

UNIDAD VI

LA INCOMPATIBILIDAD Y LA ESTERILIDAD EN EL MEJORAMIENTO GENETICO VEGETAL

La incompatibilidad según Frankel y Galun (1,977), es el fenómeno que se da en aquellas especies vegetales, que, teniendo gametos funcionales, son incapaces de formar semillas, cuando son auto fecundadas o cuando son polinizadas por otro individuo. Para Poehlman (1,987) es la incapacidad de las plantas con polen y óvulos normales para producir semillas debido a que existen impedimentos fisiológicos que evita la fertilización.

Una causa común de la incompatibilidad es la falta de crecimiento de los tubos polínicos a través de los estilos, de tal manera que la fertilización no se efectúa a pesar de que existió polinización. En los apareamientos incompatibles de la misma especie, el tubo polínico se desarrolla a un ritmo normal y la fertilización se efectúa, una vez que la punta de dicho tubo penetra en el saco embrionario y descarga sus núcleos generatrices.

El grado de crecimiento del tubo polínico, está regulado por una serie de alelos múltiples (S1, S2, S3, etc.) relacionados con la incompatibilidad. Si el alelo del tubo polínico, es idéntico al del alelo que se encuentra en el tejido del estilo, el tubo polínico generalmente crece a un ritmo muy lento o no lo hace. Si el alelo del tubo polínico difiere del alelo del estilo, (el tejido el estilo es diploide), el tubo polínico crece a un ritmo normal (Poehlman, 1979).

Debido a la presencia del alelo para incompatibilidad en el estilo y polen, dificulta la penetración de los tubos polínicos con genes semejantes, esta explicación de la incompatibilidad fue denominada “la hipótesis del factor opositor” nombre dado por los investigadores que estudiaron detenidamente este fenómeno. La incompatibilidad ocurre frecuentemente en los vegetales en unas 3000 especies de 20 familias de las espermatofitas. Este mecanismo es un mecanismo que conduce a la exogamia, es decir a la polinización cruzada.

6.1. IMPORTANCIA DE LA INCOMPATIBILIDAD:

Bajo el punto de vista del mejoramiento de plantas la incompatibilidad, no es tan importante como para el Tecnólogo en semillas, pues la incompatibilidad facilita la producción de semillas híbridas; en otros cultivos se trata de eliminar la incompatibilidad, los mejoradores de plantas con frecuencia están interesados en modificar el sistema de cruzamientos en las plantas cultivadas para imponer de forma permanente o temporal algún sistema de apareamiento que les sirva mejor, según los fines que persiga.

En ninguna otra planta se ha reconocido esta necesidad durante tanto tiempo como en ciertas especies de frutales auto incompatibles, en donde la formación del fruto depende de la inclusión en las parcelas de dos o más variedades compatibles entre sí, como en el aguacate, por ejemplo.

Lewis, citado por Allard (1,978), cree que las mutaciones por irradiación del gen S ofrecen una solución para la producción de plantas autofértiles. Como resultado de la irradiación de las células madres del polen de *Prunus avium*, y utilizando el polen maduro del árbol madre entre otros del mismo grupo de incompatibilidad, se aumentó la formación del fruto desde 0.1 % a 2.0 %. Muchas de las plántulas producidas por el 2% de las semillas fueron completamente autos fértiles. Cruzando éstas variedades ya establecidas se obtuvieron muchos descendientes con el alelo Sf para la auto compatibilidad. Con el tiempo será posible seleccionar un número de variedades que sean totalmente auto fructíferas (Allard, 1975).

Existen varios medios para que el mejorador pueda autopolinizar especies que tienen mecanismos de incompatibilidad. Se ha descrito un gran número de especies con alelos para la auto compatibilidad tales como los que se han mencionado para *Nicotiana sanderae*. Se ha encontrado un gen de la fertilidad en *Antirrhinum majus* que anula el sistema S pero no es alelomórfico con él. *Primulasinensis* ha sido más auto fructíferas durante los cien años o más en que se ha cultivado como planta de invernadero. Esta reducción gradual en la precisión del sistema de incompatibilidad se cree que ha resultado de la modificación del fondo poligénico durante muchas generaciones de selección de las plantas más fértiles. Se puede conseguir también la autofecundación aprovechando la pseudofertilidad que se da en las condiciones especiales mencionadas anteriormente. Uno de los métodos más satisfactorios ha sido la polinización de las yemas florales, esto es, la colocación del polen maduro sobre estigmas no maduros todavía.

Esto a veces permite a los tubos polínicos incompatibles de crecimiento lento alcanzar el ovario antes de la caída de la flor. La polinización a bajas temperaturas puede llevar a los mismos resultados.

6.2. CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE INCOMPATIBILIDAD:

Siguiendo la clasificación de Frankel y Galun (1,977), consideran dos tipos de incompatibilidad, el **gametofítico** y el **esporofítico**.

El sistema gametofítico, es controlado genéticamente por el genoma haploide de gramo de polen y el tejido diploide del tejido pistilar. El control genético puede llevarse a cabo por un solo locus multialélico "S" o por dos loci multialélico "S". En estos apuntes solo veremos el primer caso, es decir controlado por un locus "S". Fue East y Mangelsdorf, según Frankel y Galun (1977), los que demostraron este mecanismo en *Nicotiana sanderae*. este sistema está controlado por un locus "S", con un gran número de alelos: S1, S2, S3, S4, Sm, Sn, controla las relaciones de compatibilidad; el pistilo siendo un tejido diploide esporofítico siempre tiene dos de estos alelos normalmente en forma heterocigota, así S12, S13, . . .Snm, pero en cada grano de polen existe un alelo S1, S2, S3, . . .Sn.

La polinización es compatible cuando un alelo en el polen se junta con alelos diferentes en el pistilo. El mecanismo de rechazo se localiza en el saco embrionario dando lugar a tres tipos principales de polinizaciones (ver figura 84).

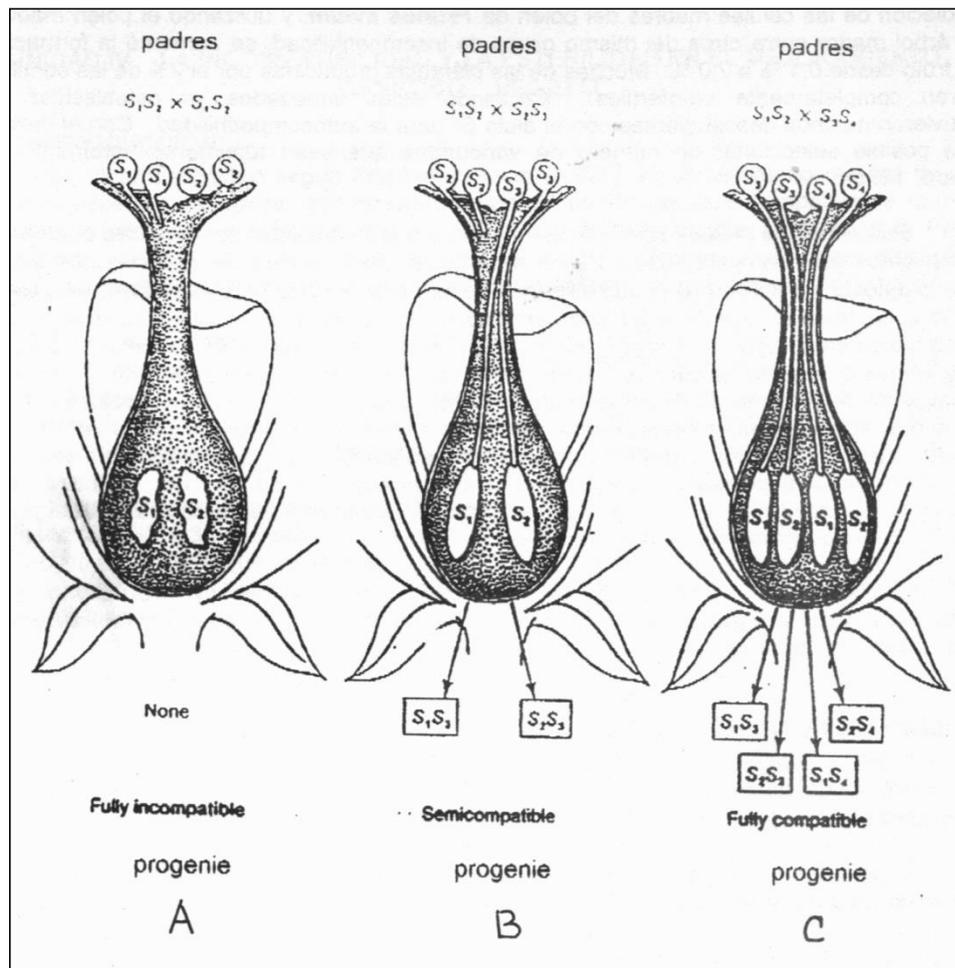


Figura 1: Desarrollo del tubo polínico en polinización compatible e incompatible. A: los tubos polínicos no se desarrollan en los estilos que contienen alelos similares para incompatibilidad. B: solamente los granos de polen con alelos de incompatibilidad diferentes de aquellos en el estilo, desarrollan tubos polínicos normales. C: cuando todos los granos de polen contienen alelos de incompatibilidad diferentes a los de los estilos, desarrollan tubos polínicos normales. Tomado de Poelhman 1,987.

Cuadro X. Descendencia obtenida en los cruces de polen y ovulos según su composición genética y la hipótesis del factor opositor.

♂ ♀	Completamente incompatible		Semicompatible		Completamente compatible	
	S1	S2	S2	S3	S3	S4
S1	×	×	×	S1S3	S1S3	S1S4
S2	×	×	×	S2S3	S2S3	S2S4

Figura 2: Desarrollo del tubo polínico en polinización compatible e incompatible. A: los tubos polínicos no se desarrollan en los estilos que contienen alelos similares para incompatibilidad. B: solamente los granos de polen con alelos de incompatibilidad diferentes de aquellos en el estilo, desarrollan tubos polínicos normales. C: cuando todos los granos de polen contienen alelos de incompatibilidad diferentes a los de los estilos, desarrollan tubos polínicos normales. Tomado de Poelhman 1,987.

Este sistema de incompatibilidad ocurre en muchas angiospermas, como las siguientes:

- Leguminosas → *Trifolium*
- Solanaceas* → *Nicotiana, Lycopersicon, Solanum, Petunia*
- Escrofulariaceas* → *Antirrhinum, Nemesia*
- Rosaceas* → *Prunus, Malus*

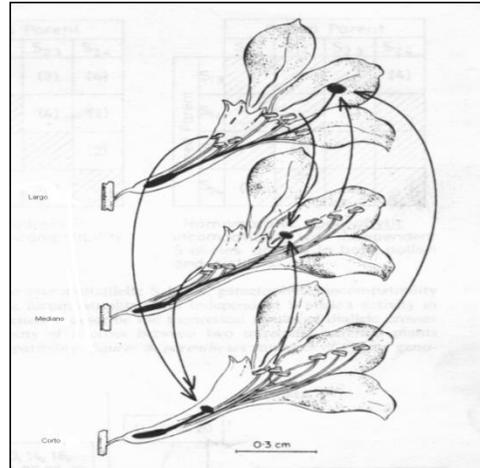
Liliaceae → *Lilium*
Onagraceas → *Oenothera*

El sistema **esporofítico** de incompatibilidad se caracteriza porque la reacción del polen es determinada por genoma del tejido somático (esporofítico) en el cual este polen se desarrolla. Es decir, que la reacción de incompatibilidad es impartida al polen por la planta a la que éste pertenece. Para Frankel y Galun (1977), por conveniencia, este sistema se clasifica dos: **Homomórfico y heteromórfico**, dependiendo de la morfología floral de la planta. Veremos únicamente como opera el sistema heteromórfico.

El sistema heteromórfico se caracteriza porque las flores que produce cada individuo puede ser de una u otra forma y este heteromorfismo es debido a la longitud o la forma del estilo, del pistilo. En el género ***primula*** se dan dos tipos de flores unas con estilo de forma de pin y otra con estilo de dedo; cuando se presentan dos formas de flores como en este caso decimos que existe un heteromorfismo diestilar (dos estilos diferentes). Similarmente, existe también el heteromorfismo triestilar reportado para las familias ***Oxalidaceae*, *Lythraceae* y *Pontederiaceae***. En la especie ***Lythrum salicaria***, se presenta la triestilia es decir tres diferentes estilos, solo un tipo de estilo aparece en las flores de cada una de las plantas. Está determinado por dos loci independientes M y S, así: el estilo largo determinado por - mmss, el estilo medio- MmSs o MMss, estilo corto por - Mm-Ss, mmSs, MMSS o mmSS. El alelo dominante S es epistático a M y produce estilo corto. El recesivo ss homocigoto interactúa con M o m para dar un estilo medio o largo respectivamente, ver figura 2. Para este caso la compatibilidad es efectiva solo cuando la longitud de la antera que contiene los granos de polen coincide con la longitud del pistilo de otra flor, de tal manera que existe compatibilidad si las anteras tienen la misma altura comparada con los estilos de las flores; en la figura 2 donde se muestra la incompatibilidad en ***Lythrum***, el polen de una flor(longistilia por ejemplo) puede fertilizar flores brevistilias y mediastilias.

Figura 3:

Incompatibilidad esporofítica, en *Lythrum salicaria*, mostrando las tres diferentes flores: longistilia, mediastilia y brevistilia y las relaciones de compatibilidad con una flecha. Tomado de Para Frankel y Galun (1977).



6.3. LA ESTERILIDAD

Hemos visto anteriormente que la incompatibilidad el polen viable o funcional es incapaz de autofecundar debido a mecanismos genéticos de autoincompatibilidad. La esterilidad, se presenta tanto en anteras o pistilos de las flores en los vegetales, de tal manera que hablamos de androesterilidad y ginoesterilidad. Para el mejoramiento de plantas resulta de mayor importancia la **androesterilidad**, definida por, como una desviación de la condición normal de plantas bisexuales (monoicas o hermafroditas) al producir polen que no es viable. Los primeros análisis genéticos de la androesterilidad fueron llevados a cabo por los años 1900, por Correns y Batenson. En muchas especies cultivadas se han observado plantas cuyos órganos masculinos están mal desarrollados o abortados, de tal manera que no pueden producir polen viable. A diferencia de la incompatibilidad ésta no es mecanismo que promueve la exogamia, sino ocurre debido a mutaciones que afectan la formación del polen; aunque estos mutantes son perjudiciales para la perpetuación de la especie, para el mejorador es una ventaja.

El éxito del mejoramiento moderno, en la producción de híbridos, se debe en gran medida al descubrimiento de la androesterilidad; las cruza manuales en los parentelas de los híbridos limitó la expansión de lo híbridos, de tal manera que la utilización de este mecanismo incrementó la utilización de la semilla híbrida, que era demasiado honrosa su producción.

6.4. HERENCIA DE LA ANDROESTERILIDAD Y SU UTILIZACIÓN EL MEJORAMIENTO GENÉTICO:

Se han clasificado tres sistemas de androesterilidad, a saber: el **génico o genética**, el **citoplásmico** y el **génico-citoplásmico**, basados en la ubicación de los genes dentro de las células reproductivas.

En la **esterilidad masculina genética o génica**: los genes se encuentran en el núcleo (nucleogenes) de la célula y se comportan como una herencia mendeliana. Así MsMs es una planta con fertilidad, al igual que Msms; en forma homocigota recesiva es decir, msms, es androestéril.

Se ha observado que en algunas especies, que la esterilidad masculina hereditaria es en absoluto el resultado de la acción de genes. Este tipo de esterilidad se ha presentado en la cebada, el maíz, el sorgo, la remolacha azucarera y otros cultivos. En cebada un simple par de genes recesivos (ms ms) determina la producción de anteras estériles. El gen dominante (Ms), determina la producción de anteras fértiles. En este organismo, se ha utilizado la esterilidad masculina para eliminar el trabajo de emasculación al hacer las cruzas, los mejoradores le llaman a este procedimiento el **capado genético**. El gene para la esterilidad masculina recesiva se introduce primeramente en una línea que vaya a utilizarse en forma extensiva como el progenitor femenino (ver cuadro 2), en un programa de cruzas o cruzas regresivas. La línea con esterilidad masculina puede en seguida ser polinizada artificialmente en cruzamiento sin necesidad de practicar la emasculación. La línea con esterilidad masculina se mantiene mediante polinización con una línea macho fértil que es idéntica en genotipo, excepto que esta tiene el gene dominante para fertilidad masculina.

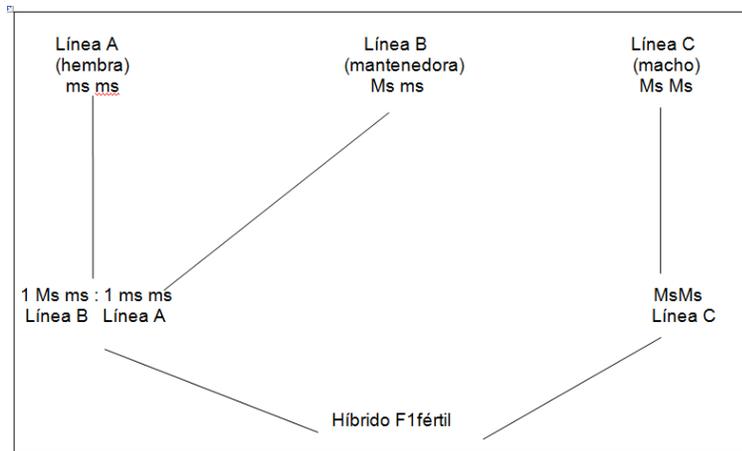
Como hemos mencionado que el uso de la androesterilidad radica en la facilidad para la producción de semilla híbrida, en los esquemas de producción, siendo que los individuos androestériles no son capaces de autoreproducirse, se hace necesario elaborar un esquema de mantenimiento de éstos y la forma de combinación para obtener la semilla híbrida. En estos esquemas se identifican tres líneas, a saber:

- **La línea "A"**: conocida como el progenitor femenino, y este debe ser androestéril en el campo de producción de semillas.
- **Línea "B"**: o línea mantenedora, cuya función es mantener a línea "A", con excepción de la androesterilidad es isogénica con la línea "A".

- **La línea "C"**: o línea progenitora masculina, su papel es aportar los genes de restauración de la fertilidad a la descendencia.

Note en el cuadro siguiente, que la esterilidad génica se comporta como una Herencia de tipo mendeliana. Note que para remover los individuos segregantes heterocigotos fértiles de las parcelas, antes de la antesis se requiere del uso de marcadores genéticos muy ligados al gen de androesterilidad, caso contrario contaminarían nuestro campo de semillas.

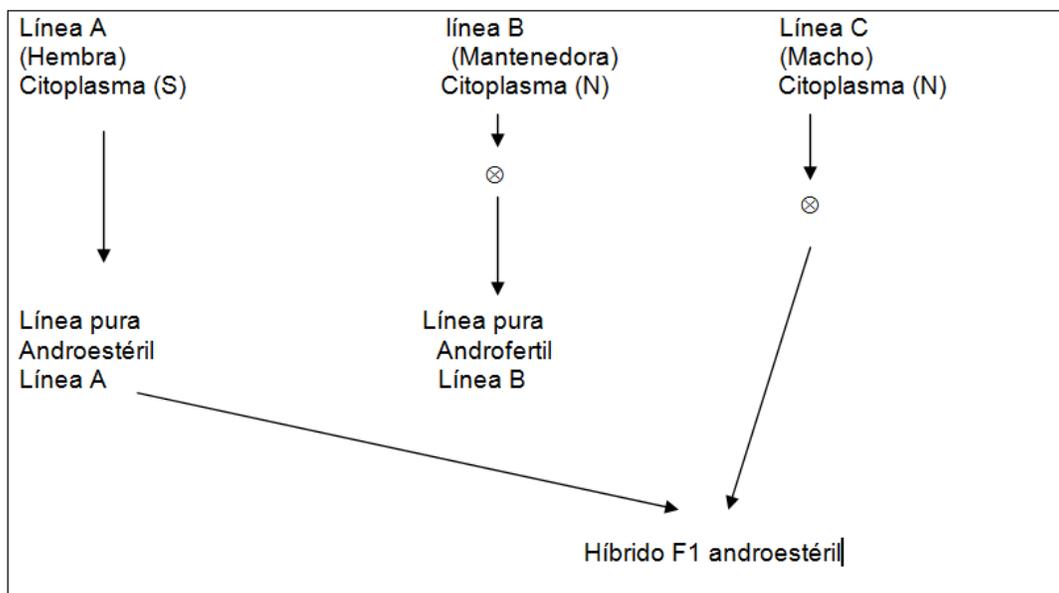
Cuadro 1: Esquema para el mantenimiento de las líneas parentales y la producción de semilla híbrida usando androesterilidad genética.



La esterilidad masculina controlada citoplasmáticamente: este tipo de esterilidad masculina esta controlada completamente por la acción de plasma genes, los que se definen por Robles Sánchez (1,984), como partículas que tienen la capacidad de duplicación y de transmisión de caracteres, localizadas en el citoplasma y actúan en la herencia como si fueran nucleogenes. Debido a que el citoplasma se transmite únicamente por medio del huevo, es decir por la vía maternal, ya que los espermias contribuyen en una parte pequeñísima a integrar el citoplasma del cigoto, la esterilidad masculina heredada citoplasmáticamente solamente se transmite a través de la planta madre. La acción de la esterilidad masculina heredada citoplasmáticamente puede ser modificada por la acción de

genes restauradores de la fertilidad. Aparentemente, existe el criterio que los organelos del citoplasma como los plastidios y las mitocondrias son los que transmiten la información genética. Las plantas con esterilidad masculina citoplasmática contienen citoplasma estéril (S), las plantas autofértiles contienen citoplasma normal (N). Tal como se aprecia en el cuadro 3, el híbrido resultante es androestéril, por lo que este sistema no se recomienda para especies cuya parte comercial es la semilla o el fruto; para el caso de ornamentales se ha comprobado que las flores de estas plantas androestériles permanece más tiempo frescas que las androfértiles.

Cuadro 2: Esquema para el mantenimiento de las líneas parentales y la producción de semilla híbrida usando androesterilidad citoplásmica.

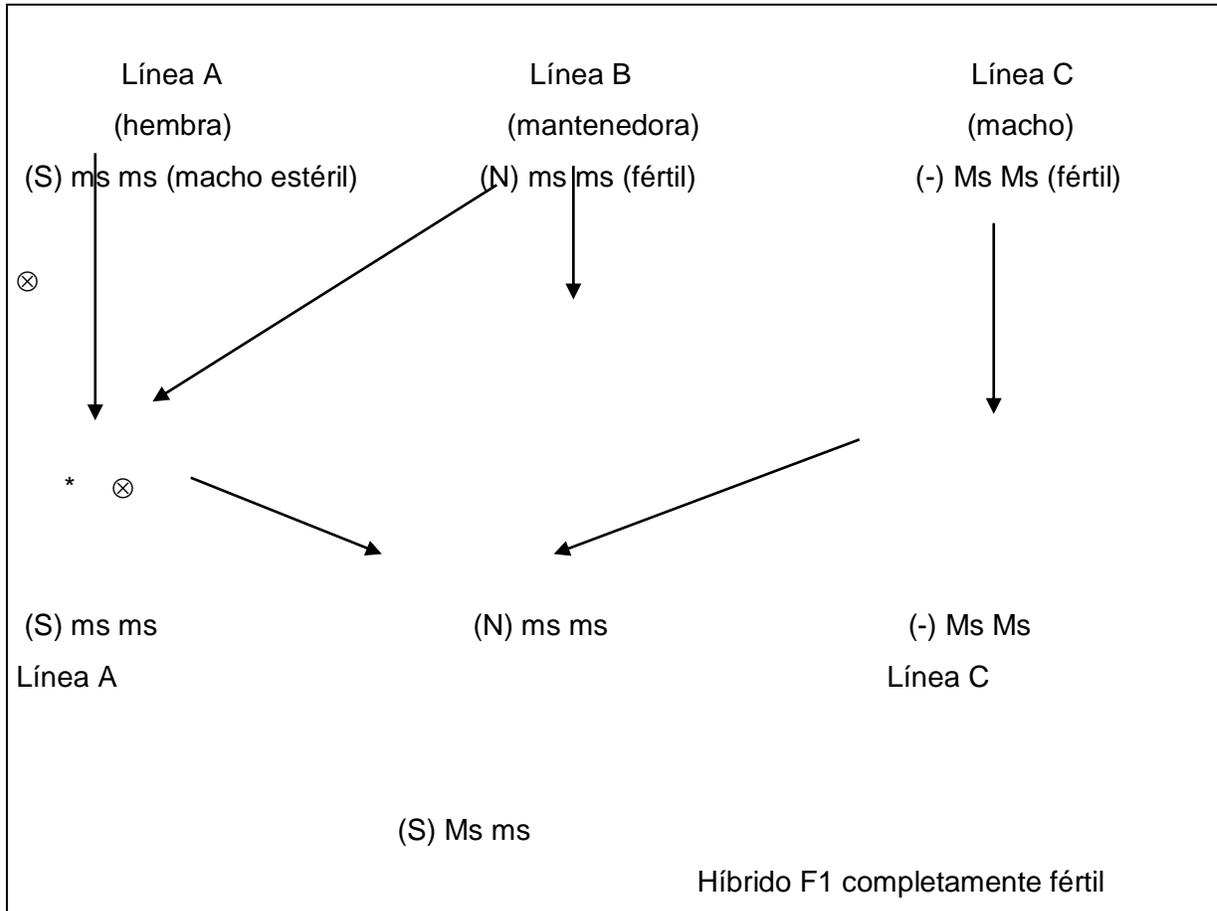


La Androesterilidad genética-citoplásmica: en este sistema existe una interacción de los genes del núcleo que interactúan con los plasmagenes. Este sistema es el más utilizado porque se puede restaurar la fertilidad del híbrido con suma facilidad. En el cuadro 4 puede apreciarse que a pesar que la línea "B" posee genes de androesterilidad en forma homocigótica recesiva, los plasmagenes fértiles o normales del citoplasma dominan sobre estos; así mismo note en el híbrido f1 que a pesar que existen los plasmagenes de esterilidad, éstos son dominados por los nucleogenes porque se encuentran en forma homocigótica dominante.

El sistema genético-citoplásmico es el más utilizado en la producción de semilla híbrida en los Estados Unidos de América, según las cifras el 90% de los híbridos de sorgo, el 27% de los híbridos de cebolla y el 85% de maíz y remolacha, son producidos bajo este sistema de androesterilidad.

Un resumen de los diferentes sistemas de androesterilidad es presentado por el Allard en el siguiente cuadro.

Cuadro 3: Esquema para el mantenimiento de las líneas parentales y la producción de semilla híbrida usando androesterilidad genética-citoplasmática.



Con el objeto de clarificar los tres sistemas de androesterilidad, reportamos a continuación una representación gráfica de cada uno de ellos. Así mismo se pueden observar los resultados que se obtienen cuando se cruzan individuos androestériles poniendo atención en la descendencia obtenida.

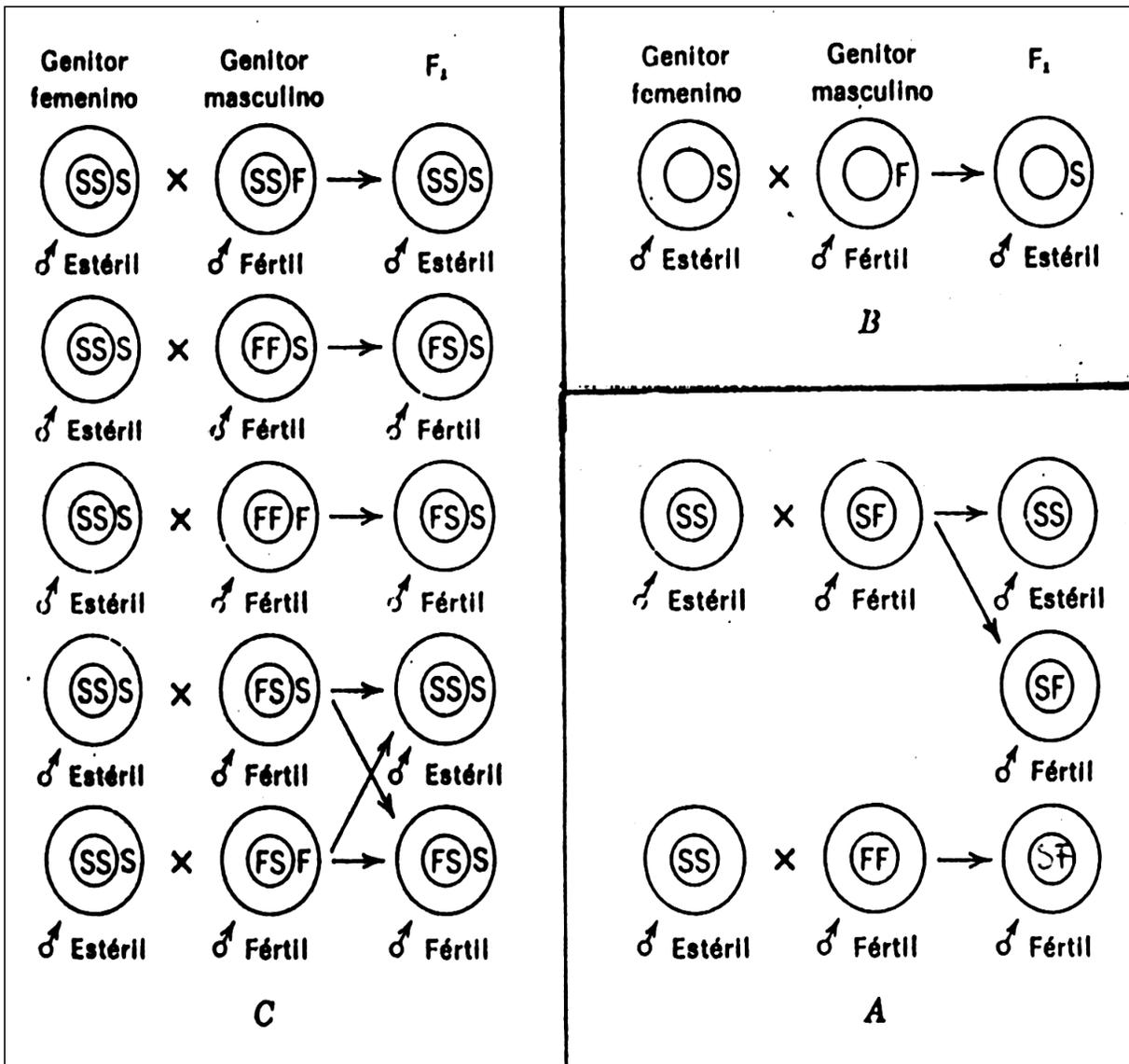


Figura 4: Sistema de Androsterilidad en A: génico, B: citoplásmico y C: genético-citoplásmico. Las letras en los círculos interiores muestran la androsterilidad por factores genéticos círculos externos los plasmagenes de la androsterilidad. La letra S significa estéril, la F fértil. El gen F domina sobre S. Los plasmagenes solo se transmiten por la madre o progenitor femenino. Tomado de Allard, 1977.