

2. MEJORAMIENTO GENETICO DEL GIRASOL *

Oscar R. de Córdoba **

2.1 INTRODUCCION

Los países en vía de desarrollo, como los del Pacto Andino, son deficitarios en aceites y grasas. Ello ha motivado a una búsqueda de cultivos vegetales oleaginosos que puedan adaptarse a sus condiciones agroecológicas y sistemas de producción agrícola. El cultivo del girasol, es una de las alternativas más viables, por su amplio rango de adaptación, alto contenido de aceite (45% y 60%), excelente calidad nutritiva y el alto desarrollo científico y tecnológico alcanzado en su mejoramiento genético y cultivo.

El desarrollo de variedades de polinización libre, con alto contenido de aceite, por investigadores de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas en 1960 y el descubrimiento de la androesterilidad citoplasmática y genes restauradores de la fertilidad por P.Leclereq en Francia en 1968, se consideran los dos factores más importantes y decisivos en la expansión y desarrollo tecnológico del cultivo y producción de semilla híbrida.

* Conferencia presentada en el Seminario para Cultivos Promisorios. Asocaña. Cali. Noviembre 27 de 1987.

** I.A., Ph.D. Cargill Colombiana. División Semillas (hasta 1989). Actualmente Gerente de Semillas Procampo. Buga, Valle.

En 1972 se inicia la siembra comercial del primer híbrido en los Estados Unidos de América y en 1976 el 80% del área sembrada en dicho país fué realizada con semilla híbrida utilizando el sistema de androesterilidad citoplasmática y genes restauradores de la fertilidad.

2.2 TAXONOMIA Y BOTANICA DE LA PLANTA

El girasol se clasifica botánicamente así:

| | |
|-----------------------|--------------------------|
| Reino: | Vegetal |
| Subreino: | Embriofitas |
| División: | Traqueofitas |
| Subdivisión: | Pterosidas |
| Clase: | Angiospermas |
| Subclase: | Dicotiledóneas |
| Orden: | Campanulales |
| Familia: | Compositae |
| Subfamilia: | Tubiliflorae |
| Género: | <u>Helianthus</u> |
| Especie: | <u>Helianthus annuus</u> |
| Composición genética: | $2n = 34$ |

Las flores (Figura 1), se reúnen en una inflorescencia llamada "Capítulo" cuya dimensión varía entre 8 y 50 centímetros de diámetro. El ovario es inferior con un óvulo basal unilocular y uniovulado; el androceo formado por 5 estambres libres y el gineceo por un estilo alargado con dos lóbulos superiores que impiden la fertilización natural. Las flores son de color amarillo; incompletas (estériles) en el borde del capítulo, completas y fértiles hacia el centro del mismo. El fruto es un aquenio, indehiscente y con una sola semilla. (Knowles, 1978).

El girasol es una planta anual, diploide y alógama cuya polinización es realizada preferiblemente por insectos.

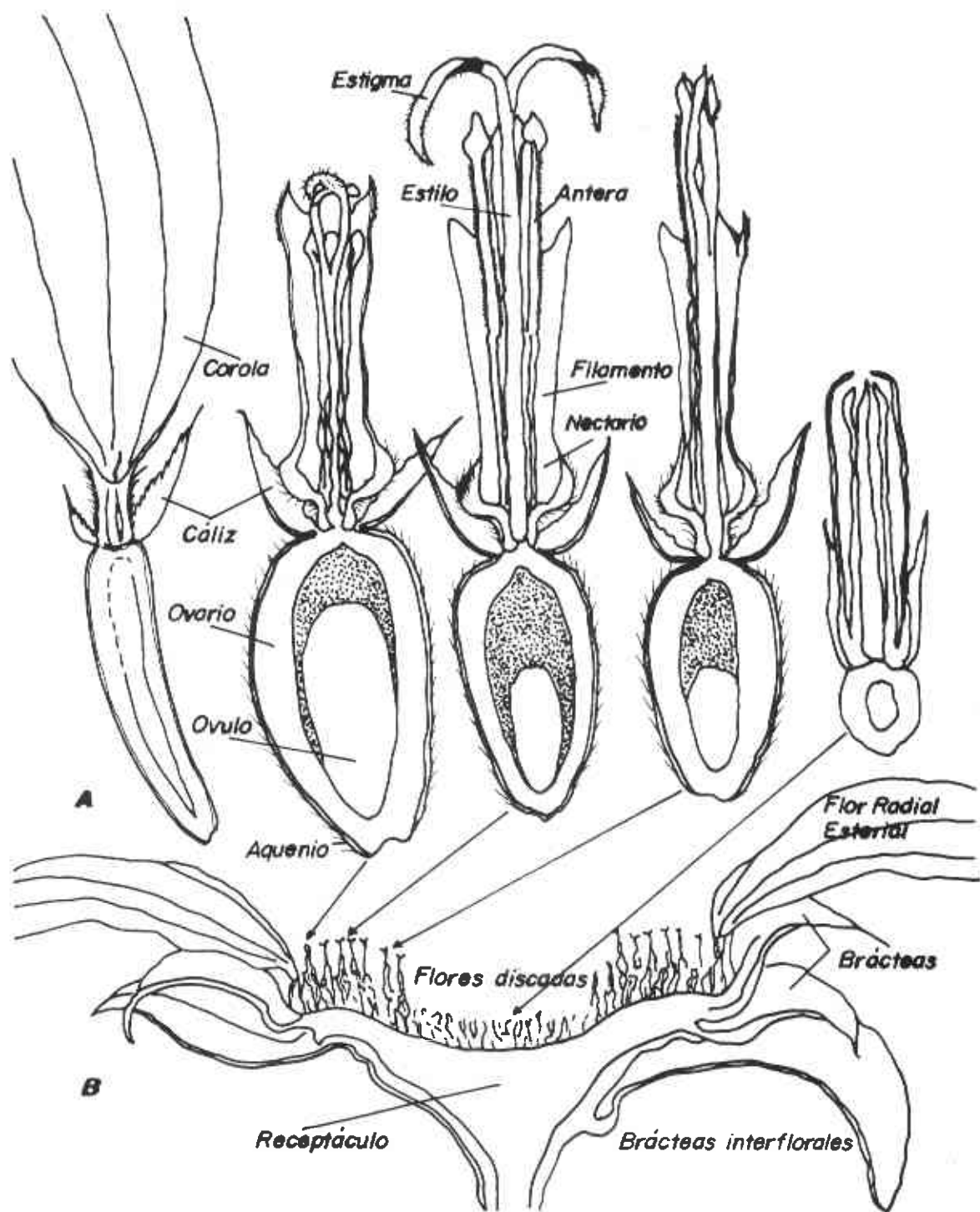


FIGURA I. Sección longitudinal de una flor de girasol.
(Knowles, 1978).

El hecho de presentar flores completas (fértils) con amplio rango de autofertilidad, hace posible la obtención de cruzamientos interespecíficos.

2.3 MEJORAMIENTO GENETICO

El girasol (Helianthus annuus L.) es una planta comúnmente de polinización cruzada; por lo tanto, los métodos de mejoramiento genético desarrollados en cultivos alógamos son aplicables, con ciertas modificaciones al girasol. La polinización cruzada se efectúa con la contribución de insectos, principalmente la abeja doméstica (Aphis mellífera). Las flores están agrupadas en una inflorescencia llamada capítulo, cuyos radios de flores se abren 2 o 3 cada día lo cual permite una polinización de aproximadamente una semana.

El género Helianthus está constituido por 64 especies H. annuus y H. tuberosus, son las dos únicas especies cultivadas por el hombre.

H. annuus es originario del Sur-Oeste de los Estados Unidos de Norte América, sin embargo, la domesticación de la especie se realizó en la parte central-norte de ese país, donde predominan las poblaciones que constituyen las malezas y no las formas silvestres que predominan en el Suroeste. H. annuus es una especie diploide ($2n = 34$) con un genomio (n) de 17 cromosomas. Existen formas tetraploides y hexaploides en otras especies del mismo género cuyos cruzamientos con H. annuus, han permitido aumentar la variabilidad genética y la introducción de genes resistentes a las principales enfermedades fungosas como el mildew (Plasmopara halstedii). Actualmente, existe un grupo de especies del género Helianthus que han contribuido al mejoramiento genético del cultivo, como por ejemplo las 1200 introducciones del Instituto de Investigaciones Científicas N.I. Vavilov de Leningrado, Rusia y las 500 del USDA en Ames, Iowa, USA producto de 30 países.

Las estaciones experimentales de KHARKHOV, KRUGLIK y SARATOV en la Unión Soviética inician en 1910, los trabajos de biología floral, genética, composición química y selección de cultivares adaptados para alimentación humana y producción de aceite. En el Continente Americano, en la Estación Experimental de Texas los trabajos de mejoramiento se inician en la especie en 1950.

Existe un "pool" de genes para el mejoramiento, basado en las siguientes especies: H. annuus, H. tuberosus, H. maximiliani, H. petiolaris, H. rigidus y H. multtali.

2.3.1 Métodos de Mejoramiento Genético

Pueden utilizarse todos los métodos aplicados a cultivos alógamos (Figura 2), con ciertas modificaciones adaptadas a su estructura floral y características morfológicas, con el fin de desarrollar híbridos con potencial de rendimiento superior o comparable con el mejor híbrido en el mercado; con estabilidad de rendimiento a través de localidades y años, contenido de aceite de acuerdo con las necesidades del mercado (45% a 55%), tipo de planta baja y uniforme; resistencia a enfermedades generalizadas como mildew (Plasmopara halstedii), roya (Puccinia helianthi), moho blanco (Sclerotinia sclerotiorum), podredumbre (Verticillium dahliae), Bacteriosis (Erwinia carotovora) e insectos de mayor incidencia local y/o regional.

.1. **Selección Masal.** Ampliamente utilizada en los inicios del mejoramiento genético del cultivo, en sus dos formas de selección individual y familiar. El método consiste en seleccionar plantas individuales con las características deseadas, sin control de polinización y cosechadas conjuntamente. La mezcla de los capítulos seleccionados, sin prueba de sus progenies, constituyen la siguiente generación. Los cultivares Fursinka 3, Chernianka 35 y Pioner Sibiri fueron obtenidos por selección masal e individual.

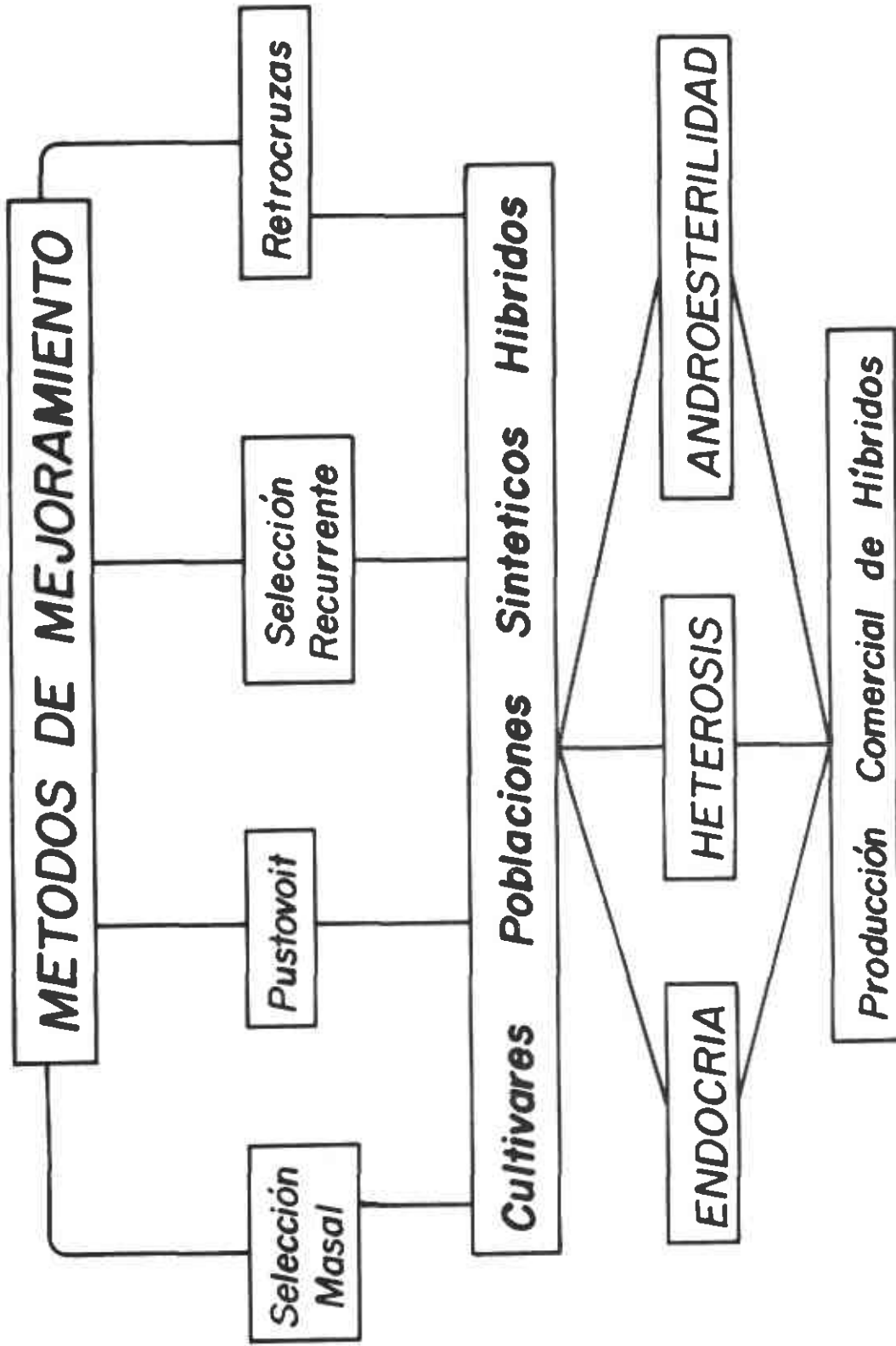


FIGURA 2. Métodos de mejoramiento de girasol.

La selección familiar consiste en seleccionar capítulos individuales entre familias relacionadas y subsecuente obtención de su semilla a libre polinización. Es un método ampliamente utilizado en la obtención de cultivares precoces, tamaño de semilla, color de semilla y resistencia a enfermedades. En Argentina se obtuvieron los cultivares Manfredi Inta, Cordobés Inta e Impira Inta, utilizando este método.

- .2. **Método de las Reservas de Pustovoit.** Es una variación del método de selección recurrente. Figura 3. El método lleva el nombre del investigador que lo creó y utilizó desde la década de los años 20 en la Unión Soviética y fue muy efectivo en aumentar el contenido de aceite de 30% a 50% en cultivares liberados en la década del 70.

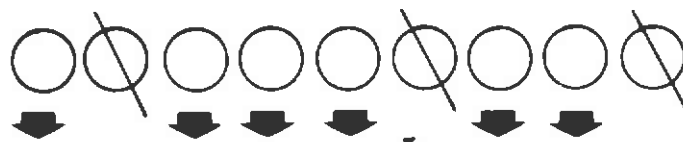
El método consiste en seleccionar capítulos individuales con semillas de alto contenido de aceite. Luego sus progenies son evaluadas y seleccionadas por otras características agronómicas, utilizando semilla de los capítulos seleccionados por contenido alto de aceite. Las progenies con características superiores son sembradas con semilla original remanente de los capítulos seleccionados en bloques aislados a libre polinización.

- .3. **Selección Recurrente.** Es el método más usado actualmente en el mejoramiento genético del Girasol, principalmente para la obtención de poblaciones a partir de las cuales se extraen líneas homocigotas para la producción comercial de híbridos.

Todas las variaciones del método, desde la selección recurrente fenotípica hasta la genotípica de medios hermanos, hermanos completos y recíproca recurrente, son perfectamente aplicables al mejoramiento del girasol. En las tres últimas es necesario utilizar plantas multifloras para hacer los cruces recíprocos y autopolinizaciones



SELECCION INDIVIDUAL (10.000-15.000 PLANTAS)



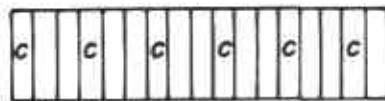
CONTENIDO DE ACEITE
SELECCION
1000-1.200 CAPITULOS

PRIMER AÑO



EVALUACION AGRONOMICA
SELECCION 150-200
CAPITULOS.

SEGUNDO AÑO



EVALUACION AGRONOMICA
SELECCION 20-50
CAPITULOS.



MEZCLA DE SEMILLA
PRUEBA PRELIMINAR

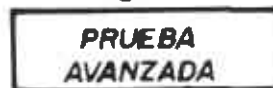


FIGURA 3. Método de mejoramiento propuesto por Pustovoit (Rusia 1920).

simultáneas en cada planta individual seleccionada.

La selección del esquema de selección recurrente y tipo de probador para evaluar las progenies, dependen de los objetivos del programa, material genético disponible y tipo de acción genético del carácter o caracteres a seleccionar. Sin embargo, los probadores, que pueden ser líneas homocigotas, híbridos, cultivares y hasta poblaciones, deben diferir genéticamente del material a probar y tener cierta heterogeneidad que permita reducir las interacciones genotipo por ambiente.

2.3.2 Producción de Híbridos

La formación de híbridos es la forma más eficiente de utilizar las acciones genéticas aditivas y no-aditivas que, en términos genéticos se refieren a colocar, en un genotipo, las ventajas de las acciones genéticas dominancia y epistasis.

La producción comercial y económica de híbridos se basa en tres procesos biológicos: ENDOGAMIA, HETEROSIS y ANDROESTERILIDAD.

Endogamia. Para producir un híbrido es necesario que los parentales involucrados puedan ser reproducidos con su idéntica estructura genética tantas veces como sea necesario. La endogamia es el proceso biológico que conduce a la obtención de genotipos, homocigotos y por lo tanto permite la reproducción genética de los mismos. La forma más drástica de llegar a la homocigosis es a través de las autopolinizaciones y la menos drástica, a través de las cruzas fraternales. Las cruzas de medios hermanos y hermanos completos son los niveles intermedio.

En Girasol, la autopolinización es la técnica más utilizada para la formación de líneas parentales debido a sus flores perfectas, amplio rango de autofertilidad y efecto de endocría no tan drástico como en el

maíz, que permite continuar el proceso por varias generaciones.

Heterosis. Las líneas homocigotas obtenidas a través del proceso de ENDOGAMIA, para constituirse en progenitores del híbrido, deben mostrar un efecto heterótico o vigor híbrido que justifique su producción comercial y económica.

En Girasol, los caracteres de herencia cuantitativa, como rendimiento de semilla, tamaño de semilla, adaptación, contenido de aceite y otros; muestran un alto vigor híbrido, pero las líneas parentales difieren tanto en días a floración, que hace muchas veces imposible su producción práctica.

Androesterilidad. Es el tercer proceso biológico que ha permitido la producción práctica y económica de los híbridos. El proceso consiste en que uno de los progenitores sea androestéril y el otro progenitor restaure la fertilidad en la descendencia o F1. El sistema que actualmente se utiliza es el de androesterilidad citoplásmica con genes restauradores de la fertilidad. (Figura 4).

2.3.3 Métodos de Producción de Híbridos

Son tres los métodos que se han utilizado en la producción comercial de híbridos de Girasol con base en diferentes mecanismos genéticos y un método químico usando un gametocida (Acido Giberélico). La Figura 5 muestra los tres métodos genéticos.

1. Autoincompatibilidad. Es un proceso bioquímico bajo control genético. El sistema consiste en obtener líneas progenitoras hembras, con un alto grado de autoincompatibilidad y líneas machos con abundante producción de polen, compatibles con el genotipo de la línea hembra. Se conoce también como sistema esporo-gametofito, porque la reacción de incompatibilidad se presenta en el estilo (esporofito)

LINEA CON CITOPLASMA
ANDROESTERIL

LINEA CON GENES
RESTAURADORES

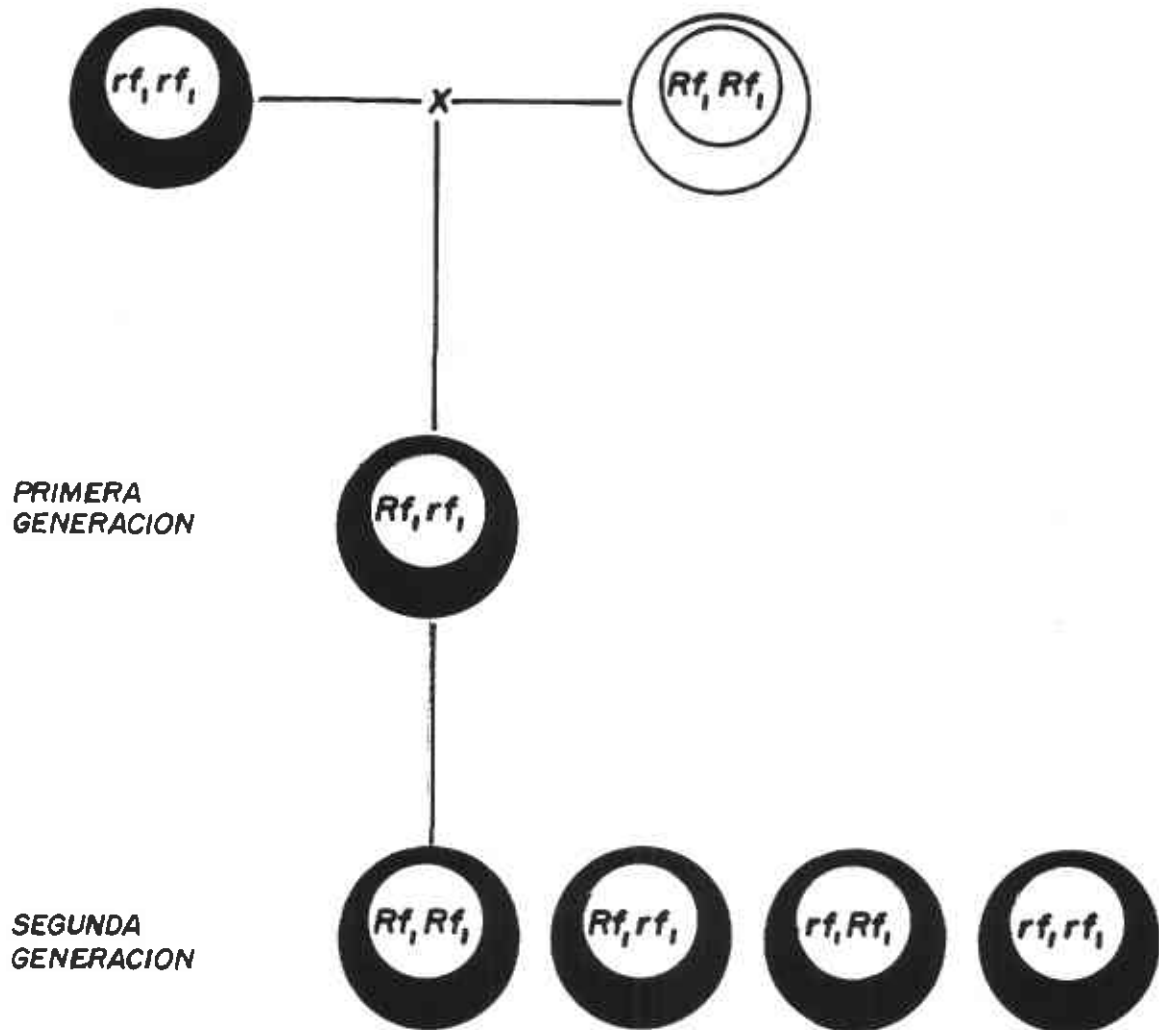


FIGURA 4. *Uso de la Androesterilidad citoplásmica en el mejoramiento de líneas restauradoras. (Fick, 1980).*

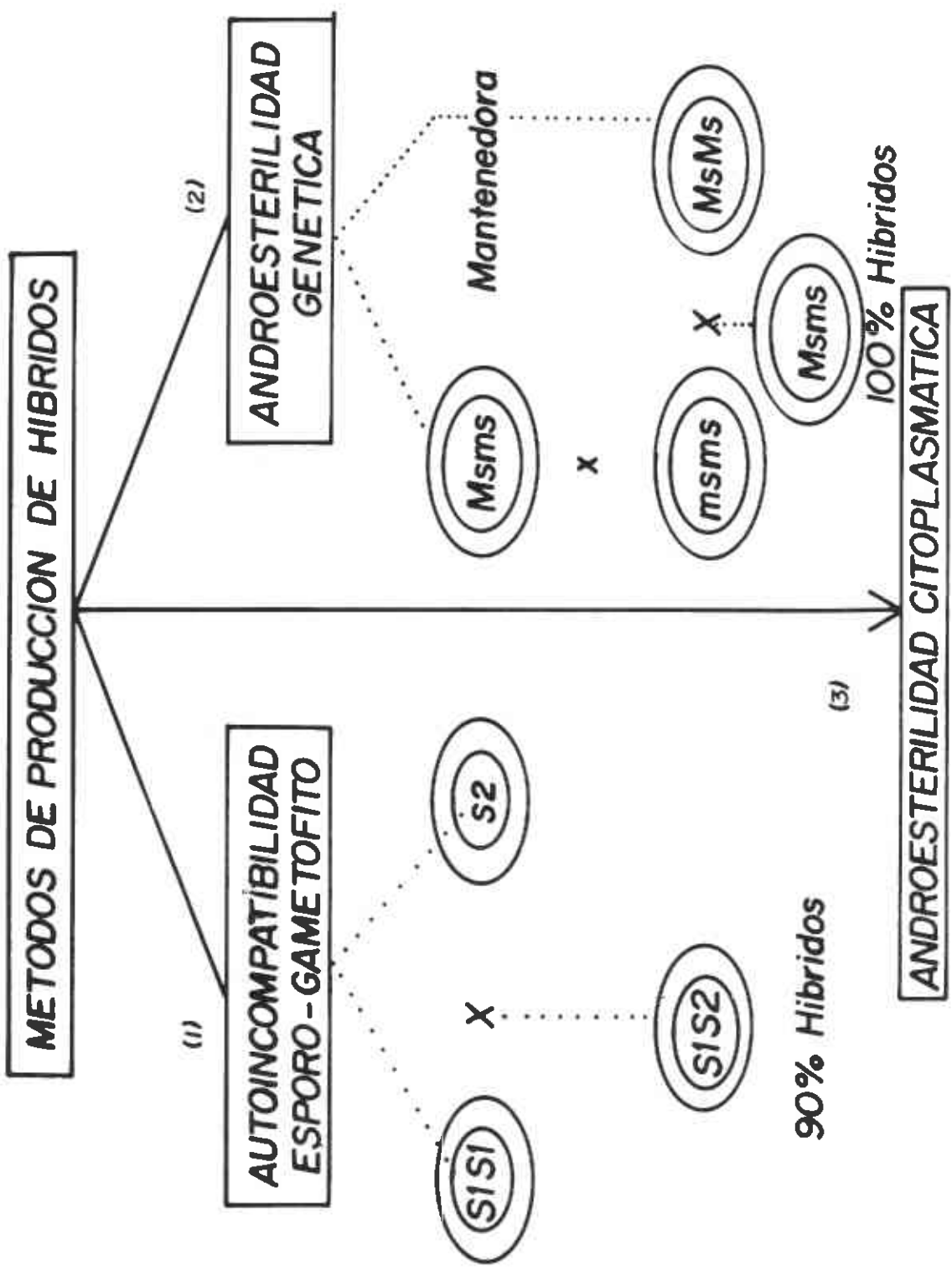


FIGURA 5. Métodos actuales de Mejoramiento Genético de híbridos de Girasol

cuando un grano de polen (gametofito) tiene por lo menos un alelo idéntico al de la constitución genética del estilo (Figura 5). Los únicos granos de polen viables en el proceso de fertilización son aquellos que genotípicamente son distintos a los del tejido del estilo. Los primeros híbridos comerciales, como ADVANCE, ADVENT y ADMIRAL, fueron producidos a libre polinización utilizando este método.

- .2. **Androesterilidad Genética.** El método consiste en desarrollar líneas hembras genéticamente androestériles (ms ms) que puedan ser cruzadas con líneas machos con polen viable genéticamente (Ms Ms). El mantenimiento de la línea androestéril requiere un mantenedor que tenga el locus respectivo en estado heterocigota (Ms ms). El sistema requiere además un marcador genético que esté ligado con los genotipos heterocigóticos de la línea hembra y permita ser removido antes de la antesis en los campos de producción del híbrido. En Girasol el marcador genético utilizado ha sido el de presencia de antocianina en las hojas al estado de plántula (Figura 5).

Este método permitió la obtención del híbrido VALLEY constituido por la línea androestéril CM90RR y el cultivar PEREDOVIK. El método ha dejado de ser utilizado comercialmente. Sin embargo, se sigue empleando como androestéril probador para evaluar habilidad combinatoria de nuevas líneas en combinaciones híbridas.

- .3. **Androesterilidad Citoplasmática (CMS).** El método consiste en utilizar líneas androestériles, cuyos genes de esterilidad se encuentran en el ADN de los mitocondrios del citoplasma y líneas machos con genes que restauren la fertilidad en la descendencia o F1. (Leclereq, 3).

La esterilidad citoplasmática fue descubierta por Leclereq en Francia en un cruce interespecífico de H. petiolaris x H. annuus. Es el sis-

tema de esterilidad más estable y ampliamente utilizado en la gran mayoría de los híbridos simples, triples y dobles en los países productores de Girasol. La Figura 6, muestra la conversión de una línea homocigota en androestéril. El método de mejoramiento de retrocruzamiento se utiliza para la obtención de la línea androestéril en la cual el padre no recurrente es H. petiolaris y el padre recurrente la línea que se desea androesterilizar citoplasmáticamente. La línea recurrente no debe tener genes restauradores de la fertilidad.

Hay líneas como CHERNIANKA 66 y ARMAVIREC y varios cultivares de importancia comercial que son muy difíciles de androesterilizar utilizando el citoplasma de H. petiolaris. Recientemente se han encontrado otras fuentes de esterilidad citoplásmica en formas silvestres de H. annuus y especies de H. petiolaris, H. giganteus, H. maximiliani, lo cual disminuiría los riesgos de vulnerabilidad genética en los híbridos comerciales actuales que solamente usan la fuente original de H. petiolaris de Leclereq.

Además, de la fuente de restauración de la fertilidad T66006- proveniente de H. annuus descubierta por Kinman, se han encontrado otras fuentes en formas silvestres de Girasoles. Las Figuras 7 y 8 muestran esquemáticamente la forma como se obtienen híbridos simples y triples utilizando este método.

2.4 Diseño de un Programa de Investigación en Girasol

Un programa de investigación en Girasol (Figura 9) puede ser dividido en tres secciones: la primera, PRUEBAS, tiene por objeto transferir, a nuestros países, toda la tecnología desarrollada en la formación de híbridos comerciales y experimentales creados en centros de investigación pública en el mundo. Ello permite entrar en el mercado en un tiempo relativamente corto, con un híbrido comercial. Además, de probar híbridos

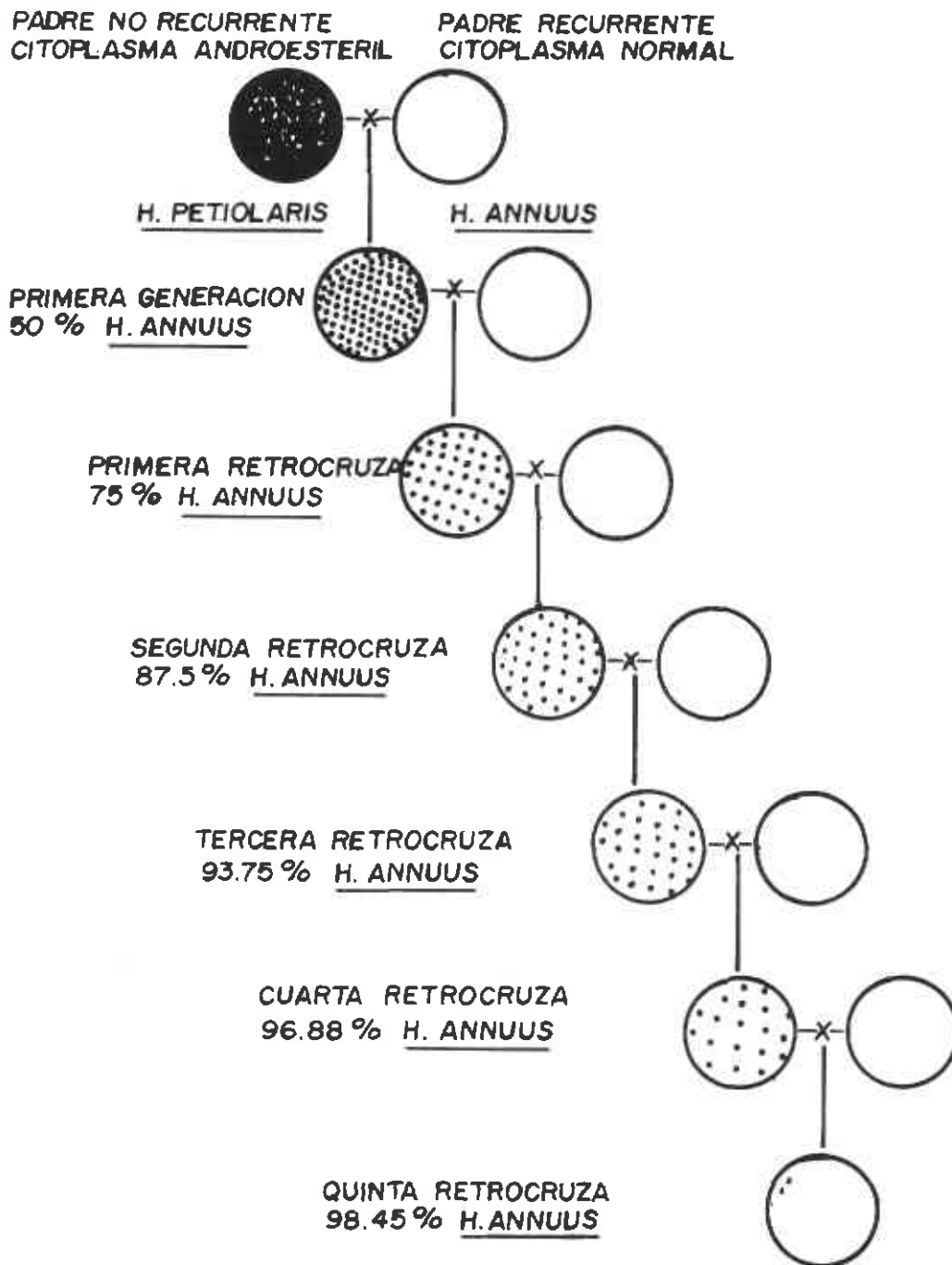


FIGURA 6. Método de retrocruzamiento para obtener una línea androestéril. (Fick, 1980).

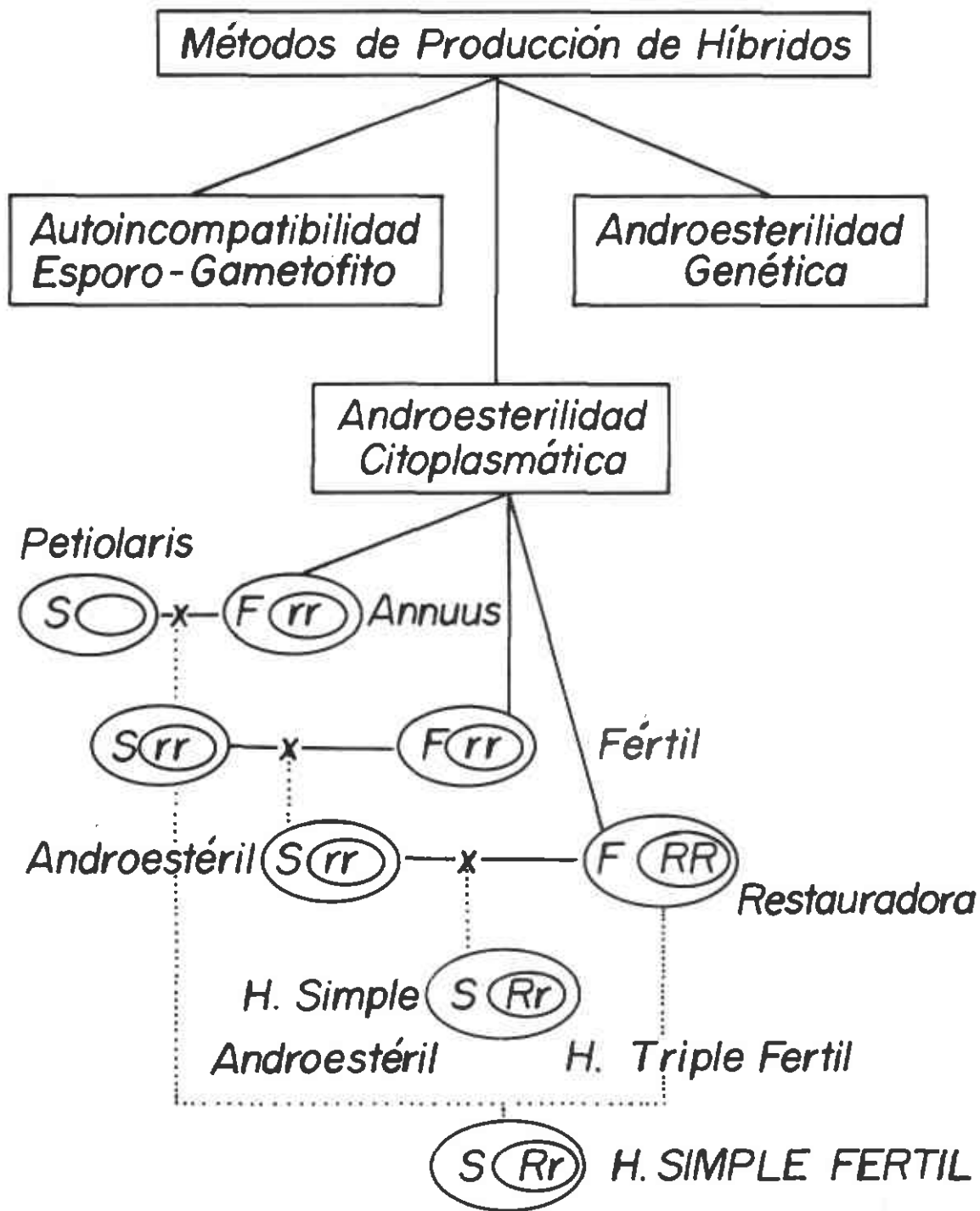


FIGURA 7. Metodología de producción de híbridos simples, dobles o triples.

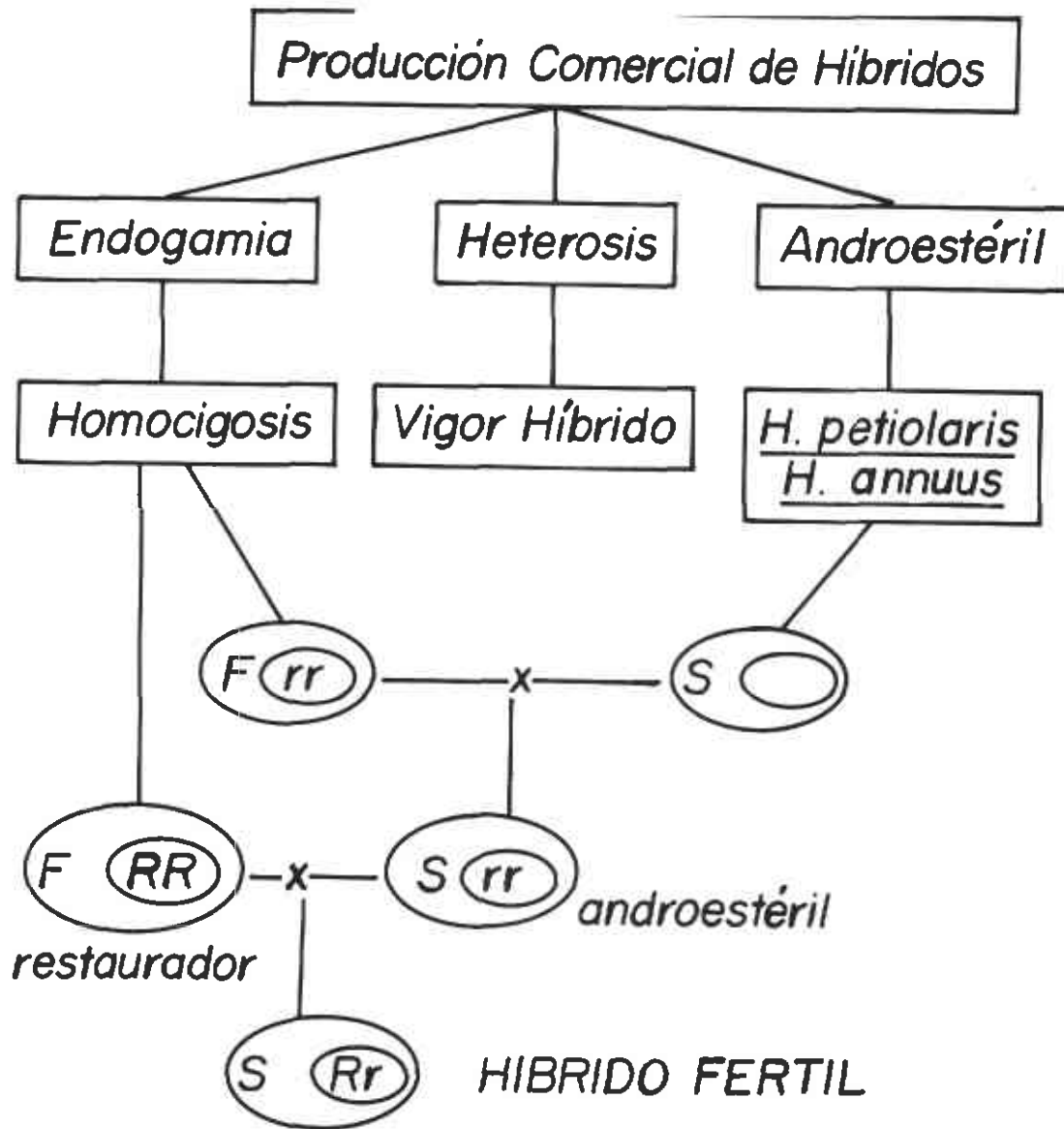


FIGURA 8. Metodología de la Producción de Híbridos.

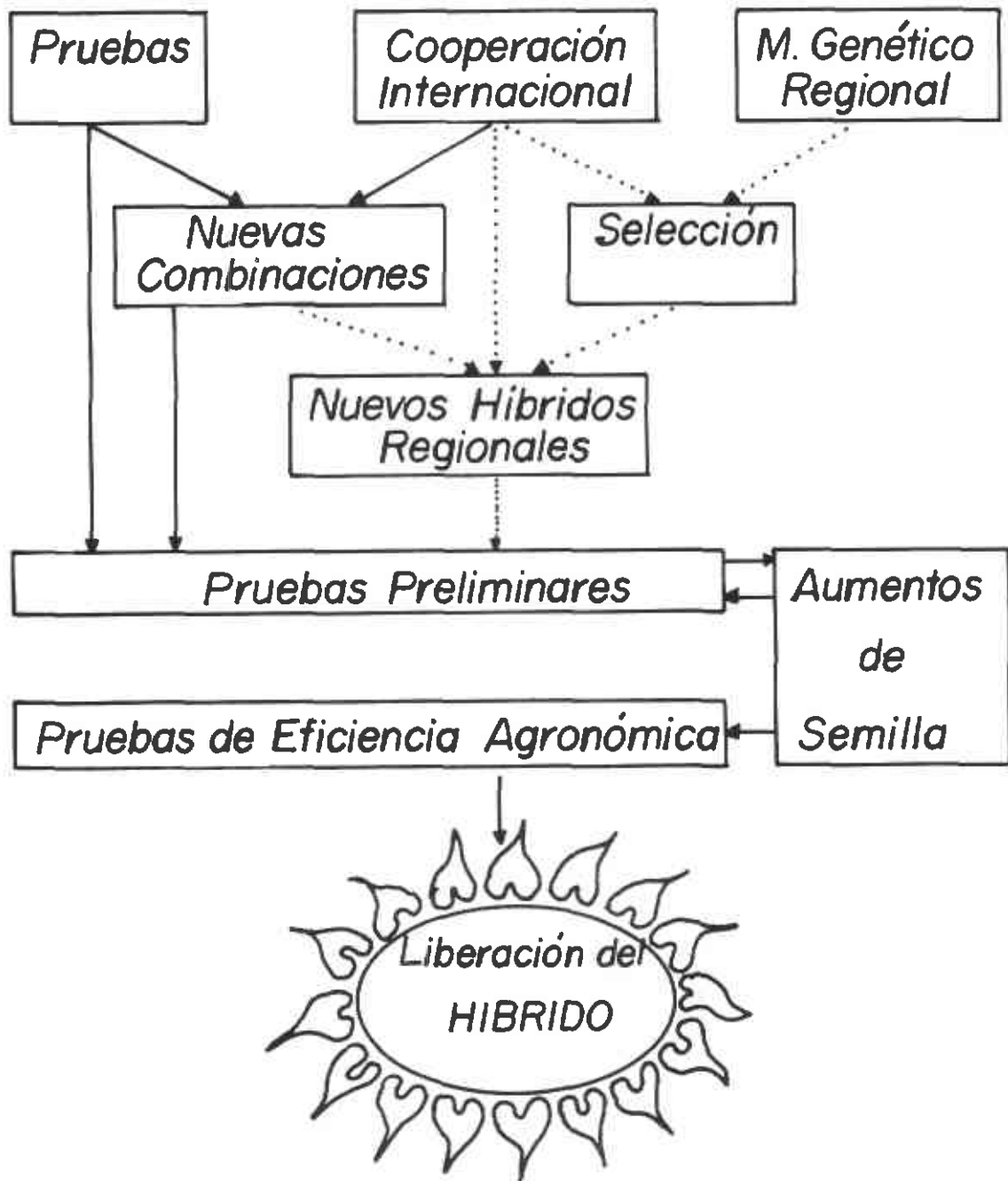


FIGURA 9. Programa de investigación preliminar diseñado para Colombia y Venezuela (1985)

ya formados, se incluyen en la red de pruebas, grupos de líneas androes-
tériles y restauradoras de fertilidad, con el objeto de encontrar posi-
bles nuevas combinaciones híbridas no realizadas por los centros de
investigación pública, pero que puedan tener mejor adaptación local
y/o regional en el país. La segunda sección, COOPERACION INTERNACIONAL,
colaborando con organismos públicos probando nuevos materiales en forma
de combinaciones híbridas y/o como líneas y poblaciones de adaptación
tropical. Los centros internacionales de investigación pública más
importantes son la Universidad de Dakota del Norte y la Universidad de
Texas A. and M. en los Estados Unidos de Norteamérica y el IRAT del
Gobierno de Francia. La tercera sección, MEJORAMIENTO GENETICO LOCAL ,
que irá aumentando de acuerdo con las necesidades y exigencias del mercado
local en crear nuevos genotipos en combinaciones híbridas. Las nuevas
combinaciones híbridas con parentales propios producto de la investiga-
ción local y los provenientes de instituciones internacionales públicas.
Regionalizar sus híbridos de mejor adaptación y estabilidad de rendimien-
to a las diferentes zonas agroecológicas y sistemas de producción nacio-
nal, es el mejor servicio que se puede brindar al agricultor.

2.5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. FICK GERHARDT, N. 1980. Breeding and genetics. Sunflower Science and Technology. ASA.
2. HEISER CHARLES, B. 1982. The sunflower, University of Oklahoma Press.
3. LECHEREQ, P. 1971. La sterilité cytoplasmique chez le tournasol. Ann. Amélior. Plant. 18:307-315.
4. NATIONAL SUNFLOWER ASSOCIATION. 1984. Sunflower Research workshop.
5. NATIONAL SUNFLOWER ASSOCIATION. 1985. Sunflower Research workshop.
6. NATIONAL SUNFLOWER ASSOCIATION. 1986. Sunflower Research workshop.
7. SMITH DONAL, L. 1980. Planting Seed Production. Sunflower Science and tecnology. ASA.