o pepita. Incluyen a las ciruelas, cerezas, chabacanos, duraznos, almendras, capulines.

**Frutas pomáceas:** Producidas por frutales de la Familia Rosaceae, estas frutas concentran sus semillas en un “corazón”. El término incluye a las manzanas, peras, perones y tejocotes.

**Fuente de resistencia:** Germoplasma inicial sin el que los mendelianos no pueden comenzar un programa de *fitomejoramiento* por *resistencia*. La fuente mendeliana de resistencia: fuente de usualmente es controlada por un solo gene que forma parte de una *relación gene a gene*. Los genetistas de la escuela biometrista trabajan con la *resistencia horizontal*, que es poligénicamente controlada, por lo que no necesitan una buena fuente de resistencia. Esto se debe a que éstos sólo cambian las frecuencias de los poligenes ya presentes en las poblaciones de *selección*, usando *selección masal recurrente*.

**Fuente fisiológica y sumidero fisiológico:** En las plantas, una fuente fisiológica es el tejido que genera u obtiene nutrientes, como las hojas que generan carbohidratos por fotosíntesis, o las raíces que obtienen agua y minerales del suelo. Un sumidero fisiológico es el tejido que utiliza esos nutrientes, usualmente anteponiéndose a otros tejidos; así, todos los meristemos de crecimiento activo, las flores, y sobre todo los frutos y semillas, son sumideros que crecen a expensas de otras partes de la planta.

**Fungicida:** *Plaguicida* que mata *hongos*. La mayoría son específicos pero algunos tienen propiedades medicinales, veterinarias o domésticas. El más famoso y espectacular de ellos fue el *caldo bordelés*, descubierto en Francia por Millardet en 1882.

**Gameticida masculino:** Cualquier sustancia que mata las células reproductivas masculinas de la planta, volviéndola efectivamente estéril-masculina o androestéril. Los gameticidas masculinos pueden usarse para convertir artificialmente una planta *autofecundante*, como el trigo, en *alofecundante*, y aplicar la *selección masal recurrente*. Existe especial interés de usarlos para la producción comercial de *variedades híbridas*, pero hasta ahora los gameticidas disponibles no son suficientemente buenos.

**Gene (gen):** Es la unidad de herencia, cuyo conjunto forman los  *cromosomas*. Un carácter heredado a través de los genes puede ser controlado por un solo *gene* (monogénico, monogenético, mendeliano), o controlado por muchos genes (poligénico o poligenético). Cada gene aparece dos veces en un individuo normal *diploide*; cada uno de esos genes es un *alelo*, localizable en cada una de las partes apareadas de un cromosoma.

**Generación de cruza:** Los cultivos alógamos (que no se pueden alofecundar fácilmente durante la generación de tamizado), requerirán de una generación de cruza. Varias semillas de cada nuevo progenitor se cultivan en el invernadero de club para ser cruzados. El total de semillas por progenitor se calcula a partir de la capacidad de cada club. Cuando hay una generación de multiplicación, esas cantidades se reducen considerablemente. Para producir la primera generación se cruzan las 10-20 líneas puras o cultivares (los padres originales), en todas las combinaciones y en las mismas proporciones aproximadas. En caso de ser líneas puras las semillas no mostrarán variabilidad alguna. Se dejarán crecer y autopolinizarse hasta obtener la siguiente generación, la cual tendrá considerable variabilidad. Esta multiplicación es necesaria para contar con suficiente semilla para la primera generación de tamizado. Después de cada generación de tamizado las semillas de las plantas seleccionada son los padres de la siguiente generación. Estos progenitores se cruzan igual que los originales y, de ser necesario, la semilla obtenida puede usarse como generación de multiplicación.

Las generaciones de cruza y de multiplicación pueden protegerse con plaguicidas, por lo menos en los ciclos de mejoramiento iniciales, para no exponerlos al riesgo de que se pierdan. Estos procedimientos variarán ligeramente en la selección tardía y en la familiar.

**Generación de multiplicación:** Aquella durante la cual se reproduce la semilla o propágulo, para asegurar la generaci

**Género:** Jerarquía taxonómica de los organismos, menor que la de Familia, y arriba de la de Especie.. Todos los organismos tienen dos nombres latinos, el primero es el nombre genérico y el segundo el específico.

**Genética:** Es el estudio de la herencia. Hay dos ramas de la genética, llamadas mendeliana y *biométrica*. Los mendelianos estudian *genes* aislados o monogenes, representantes de caracteres que se encuentran o no presentes. Los biometristas estudian caracteres poligénicos, de variabilidad continua entre un mínimo y un máximo. Para algunos genetistas hay una tercera rama llamada genética de poblaciones, que estudia los cambios de frecuencia de los genes mendelianos dentro de una población.

**Graminea:** Miembros cultivados de la familia de los pastos (Gramineae). Incluye a los cereales, la caña de azúcar y muchas forrajeras tipo pasto.

**Gusano:** Estado inmaduro de *insectos* de metamorfosis completa como las *palomillas*, *mariposas*, *catarinitas* y *escarabajos*.. Es frecuente que los gusanos sean muy voraces y que se constituyan en *parásitos* importantes de los cultivos.

**Habilidad parasitaria:** Es la capacidad de un organismo llamado parásito, para habitar en otro llamado *hospedante*, y obtener sus nutrientes de él a pesar de la *resistencia* que pueda oponer el hospedante. En este libro se reconocen dos tipos de habilidad parasitaria, la *vertical* y la *horizontal*.

**Habilidad parasitaria horizontal:** Es la capacidad parasitaria que no proviene de una *relación gene a gene*. Es la que utilizan los fitomejoradores *biometristas*, pues su herencia se atribuye a muchos *poligenes*. Aunque poco ha sido estudiada, parece ser que siempre varía *cuantitativamente*. Esta habilidad parasítica es la que faculta a un *parásito* para obtener nutrientes del *hospedante* después que la *resistencia vertical* fue *acoplada*, aun cuando el hospedante posea *resistencia horizontal*. (ver habilidad parasitaria vertical)

**Habilidad parasitaria vertical:** Es la capacidad de un parásito que forma parte de una *relación gene a gene*, para parasitar a un hospedante, que también forma parte de esa relación. Es la que estudian los *mendelianos*, su herencia es controlada por monogenes, cada uno de los cuales tiene su correspondiente *gene de resistencia acoplante*, en el hospedero. En un *patosistema silvestre* la habilidad parasitaria vertical es parte de un *sistema de salvaguarda* capaz de controlar sólo a las *alo infecciones*, por lo que depende de la variabilidad genética en la población hospedante. (ver habilidad parasitaria horizontal, resistencia vertical)

**Hábito determinado:** Lo contrario del hábito trepador (de las plantas). La planta determinada (en hábitos) es relativamente chica y vive cercana al suelo, como lo hacen los frijoles enanos y las papas.



- Haploide:** Célula o planta con un solo juego de  *cromosomas*. Los gametos o células sexuales ( *polen*,  *óvulos* y esperma) son haploides, por lo que su fusión sexual produce un  *diploide* normal con dos juegos de cromosomas. Las plantas haploides se pueden obtener artificialmente, para después duplicar su único juego de cromosomas y obtener un  *monoploide doble*. Haploide y monoploide son sinónimos. (ver triploide, tetraploide)
- Herbicida:** Cualquier producto químico que mata la  *maleza*. Los modernos herbicidas a menudo son selectivos, en el sentido que pueden matar la maleza sin dañar al cultivo.
- Heredabilidad:** Es el porcentaje de  *variabilidad cuantitativa* que se debe a características  *genéticas* (no ambientales), y que un organismo transmite a su descendencia. Por ejemplo, una planta puede mostrar un nivel cero de parasitismo (100 % de “resistencia”) sólo por que el parásito está ausente de su región; sin embargo, cuando el parásito se presenta con su fuerza máxima, la misma planta puede tener un 50 % de parasitismo. Así, la heredabilidad de la resistencia aparente (100 %) se reduce a la real 50 % (o sea que sólo se hereda y puede ser transmitida a la progenie la mitad de la resistencia aparente; la otra mitad no es transmisible por herencia ya que se debe a factores ambientales).
- Herencia (poligénica y monogénica):** La poligénica consiste en transferir a la progenie un carácter que está controlado por muchos  *genes*, llamados poligenes. La herencia poligénica es de efectos  *cuantitativos* y exhibe  *variabilidad continua* con todos los grados de variabilidad comprendidos entre un mínimo y un máximo. Todas las  *resistencias* poligénicas son  *resistencias horizontales*, pero no toda resistencia horizontal se hereda poligénicamente. La herencia monogénica sería la atribuible a un solo gene; es de efectos cualitativos, su variabilidad es discreta y controla las resistencias verticales.
- Hermafrodita:** Que se presentan ambos sexos en el mismo individuo. En las plantas las flores son hermafroditas cuando coexisten ambos sexos en la misma flor. Cuando los tienen en flores diferentes (de la misma planta) las llamamos monoicas .
- Heterocigótico:** Este término se refiere a una planta cuyos progenitores son genéticamente diferentes. Es aplicable a un  *gene* o a todo el genotipo de la planta individual. Las plantas heterocigóticas no se reproducen “fieles a su tipo”, segregan. (ver homocigótico)
- Heterosis:** Es el vigor híbrido que exhibe la progenie de dos plantas  *homocigóticas* diferentes que se cruzan entre sí. Este vigor persiste sólo por una generación y es la base de las  *variedades híbridas*.
- Híbrido ‘swarm’:** Es una población, usualmente de una planta heterógama, que muestra gran  *diversidad genética* debido a que proviene de una cruce entre dos o más especies diferentes. La caña de azúcar y el te son ejemplos típicos.
- Hidroponia:** Es el cultivo de las plantas en soluciones nutritivas en lugar de suelo. La técnica es más aplicable a invernaderos y es particularmente útil para los  *descendientes de una sola semilla*. Las raíces están suspendidas en la solución, o en arena gruesa inerte embebida de la solución, o dentro de tubos de plástico, o en diversos tipos de sustratos y contenedores. Entre otras, las principales ventajas de la hidroponia son: (i) usar una alta densidad de plantas en un reducido espacio de invernadero, (ii) inducir un rápido crecimiento y maduración que culminan en un ciclo de reproducción corto, (iii) mantener una relativa ausencia de plagas y enfermedades y (iv) ahorrar mano de obra.

**Hiperparásito:** Es el *parásito* de un parásito. Agente de control natural y biológico. Por ejemplo, la roya de las hojas del cafeto es un parásito cuyas *esporas* son comidas por una *larva* que, de acuerdo a este libro, sería hiperparásita. La avispa que parasita a esta larva, sería hiper-hiper-parásita.

Cuando el cafeto es asperjado con insecticidas se pierde el efecto de la larva “hiperparásita”  
Nota del traductor: Este término y el de predador se utilizan en este libro de manera literal y no de acuerdo a la terminología del control biológico (ver depredador), donde se considera como el parásito de un insecto parasitoide.

**Holístico:** Es un término de la *teoría de los sistemas*, y significa análisis y manejo del sistema, conducidos al más alto *nivel sistemático* posible.

**Homocigótico:** Este término se refiere a la planta cuyos progenitores fueron genéticamente idénticos. Es aplicable a un gene o a todo el genotipo de la planta individual. Las plantas homocigóticas se reproducen “fieles a su tipo”. Una población de plantas que son efectivamente idénticas en todo el genotipo se llama línea pura. (ver heterocigótico)

**Hongo:** Los organismos están clasificados en Reinos de: animales, plantas, hongos, *bacterias* (éstas no poseen cromosomas), *virus*, y seres unicelulares con *chromosomas*. El carácter que distingue a los hongos de las plantas es que carecen de clorofila y, por ende, no pueden sintetizar su alimento a partir de la luz y el bióxido de carbono. Así, los hongos tienen que consumir material muerto o acudir al *parasitismo*. Generalmente son microscópicos, pero producen cuerpos fructíferos visibles en las lesiones que ocasionan.

**Horizontal (resistencia):** Es un término completamente abstracto y significa que no existe una *relación gene por gene*, sea en la *resistencia horizontal* o en la *habilidad parasítica*. El *subsistema* horizontal de un *patosistema* también carece de una relación gene a gene. (ver el Apéndice B para conocer el origen del término; ver habilidad parasítica horizontal y resistencia horizontal)

**Hospedante (Hospedero):** Individuo o especie que alberga a un organismo *parásito* y lo abastece de nutrientes.

**Hospedante designado:** Es un *cultivar genéticamente inflexible*, en forma de *línea pura* o *don*, especialmente escogido para que lo parasite el *patotipo designado* durante toda la duración de un programa de fitomejoramiento *por resistencia horizontal*. El hospedante o cultivar designado posee todos los *genes verticales de resistencia* presentes en su población (la que se va a mejorar). Como el patotipo designado puede acoplar todos los genes verticalmente resistentes del hospedante designado, también acoplará todos los de sus poblaciones descendientes, independientemente de cómo se recombinen por efecto de la *alofecundación* o alogamia. Esto asegurará que toda resistencia evidente en la población descendiente sea horizontal. Por cada especie parásita en la que se manifiesta la *relación gene a gene* se debe designar un nuevo hospedante designado.

**Infeción:** Es el contacto que hace un *parásito* individual con un *hospedante* individual para efectuar el *parasitismo*. (ver aloinfección, autoinfección)

**Inflexibilidad genética:** Las poblaciones *genéticamente uniformes* carecen de flexibilidad genética cuando no pueden reaccionar (modificándose genéticamente) a las *presiones de selección*. Por ejemplo, si una población *hospedante* tiene muy poca *resistencia horizontal*, no ganará resistencia aun recibiendo la presión de selección adecuada, cuando todos los individuos de la población tienen los mismos

genes de resistencia, es decir el mismo nivel de resistencia. Así, ningún individuo tiene ventajas reproductivas sobre otros, y consecuentemente la proporción de resistentes será la misma en las siguientes generaciones.

**Ingeniería genética:** ingeniería : Técnicas que posibilitan modificar el patrimonio genético de un organismo, usualmente mediante la transferencia de *genes* (transgenización) a partir de una especie diferente.

**Inmunidad:** El término significa que un hospedante no puede ser parasitado por ciertas especies de *parásitos* con las que no ha coevolucionado. Así, el cafeto es inmune a la roya del trigo, y el trigo es inmune a la del cafeto. La inmunidad es una constante, no tiene variabilidad. A nivel máximo la *resistencia horizontal* puede aparentar ser inmunidad, pero no lo es porque tiene variabilidad y es erosionable. A la *resistencia vertical* se le ha llamado con frecuencia inmunidad; tampoco lo es, sólo lo es en apariencia cuando no hay parasitismo porque no se presenta la *raza* acoplante del parásito.

**Inmunidad poblacional:** Es el fracaso de una *epidemia* al no poder desarrollarse en una población *hospedante* que no es inmune. Cada hospedero puede estar parasitado, pero su *resistencia horizontal* puede ser tan alta que el crecimiento poblacional del parásito se vuelve cero o negativo.

**Inocular (o infestar):** En ciencias agrícolas este término significa introducir un *parásito* o población de él a una planta individual o su población. Así, una *población de selección* puede ser inoculada (o infestada) con una o más especies parásitas para someterla a presión de selección por resistencia. (ver patotipo designado)

**Inóculo:** El cultivo o colecta de un parásito que se usa para infestar, infectar o inocular un individuo o población vegetal.

**Inóculo inicial:** Es el tamaño de la población del *parásito* al inicio de la epidemia. Cuando todo lo demás es constante, un inóculo inicial alto determina un desarrollo rápido de la *epidemia*, mientras que uno bajo lo determina lento.

**Insecticida:** *Plaguicida* que mata *insectos*. El más famoso y espectacular fue el DDT, descubierto por Müller en Suiza, a quien dieron el Premio Nobel por que el DDT controlaba los mosquitos del paludismo o malaria y fiebre amarilla, moscas domésticas portadoras de cólera y tifoidea, y pulgas que transmiten el tifo. El DDT también controla muchas plagas agrícolas, pero fue tan grotescamente mal-usado que causó muchos peligros y, con el tiempo, fue prohibido.

**Insecto:** Una Clase del Phylum de los artrópodos con tres pares de patas y cuerpo trisegmentado en cabeza, tórax y abdomen. Casi siempre tienen antenas, y los adultos tienen a menudo uno o dos pares de alas. Normalmente son ovíparos pero ocasionalmente son vivíparos (*áfidos*). Su crecimiento o metamorfosis incluye de 4 a 8 *écdisis*, mudas, o cambios de integumento, llamándose instar al estado entre dos cambios de integumento. Los insectos sufren metamorfosis completas o incompletas al ocurrir la última muda (de *oruga* a *mariposa* o a *palomilla*, por ejemplo). Los insectos fitófagos, en este libro llamados parásitos, son más perjudiciales durante su etapa inmadura (de larva o de ninfa), dejando la función reproductiva al último instar o adulto, que a menudo no se alimenta. (ver *áfido*, *escarabajo*, *catarineta*, *barrenador del tallo*, *trips*, *mosquita blanca*)

**Interferencia interparcelaria:** Ver interferencia parasitaria.

**Interferencia parasitaria:** Cuando se miden los niveles de parasitismo en parcelas chicas, el movimiento de parásitos de parcela a parcela puede causar errores de valoración del orden de cientos de veces; este fenómeno es llamado interferencia parasitaria o interparcelaria. Debido a que depende de *alo infecciones*, en parcelas chicas la manifestación de *resistencia vertical* es muy favorecida, mientras que con las resistencias horizontales sucede lo contrario. Este fenómeno, más que ningún otro, ha engañado a los fitogenetistas respecto al valor relativo de ambos tipos de resistencia. Su presencia también ha originado el uso innecesario de altos niveles de *plaguicidas*.

**Larva:** Estado inmaduro de los *insectos* de metamorfosis completa. Así, las orugas son larvas de mariposas o de palomillas. Las larvas de coleópteros reciben nombres como gallina ciega, gusano de alambre.

**Legislación cuarentenaria vegetal:** Las normas nacionales e internacionales que controlan el movimiento y comercio de material vegetal a través del mundo. Su propósito es evitar la dispersión de los *parásitos* de los cultivos hacia lugares donde no existan.

**Leguminosa:** Miembro cultivado de la Familia *Leguminosae*. Las leguminosa cultivadas por sus semillas se conocen como leguminosas de grano (chícharo, haba, frijol, lenteja, cacahuete o maní, soya), mientras que las que se cultivan para pastoreo o ensilado, se conocen como leguminosas *forrajeras* (alfalfa, trébol).

***Principales leguminosas de grano que son autógamas***

<i>Arachis hypogea.</i>	maní, cacahuete o cacahuete
<i>Cicer arietinum.</i>	garbanzo
<i>Glycine max.</i>	soya
<i>Lens esculenta.</i>	lenteja
<i>Phaseolus aconitifolius.</i>	frijol palomilla
<i>P. acutifolius.</i>	frijol tepari
<i>P. aureus.</i>	frijol mung
<i>P. calcaratus.</i>	frijol arroz
<i>P. coccineus.</i>	frijol escarlata
<i>P. lunatus.</i>	frijol lima, mantequilla, Burma o Madagascar
<i>P. mungo.</i>	frijol gram negro
<i>P. vulgaris.</i>	frijol común, francés, ejotero
<i>Pisum sativum.</i>	chícharo
<i>Psophocarpus tetragonolobus.</i>	frijol alado, chícharo princesa, Manila o Goa
<i>Voandzeia subterranea</i>	Maní bambara

***Principales leguminosas de grano que son heterógamas***

Tienen altísimos niveles de polinización cruzada, por lo que la cruce entre padres originales (en programas de mejoramiento) debe hacerse a mano, pero todas las cruces posteriores pueden ser de campo, es decir, naturales, porque ya no es importante que ocurran autopolinizaciones.

<i>Cajanus cajan</i>	chícharo pichón
<i>Vicia faba</i>	haba
<i>Vigna sinensis</i>	chícharo de vaca

***Principales leguminosas forrajeras***

Las principales cultivadas son de polinización abierta e incluyen:

*Medicago sativa* alfalfa, o lucerne  
*Trifolium spp* trébol

**Liliaceae:** Plantas cultivadas de la Familia de la cebolla; incluye:

*Allium cepa* cebollas  
*Allium porrum* puerro  
*Allium sativum* ajo  
*Allium schoenoprasum* chive

El ajo no produce semillas, por lo que no es fácil su mejoramiento genético. Las cebollas son usualmente mejoradas mediante variedades híbridas, pero es factible la selección masal recurrente a partir de variedades locales, especialmente con la mira de acumular resistencia horizontal a sus parásitos.

**Línea pura:** Es un *cultivar* de una especie *autofecundante* o autógena que se propaga por semilla, en el cual todos los individuos son *homocigóticos* idénticos; por lo tanto la línea pura "se reproduce "fiel a su tipo". Se obtiene por autopolinización de los mejores individuos *heterocigóticos* de una población genéticamente mezclada, cuya progenie muestra poca variabilidad. El proceso autofecundante se repite por 4-6 generaciones, hasta que ya no aparece la variabilidad.. (ver descendencia de una sola semilla)

**Lluvia bimodal:** Patrón tropical de estaciones en el que hay dos periodos lluviosos y dos de sequía, cada año.

**Macro-evolución:** Ver evolución.

**Maleza:** Planta que crece donde no se desea. Las malezas pueden causar mucho daño a los cultivos al competir por luz, espacio y nutrientes. Antiguamente se les controlaba a mano, enterrándolas con el arado, o desmenuzándolas mecánicamente; en la actualidad se usan herbicidas que las matan sin necesariamente dañar al cultivo. Las malezas son competidores, no *parásitos*, por lo tanto no se discuten en este libro, ni a los *herbicidas*, que en este libro no se consideran *plaguicidas*.

**Manejo integrado de plagas (MIP):** Estrategia, originalmente entomológica, para controlar problemas fitosanitarios agrícolas, con respeto a la salud ecológica y humana.

**Marcador genético:** Originalmente, es un *gene mendeliano* que se usa para identificar la progenie de una planta cultivada autógena, originada por *polinización cruzada*.

**Marchitez:** Enfermedad vegetal cuyo síntoma principal es el desfallecimiento o tristeza del follaje, universalmente llamada marchitez a pesar de que el suelo tiene suficiente humedad. Más frecuentemente son causadas por hongos como *Verticillium spp* y *Fusarium spp*, o por bacterias como *Pseudomonas spp*. La marchitez es la resultante del taponamiento de los vasos conductores de líquidos de las plantas por parte del parásito, que también puede producir toxinas inductoras de marchitamiento.

**Mariposa:** *Insecto* adulto del Orden Lepidoptera con alas membranosas cubiertas de escamas que confieren colores a menudo brillantes en la superficie superior, sirviendo como atrayentes sexuales o no; las escamas ventrales pueden ser camuflantes. Las alas anteriores normalmente son más grandes que las posteriores. La antena es larga y delgada terminada en mazo. El aparato

bucal es un tubo chupador enrollado (proboscis). Sus estados inmaduros se llaman *orugas* o gusanos, y muchos son plagas agrícolas de mayor importancia. (ver palomilla).

**Mejoramiento en masa** (Bulk breeding): Técnica para obtener un grado aceptable de *homocigosis* con el único fin de ejercer una *selección tardía*. Consiste en multiplicar por varias generaciones, y sin selección en etapas tempranas, a una población *heterocigótica* de una especie *autofecundada*. Tal método es útil cuando se basa en la *polinización cruzada natural*; de otra manera sería preferible la técnica del *descendiente de una sola semilla* por ser mucho más rápida. Cuando se llega a hacer alguna *selección temprana* se involucra sólo a caracteres monogénicos, como los *marcadores genéticos*.

**Mejoramiento poblacional**: Es el método de mejoramiento de los *biometristas*. Está diseñado para aumentar los niveles de las *variables cuantitativas* mediante el cambio de las frecuencias genéticas, a través de la *selección masal recurrente* (ver mejoramiento por pedigrí)

**Mejoramiento por pedigrí**: Es una técnica de *transferencia de genes* usada tradicionalmente por los genetistas mendelianos. Se caracteriza por la transferencia de genes simples de progenitores primitivos hacia buenos cultivares, y frecuentemente involucra cruza regresivas o *retrocruzas*. Es de interés limitado para los clubs de mejoramiento, que normalmente usarán la resistencia vertical.

**Mendeliano (a)**: Dícese de las leyes de la herencia de Mendel. La escuela mendeliana de *genética*, como oponente de la escuela de los biometristas. La herencia de un carácter mendeliano es controlada por monogenes que pueden ser *dominantes* o *recesivos*. Esta escuela ha dominado el *fitomejoramiento* durante el siglo XX resultando principalmente en el uso de la *resistencia vertical*, la que ha sido mal usada hasta caer en la *salvaguarda única* (monolock). Ese mal uso explica porqué ahora necesitamos proteger los cultivos con tan grandes cantidades de *plaguicidas*.

**Micro-evolución**: Ver evolución.

**Mildiú pulverulento**: Hongos fitopatógenos del Orden Erysiphales, así llamados por sus polvorientas y blancas *esporas*, en la superficie externa de las hospederas.

**Mildiú veloso**: Hongo parasítico del Orden Peronosporales, así llamado por producir una capa tenue y blanca, en la superficie externa de las lesiones vegetales, usualmente el envés. Los ejemplos más conocidos incluyen al tizón de la papa (*Phytophthora infestans*) y al mildiú veloso de la vid (*Plasmopora viticola*).

**Minador**: *Insecto* fitófago que hace túneles entre el haz y el envés de las hojas. El túnel tiene apariencia blancuzca y translúcida, y se va ampliando a medida que la *larva* minadora crece y avanza.

**Monocotiledonea**: Las primeras “hojas” que brotan de una semilla germinante se llaman cotiledones. Todo el Reino Vegetal se divide en plantas con uno o con dos cotiledones. Las monocotiledoneas son plantas cuyas semillas producen un solo cotiledón, y a menudo se les llama “plantas de hoja angosta”. Entre las cultivadas, incluyen a los *pastos*, cereales, liliáceas, bananas y plátanos, piñas, palmas y jengibre. (ver dicotiledonea)

**Monocultivo**: La siembra de un solo cultivo, sin ninguna *rotación*, lo que aumenta sobremanera las probabilidades de *epidemias* causadas por *parásitos* “del suelo”. El monocultivo es aun más peligroso cuando se efectúa durante mucho tiempo, cuando se practica en grandes superficies, y

cuando consiste de un solo *cultivar* genéticamente uniforme, y protegido con *resistencia vertical*. Uno de los monocultivos más famosos fue el de plátanos Gross Michel, en el área del Caribe.

**Monogénico :** Carácter heredable controlado por un solo *gene*. La herencia monogénica es de efectos cualitativos y de *variabilidad discontinua o discreta* porque el carácter está o no está presente, sin valores intermedios. (ver herencia poligénica y monogénica)

**Monoploide doble:** Es una planta o célula monoploide (i.e., *haploide*) que duplicó sus  *cromosomas* para convertirse en un *diploide* funcional. Los dobles monoploides se pueden producir artificialmente, usualmente mediante el cultivo de una célula de polen para obtener una plantita haploide, que después es estimulada químicamente para que duplique su número cromosómico. Alternativamente se aplica proceso similar para obtener una plantita a partir de un óvulo. Los monoploides dobles son completamente *homocigóticos*, lo que los hace muy útiles en varios procesos de fitomejoramiento. (ver haploide, diploide, triploide, tetraploide)

**Monolock:** Ver: cerradura única.

**Mosquita blanca:** Pequeños *insectos* chupadores del Orden Homoptera (al igual que los áfidos), así llamados por tener el cuerpo cubierto con polvo (cera) blanco. Son plagas de clima cálido, tropical, sub-tropical o de invernadero.

**Multilínea:** Es una población cultivada que consiste de la mezcla de varias *líneas puras*, morfológicamente casi idénticas, pero cada una de ellas poseyendo diferente *resistencia vertical*. La idea de la multilínea es introducir variabilidad de resistencias verticales en un *cultivar* que de otra manera sería genéticamente uniforme. En la práctica la multilínea funciona contra una sola especie *parásita* a ser controlada; y no fácilmente contra una multiplicidad de parásitos diferentes.

**Mutación, mutante:** Una mutación es el cambio que ocurre en un solo *gene* del genomio de una planta. Un mutante es el individuo o clon que sufrió ese cambio. A los mutantes naturales dentro de un clon o planta cultivada a menudo les llaman "sports". Las mutaciones en ecosistemas silvestres son más frecuentemente perjudiciales; pero las que ocurren en cultivos pueden tener valor agrícola ocasional.

**Mutagénico (agente):** Cualquier sustancia o forma de energía que induce mutaciones (vegetales). Las mutaciones inducidas ocasionalmente pueden ser útiles a la agricultura, razón por la que a las técnicas mutagénicas se les considera herramientas del *fitomejoramiento*.

**Nematicida:** Es un plaguicida que mata *nemátodos*, lombrices redondas que a menudo son plagas agrícolas. Normalmente son "plagas del suelo", por lo que los nematicidas se aplican en ellos para fumigarlos.

**Nemátodos:** Es un tipo de lombriz redonda, frecuentemente microscópica. Los que parasitan a los cultivos son microscópicos o sub-microscópicos, viven en el suelo y atacan a las raíces causando daños severos a los cultivos. También se conocen nemátodos que invaden las hojas.

**Nematología:** Disciplina científica que atiende el estudio de los *nemátodos*, muchos de los cuales *parasitan* plantas o animales.

**Niveles de un sistema:** niveles de : Organización jerárquica de la mayoría de los sistemas; cada estrato constituyendo un nivel sistemático. Así, un sistema consiste de varios estratos o *subsistemas*, cada uno de ellos siendo una parte del sistema. Un *patosistema* es un subsistema del *ecosistema*, que a su vez posee subsistemas como el *subsistema vertical* o el *horizontal*.

**No acoplante:** En términos de la *relación gene por gene*, una *infección* es no acoplante cuando el gene de parasitismo del *parásito* no se asocia al gene de resistencia del *hospedero* (es decir, que la llave bioquímica del parásito no entra en la cerradura bioquímica del hospedante). Cuando ese es el caso la resistencia vertical triunfa y la infección fracasa. (ver acoplante)

**Nódulos fijadores de nitrógeno:** Son pequeños “nudos” que forman las *bacterias* del Género *Rhizobium* en las plantas de la Familia Leguminosae. Esos nódulos tienen la capacidad de convertir el nitrógeno atmosférico en proteína vegetal, razón por la cual los cultivos leguminosos de grano y *forrajeros* son tan valiosos. La bacteria puede ser aislada de esos nódulos, cultivada, y usada para inocular semillas de otras leguminosas. Los cultivos comerciales de la bacteria son conocidos como inoculantes. Algunas especies leguminosas tiene una *raza* común a todas ellas, mientras que otras tienen razas específicas.

**Oakum:** Fibras degradadas que se trabajaban en casas pobres y prisiones inglesas, a partir de los viejos cables o reatas de yute, y que luego se usaban para calafatear el maderamen de los antiguos navíos.

**Oospora:** “Semilla” que producen muchos hongos parásitos, como resultado de su fusión sexual. La mayoría son muy resistentes a la desecación y el frío, se producen al final de una *epidemia* discontinua, y capacitan al hongo para sobrevivir etapas adversas como el invierno o la sequía temporal de los trópicos, que es cuando el tejido *hospedante* es escaso o no está disponible al *parásito*. Siendo producto de la combinación sexual, también producen una amplia diversidad de *habilidades parasitarias verticales* al principio de cada epidemia, cuando hay muchas *resistencias verticales* esperando ser acopladas.

**Optimización local:** Es un término de la *teoría de los sistemas* que se refiere a las respuestas de un organismo frente a la variabilidad del *sistema* en que está inmerso. En *ecología* la optimización local se ejemplifica con la formación evolutiva de *ecotipos*, los cuales surgen como resultado de diferentes *presiones de selección* en las diferentes localidades dentro del ecosistema; cada ecotipo siendo óptimo a su propia localidad. De manera similar las *variedades locales* o *agroecotipos*, al ser *genéticamente flexibles*, son localmente optimizadas hacia sus agroecosistemas locales, por lo que invariablemente serán menos buenas en agroecosistemas diferentes. En el fitomejoramiento, el propósito de la *selección local* o *in situ* es lograr la optimización local de muchas variables cuantitativas, como la *resistencia horizontal*.

**Oruga:** Estado inmaduro de una *mariposa* o *palomilla*.

**Ovulo:** Célula femenina que en las plantas da origen al embrión, al ser fecundada por el *polen*.

**Palomilla:** *Insecto* adulto del Orden Lepidoptera, con dos pares de alas membranosas (las anteriores más grandes que las posteriores), cubiertas de escamas que a menudo se constituyen en magníficos camuflajes. En reposo las alas están plegadas sobre el dorso del cuerpo, con la superficie externa mimetizando el ambiente y ocultando a la palomilla. Sus antenas, largas y delgadas, a menudo son plumosas. Los estados inmaduros son conocidos como *orugas* o gusanos,



y muchos son importantes plagas masticadoras agrícolas.. El aparato bucal chupador (proboscis) de los adultos es un tubo enrollado que usan para chupar, por ejemplo, el néctar floral.

**Parasitismo:** Proceso durante el cual un organismo (el parásito) habita en otro (el hospedante) y obtiene nutrientes de él.

**Parásito:** Cualquier organismo que pasa la mayor parte de su ciclo de vida sobre otro y obtiene sus nutrientes de él. El término es aplicable a una especie, población o individuo. Los parásitos vegetales incluyen a los *insectos*, *ácaros*, *nemátodos*, *hongos*, *bacterias*, micoplasmas, *virus* y *viroides*.

**Parásito de nuevo encuentro:** Es aquel que evolucionó, en otra parte del planeta, independiente del hospedante al que en el futuro atacará, y después fue llevado por el hombre a un nuevo lugar donde se topó con el nuevo hospedante (lo “encuentra” por primera vez) y lo *parasita*. Normalmente este parásito evoluciona en un pariente botánico de su nuevo hospedero. El tizón de la papa evolucionó originalmente en México, mientras que su nuevo hospedante, la papa, evolucionó en Sudamérica; su primer (nuevo) encuentro lo tuvieron en Europa. (ver parásito de viejo encuentro, y de reencuentro)

**Parásito de reencuentro:** Cuando un cultivo hospedero es llevado a otro lugar del mundo, algunos de sus parásitos pueden ser dejados en el lugar de origen, tal como sucedió con la roya tropical del maíz cuando éste se llevó del Nuevo Mundo a África. Si el *parásito* llega después a ese nuevo lugar, a parasitar el cultivo, se le denomina parásito de reencuentro. Un parásito de reencuentro usualmente es muy perjudicial porque el cultivo *hospedante* tiende a perder *resistencia*, durante la separación de su parásito. (ver parásito de viejo encuentro, y de nuevo encuentro)

**Parásito de viejo encuentro:** Organismo que ha mantenido contacto continuo con su cultivo hospedante desde que fue domesticado. La roya del trigo: roya del en Europa es un parásito de viejo encuentro; y como el trigo fue llevado a América junto con la roya, sigue siendo parásito de viejo encuentro en este continente. (ver parásito de nuevo encuentro, y de reencuentro)

**Parásito facultativo:** El que es capaz de extraer sus nutrientes, tanto de su hospedante como de material vegetal muerto. (ver parásito obligado)

**Parásito obligado:** Organismo que sólo vive si puede extraer sus nutrientes de un hospedante vivo: no puede sobrevivir de la materia inerte. (ver parásito facultativo)

**Parasitoide:** Insecto que endoparasita a un insecto plaga (en control biológico. El traductor).

**Partenocárpico:** Es una reproducción sin fusión sexual; ésto es, sin que ocurra la polinización.

**Pasteurización:** En honor de Luis Pasteur, técnica de calentar a aproximadamente 80° C, y luego enfriar cualquier líquido o suelo, para destruir los microorganismos dañinos que pueda haber en ellos. No sirve para esterilizar; para ésto se requieren temperaturas sobre 120 °C.

**Pasto:** Cualquier miembro de la familia Gramineae. Incluye a los *cereales*, la caña de azúcar, muchas *forrajas* y, según ciertos *taxónomos*, al bambú.

**Patodemo:** Es una sub-población de un *hospedante*, caracterizada por un cierto grado de *resistencia*.

**Patógenos (fitopatógeno):** Parásitos vegetales que causan enfermedades y son estudiados por los fitopatólogos. El término incluye a los organismos microscópicos y a los *nemátodos*.

**Patología:** Estudio de las enfermedades. Las de las plantas son estudiadas por fitopatólogos.

**Patosistema:** Es un *subsistema* parasitario, dentro de un *ecosistema*. Normalmente involucra la interacción de una población *hospedante* de una especie con otra de una especie *parásita*. En un patosistema vegetal la especie hospedera es una planta, y el parásito es cualquier especie que la habita buena parte de su ciclo y obtiene sus nutrientes de ella. Así, los parásitos pueden ser *insectos*, *ácaros*, *nemátodos*, *hongos*, *bacterias*, micoplasmas, *virus* o *viroides*. Los herbívoros que pastan pertenecen a un concepto más amplio, el *ecosistema*. (ver patosistema continuo, patosistema cultivado, patosistema discontinuo, patosistema silvestre).

**Patosistema continuo:** Es aquel donde el tejido *hospedante* está permanentemente disponible, por lo que el *parasitismo* continúa indefinidamente, sin parar. Estos patosistemas son típicos de los hospedantes perennes y siempre-verdes. Como la *auto-infección* es de máxima importancia en los patosistemas continuos, la *resistencia vertical* no tiene valor de supervivencia en ellos; por lo tanto no será posible encontrarlos en los cultivos que derivaron de *patosistema silvestres continuos*. (ver: patosistema discontinuo)

**Patosistema cultivado (o de los cultivos):** Son los *patosistemas* en los que intervino el hombre por alteración del *hospedante*, el *parásito*, y el ambiente, bajo las variadísimas actividades agrícolas. Normalmente se caracterizan por su *uniformidad genética* y su *inflexibilidad genética*. Cuando deriva de un *patosistema silvestre continuo* no contiene subsistemas de *resistencia vertical*, pero si deriva de un *patosistema silvestre discontinuo* puede contener resistencias verticales.

**Patosistema discontinuo:** Patosistema en el cual el *parasitismo* es intermitente debido a ausencia completa de tejido *hospedante* a intervalos intermitentes, como los que se dan en una estación seca tropical o el invierno. El patosistema discontinuo implica tejido estacional de árboles y arbustos, como típicamente ocurre en las plantas anuales y sus parásitos. La discontinuidad confronta al parásito con tres difíciles problemas: sobrevivir la ausencia de tejido hospedante, encontrar nuevo hospedante cuando haya tejido disponible, y *acoplar* al hospedante encontrado. La *aloínección* es de primordial importancia en estos patosistemas, donde la *resistencia vertical* tiene gran valor de supervivencia. (ver patosistema continuo)

**Patosistema silvestre:** Ecosistema vegetal específico y autónomo (autoregulado) en el que no ha intervenido el hombre en forma directa. Se caracteriza por su estabilidad, *variabilidad genética* y *flexibilidad genética*, y puede ser continuo o discontinuo en el tiempo. El *patosistema vertical* puede desarrollarse en los continuos. Son poco conocidos desde el punto de vista parasitario, porque casi toda la investigación en parasitología vegetal se ha dirigido a los *patosistemas cultivados*. Es urgente investigarlos.

**Patotipo:** Sub-población de un *parásito* que se autodefine por un cierto nivel de *habilidad parasitaria*.

**Patotipo designado:** Es uno de los *patotipos* (i.e., *razas*) del *parásito* que se seleccionó como infectante oficial, a ser utilizado en la *técnica del patotipo única*. técnica del de los programas de mejoramiento por *resistencia horizontal*. Este patotipo se inocula o cultiva en el *hospedante designado* durante todo el proceso de mejoramiento.. Todos los progenitores designados de la población bajo mejoramiento se escogen sobre la base de su *susceptibilidad* al patotipo designado, con el que se

hace la *inoculación* de toda población de *selección*. Esto asegurará que toda *resistencia vertical* sea acoplada durante la selección por resistencia horizontal, independientemente de cómo se hayan recombinado los genes verticales. Sólo se designa un patotipo por cada especie parásita. Esta técnica sólo se utiliza cuando hay resistencia vertical en un parásito.

**Piretrinas:** *Insecticidas* naturales extraídos de las flores del *Chrysanthemum cinerariifolium*, nativo de Dalmacia. La planta se cultiva en varios países y los extractos de piretrina se usan más como aerosoles domésticos. El insecticida es poco tóxico al hombre y sus animales, y se degrada en 24 horas de exposición a la luz solar, sin dejar residuos tóxicos. Posee, además, un derribe rápido, sin que se hayan reportado casos de resistencia en las especies donde se ha utilizado. Tal parece que está más allá de la capacidad de cambio *microevolutivo* de los *insectos* plaga; sin embargo los productos sintéticos que las imitan (piretroides) no lo están, y ya hay razas resistentes de insectos a ellos.

**Plaga:** En su acepción más amplia es cualquier organismo que interfiere con la humanidad. En un sentido de control o manejo, el término incluye a los organismos perjudiciales agrícolas, médicos, veterinarios, industriales y domésticos.

**Plaguicida:** Cualquier sustancia que mata a las *plagas*. En este libro el término se refiere a los que se usan para matar parásitos agrícolas. Los competidores como la *maleza*, y las sustancias que las matan, los *herbicidas*, están específicamente excluidos de esta definición. Los *insecticidas*, *acaricidas*, *fungicidas*, *bactericidas*, y *nematicidas*, son todos plaguicidas agrícolas que pueden aplicarse como líquidos, polvos, gases, humos, vapores, gránulos o pastillas; al cultivo, al suelo o a la semilla..

**Polen:** Células masculinas de las plantas superiores, que se generan en las *anteras*. Los vegetales tienen muchos y variados mecanismos para transferir el polen al ovario femenino y *fecundar* sus óvulos: los más comunes son la *polinización* por el viento o los *insectos*.

**Polinización:** Es el proceso vegetal de *fecundación* sexual o depósito del polen en el estigma ovarial. (ver alogamia, autogamia, polinización abierta (cruzada), autofecundante, alo-fecundante, autopolinización)

**Polinización cruzada (abierta, natural):** Es la fertilización o *fecundación* por medio del *polen* proveniente de otra planta. Cuando la polinización cruzada se da entre dos plantas genéticamente diferentes se produce la *heterocigosis*. Algunas plantas autógamias o *autofecundantes* tienen suficiente *polinización cruzada* natural como para que el fitomejorador se ahorre la intensiva mano de obra que requiere la polinización manual para reemplazar la natural. En este caso el progenitor macho debe portar un *marcador genético*, de tal suerte que se pueda identificar el origen de la progenie. (ver alogamia, alógamo, autogamia, autofecundante)

**ppm:** Partes por millón; es una medida de la concentración. En base similar, porcentaje sería partes por cien.

**Portador asintomático:** Es una planta o *cultivar* con tanta *resistencia horizontal* a un *virus*, que no muestra síntomas de la enfermedad a pesar de estar infectada por ella. Los portadores asintomáticos suelen ser fuente de infección de cultivos vecinos susceptibles. Sin embargo, si todos los cultivos fueran asintomáticos, la enfermedad virosa ya no sería importante.

**Portainjertos:** El trozo de planta donde se injerta el vástago.

**Presión de selección:** Acción natural o humana de escoger los mejores individuos de una población sometida a coerción (“presión”), que eventualmente induce cambios en la composición genética de la población siempre y cuando sea heterogénea o mezclada. El mecanismo de presión determina que los individuos mejor adaptados a él se reproduzcan más (tengan una ventaja reproductiva), y que los menos adaptados se reproduzcan menos (desventaja reproductiva). Así, frente al *parasitismo* los individuos *resistentes* están en ventaja y los *susceptibles* en desventaja. Las presiones de selección sólo pueden funcionar en poblaciones *genéticamente heterogéneas* y *genéticamente flexibles*.

Las presiones de selección pueden ser positivas o negativas; las positivas conducen a la acumulación de un carácter de variabilidad cuantitativa (como la resistencia horizontal), mientras que las negativas conducen a la gradual declinación de las variables innecesarias o excesivas (como la resistencia horizontal en ausencia del parásito).

**Progenitor:** Ancestro original. En ciencias agrícolas normalmente se refiere al ancestro silvestre del que salió la especie vegetal *domesticada*. Toda especie cultivada tiene uno o más ancestros silvestres.

**Propagación vegetativa:** Reproducción vegetal sin intervención del sexo, usualmente por medio de varetas, injertos, tubérculos, bulbos o cormos. La población así obtenida, a partir de un solo individuo, se llama *clon*, donde todos los individuos son genéticamente idénticos, excepto cuando ocurre alguna mutación o “sport”. Así, la propagación vegetativa se convierte en un medio útil para obtener *uniformidad genética* y preservar características agrícolas valiosas.

**Protectores químicos de los cultivos:** Término que a menudo se refiere a todos los *plaguicidas* agrícolas excepto los herbicidas.

**Químicos inorgánicos (productos):** Originalmente las sustancias producidas por seres vivos fueron llamadas “orgánicas”, en oposición a las “inorgánicas” del aire, tierra y agua. En la actualidad el término química orgánica se refiere a los compuestos del carbono: compuestos del, incluyendo a los sintéticos. El uso original se retiene en casos como fertilizantes orgánicos o inorgánicos (artificiales), agricultura orgánica, etc.

**Químicos orgánicos (productos):** Ver químicos inorgánicos:

**Raza:** Ver patotipo.

**Recesivo:** Carácter genético que puede ser eclipsado por su opuesto, el *alelo dominante*.

**Relación depredador-presa:** Es una simbiosis o categoría de *parasitismo* en la que la *frecuencia* del parasitismo es baja, el daño es muy alto y la convivencia es mínima. Por ejemplo, los leones parasitan a las cebras de una en una (frecuencia mínima), las matan (daño máximo), y las consumen en poco tiempo (de convivencia). (ver relación parásito-hospedante)

**Relación gene a gene:** La relación gene a gene fue descubierta por H.H. Flor en 1940. Es aquella en la que un *gene* de resistencia en el *hospedante* tiene un *gene* de *habilidad parasitaria* correspondiente (o *acoplante*) en el *parásito*. Este fenómeno es la característica definitoria de la resistencia *vertical*. Cuando se acoplan los *genes* del hospedante y los del parásito la resistencia vertical no funciona, y

el *parasitismo* ocurre gracias al éxito de la *infección*. Cuando no se acoplan entonces sí funciona la resistencia vertical, nulificando la infección y el parasitismo.

En un patosistema vegetal silvestre la relación gene a gene y su resistencia vertical asociada operan como un sistema de salvaguarda que puede controlar únicamente la mayoría de las *aloinfecciones* (no pueden evitarse todas; siempre se da algún acoplamiento). Una vez infectada una planta, no pueden evitarse las *autoinfecciones* ni ninguna de las demás consecuencias de las *aloinfecciones* acoplantes. La relación gene a gene y su resistencia vertical asociada, por lo tanto, sólo evoluciona en un *patosistema discontinuo*, y sobre tejido estacional del hospedante. (i.e., plantas anuales, hojas de árboles o arbustos deciduos). Su función es el control de las *explosiones poblacionales* de los parásitos *estratega-r*, frecuentemente de reproducción asexual favorable a tales explosiones.

En los patosistemas cultivados, hemos mal-usado la relación gene a gene mediante la siembra de cultivos uniformes que nos han conducido al sistema (que el autor llama) *monolock* (salvaguarda única o universal; interpretable como un sistema de salvaguarda sin alternativas, donde cada una de las plantas de todo un cultivo, en una gran área, posee sólo una “cerradura” de resistencia vertical, abatible en el momento que aparece su “llave” en la forma de raza fisiológica acoplante). Por esta razón la resistencia vertical de todo un cultivo está permanentemente propensa al colapso en la agricultura industrial moderna.

**Relación parásito-hospedante:** Simbiosis parasitaria; categoría de *parasitismo* en la que a menudo el daño es mínimo aun cuando la frecuencia sea máxima. Por ejemplo, las garrapatas parasitan a todas y cada una de las cebras de un rebaño, haciendo que la frecuencia sea máxima; pero la cantidad de garrapatas por cebra puede ser reducida o muy reducida de tal suerte que el daño por parasitismo resulte mínimo. En este caso la relación parásito-hospedante resulta muy prolongada. (ver relación depredador-presa)

**Resistencia:** Habilidad de un *hospedante* para impedir o limitar el *parasitismo*, a pesar de la *habilidad parasitaria* del parásito. Hay dos clases de resistencia vegetal, la *vertical* y la *horizontal*.

**Resistencia de planta adulta:** Es la *resistencia horizontal* de muchos cultivos, particularmente de *cereales*, que se expresa más en las plantas maduras y menos en las jóvenes. Esto es de esperarse debido a que las *epidemias* se intensifican conforme avanza la estación de cultivo. Es por ello que a la resistencia horizontal a menudo se le llama resistencia de plantas adultas, y en consecuencia es difícil observarla, medirla o seleccionarla en plantas jóvenes.

**Resistencia horizontal:** Es la *resistencia* que no resulta de una *relación gene a gene*. Por lo tanto es la que estudian los fitomejoradores *biometristas*, y su herencia normalmente es controlada por *poligenes*. Es el resultado de la acción e interacción de muchos y diferentes mecanismos de resistencia; es *cuantitativa* en sus efectos y herencia; controla todos los efectos de una infección acoplante, incluyendo a las *aloinfecciones* de los *patosistemas continuos*, y es durable. (ver habilidad parasitaria horizontal, resistencia vertical)

**Resistencia vertical:** Oposición vegetal al parasitismo que resulta de una *relación gene a gene*. Es la resistencia que usan los *mendelianos*, su herencia está controlada por monogenes, cada uno de los cuales tiene su correspondiente y acoplante gene de *habilidad parasitaria vertical* en el parásito. En los *patosistema silvestres* la resistencia vertical es parte del *sistema de salvaguarda* que controla sólo a las *aloinfecciones*, y depende de la variabilidad genética del hospedante. Cuando se usa en un patosistema cultivado (generalmente sobre la base de la *uniformidad genética*), esta resistencia resulta

temporal, pues una sola aloinfección inicial eventualmente culmina en el colapso de todo el *cultivar*. (ver resistencia horizontal, resistencia vertical cuantitativa, habilidad parasitaria vertical)

**Resistencia vertical cuantitativa:** Es una *resistencia* conferida por una *relación gene a gene*, que puede proveer con protección incompleta contra ciertas *aloinfecciones no acoplantes*. Se cree que la única función evolutiva que tiene toda *resistencia vertical* es el control de las *explosiones poblacionales* de los *estrategas-r*. La resistencia vertical logra ésto mediante un *sistema de salvaguarda* que reduce mucho las proporciones de *aloinfecciones acoplantes*. Tal reducción se logra matando a los parásitos aloinfectantes que no se acoplan. En la resistencia vertical cuantitativa los parásitos no acoplantes no son muertos, pero se impide su reproducción, lo cual es suficiente para satisfacer la función evolutiva. Alternativamente, la resistencia vertical cuantitativa permite la reproducción de parásitos no acoplantes, (especialmente *hongos*), pero a tasas tan bajas que las explosiones poblacionales son de poca importancia. Este tipo de resistencia es desconcertante porque su herencia es cualitativa, mientras que su efecto es cuantitativo. Se puede confundir fácilmente con la *resistencia horizontal*, y la mejor manera de evitarla en un programa de fitomejoramiento es escoger sólo a los progenitores que exhiban la resistencia vertical cualitativa común. Por fortuna es algo rara, y aparece principalmente entre los *cereales* de grano chico, como el trigo y la cebada. Un ejemplo de ella es la resistencia vertical del trigo a la mosca de Hess (*Mayetiola destructor*).

**Retro-cruza:** Es una técnica de *mejoramiento mendeliano* diseñada para transferir un solo *gene*, usualmente un gene de *resistencia*, de una planta silvestre a un *cultivar*. El cultivar y la planta silvestre son *interpolinizados* para producir progenie híbrida. Uno de los descendientes híbridos, portador del gene de resistencia, es entonces retrocruzado con el cultivar parental. El proceso de retro-cruza se repite por varias generaciones hasta que el último híbrido es indiferenciable del cultivar padre, excepto en que porta el gene de resistencia del progenitor silvestre. Nótese que la retro-cruza es una técnica excelente para fitomejorar por *resistencia vertical*, pero que a la vez diluye los caracteres *poligénicamente heredados*, razón por la que no puede utilizarse para mejorar por *resistencia horizontal*. (ver mejoramiento por pedigrí)

**Rompimiento de la resistencia:** Falla cualitativa total, de la *resistencia vertical*. Cuando una *aloinfección* es acoplante la resistencia vertical deja de funcionar, y es cuando se dice que fue rota.. En un *patosistema silvestre* que tiene *variabilidad genética*, los rompimientos ocurren a nivel de *hospedante* individual; pero en los *patosistemas cultivados*, que poseen *uniformidad genética*, toda aloinfección de planta a planta cultivada es acoplante, y entonces se rompe la resistencia de todo el *cultivar*. Considerando que siempre se da un cierto grado de acoplamiento, la resistencia vertical es temporal. Y considerando también que la *resistencia horizontal* opera contra las razas acoplantes de los parásitos, ésta no es rota por ellos; así, se trata de una resistencia durable. (ver erosión de la resistencia horizontal, y salvaguarda única -monolock-)

**Rosaceae:** Familia botánica de las rosas, que incluye las siguientes especies cultivadas de frutas:

<i>Fragaria ananassa</i>	fresa
<i>Malus pumila</i>	manzana
<i>Prunus amygdalus</i>	almendra
<i>Prunus armeniaca</i>	apricot
<i>Prunus avium</i>	cereza
<i>Prunus domestica</i>	ciruela
<i>Prunus insititia</i>	ciruela damson
<i>Prunus persica</i>	durazno

*Pyrus communis* pera  
*Rubus* spp. zarzamora

**Rotación de cultivos:** Involucra la siembra de una sucesión de diferentes especies cultivadas en el mismo suelo. El propósito fundamental es evitar el incremento de poblaciones de *parásitos*, particularmente de las “plagas del suelo”.

**Rotenona:** *Insecticida* natural extraído de las raíces del derris (*Derris elliptica*), nativo del sureste asiático. La planta se cultiva en varios países tropicales donde existen variedades mejoradas. No se conocen casos de resistencia a la rotenona en especies de insectos, a pesar de siglos de uso.

**Royas (herrumbres, chauixtles):** *Hongos* fitoparásitos del Orden Uredinales, llamadas herrumbre por producir *esporas* en pústulas que se ven como manchas de óxido de hierro. Algunos de los más importantes son las royas de los *cereales* (*Puccinia* spp.), y la herrumbe de la hoja del cafeto (*Hemileia vastatrix*).

**Salvaguarda única (monolock):** Un sistema agrícola (ver cerradura única) *parásito-hospedante* que ha sido arruinado por la uniformidad. ¿Qué sucede cuando todas las puertas en la ciudad (la planta hospedante) tienen la misma cerradura, y todo habitante de ella (el organismo parásito) tiene la llave que la abre? Este tipo de uniformidad ocurre con los *cultivares* que son genéticamente uniformes, y en los que cada planta tiene la misma *cerradura bioquímica* de *resistencia vertical*. Tales cultivares suelen cultivarse a nivel poblacional de millones, probablemente miles de millones y posiblemente *billones* de plantas, todas con la misma cerradura bioquímica.

**Segregación transgresiva:** Fenómeno mediante el cual, parte de la progenie hereda un nivel mayor de caracteres cuantitativos del que tenía cualquiera de los progenitores, como la resistencia horizontal. Supóngase que los padres, muy susceptibles, tienen cada uno 10% de todos los *alelos* de resistencia horizontal al parásito, pero que poseen diferente 10%; en ese caso, parte de la progenie tendrá más del 10% del total de alelos disponibles, y esos individuos serán más resistentes que sus padres. Este tipo de segregación que transgrede los niveles originales, puede continuar en generaciones sucesivas de *selección masal recurrente* hasta que ya no es posible avanzar más en lo genético, por que ya se acumuló el máximo posible de alelos.

**Selección (genética):** Técnica de *fitomejoramiento* en la que los mejores individuos de una población *genéticamente diversa* o variable, se escogen para devenir los progenitores de la siguiente generación de selección, o del nuevo *cultivar*. (ver selección negativa)

**Selección artificial:** Selección genética controlada por el hombre, dentro de una población con *variabilidad genética*. Es la base de la *domesticación* y del mejoramiento modernos de plantas y animales. (ver selección natural)

**Selección espiga por surco:** Ver selección familiar

**Selección familiar:** Cuando se trabaja con líneas puras, la técnica de la selección familiar (selección “espiga por surco”) puede propiciar rápido avance genético. El término significa que todas las semillas provenientes de una espiga, mazorca, vaina, etc., constituyen una “familia”. Todos los miembros de la familia se plantan en el mismo surco o parcela. La selección se hace en dos etapas; en la primera se seleccionan las mejores familias y en la segunda se selecciona sólo los mejores individuos de cada familia.

**Selección local (en el sitio):** Así como cambia la *capacidad epidemiológica* parasitaria de lugar a lugar, también cambia el tipo de resistencia horizontal requerido contra el parásito. Si un *cultivar* está totalmente adaptado a su *agroecosistema*, su fitomejoramiento debe hacerse dentro de ese agroecosistema. En esto consiste la selección local, en fitomejorar un cultivo en el sitio donde se habrá de cultivar, durante la estación de su cultivo, y de acuerdo a las prácticas culturales de la región. El propósito de la selección local es lograr la *optimización local* de todas las variables cuantitativas del cultivar.

**Selección masal recurrente:** Es el método de mejoramiento que usan los genetistas *biométricos*, diseñado para cambiar la frecuencia de los poligenes. En cada generación de selección se escogen los mejores individuos para hacerlos progenitores de la siguiente. Este procedimiento es repetido por tantas generaciones como sea necesario, pero la tasa de avance genético declina espectacularmente después de unas 10-15 generaciones. (ver selección temprana y tardía, selección familiar, mejoramiento por pedigrí, mejoramiento poblacional)

**Selección natural:** La que ocurre espontáneamente dentro de una población silvestre genéticamente diversa.. La selección se da porque los descendientes mejor adaptados se reproducen al máximo, mientras que los no adaptados se reproducen al mínimo. Este es el mecanismo de selección por supervivencia del más apto.

**Selección (tamizado) negativa:** Técnica de discriminación, diseñada para identificar y eliminar a las plantas indeseables, contrariamente a la selección positiva que identifica y preserva a las plantas deseables. La técnica puede usarse con la *selección masal recurrente*, en la que las indeseables son eliminadas, y a las mejores plantas se les permite la *polinización cruzada*. También puede usarse con las poblaciones *genéticamente diversas* de un cultivo arbóreo para eliminar la *interferencia parasitaria* y promover la *inmunidad poblacional*.

**Selección tardía:** Ver: Selección temprana y tardía.

**Selección temprana y tardía:** Tradicionalmente la selección es efectuada en individuos muy *heterocigóticos*, antes de convertirlos en progenitores de la siguiente generación de selección. A esto es a lo que actualmente se conoce como *selección temprana*. La selección tardía involucra la auto polinización de la variante progenie de 3-4 generaciones, utilizando el método de *selección masal* o el de *descendencia de una sola semilla*, para obtener una población aun mezclada o segregante de individuos relativamente homocigóticos; y entre estos individuos se hace la selección tardía. Es eficiente porque produce plantas de poco *vigor híbrido* que, en estado homocigótico, exhiben gran contenido de *alelos recesivos*. Así, los caracteres de las plantas de selección tardía tienen mayor *heredabilidad* que los de selección temprana. Sin embargo, esta ventaja se recompensa al considerar que la selección tardía requiere de más tiempo para completar un *ciclo de mejoramiento*.

**Semillas nucelares:** En la mayor parte de las plantas las semillas se producen por *fertilización* del *óvulo* por el *polen*, pero en algunas plantas como los cítricos y el mango también se producen a partir de tejido materno, sin que medie la fecundación del óvulo por el polen. Estas semillas se llaman nucelares y tienen dos ventajas agrícolas; la primera es que no son portadoras de virus u otros parásitos, y la segunda es que son genéticamente idénticas a la planta madre, por lo que representan una forma de *propagación vegetativa*. Por esta razón se pueden usar como *clones*, sin los peligros de transmisión de parásitos normalmente asociados a la propagación vegetativa. .



**Separador ciclónico:** Equipo para extraer polvo u otras partículas finas del aire. El aire y su polvo son girados como un ciclón, dentro de un cono hueco, donde las partículas pesadas se estrellan contra sus paredes para resbalar lentamente al fondo del cono donde no hay remolino; el aire limpio sale por la parte superior. Se utiliza en fábricas y molinos, pero las versiones pequeñas se fabrican para colectar *polen*, colectores de , *esporas* de *roya* etc. Este separador posee un vacío parcial que atrae a las partículas.

**Sibling:** En inglés común significa hermano, sin especificar el sexo (ni hermano ni hermanar); en fitomejoramiento significa descendientes del mismo progenitor. Los siblings completos tienen padre y madre comunes, mientras que los medio-siblings tienen la misma madre, que fue alofecundada al azar por padre desconocido.

**Sílica gel:** Es un desecante que absorbe el vapor de agua; por eso se le pone en recipientes sellados junto con la sustancia que se desea mantener seca. Es particularmente útil para largos periodos de almacenamiento de semillas.

**Simbiosistema:** Subsistema de un ecosistema que involucra simbiosis (a menudo cooperativas) entre dos organismos de diferente especie. Un ejemplo de simbiosis cooperativa en la agricultura es el de las bacterias noduladoras de nitrógeno y las raíces de leguminosas de grano y forrajeras. Los nódulos son formados por bacterias del Género *Rhizobium*.

**Sistema de salvaguarda (de llave y de cerradura):** En un patosistema vegetal silvestre la *relación gene por gene* actúa como sistema de salvaguarda que controla la aloinfección y reduce las explosiones poblacionales de los *estrategas-r*. Este sistema es un *emergente* que sólo puede existir al nivel sistemático de población. (ver subsistema vertical, salvaguarda única -monolock-)

**Solanaceae:** Familia botánica de las papas, que incluye a las siguientes especies cultivadas:

<i>Capsicum spp.</i>	Chiles
<i>Lycopersicon esculentum</i>	Tomates
<i>Nicotiana tabacum</i>	Tabaco
<i>Solanum melongena</i>	Berenjena
<i>Solanum tuberosum</i>	Papa

**Subsistema:** Nivel sistemático menor. Así, una relación gene a gene funcional es un subsistema vertical de un patosistema vegetal, que a su vez es un subsistema de un ecosistema.

**Subsistema vertical:** Es un subsistema de un patosistema que está definido por la existencia de una *relación gene por gene*.

**Susceptibilidad:** Lo contrario a la *resistencia*. Un *hospedante* es susceptible a un *parásito* cuando este es capaz de parasitarlo y extraer nutrientes de él.

**Taxonomía:** Clasificación y denominación de los organismos (por ejemplo). Este trabajo lo hacen los taxónomos.

**Técnica de un solo patotipo:** técnica de un solo : Procedimiento para asegurarse que todas las *resistencias verticales* son vencidas o acopladas durante el proceso de *selección* por *resistencia horizontal*. Esta técnica requiere que se escoja o designe un solo *patotipo vertical* del parásito problema (puede haber muchos), y que con él se inocule, durante todo el programa de mejoramiento, a todos los

progenitores en la población a mejorar; por lo tanto todos los progenitores deben ser susceptibles al *patotipo designado*. Así, todas las resistencias verticales de la progenie serán acopladas, independientemente de las recombinaciones de genes verticales que puedan tener. Es esencial que sólo se use un patotipo designado, porque si hay dos o más se pueden dar recombinaciones que no sean acopladas en posteriores generaciones de selección. El patotipo designado normalmente se cultiva en el *hospedante designado*.

**Teoría de los sistemas:** La teoría general de los sistemas estudia las propiedades que tienen en común los sistemas. Frecuentemente es útil estudiar un sistema a la luz de esta teoría, y en los términos de otros sistemas. El concepto de *patosistema* se basa en la teoría general de los sistemas. Hay muchas clases de sistemas como el solar, los políticos, los ecológicos, los mecánicos, legales, eléctricos y demás.

**Tetraploide:** Una célula o planta con cuatro juegos de  *cromosomas*. Los tetraploides normalmente se forman a partir de un *diploide* que por accidente duplica sus dos juegos de cromosomas. (ver diploide, monoploide doble, haploide)

**Transferencia genética (mejoramiento por):** Es el método mendeliano de mejoramiento, que consiste en llevar un monogene de una planta silvestre a un cultivar. En la práctica, este *gene* usualmente confiere *resistencia vertical* a un *parásito*. Las plantas se hibridizan y la progenie segrega en poseedores y no portadores de ese gene. En su mayoría la progenie se encuentra a la mitad de la capacidad de los padres, en rendimiento y calidad. Los mejores individuos portadores del gen de resistencia se *retro-cruzan* con el cultivar original, hasta que la progenie tiene todas sus cualidades valiosas, así como el gene de resistencia del progenitor silvestre.

**Triploide:** Planta que tiene tres juegos de  *cromosomas* en lugar de dos. Usualmente son estériles y difíciles de mejorar.

**Trips:** Pequeños *insectos* (0.5-2.0 mm) del Orden Thysanoptera con alas como flecos, que frecuentemente son fitófagos en cultivos y algunos son portadores de *virus*.

**Uniformidad genética:** Uniformidad genética significa que todos los individuos de una población son idénticos en uno o más de sus atributos heredables. Los cultivares modernos son típicamente uniformes por que se cultivan como *línea puras*, *variedades híbridas* o *clones*. Por definición, uniformidad genética significa *inflexibilidad genética*. (ver variabilidad genética)

**Variabilidad (variación) continua (cuantitativa):** Es la variabilidad o variación *genética* en la cual un carácter muestra diferencias graduales entre un mínimo y un máximo. Esta variación es típica en la genética biométrica (y no en la mendeliana). Su sinónimo es *variabilidad cuantitativa*. (ver variabilidad discontinua o cualitativa, herencia poligénica)

**Variabilidad discontinua o cualitativa:** Es la variación *genética* de los caracteres que están presentes o ausentes (discretos), sin valores intermedios. Tal variación es típica de la herencia mendeliana, y a menudo llamada genética cualitativa. El término *variabilidad discontinua* es su sinónimo. (ver variabilidad continua o cuantitativa)

**Variabilidad genética:** Variabilidad genética significa que todos los individuos de una población son diferentes en sus atributos heredados. Las poblaciones de plantas silvestres tienen típicamente

alta variabilidad, así como los *cultivos de subsistencia* de los países tropicales. Las poblaciones genéticamente diversas tienen *flexibilidad genética*. (ver uniformidad genética)

**Varietal híbrida:** Es un *cultivar* de una planta *heterógama* (maíz, cebolla, pepino) que ha sido obtenido por cruce de dos líneas *autofecundadas*. Las semillas provenientes de esa cruce producen plantas con *vigor híbrido* o *heterosis*. Las variedades híbridas sólo pueden ser utilizadas una vez debido a que pierden el vigor en la siguiente generación. Aun así no resultan caras, porque sus rendimientos más que justifican el costo de la semilla.

**Varietal local (o nativa o indígena):** Población vegetal cultivada que es *genéticamente variable* y *genéticamente flexible*. Una variedad local puede responder a las *presiones de selección* durante su cultivo. Los cultivos de maíz de África tropical que eran tan *vulnerables* a la roya tropical, por ser variedades locales, respondieron a la presión de selección por resistencia. Antes de que Johansen inventara las *líneas puras* en 1905, la mayoría de los cultivos, incluso del mundo desarrollado, eran variedades indígenas. La mayor parte de los *cultivos de subsistencia* de los países en desarrollo de la actualidad también lo son. (ver cultivar, ecotipo, evolución)

**Varietal sintética:** Es una forma mejorada de una especie *heterógama*, como el maíz, sorgo o alfalfa, constituida por una población genéticamente heterogénea. Aunque su población consiste de una especie propagada por semilla y de *polinización cruzada*, la mayoría de sus plantas tienen altos rendimientos, calidades, *resistencias* y adaptabilidad agronómica. Estas cualidades pueden declinar después de varias generaciones, por lo que habrá de renovarse la reserva de semillas.

**Vástago:** Parte de una planta que se utiliza para injertarse en otra parte llamada *portainjertos*.

**Vertical:** Es un término completamente abstracto, que denota la existencia de una relación *gene a gene*. Tanto la *resistencia vertical*, como la *habilidad parasitaria vertical* son el resultado de esa relación genética. Un *subsistema* vertical de un *patosistema* vegetal, se define por la relación gene a gene. Los genes individuales, en ese caso, se llaman genes verticales de *resistencia* y verticales de *habilidad parasitaria*, respectivamente; usualmente se les asigna un número de identificación. Asimismo, los respectivos *patotipos* y *patodemos* definidos por los genes verticales se identifican con los números de sus genes. (ver habilidad parasitaria vertical, resistencia vertical)

**Vigor híbrido:** Ver heterosis

**Viroide:** Forma primitiva de *virus* que consiste en poco más que códigos genéticos. Los viroides causan algunas enfermedades vegetales que difieren de las causadas por virus, principalmente en que se transmiten por semilla. El tubérculo ahusado de la papa es causado por viroides.

**Virus:** Son *parásitos obligados*, demasiado pequeños para verse en el microscopio óptico, que causan muchas enfermedades en la mayoría de los cultivos. Muchos virus son transmitidos por insectos chupadores, principalmente *áfidos*, sin embargo, otros pueden ser transmitidos por contacto o por organismos del suelo, como *nemátodos* y *hongos*. (ver viroide)

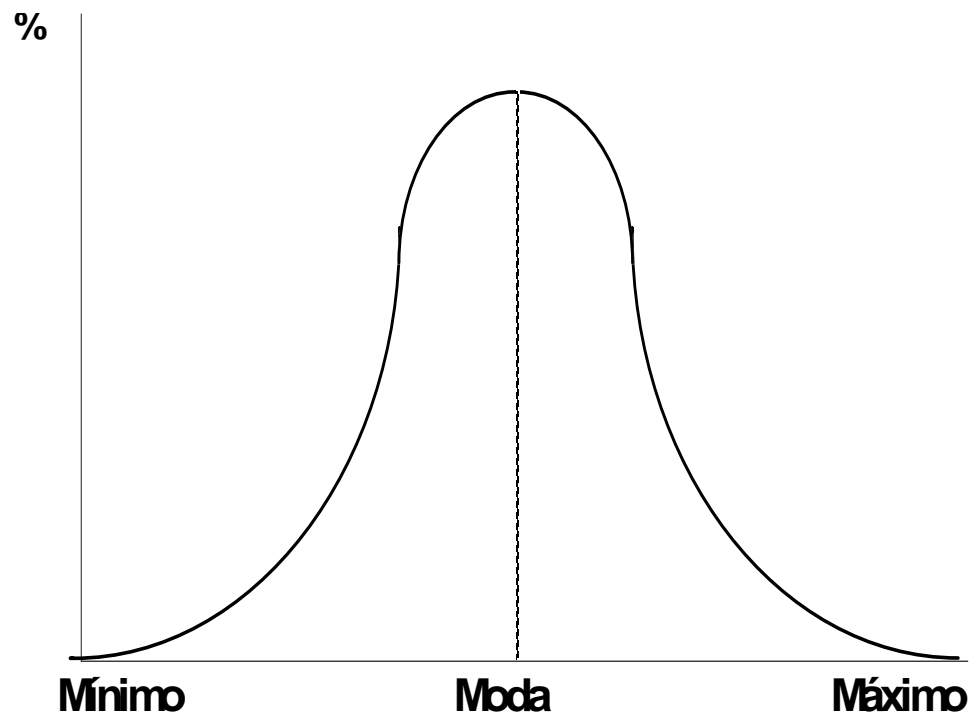
**Vulnerabilidad del cultivo:** Un cultivo es vulnerable cuando es *susceptible* a un *parásito* extranjero (exótico), ausente del área bajo consideración. Si ese parásito llega al área, la *susceptibilidad* se hace visible y la vulnerabilidad se manifiesta. El daño potencial se convierte en real. Algunas vulnerabilidades carecen de importancia, pero las que son de extrema importancia pueden causar daño social y económico extremos. Así, los cultivos de papa de Europa, antes de 1840, eran muy

---

vulnerables al tizón fungoso causado por *Phytophthora infestans*. Un cultivo es vulnerable sólo cuando el parásito potencial tiene *capacidad epidemiológica* en el área involucrada

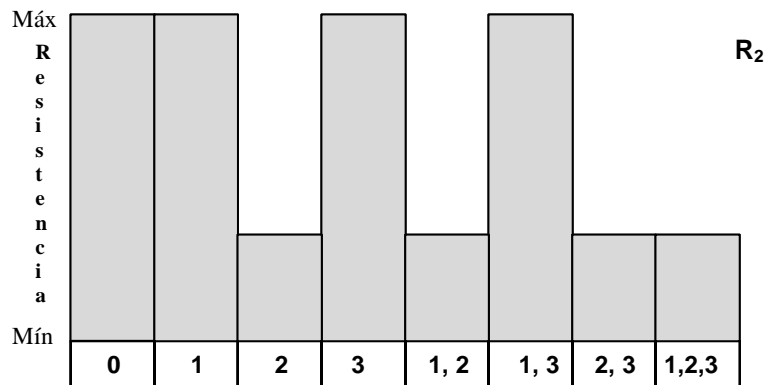
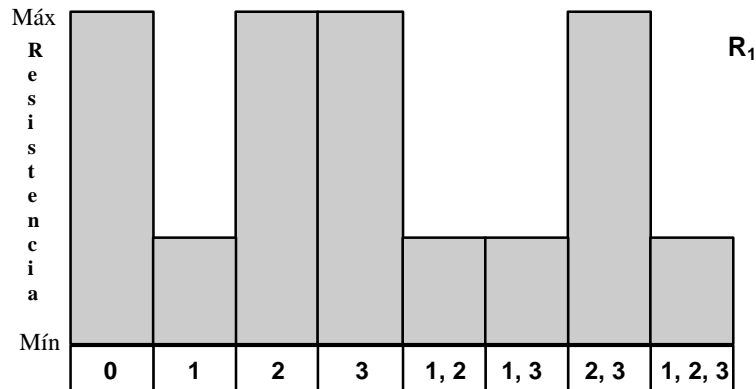
## Apéndices

## Apéndice A

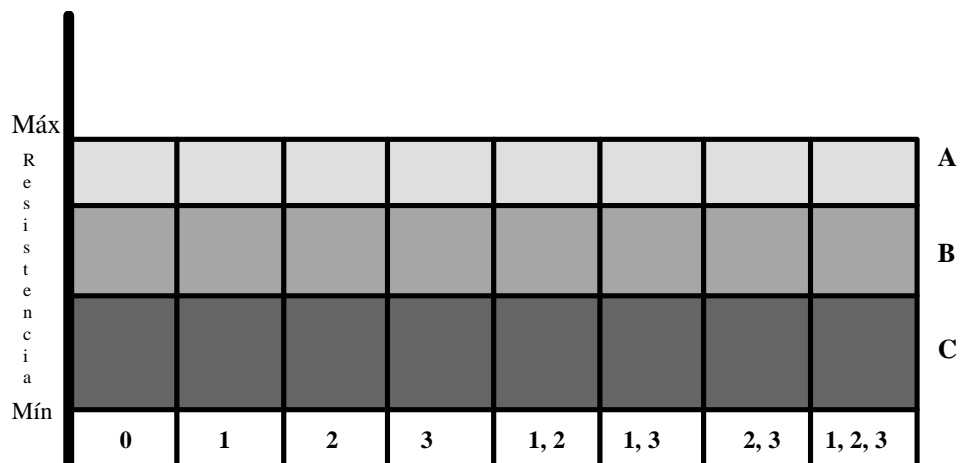


Esta gráfica es conocida como “ la curva acampanada” de Gauss. Representa la distribución “normal” de un carácter cuantitativamente variable que podría referirse a la estatura humana o al nivel de resistencia vegetal. Tales variables se representan en el eje horizontal de la gráfica y fluctúan desde un mínimo hasta un máximo. Los porcentajes de la población que poseen un valor dado de esa variable se representan en el eje vertical, con el máximo valor porcentual en la cúspide. La línea vertical punteada se conoce como moda. Cuando la curva es simétrica, la moda también representa a la media o promedio matemático, encontrándose exáctamente a la mitad entre el mínimo y el máximo.

## Apéndice B



Cada uno de estos diagramas representa un clon de papa y su reacción frente a ocho razas del hongo del tizón de la papa *Phytophthora infestan*. El diagrama superior representa un clon con el gene  $R_1$  de resistencia y es susceptible a cualquier raza de tizón que posea el gene acoplante de habilidad parasitaria (el 1). También es resistente a cualquier raza que no posea dicho gene (ausencia del 1). El diagrama inferior representa un clon con el gene  $R_2$  de resistencia y es susceptible a cualquier raza que posea el gene acoplante (el 2). También es resistente a cualquier raza que no lo posea (ausencia del gene 2). Como las diferencias en este tipo de resistencia son paralelas al eje vertical del diagrama, consecuentemente se les llama resistencia vertical. Así, la resistencia vertical es cualitativa tanto en su herencia como en sus efectos. Lo anterior se debe a una relación gene por gene. (Vanderplank, 1963).



Este diagrama representa tres clones de papa que no tienen ningún gene de resistencia vertical. Por lo mismo cada clon es susceptible a cada una de las razas del tizón. Sin embargo, el clon **C** es más susceptible o menos resistente que el **B**, y el **B** es más susceptible que el **A**. Como las diferencias de este tipo de resistencia son paralelas al eje horizontal, consecuentemente se conocen como resistencia horizontal. La resistencia horizontal no es atribuible a una relación gene a gene, y normalmente se hereda en forma poligénica. En consecuencia es cuantitativa, tanto en su heredabilidad como en sus efectos. (Vanderplank, 1963).



## Apéndice C

<b><u>n</u></b>																																		
0											1																							
1							1				1																							
2								1		2		1																						
3									1	3		3		1																				
4											1	4		6		4		1																
5												1	5	10		10		5	1															
6													1	6	15		20		15	6	1													
7														1	7	21	35		35	21	7	1												
8															1	8	28	56		70		56	28	8	1									
9																1	9	36	84	126		126	84	36	9	1								
10																	1	10	45	120	210		252		210	120	45	10	1					
11																		1	11	55	165	330	462		262	330	165	55	11	1				
12																				1	12	66	220	495	792		924		792	495	220	66	12	1

Este diagrama es llamado triángulo de Pascal y representa la probabilidad de eventos como el resultado de lanzar una moneda al aire o el nacimiento de niño o niña cada que se da a luz. La columna de la izquierda se refiere al número de eventos y se representa con  $n$ . Por ejemplo, si se lanzan dos monedas al aire ( $n = 2$ ); las probabilidades de que caigan dos caras, o cara y cruz o cruz y cara, o dos cruces, son **1, 2, y 1, de un total de 4** lanzamientos;. Las probabilidades de cualquier combinación son llamadas coeficientes binomiales, y el triángulo de coeficientes es contruido fácilmente porque cada coeficiente es la suma de los dos inmediatamente superiores a él, a su derecha y su izquierda. Para cualquier valor par de  $n$  (número de eventos pares), el coeficiente binomial mayor (la moda binomial, sombreada) ocurre con las combinaciones de  $n/2$  eventos. Por ejemplo, en una familia con ocho hijos, el total de combinaciones de cuatro niños ( $n/2$ ) y cuatro niñas ( $n/2$ ) es setenta, el número máximo de niños y niñas. En una relación gene a gene que tiene doce pares de genes el número máximo de cerraduras y llaves acoplantes ocurre cuando cada cerradura y llave tienen  $n/2$  (esto es,  $12/2=6$ ) genes. Puede verse en el triángulo que hay 924 cerraduras+llaves de seis genes.

## Apéndice D: CABI

*Las siguientes instituciones pertenecen al Commonwealth Agricultural Bureaux International (CABI) y ofrecen servicios de identificación de parásitos de los cultivos; adicionalmente publican revistas de resúmenes, libros, monografías, etc. Los clubs de fitomejoramiento podrían dirigirse a ellas para indagar respecto a los servicios que ofrecen y sus costos.*

International Mycological Institute.  
Bakeham Lane, Egham  
Surrey, TW20 9TY  
England  
Tel: 0784-470111

Este instituto provee autorizadas identificaciones de fitopatógenos fungosos o bacterianos, a cambio de una cuota. También publica una revista de resúmenes (*Review of Plant Pathology*) y varios libros y monografías.

International Institute of Entomology  
56, Queen's Gate,  
London, SW7 5JR  
Tel: (071) 584-0067 Fax: (071) 581-1676

Este instituto provee autorizadas identificaciones de insectos, a cambio de una cuota. También publica una revista de resúmenes y varios libros y monografías.

International Institute of Parasitology,  
395A, Hatfield Road,  
St. Albans, Herts., AL4 0XU  
England  
Tel: 833151 Fax: 868721

Este instituto provee autorizadas identificaciones de nemátodos, a cambio de una cuota. También publica una revista de resúmenes y varios libros y monografías.

## Bibliografía

- Beek, M.A. 1988.** Selection Procedures for Durable Resistance in Wheat. Agricultural University, Wageningen Papers 88-2, 114pp.
- Large, E.C. 1940.** The Advance of the Fungi. Jonathan Cape, London, 488pp.
- Pimental, D. and Lehman, H. (Eds). 1993.** The Pesticide Question. Chapman and Hall, New York and London, 441pp.
- Robinson, R A. 1987.** Host Management in Crop Pathosystems. MacMillan Publishing Company, New York, (now marketed by McGraw-Hill), 263 pp. Traducida al castellano por Roberto Garcia Espinosa: Manejo del Hospedante en Patosistemas Agrícolas. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx., México (1989), 281pp.
- Simmonds, N.W. 1979.** Principles of Crop Improvement. Longman, London and New York, 408pp.
- Simmonds, N.W. 1991.** Genetics of Horizontal Resistance to Diseases of Crops. Biol. Rev. 66, 189-241.
- Van der Plank, J.E. 1963.** Plant Diseases; Epidemics and Control. Academic Press, New York and London, 349pp.
- Van der Plank, J.E. 1968.** Disease Resistance in Plants. Academic Press, New York and London, 206pp.

## —INDICE—

## —A—

abejas, 162, 185  
 acaricida, 236  
 Acarina, 236  
 aceituna, 228  
 acoplamiento  
   probabilidad de, 25  
 adaptabilidad agronómica, 203, 236  
 ADN, 236, 242  
 áfidos, 170, 190  
   aloinfestantes, 21  
   polimorfismo, 21, 236  
 Africa Oriental  
   roya del cafeto, 21  
 Africa Tropical, 41  
*Agave sisalana*, 145  
 agricultores  
 agricultura  
   artificios de, 50  
   burós internacionales de, 163  
   de subsistencia, 207, 218, 236  
   moderna, 34  
   primaria, 138  
   Sustentable de Baja Demanda de energía  
     LISA, 150  
 agroecología, 230  
 agroecosistema, 231, 236  
   local, 167, 207  
 agroecotipo, 167, 237  
 agroevolución, 230  
 ajo, 35, 142, 227  
 alelo, 4  
   frecuencia, 209  
 alfalfa, 62  
 algodónero, 68  
 alimentación  
   dilema de la, 5  
 alofecundación, 162, 171, 195  
 alógama, 10, 20, 237  
 aloinfección, 20, 66, 237, 262  
 Alvius, E., 185  
*Allium sativum*, 142  
 Amazonas, 218  
 ambientalismo, 50  
*Ananas comosus*, 144  
 anarquía biológica, 68, 188, 237  
 Andrebahn, T., 126  
 androestéril, 237  
 antagonista, 238  
 antera, 171, 238  
 antesis, 208, 238  
 anticuerpos, 15  
 antígenos, 15  
 antracnosis, 238  
 araña roja, 236

*Armoracia rusticana*, 144  
 aroides, 139  
 arquetipo, 238  
 arroz, 99, 120, 163, 168, 216  
   blast, 217  
   cruza manual, 163  
   milagroso (revolución verde), 100  
   paddy, 120, 216  
 asesoría, 278  
 Australia, 187  
 autofecundación, 177, 213  
 autogamia, 10, 20, 238  
 autoinfección, 20, 25, 238  
 autopolinización, 194, 238  
 avance genético, 239  
 avena, 37  
 azafrán, 145

## —B—

bacteria, 239  
 bactericida, 239  
 banano  
   plátano, 139  
 Barbados  
   caña de azúcar, 135  
 base genética, 57, 103  
   estrecha, 197  
   original, 173  
 Bateson, W., 5  
 Beal, W.J., 118  
 Beeck, M.A., 166, 176, 179, 208  
 Berkeley, M.J., 83  
 Biffin, R.H., 11  
 Bigornia, A.E., 215  
 billón, 239  
 biodiversidad, 223  
 biotipo, 212  
 Borlaug, N, 94., 99  
 Brasil, 135, 219  
   roya del cafeto, 22  
 Buddenhagen, I., 117, 185

## —C—

CABI, 278  
 cacao, 214  
   escoba de bruja, 214  
 cadang-cadang, 215  
 Cadena-Hinojosa, M., 94  
 caducifolio, 244  
 cafeterías, 122  
 cafeto, 120, 180  
   base genética, 123  
   clima, 122  
   distribución mundial, 123  
   enfermedad de la cereza del, 68, 125, 216  
   fitomejoramiento, 126  
   germoplasma, 128  
   híbrido de timor, 130  
   origen botánico, 120, 121

- resistencia vertical, 129
- robusta, 122
- roya del, 21, 123
- sintético, 128
- calabaza, 34
- caldo bordelés, 87, 143, 233, 239
- calidad, 203
  - clonal, 137
  - evaluación de, 164
- cámara humidificadora, 180
- camote, 82, 139, 223
  - batata, 224
- Canadá
  - Centro de Investigaciones para el Desarrollo Internacional (IDRC-Universidad de Guelph), 240
- canela, 120
- caña de azúcar, 35, 103, 131
  - en Hawaii
  - fitomejoramiento, 133
  - mosaico viroso, 134
  - origen, 131
  - parásitos de nuevo encuentro, 132
  - POJ2878, 133
  - roya, 135
- capacidad
  - ambiental, 231
  - epidemiológica, 105, 239
- Capsicum spp.*, 141
- caracteres monogénicos, 188
- carbón, 240
- carbono
  - compuestos del, 264
- carborundum, 182, 190
- Cartwright, E., 226
- cazadores-recolectores, 138
- cebada, 82, 164
  - ergotismo, 82
- cebolla, 34
- centeno, 218
- centro
  - de diversificación, 240
  - de origen, 240
- cepellón
  - artificial, 187
  - plástico biodegradable, 187
- cereales
  - alógamos, 165, 240
  - de grano chico, 198, 266
  - de invierno, 241
  - selección
- cerradura bioquímica, 16, 236, 246, 267
- cerradura única (monolock), 241, 267
- CGIAR
  - Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional, 100
- CIAT, 100
- Cicadulina spp.*, 116, 185
- científicos aficionados, 242
- cigoto, 4
- CIMMYT
  - Centro Intnal. de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 100
- Cinnamomun zeylanicum*, 120
- CIP, 100
- cítricos, 141, 227
- Claviceps purpurea*, 82
- clon, 21, 35, 137, 223, 241
  - mejoramiento, 137
  - rendimiento, 137
- clubs de fitomejoramiento
  - categorías de membresía, 153
  - centralizado vs descentralizado, 152
  - jurado del, 186
  - primero en el mundo, 160
- cobertera, 241
- Cocos nucifera*, 215
- cocotero, 215
- coeficiente de selección, 224, 242
- Coffea arabica*, 120
- Coffea canephora*, 121
- Coffea eugenioides*, 121
- Coleoptera, 247
- Colocasia*, 139
- Colon, C., 131., 141
- Commonwealth Agricultural Bureaux International (CABI), 278
- competencia evolutiva, 124
- competidor, 256
- contaminación, 229
  - ambiental, 149
- control
  - biológico, 68, 242
  - biótico, 230
  - natural, 242
  - natal, 229
- Convolvulaceae, 224
- Coons, G.H., 134
- cormo, 145
- corporaciones
  - agrícolas, 151
  - químicas
    - intereses creados, 78
- Correns, C., 3
- cosecha
  - evaluación de pérdidas, 201
  - tipos de, 168
- Cowling, W., 187
- crecimiento poblacional, 229
- Crinipellis perniciosa*, 214
- Crocus sativa*, 145
- cromosoma, 4, 242
- cualitativo
  - carácter, 9
- Cuba
  - caña de azúcar, 135
- cucurbitáceas, 243
- Cuerno de Africa, 120
- cultivar, 243
  - comercial, 189
  - fiel a su tipo, 34
  - flexibilidad genética, 108
  - frecuencia generacional, 40
  - local (landrace), 151
  - material genético original, 199
  - modernos, 40, 108

- multiplicación de, 189
    - potencial, 186, 189
    - propagación, 34
    - rango geográfico, 158, 167
    - rasgos valiosos, 34
    - registro de, 189
    - selección de líneas, 185
    - uniformidad, 34
  - cultivo
    - autofecundados, 169
    - clon, 214
    - de subsistencia, 35
    - de meristemas, 243
    - de parásitos, 243
    - extensivos, 99
    - intensivos, 98, 153
    - perennes, 215
    - rotación, 98
  - Curcuma longa*, 145
  - curry, 143, 145
  - curva de campana (de Gauss), 245
  - Chiarappa, L., 36
  - chicharrita del maíz, 185
- D—
- damping off, 193, 243
  - daño, 243
    - en cultivos modernos, 44
    - frecuencia, 44, 244
    - perjuicio, 44
    - total, 44
  - Darwin, C., 3, 4, 5, 118
  - dátil, 35
  - DDT, 71, 75, 233
  - de Vries, H, 3, 5
  - Delgado-Sánchez, S., 94
  - depredador, 244
  - derechos del fitomejorador, 150
  - descendencia de una sola semilla, 169, 175, 179, 188, 209, 244
  - desecante, 244, 269
  - dicotiledonea, 244
  - dioico, 141, 146, 244
  - Dioscorea rotundata*, 146
  - diploide, 245
  - dispersión natural, 181
  - distribución espacial, 185
    - normal, 3, 6, 215, 245, 274
    - por contagio, 116, 170, 204, 211, 245
    - uniforme, 245
  - domesticación vegetal, 44, 138, 245
  - dormancia, 222
  - Doughty, I.R., 121
  - Dysmicoccus brevipes*, 145
  - tasa de cambio, 40
  - efecto vertifolia, 246
  - emasculación, 171, 195
  - emergente, 246
  - emigración, 21
  - enfermedades
    - tipos de, 165
  - enraizado, 144, 180, 239
  - entomología, 246
  - epidemia, 28
    - continua, 28, 140
    - desarrollo, 25
    - discontinua, 28
    - vegetal, 246
    - vertical, 31
  - equipo, 165
    - siembra, 210
  - erosión ambiental, 142
  - Erysiphales, 257
  - escapismo, 117, 182, 203
  - Esclerospora graminicola*, 166
  - escuela
    - biométrica, 218, 239
    - mendeliana, 218, 225, 230, 234
  - espalderas, 144
  - especies, 145
  - espora, 247
  - estaca vegetativa, 222
  - estadística
    - uso y abuso, 65
  - estambre, 247
  - esterilidad
    - gamética, 226
  - estiaje, 168
  - estigma, 247
  - estolón, 247
  - estratega-k, 229, 247
  - estratega-r, 21, 24, 36, 67, 247
  - Ethrel
    - gameticida, 176
  - Etiopía, 121, 125
  - Europa, 140
  - evaluación horizontal
    - su relatividad, 186, 188
  - evolución, 248
    - Darwiniana, 230
    - de la relación gene por gene, 31
    - y fitomejoramiento, 133
  - Exobasidium vexans*, 220
  - experimentación
    - error crítico, 65
  - explosión demográfica, 229
  - extensión agrícola
    - servicio de, 210
    - y educación, 222

## —E—

- ecología, 246
  - y estabilidad, 223
- ecosistema, 48, 246
- ecotipo, 40, 233, 246, 259, 271

## —F—

- F, F, ....., 248
- <sup>1</sup>/<sub>2</sub> FAO, 36, 126
- fecundación sexual, 248
- fermentación, 231

fertilización, 248  
 fertilizante, 98, 174, 217  
*Ficus carica*, 142  
 fiel a su tipo, 141, 144  
 Filipinas, 100, 216, 223  
 filoxera, 228  
 Fisher, R.A., 65  
 fitogenética, 148  
 fitomejoramiento, 164, 248  
   biometrista, 10, 148  
   ciclo de fracasos, 36  
   clubs de, 148, 242  
   en masa, 188  
   participación de los campesinos, 222  
   poblacional, 133  
   por pedigrí, 17, 126  
   regalías por, 150  
   tasa de avance, 183  
 fitopatógenos, 261  
   cultivo de, 173  
 fitopatología, 248  
 flexibilidad genética, 40, 248  
 Flor, H.H., 15, 89  
 Ford, H., 219  
   fundación, 99  
 forraje, 141, 216, 248  
 fotosíntesis, 248  
 fungicida, 249  
   caldo bordelés, 72  
*Fusarium*, 63, 141  
*Fusarium oxysporum lycopersici*, 75  
*Fusarium oxysporum*, 140, 142

## —G—

Galindo-Alonso, J., 90  
 gameticida, 11, 163, 171, 175, 185, 194, 204, 249  
 garbanzo, 10  
 García, E.R., 240  
*Gaumannomyces graminis*, 52  
 Gauss (curva normal de), 3  
 gen, gene  
   dominante, 245  
   frecuencias, 57  
   marcador, 162, 178  
   mendeliano, 178  
   monogenes, 6, 106  
   poligenes, 6  
   simple, 15  
   transferencia de, 9  
 gene a (por) gene, 3, 35, 52, 212, 237, 250  
   funcionamiento, 29  
   relación, 89  
   valor evolutivo, 53  
 generación  
 generación  
   de cruza, 176, 209  
   de multiplicación, 177, 195  
   de selección, 183, 189  
   de tamizado, 177  
 género taxonómico, 250  
 genética, 250

biometrista, 3, 107, 250, 268  
 conservación, 60  
 diversidad, 60  
 escuelas de, 3  
 ingeniería, 253  
 mendeliana, 3, 144, 250  
 revolución verde, 102  
 transferencia, 10  
 uniformidad, 233  
 variabilidad, 55  
 genomio, 34  
 germinación, 178  
 germoplasma  
   banco, 103, 242  
*Globodera rostochiensis*, 191  
 gradiente parasitario, 179, 181, 212  
 gradualismo, 4  
 Gramineae, 240, 250  
 Gran Bretaña, 37  
 guano, 98  
 Guyana, 135

## —H—

habilidad parasitaria  
   horizontal, 251  
   vertical, 251  
 hábito determinado, 251  
 haploide, 251  
 Hart, H., 36  
 Hawai, 228  
*Hemileia vastatrix*, 123  
 Hemiptera, 243  
 henequén, 35  
 herbicida, 251  
 heredabilidad, 251  
 herencia, 236  
   leyes, 3  
   monogénica, 252  
   poligénica y monogénica, 251  
 hermafrodita, 252  
 herrumbre  
   roya, 105  
 heterocigosis, 4, 141, 194, 252  
 heterosis, 118, 252, 272  
*Hevea brasiliensis*, 31, 218  
 híbrido, 22, 35, 151, 165, 252  
 hidroponia, 169, 177, 179, 252  
 higo, 35, 142  
 hiperparásito, 252  
 holístico, 201, 252  
   enfoque, 58  
 homocigótico, 4, 237, 252  
 Homoptera, 236  
 hongo, 253  
 hospedante, hospedero, 253  
   designado, 169, 180, 201, 253  
   pérdida, 196  
   silvestre, 29  
 hule, 218  
   tizón foliar del, 219  
*Humulus lupulus*, 143

Hutton, J., 4

## —I—

IBPGR, 100  
 ICARDA, 100  
 ICRISAT, 100  
 IITA, 100, 222  
 inanición, 229  
 India, 166  
 infección, 20, 253  
   acoplante, 16, 24, 36, 236  
   no acoplante, 24  
 inflexibilidad genética, 253  
 ingeniería genética, 232  
 injerto, 181, 193, 224  
   vástagos, 143  
 inmigración, 20  
 inmunidad, 253  
   poblacional, 214, 254  
 inoculación  
   de cepellones, 182  
   de hospederas, 170, 181  
 inocular o infestar, 254  
 inóculo  
   inicial, 254  
 insecticidas, 254  
   aldicarb, 71  
   piretrina, 233, 262  
   rotenona, 233, 267  
   Verde de Paris, 95  
 insectos, 254  
   barrenador del tallo, 239  
   catarinita, 240  
   colección de, 172  
   cría de, 168  
   chupadores, 272  
   escamas, 170  
   gusano, 250  
   gusano cogollero del tabaco, 69  
   hipodamia, 68  
   larva, 255  
   minador, 257  
   mosca de Hess, 30  
   mosquita blanca, 258  
   oruga, 260  
   palomilla, 260  
   pulgón, 68  
   vectores, 170  
 interacción  
   hospedante-parásito, 24  
 interferencia parasitaria, 54, 65, 113, 188, 212, 214, 254  
 International Agricultural Bureaux, 180  
 invernadero, 183  
   bancadas, 184  
   efecto de, 232  
   enfriamiento de, 180  
   sombreado de, 184  
   su control, 183  
 investigación  
   centros internacionales, 161  
   competencia en, 148

en los clubs, 185  
 Agrícola Internacional, 100  
   crítica de, 101  
*Ipomoea batatas*, 82, 223  
 IRRI, 100  
 Islas Salomón, 224

## —J—

jengibre, 35, 143, 227  
 jitomate, 63, 75  
 Johannsen, W.L., 11  
   línea pura, 22, 34  
 Jones, A., 225  
 Jones, D.F., 118

## —K—

Kenmore, P., 102  
 Kenya, 105, 120, 220  
 kumara  
   camote, 223

## —L—

laboratorio  
   aséptico, 186  
   de campo, 186  
   improvización, 172  
 Lapwood, D.H., 36  
 legislación cuarentenaria vegetal, 177, 255  
   origen, 95  
 Leguminosae, 174, 255  
   mejoramiento de, 174  
 Lepidoptera, 256  
*Leptinotarsa decemlineata*, 52, 95  
 Liliaceae, 255  
 línea  
   pura, 11, 141, 169, , 175, 179, 198, 209, 256, 258  
   autofecundadas, 165  
 Linneo, C., 120  
 lino  
   roya del, 15  
*Linus usitatissimum*, 15  
 LISA  
   Low Input Sustainable Agriculture, 150  
 lupino, 187  
*Lupinus augustifolius*, 187  
 lúpulo, 143  
 llave bioquímica, 16, 246  
 lluvia bimodal, 256  
 Lyell, Ch., 4

## —M—

MacDonald, J., 125  
 macetas  
   de barro, 187  
   de plástico, 187  
   y cepellones, 187  
 macroevolución, 233



Madagascar, 139  
maíz, 34  
    Africa Tropical, 209  
    Centro América, 105  
    híbrido, 103, 118  
    leyes del, 84  
    roya común, 112  
    roya tropical, 105, 239  
    virus rayado africano, 116, 185  
maleza, 256  
manejo integrado de plagas, 59, 69, 102, 237, 242, 256  
*Manihout esculenta*, 222  
manzano, 35  
maquinaria agrícola, 187  
marcador genético, 256  
marchitez, 256  
material genético original  
    purificación de, 199  
material inicial o fundador, 151, 189  
*Mayetiola destructor*, 30, 168  
McCormick, C, 84  
*Medicago sativa*, 35, 237  
medios de cultivo, 173  
mejoramiento genético (selección para)  
    caña de azúcar, 133  
    ciclo de, 159, 182, 209, 241  
    en masa, 175, 257  
    mendeliano, 35, 102  
    mendelianos y biometristas, comparación, 41  
    poblacional, 108, 257  
    por pedigrí, 9, 36, 188, 257  
    proceso de, 41  
    programas paralelos de, 209  
    y floración, 212  
*Melampsora lini*, 15  
Mendel, G., 3  
mendeliano (a), 257  
    escuela, 37, 148  
    herencia, 4  
    método, 228  
    proporción, 4  
México, 145, 146, 160, 185, 223  
    Chapingo, 186  
    Universidad Autónoma, 160  
    Colegio de Postgraduados, 240  
    mejoramiento de papa, 93  
micoplasmoide, 191  
*Microcyclus ulei*, 31, 219  
microevolución, 233  
mildíu, 257  
    velloso, 143  
Millardet, P.M.A., 87  
MIP, 59, 69, 102, 237, 242, 256  
moka, 122  
moko, 140  
monocotiledonea, 257  
monocultivo, 139, 258  
monogénico, 258  
    caracteres, 41, 102, 162  
monoico, 252  
monolock, 36, 129, 218, 267, 269  
monoploide doble, 258

mortalidad excesiva, 182, 188  
mosca de Hess, 168  
mosquito, 233  
multilínea, 37, 258  
multiplicación clonal, 188  
Müller, P., 75  
*Musa spp*, 139  
mutación, 258  
mutagénico, 258  
*Myzus persicae*, 190

## —N—

nematicida, 259  
nemátodo, 259  
    colección de, 172  
Nematología, 259  
Niederhauser, J.S., 93., 101  
Nigeria, 222  
*Nilaparvata lugens*, 101, 168  
nitrógeno, 174  
    fijación de, 174  
    nódulos, 174, 259  
no acoplante, 259  
nucelar  
    semilla, 269  
nuevo encuentro, 117  
    parásito de, 140., 142

## —Ñ—

ñame, 120, 146

## —O—

*Olea europaea*, 144  
olivo, 35, 144, 228  
oospora, 259  
optimización local, 237, 259  
Orton, W.A., 12  
óvulo, 260

## —P—

padres originales, 176  
palma datilera, 141  
*Panicum sp*, 34  
papa, 10, 35, 82, 140, 180  
    acumulación de resistencia horizontal, 92  
    ahusado, 191  
    alfa, 89  
    catarinita, 52, 93, 95, 158  
    certificada, 86  
    clones, 85  
    cultivares, 88  
    en Irlanda, 82  
    en Toluca, México, 93  
    enfermedades de, 92  
        tubérculo, 191  
    enraizado de varetas, 191  
    evaluación, 189  
    fitomejoramiento, 82

- fuerza de resistencia en, 96  
 hambruna de la, 85  
 injerto, 181  
 inoculación, 190  
 maleza, 211  
 mejoramiento, 89  
 migración irlandesa, 84  
 multiplicación rápida, 191  
 nemátodo dorado, 158  
 Niederhauser, J.S., 93  
 polinización, 191  
 punta morada, 191  
 rendimiento, 193  
 resistencia  
   a problemas de almacén, 193  
   al tizón, 86  
   horizontal, 86  
   vertical, 191  
 Sangema, 94  
 selección de semilla, 206  
 semilla  
   certificada, 92  
   verdadera, 191, 192  
 Simmonds, N.W., 95  
 tizón, 83  
 tizón tardío, 91  
 verrucosis de la, 158  
 virosis, 91  
 virus enrollador de la hoja, 190  
 y la revolución industrial, 82
- parasitismo, 25, 260  
 daño por, 249  
 frecuencia del, 249  
 gradientes de, 206
- parásito  
 capacidad epidemiológica, 56, 106  
 clasificación, 165  
 cuarentenarios, 158  
 de nuevo encuentro, 70, 83, 132, 140, 143, 227, 260  
 de reencuentro, 70, 105, 124, 125, 145, 260  
 de viejo encuentro, 137, 139, 260  
 del suelo, 238  
 dispersión de, 157  
 exóticos, 173  
 facultativo, 63, 173, 261  
 localmente importante, 216  
 obligado, 63, 173, 261  
 precosecha, 148  
 tasa de muerte, 67  
 tasa de nacimientos, 67  
 tasa de reproducción, 67  
 técnicas de cría, 165
- parasitoide, 252, 261  
 partenocárpico, 226, 261
- Pascal  
 triángulo de, 277
- Pasteur, L., 83  
 pasteurización, 261  
 pasto, 261  
 patodemo, 261  
 patología, 261  
 patosistema, 48, 261
- continuo, 53, 134, 155, 261  
 cultivado, 49, 261  
 discontinuo, 53, 137, 144, 155, 219, 262  
 silvestre, 49, 262  
   y continuo, 169, 222, 225
- patotipo, 262  
 designado, 181, 190, 191, 193, 198, 212, 262, 270  
 pérdida, 196  
 técnica de un solo, 212, 270  
 único, 201  
 vertical designado, 170  
 único  
   técnica del, 155, 262
- patotipos y hospedantes  
 designación de, 169
- Pearson, K., 5  
 peat, 178, 187  
 pedigrí  
 mejoramiento por, 54, 175
- Pennisetum typhoides*, 166  
*Peper nigrum*, 140
- pérdidas  
 precosecha, 148
- perenne, 140  
 Pérez-Ugalde, G., 94  
 perjuicio, 243  
 Peronosporales, 257  
 Person, C., 15  
*Phaseolus vulgaris*, 160  
*Phoenix dactylifera*, 141  
*Phylloxera vitifoliae*, 143  
*Phytophthora colocasiae*, 139  
*Phytophthora infestans*, 54, 83  
 sexo, 90  
 tipos de, 90
- Phytophthora infestans*, 190
- pimienta negra, 140  
 pimienta roja, 141  
 piña, 35, 144, 228  
 piojo harinoso, 145
- Piricularia oryzae*, 101
- plagas, 262  
 localmente importantes., 149  
 pérdidas por, 49  
 tipos de, 165
- plagas y enfermedades  
 identificación de, 180
- plaguicidas, 37, 50, 52, 53, 58, 59, 60, 66, 127, 141, 142, 145, 148, 156, 163, 169, 177, 186, 188, 201, 227, 229, 237, 242, 263  
 conocimiento de, 72  
 costo, 71  
 desventajas, 71  
 efectividad, 74  
 eficiencia, 71  
 en el fitomejoramiento, 214  
 impacto biológico, 73  
 intereses creados, 77  
 mentalidad de, 59  
 repetitividad, 72  
 resistencia a, 69, 72  
 riesgo, 73

- sobrecarga, 68
- ventajas, 71
- Plasmopara viticola*, 87, 143
- plátano, 35, 120, 226
  - Gros Michel, 139
  - mal de Panamá, 140
- población
  - de multiplicación, 177
  - de selección, 168
  - genéticamente uniforme, 215
  - humana, 35, 76
  - silvestre, 40
  - vegetal, 34
- poblacional
  - crecimiento, 67, 242
  - explosión, 21, 30, 36, 140, 248
  - extinción, 248
  - inmunidad, 67
  - uniformidad, 35
- poda sanitaria, 215
- polen, 263
  - colectores, 210, 269
  - indeseable, 176, 194, 208
- policultivos, 231
- poligenes
  - frecuencia, 155
- polinización, 10, 171, 263
  - abierta, cruzada o natural, 263
  - cruzada en cultivos autógamos, 185 a, 194, 196
  - manual, 11, 176
- portador asintomático, 263
- portainjertos, 181, 193, 263
  - patrones, 143
- ppm, 263
- pregerminación, 178
- presión de selección, 40, 88, 181, 213, 263
  - negativa, 88
  - positiva, 108
  - respuesta a la, 40
- Prigogine, I., 48, 230
- problema alimentario mundial, 37, 76
- proboscis, 260
- progenitor, 170, 186, 197, 264
  - femenino, 176
  - masculino, 176
  - original, 198
  - silvestre, 138, 142, 227
    - desaparición, 138
- propagación vegetativa, 21, 35, 138, 141, 238, 264
- propagadores húmedos, 219
- Pseudomonas solanacearum*, 191
- Puccinia erianthi*, 135
- Puccinia graminis tritici*, 75
- Puccinia polysora*, 105
- Puccinia sorghi*, 112
- pulgón, 168
- reduccionismo, 112
- reencuentro (parásito de), 117
- regalías, 164
  - del fitomejorador, 199
  - privilegio del productor, 151
  - reparto, 186
- Reina Roja
  - paradoja de la, 53
- relación
  - depredador-presa, 44, 264
  - gene a gene, 15, 168, 169, 180, 230, 264
  - parásito-hospedante, 44, 265
- remolacha, 10, 103, 231
- rendimiento, 203
- reproducción
  - asexual, 52, 238
  - fiel a su tipo, 199
- resistencia
  - avance genético, 111
  - buena fuente de, 31
  - completa y global, 155
  - conflicto entre vertical y horizontal, 17
  - cualitativa, 15
  - cuantitativa, 15, 16
  - de los biométricos, 15
  - de planta adulta, 265
  - diversidad genética, 110
  - falsa, 203
  - fuentes genéticas de, 12, 26, 110, 159, 220
  - mecanismos de, 111
  - mecanismo de hipersensibilidad, 65
  - mendeliana, 15
  - monogénica, 15
  - poligénica, 15, 225
  - presión de selección y, 111
  - rompimiento de, 16, 266
  - vertical y horizontal comparadas, 16
- resistencia genética, 265
  - fuentes de, 249
- resistencia horizontal, 66, 134, 143, 148, 156, 182, 187, 189, 219, 225, 234, 249, 265, 276
  - a parásitos localmente importantes, 225
  - acumulación natural, 106
  - clonal, 137
  - completa, 56
  - demonstración de e, 116, 200
  - desventajas, 58
  - durable, 56
  - duración del fitomejoramiento por, 111
  - erosión, 60, 107, 124, 246
    - ambiental, 63
    - falsa, 63, 64, 135
  - factores que la modifican, 70
  - fuentes de, 57
  - global, 57, 114, 137, 201
  - límites, 59
  - medidas de, 113
  - modificadores, 59
  - natural, 209
  - necesaria, 70
  - negligencia, 94
  - niveles, 56, 113

## —R—

- rábano rústico, 35, 144
- raza o patotipo, 212, 264
- recesivo, 264

ocultamiento, 54  
 opción del futuro, 51  
 relatividad de, 116  
 su medida, 201  
 vs plaguicidas, 71  
 y rendimiento, 61  
 y selección local, 110  
 resistencia monogénica (vertical), 228  
 resistencia vertical, 66, 142, 233, 237, 264, 265, 275  
   acoplamiento, 106, 198  
   caída de, 101  
   cuantitativa, 197, 198, 202, 266  
   demostración de, 200  
   desventajas, 52  
   durable, 75, 106  
   en cultivares horizontalmente resistentes, 202  
   función, 25  
   inactivación, 155, 195  
   mal uso, 55  
   objetivo, 30  
   operante, 197  
   recuperación y rompimiento, 29  
   rompimiento, 36  
   su eliminación genética, 202  
   temporalidad, 52  
   ventajas, 52  
 retrocruza, 9, 188, 266  
 revolución verde, 99, 217  
   arroz, 99  
   India, 99  
   México, 99  
*Rhizobium*, 174, 259  
 Rimpau, 218  
 Rockefeller  
   fundación, 93, 99  
 Roma, 121  
 Rosaceae, 249, 266  
 rotación, 267  
   durante el mejoramiento, 202  
 roya, 267

—S—

*Saccharum barberi*, 132  
*Saccharum officinarum*, 131  
 salvaguarda única (monolock), 267  
 Schmalhausen, I.F., 5  
 segregación transgresiva, 109, 267  
   caña de azúcar, 134  
 selección (tamizado), 267  
   artificial, 267  
   códigos de, 186  
   coeficiente de, 167  
   de campo, 203  
   de invernadero, 183, 205  
   de laboratorio, 172, 205  
   de resistencia global, 203  
   de semillas y granos, 115  
   en masa, 9  
   en rejilla, 206  
   espiga por surco, 206  
   estaciones de, 201

familiar, 177, 204, 206, 267  
 final, 205  
 generación de, 203  
 local, 60, 110, 151, 155, 167, 207, 268  
 masal, 10  
 masal recurrente, 57, 108, 194, 207, 224, 225, 268  
   en arroz, 217  
   en caña de azúcar, 133  
 natural, 268  
 negativa, 176, 205, 214, 218, 268  
 organoléptica o por popularidad, 208  
 población de, 177, 203  
 positiva, 215  
 postcosecha, 166, 172  
 pruebas de, 208  
 tardía, 198, 207, 209  
 temprana, 207, 209  
   en maíz, 209  
   y tardía, 268  
 sembradora, 178  
   automática, 187  
 semilla, 77  
   banco de, 170  
   certificada, 206  
   clasificación, 166  
   inoculación de, 211  
   interés creado  
     de la industria de las, 77  
   nucelar, 141, 227  
   peso, 168  
   procesado de, 186  
   propagación imposible, 35  
   pruebas de, 205  
   reservas, 200  
*Septoria*, 102  
 servomecanismo, 183  
 sibling, 269  
 siembra  
   a mano, 179  
   de precisión, 187  
 sigatoka, 140  
 silvestres  
   plantas, 35  
 simbiosistema, 174, 269  
 sisal o henequén, 145  
 sistema  
   adaptación, 223, 230  
   autoorganización, 230  
   de cerraduras (de salvaguarda), 16, 24, 29, 30, 35, 37, 48,  
     219, 230, 239, 269  
   emergentes del, 49, 230  
   niveles de, 259  
   suboptimización, 49  
   teoría general de, 230, 270  
 Solanaceae, 269  
*Solanum andigena*, 95  
*Solanum tuberosum*, 82, 95  
 sorgo, 34  
 soya, 103  
 sports  
   mutación espontánea, 241  
 Storey, H.H., 116

subsistema, 270  
 horizontal, 48, 253  
 vertical, 48, 270, 272  
 función, 49  
 suelo  
 inoculación del, 182  
 parásitos del, 211  
 pasteurización de, 193  
 sumidero fisiológico, 138, 249  
 surcos  
 diseminadores, 111, 212  
 transectantes y periféricos, 168, 181  
 susceptibilidad, 105, 123, 270  
 absoluta, 25

## —T—

tabaco, 10  
 tamizado (selección), 178, 202  
 criterios de, 113  
 de laboratorio, 213  
 negativo, 207, 214  
 participación campesina en, 223  
 tamaño de la población de, 113  
 Tanzania, 120  
 tasa de multiplicación, 179  
 taxonomía, 270  
 servicios de identificación, 164  
 té, 180, 219  
 calidad de tasa, 219  
 producción por campesinos, 220  
 tizón ampuloso, 220  
 teoría  
 de la complejidad, 229  
 de la evolución, 229  
 del caos, 230  
 tetraploide, 270  
*Thea assamensis*, 219  
*Thea sinensis*, 219  
 tiempo generacional, 169  
 transferencia genética, 159, 270  
 trasplante, 211  
 trigo, 65, 82, 99, 164, 176, 179  
 barrenador del tallo del, 30  
 milagroso, 100  
 roya del, 11, 260  
 toma-todo, 52  
 enano, 99  
 trilla, 187, 213  
 triploide, 226, 228, 270  
 trips, 270  
 Tschermak, E., 3  
 tungro, 102  
 turméricas, 228

## —U—

uniformidad genética, 140, 167, 271  
 Uredinales, 267  
 USA, 37  
 faranja maicera, 22  
 USDA, 225

*Ustilago scitaminea*, 135

## —V—

vainilla, 146  
 valoración  
 visual, 220  
 Vanderplank, J.E., 15, 17., 36, 53, 67, 101, 107, 246, 275, 276  
*Vanilla fragans*, 185  
*Vanilla planifolia*, 146  
 variabilidad  
 clonal, 139  
 continua o cuantitativa, 36, 134, 245, 271  
 discontinua o cualitativa, 271  
 genética, 34, 218, 223, 271  
 variedad  
 híbrida, 213, 271  
 local (landrace o nativa o indígena), 35, 110, 214), 216, 271  
 mejoramiento de, 165  
 sintética, 35, 165, 271  
 Vasco de Gama, 141  
 vástago, 181, 193, 271  
 vectores, 182  
 vegetativo  
 chupón, 144  
 Venezuela, 145  
 ventajas reproductivas, 40  
*Verticillium*, 141  
 vid, 35, 143, 227  
 floxera, 63  
 mildiu vellosa, 87  
 viejo encuentro (parásitos de), 117  
 vigor  
 pérdida, 35  
 híbrido, 213  
 viroide, 191, 272  
 virus, 272  
 inoculación de, 190  
*Vitis vinifera*, 143  
 Vogel, O.A., 99  
 vulnerabilidad, 105, 123, 239  
 del cultivo, 167, 272

## —W—

Wallace, H.A., 118

## —X—

*Xanthosoma*, 139

## —Y—

Yemen, 122  
 yuca, 222  
 tizón bacteriano, 223

## —Z—

zigoto, cigoto, 4

---

*Zingiber officinale*, 143