

UNIDAD II

2. ASPECTOS RELEVANTES DE LA FLORACIÓN, LA POLINIZACIÓN Y LA FECUNDACIÓN EN LOS VEGETALES SUPERIORES.

2.1. El ciclo vital:

En vista que la producción de semillas es característica de los vegetales más evolucionados, por tanto, se revisarán los aspectos biológicos relacionados con las espermatofitas es decir las gimnospermas y las angiospermas.

El ciclo de vida de un vegetal superior reproducido por semilla, comprende una serie de fases que se enmarcan en dos procesos, a saber: **la fase vegetativa** (formación de estructuras vegetativas como la raíz, tallo, hojas) y la **fase reproductiva** (formación de flores y semillas). Partiendo de una semilla, la primera fase comprende: **germinación de la semilla** ⇒ **fase de plántula** ⇒ **fase de planta**; la fase reproductiva, comprende: **la formación de flores** ⇒ **formación de frutos o semillas**. Las plantas **anuales** completan este ciclo en un año y mueren. Las **bienales** completan su ciclo vital en dos años, en éstas el primer año desarrollan su fase vegetativa y en el segundo año la fase reproductiva y mueren. Las plantas **perennes** en vista que su ciclo vital es mayor de dos años, en las primeras etapas de su desarrollo, que puede durar varios años, forman sus estructuras vegetativas, para luego dar lugar a la formación de flores y semillas; posteriormente desarrollan simultáneamente las fases vegetativa-reproductiva. En las especies **perennes herbáceas** generalmente la parte aérea muere, pero sobre vive gracias a estructuras subterráneas en las que se han almacenado reservas como los bulbos, rizomas, cormos etc. Los vegetales perennes leñosos gracias al desarrollo vegetativo-reproductivo simultáneo sus estructuras vegetativas aumentan de tamaño por el crecimiento de meristemas laterales y apicales, pero al mismo tiempo la fase reproductiva se desarrolla en ciertas regiones del vegetal

2.2. Las plantas con semillas, gimnospermas y angiospermas

Las especies vegetales que producen semillas, conocidas como espermatofitas, según Cronquist éstas pertenecen a las divisiones: Pinophyta (gimnospermas) y Magnoliophyta (angiospermas), describiremos las características más relevantes de cada una de ellas.

2.2.1. Las gimnospermas:

La pinophytas se caracterizan por ser plantas vasculares con raíces, tallos y hojas; las semillas producidas en megasporófilas o en tallos parecidos a telomas o en escamas ovulíferas, los órganos que producen la semilla agregados en un estróbilo simple o

compuesto; los óvulos expuestos a aire en época de polinización, cayendo el polen en o cerca del micrópilo. Comprende unas 400 especies distribuidas en tres órdenes: Pinales (corresponden a las llamadas coníferas), Taxales y Ginkgoales. Para Guatemala el orden Pinales es de importancia económica en vista que comprende árboles de uso forestal tales como los géneros *Araucaria*, *Abies*, *Cedrus*, *Juniperus*, *Larix*, *Picea*, *Pseudotsuga*, *Thuja* y *Tsuga*. El nombre de gymnosperma deriva de las voces griegas *gymnos*, desnudo y *sperma* semilla, indicando que las semillas jóvenes están expuestas al aire.

2.2.2. Las angiospermas:

La división **Magnoliophyta** comprende plantas vasculares, con raíces, tallos y hojas; los óvulos encerrados en un ovario, el gametófito femenino está reducido a un saco embrionario con pocos núcleos sin un arquegonio; el gametófito masculino produce dos gametos masculinos desnudos, uno de los cuales se fusiona con la oosfera para formar el cigoto, el otro lo hace con los dos núcleos (o el producto de la fusión de dos núcleos) del saco embrionario para formar un núcleo de triple fusión que es típicamente el antecesor del endospermo de la semilla.

Las plantas pertenecientes a la división **Magnoliophyta**, comúnmente se conocen como las **angiospermas o plantas con flores**. El nombre de angiosperma deriva de las voces griegas *angeion*, vaso o conducto y *sperma*, semilla, es decir, que las semillas jóvenes se encuentran encerradas dentro de un ovario. A esta división también se le ha dado el nombre de **Anthophyta** (del griego *anthos*, flor y *phyta*, planta) haciendo alusión a las flores encontradas asociadas con la producción de semilla. A las angiospermas, pertenecen todas las flores de jardín, árboles comunes de hoja ancha, los cereales, las leguminosas, hortalizas, fibras, etc., en verdad son las plantas más comunes y familiares y casi toda la terminología botánica se centra en ellas. La división **Magnoliophyta** comprende dos clases, a saber: **Magnoliopsida y Liliopsida**, llamadas **dicotiledóneas y monocotiledóneas**, respectivamente; diferenciadas porque el embrión de la semilla tiene dos cotiledones en el caso de las dicotiledóneas y uno en las monocotiledóneas.

En la figura 1 se presenta el ciclo vital de una gymnosperma y en la figura 2 el ciclo de una angiosperma, compare las diferencias.

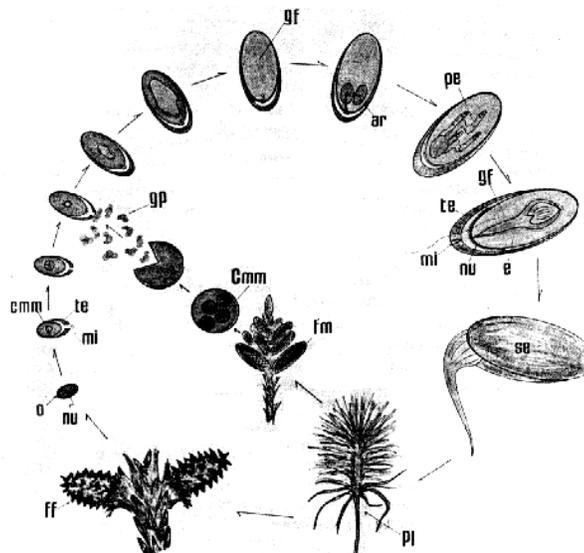


Figura 6:

Representación esquemática del ciclo reproductivo en *Pinus*. Tomado de Anibal Niembro Rocas. 1986. ff, flor femenina; nu, nucela; o, óvulo; cmm, célula madre de la megaspora; te, tegumentos; mi, micropilo; gf, gametofito femenino; ar, arquegonio; pe, proembrión; e, embrión; se, semillas; pl, plántula; fm, flor masculina; Cmm, células madres de las microsporas.

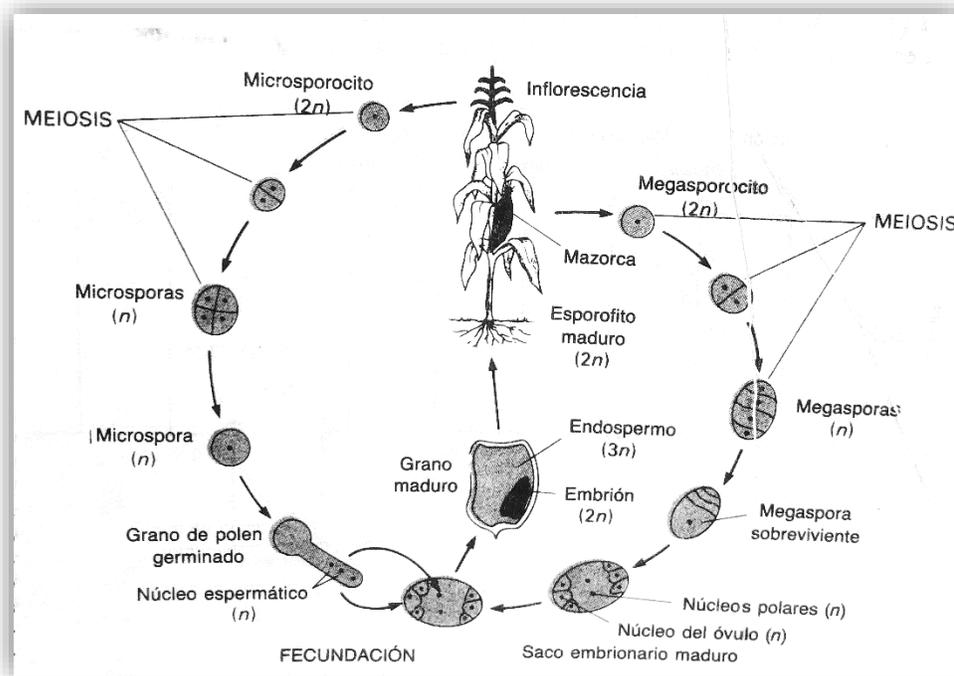


Figura 7: Ciclo de vida de maíz (*Zea mays*). A partir de la semilla de maíz, la cual contiene internamente un embrión $2n$ que desarrolla una nueva planta y su tejido endospermico que nutre al embrión durante la germinación. La fase esporofítica (la planta de maíz es conspicua, pero las fases gametofítica productoras de gametos masculino y femenino son microscópicas. Tomado de Charlotte Avers (**Avers, 1991, pág. 627**).

2.3. La floración en los vegetales superiores:

Floración es un concepto de mucho valor para la Agronomía, se refiere al apareamiento de las flores en el vegetal. Algunos autores consideran que un vegetal está en plena floración cuando han aparecido el 50% de las flores totales que puede producir la planta y éstas deben estar en antésis es decir abiertas. La flor es el órgano más importante para la reproducción en las espermatofitas, así mismo presentan una infinidad de expresiones morfológicas y fisiológicas.

Una **flor completa** tiene cuatro verticilos florales, dos son los verticilos accesorios (**sépalos** (colectivamente forman el cáliz), **pétalos** (colectivamente forman la **corola**)), y

dos esenciales (**estambre** y **gineceo**), adheridos al extremo del tallo llamado **receptáculo**. Cuando falta uno o varios de estos componentes la flor es **incompleta**.

Los órganos relacionados con la reproducción, en la flor son los estambres y el gineceo. Los estambres son los órganos masculinos de la flor y colectivamente se les conoce como **androceo** (del griego *andros*, hombre y *oikos*, casa). Cada estambre consta de un filamento delgado y una antera terminal, que contiene dos sacos polínicos. Los carpelos son los órganos femeninos de la flor, colectivamente conforman el gineceo (del griego *gine*, mujer y *oikos*, casa), cada uno de los carpelos, separados o unidos se le llama **pistilo**. El pistilo posee tres partes bien diferenciadas: el ovario, el estilo y el estigma. El **ovario** en la base contiene a los óvulos, el **estigma** en la parte superior, es el que recibe los granos de polen y se une al ovario por el **estilo**.

En vista que la presencia de las flores en una planta es un indicio de su fase reproductiva, es importante revisar como el tipo de flor que se tenga, define el sexo que va a presentar la especie vegetal.

2.3.1. La expresión del sexo en las plantas superiores:

El sexo en los vegetales difiere al que se observa en los animales principalmente en los mamíferos. En los animales, estamos acostumbrados a observar individuos machos y hembras. Sin embargo, este esquema difiere en los vegetales ya que plantean un esquema diferente. La flor, como vimos anteriormente, es el órgano más importante para la reproducción vegetal, presenta una gran diversidad de formas, colores y lo que es más importante, su estructura, en cuanto a la presencia de las anteras y pistilos que son los que producen los gametos que se relacionan con la polinización.

Dos autores Israelitas, Rafael Frankel y Esra Galun, son los que han elaborado una propuesta para abordar la expresión del sexo en las plantas superiores. Estos dos autores consideran que, "Para tener claridad en la expresión del sexo en los vegetales podemos hacerlo en tres niveles, así: primero la expresión sexual en una flor individual; la segunda cuando se tiene una planta individual y la tercera, cuando se tiene grupo de plantas (especies o cultivares)" (Frankel & Galun, 1977, págs. 11-12).

La siguiente terminología lo hace más fácil de entender, principalmente a los agrónomos que se nos han enseñado diferentes clasificaciones. Estos científicos antes citados proponen los tres niveles de la clasificación, a continuación.

2.3.3.1. Expresión de sexo para una flor individual

Hermafrodita: *flor* que tiene ambos estambres y carpelos, flor individual de *Phaseolus vulgaris*.

Estaminada (o androica): *flor* que solo tienen estambres, flor individual de *Zea mays* ó especies del género *Cucurbita*.

Pistilada (o ginoica): *flor* que solo tienen carpelos: Flor individual de *Zea mays* ó especies del género *Cucurbita*.

2.3.3.2. Expresión de sexo para una planta individual

Hermafrodita: *planta* con flores hermafroditas únicamente, *Phaseolus*.

Monoica: *plantas* con flores estaminadas y pistiladas, *Zea mays* ó especies del género *Cucurbita*, *Cocos nucifera*, *Pinus spp.*

Androica: *planta* solo con flores estaminadas.

Ginoica: *planta* solo con flores pistiladas.

Andromonoica: *plantas* con ambas flores hermafroditas y estaminadas, *Mangifera indica*.

Ginomonoica: *plantas* con ambas flores hermafroditas y pistiladas, puede presentarse en *Fragaria sp.*

Trimonoica: *plantas* con los tres tipos de flores: hermafroditas, estaminadas y pistiladas. Se ha reportado en Papaya.

La clasificación anterior se puede representar en la siguiente figura.

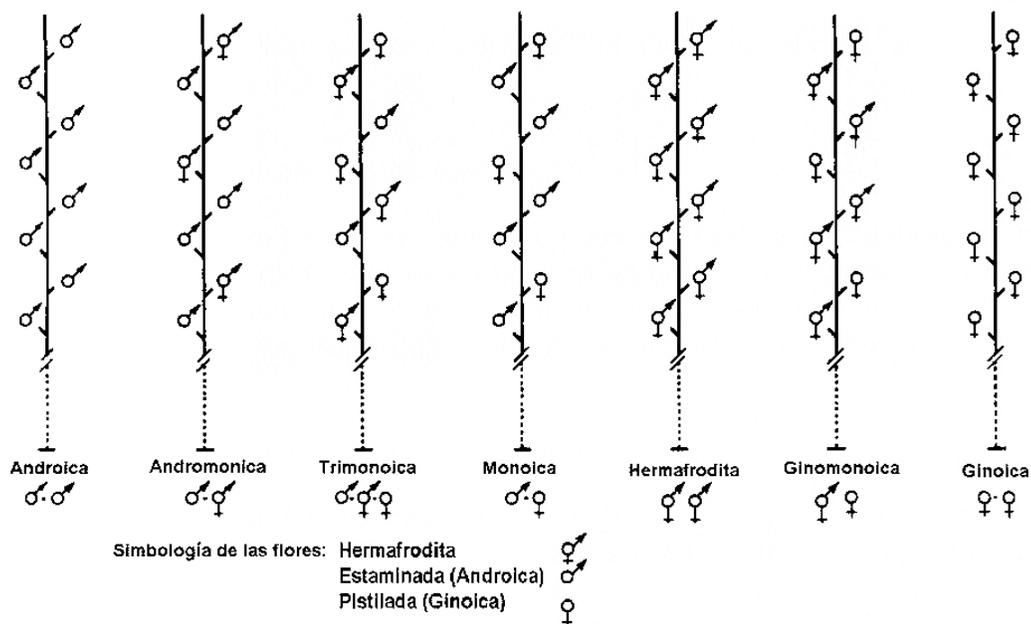


Figura 8: Representación gráfica de la expresión del sexo en una planta u organismo individual. Las líneas verticales representan una planta individual. Tomado de Frankel y Galun E. 1977.

2.3.3.3. Expresión de sexo en grupos de plantas (especies o subespecies)

Hermafrodita: *grupo* con solo plantas hermafroditas, *Phaseolus*.

Monoico: *grupo* con solo plantas monoicas, *Zea*, *Cucurbita*, *Quercus*, *Pinus*, *Fraxinus*, *Cocos nucifera*.

Dioico: grupo de plantas androicas y ginoicas, *Pimienta dioica*, *Asparragus officinalis*, *Spinacea oleracea*, *Canabis sativa* *Piper nigrum*, *Dioscorea sp.*, *Carica papaya*, *Phoenix dactilifera*, *Ficus carica*.

Androdioico: grupo con plantas hermafroditas y androicas.

Ginodioico: grupo de plantas hermafroditas y ginoicas.

2.3.2. Clasificación de las modificaciones de las flores hermafroditas

El hecho que una flor sea hermafrodita no siempre se autofecundará, vamos a profundizar en este tema, ya que muchos mecanismos impiden que efectivamente se lleve a cabo la autofecundación.

Hasta ahora hemos considerado la separación espacial de los órganos sexuales como un mecanismo de polinización cruzada. Otro mecanismo que ocurre para asegurar la polinización cruzada en las plantas es la separación temporal de la actividad de los órganos sexuales. Esta separación temporal de los sexos asegura que en plantas o flores que tienen ambos sexos no pueden esparcir y recibir el polen al mismo tiempo, por lo que necesitan de otra planta para la fecundación, a este fenómeno se le conoce como **dicogamia** (Frankel & Galun, 1977). “La dicogamia es la imposibilidad de fecundación directa (autogamia) porque la madurez de los elementos sexuales, gametos masculinos o femeninos, tienen lugar en tiempos diferentes. Si maduran primero los masculinos, la dicogamia es protándrica y si es a la inversa es protógina” (Robles, Sanchez, 1982, pág. 40).

El fenómeno mediante el cual en plantas bisexuales que esparcen y reciben polen al mismo tiempo, a este fenómeno se le conoce como **homogamia**. Dentro de la Homogamia pueden ocurrir diferentes formas de polinización en plantas que presentan la homogamia, es decir: **cleistogamia, casmogamia, hercogamia y autogamia**.

En algunas especies vegetales se da el fenómeno de la **cleistogamia** que Sanchez (1982) lo define como “plantas completamente autógamas en las que la fecundación se realiza en flores cerradas es decir sin abrir, imposibilitando así el cruzamiento y la consecuente segregación; en esta forma estas plantas constituyen líneas puras(hocigotas)” (p.29). El concepto de cleistogama “aplícase a las plantas, principalmente, a las flores cuya polinización se realiza estando éstas cerradas. A este término se opone el de *casmógama*” (Font Quer, 1985, pág. 232). El frijol común *Phaseolus vulgaris* se reporta como cleistógama.

La **casmogamia**, como lo indicamos anteriormente se opone a la cleistogamia, pues en la casmogamia “se da en aquellas plantas cuyas flores se polinizan estando abiertas” (Font Quer, 1985, pág. 191). Pero, aunque exista homogamia, no necesariamente ocurrirá autofecundación o autogamia. A veces, ocurren barreras morfológicas (como el rostelo en el género *Vanilla spp.* que una estructura llamada rostelo impide el contacto entre los estambres y el pistilo, por lo que se hace de manera manual la polinización). O pueden ser

barreras fisiológicas (como la autoincompatibilidad y la esterilidad) que impiden la autofecundación en las flores hermafroditas, a este fenómeno se le denomina **hercogamia** (que en griego significa barrera). “Dícese de plantas, flores, cuando en estas existen dispositivos especiales que impiden la autogamia como acontece en muchas orquídeas” (Font Quer, 1985, pág. 558).

Cuadro 3. Clasificación de las modificaciones de flores hermafroditas. (Frankel & Galun, 1977, pág. 13)

Dicogamia		Homogamia			
La madurez de los elementos sexuales, gametos masculinos o femeninos, tienen lugar en tiempos diferentes		La dispersión de los granos de polen y la receptividad del estigma ocurre al mismo tiempo			
Protandia		Protógina	Cleitogamia		Casmogamia
El polen se dispersa antes que la receptividad del estigma		La receptividad del estigma ocurre antes que la dispersión del polen	El polen se dispersa y el estigma receptivo, cuando la flor está cerrada, obligando a la autogamia		La flor se abre cuando el polen se dispersa y el estigma receptivo
					Hercogamia
					Barreras morfológicas y fisiológicas que impiden la autopolinización
					Autogamia
					Capacidad de autofecundación

2.3.3. La polinización y su dinámica:

La polinización, es “la caída de forma natural o colocación artificial del polen sobre el gineceo con posterior fecundación o sin ella. La polinización artificial o controlada es una técnica utilizada en el Fitomejoramiento genético” (Robles, Sanchez, 1982, pág. 110) .

El modo de polinización de una especie vegetal afecta su composición genética y obviamente los métodos de mejoramiento para las especies está basado en gran medida de acuerdo

a su forma de polinización. En aquellas especies cuya parte importante para el consumo es una estructura vegetativa como papa, caña de azúcar etc. la polinización jugará un papel importante no tanto en la producción sino en programas de mejoramiento para la obtención de variedades.

En las plantas superiores los agentes o vectores del polen juegan un gran papel en la perpetuación de las especies. Estos vectores pueden ser bióticos y abióticos. Dentro de los abióticos se tienen tres agentes que son la gravedad, el aire y el agua. (Frankel & Galun, 1977, pág. 34).

De los anteriores el viento es el más importante de los agentes, en cereales como maíz (*Zea mays*), en muchas especies de la familia *pinaceae*.

Los vectores bióticos, son de mucha importancia en la polinización, ya que existe una gama de animales que pueden desempeñar la función de agentes polinizadores. La atracción por las flores o sea la Antofilia, se encuentra una gran cantidad de insectos y algunos pequeños vertebrados.

La polinización biótica nos muestra un ejemplo de coevolución, es decir como las estructuras florales ha evolucionado para atraer a los agentes polinizadores, mediante la generación de estructuras, de colores atractivos, que en el caso de algunas especies de orquídeas han desarrollado estructuras que asemejan a una hembra del insecto polinizador para que este visite las flores. Algunos ejemplos de vectores bióticos son reportados en el cuadro siguiente (Frankel & Galun, 1977) para lo cual se propone una terminología para cada caso.

Cuadro 4: Principales vectores bióticos que participan en la polinización de especies cultivadas, representados por los insectos y algunos pequeños vertebrados. Tomado de (Frankel & Galun, 1977, pág. 31)

Orden del Vector	Nombre común	Terminología	Especies vegetales
<i>Coleoptera</i>	Escarabajos	Cantharofila	Cucurbitas, piretro, mango,
<i>Hymenoptera</i>	Moscas serradoras	Symfitofila	<i>Umbelliferae</i> , <i>Roseceae</i> , <i>Compuestas de flores amarillas</i> .
	Avispas	Vesporofila	Higo, alfalfa, zanahoria
	Hormiga	Formicofila	<i>Umbelliferae</i>
	Abejas	Melitofila	Durazno, manzano, alfalfa, cebolla, eucaliptos, <i>Cucurbita</i> , melón, Sandía, zanahoria, guayaba y muchas otras más
<i>Diptera</i>	Moscas	Myofila	cebolla, zanahoria, zorzamora
<i>Lepidoptera</i>	Mariposas	Psicofila	<i>Rubus</i> , aster, trebol

	Palomillas	Palaenofila	Trebol, Dianthus, tabaco
<i>Neognathae</i>	Pájaros	Ornitofila	Piña, eucaliptos
<i>Chiroptera</i>	Murciélagos	Chiropterofila	<i>Ceiba pentandra</i> , banana, <i>Agave</i>

En la gran mayoría de los casos una especie es polinizada por varios vectores, para garantizar el proceso de polinización.

Dentro del agentes polinizadores, los bióticos son más importantes que los abióticos, dentro de los bióticos los más importantes son los insectos y dentro de estos los de la clase *hymenoptera* son los que más se especializan en la polinización, tal es el caso de la abeja melífera (melitofila) que sin lugar a dudas es uno de los insectos polinizadores más importante en plantas cultivadas. Según estudios realizados por Free, reportado por Frankel & Galun, (Frankel & Galun, 1977, pág. 33), indican que una abeja puede efectuar de 5 a 10 viajes por día (viaje es la salida de una abeja hasta su retorno a la colmena), en cada viaje puede visitar unas 100 flores y transportar unos 5 millones de granos de polen o el equivalente a 20 mg. de peso. Esto nos puede dar una idea sobre el papel de agente polinizador de la abeja quien en busca de polen y néctar desarrolla la función de agente polinizador.

En plantaciones de especies de polinización cruzada como en el caso del melón (*Cucumis melo*) en el oriente del país, las utilizaciones de abejas son de vital importancia para mantener una buena producción ya que sin ella los rendimientos disminuirían enormemente.

2.3.4. La Fecundación

La fecundación es un proceso de gran importancia no solo en los vegetales, sino en todos los seres vivos ya que es a través de fenómeno biológico ocurre la diversidad genética. “Es la fusión del gameto masculino con el femenino en plantas, animales o en humanos para formar el cigoto diploide; el cual, por continuas divisiones mitóticas y por diferenciación se desarrollan todos los órganos y se manifiestan los caracteres de los individuos respecto de su morología y de su fisiología” (Robles, Sanchez, 1982, pág. 54).

Según Font Quer: “es la unión íntima de dos células sexuales hasta confundirse sus núcleos respectivos y en mayor o menor grado del citoplasma. En las plantas superiores la célula femenina(ovocélula u oosfera) es inmóvil y se halla protegida por un órgano más o menos complicado(oogonio o arquegonio) llegando hasta ella el núcleo espermático llega a aquella de manera diversa” (Font Quer, 1985, pág. 459).

El estigma es la porción del pistilo que es receptiva del polen, es aquí donde la superficie estigmática reconocerá, por reacciones bioquímicas el tipo de polen que está arribando a su superficie y dependiendo de su morfología y composición genética se le permitirá o no germinar, es decir emitir su tubo polínico. La superficie estigmática puede

ser ramificada o pilosa, de tal manera que puede captar los granos de polen en sus ramas, o secretar un fluido estigmático denso al cual se adhieren los granos de polen. El polen germina sobre el estigma y un tubo polínico delgado crece a través del estilo y penetra en la punta del óvulo a través de una abertura conocida con el nombre de **micrópilo**. Por medio de división del núcleo generativo del grano de polen se forman dos células germinales macho, llamados espermatozoides o núcleos generadores. Los espermatozoides se mueven a través del tubo polínico y son descargados dentro del saco embrionario.

La célula germinal hembra o gameto (óvulos), se produce dentro del ovario por una sucesión de etapas vistas anteriormente. Dentro de cada ovario se encuentran células llamadas células madres de las megasporas la cual, como en el caso de las células madres de la microsporas, sufre dos divisiones nucleares sucesivas para producir una tétrada de cuatro megasporas. Tres de estas se desintegran. La otra que es generalmente la mas alejada del micrópilo, continúa sufriendo divisiones nucleares adicionales y forma un ovoide, que es el saco embrionario con ocho nucleolos adicionales (sinérgidas) que quedan cerca del micrópilo, otras tres nucleolos (antipodales) que quedan en el lado opuesto del saco embrionario y los dos restantes conocidos como nucleolos polares que quedan en el área central. Después de que los dos espermatozoides son descargados dentro del saco embrionario, uno de ellos se fusiona con el huevo para formar un cigoto ($2n$); Este proceso constituye la fertilización y fecundación. El otro espermatozoide se une con el núcleo que se formó por la fusión previa de los dos nucleolos polares, a dicha fusión de los tres puede efectuarse en forma simultánea. El núcleo que resulta de esta triple fusión constituye el núcleo endospermático primario ($3n$). Estos procesos, en los cuales ambos núcleos espermáticos se fusionan, constituyen lo que se conoce como doble fecundación.

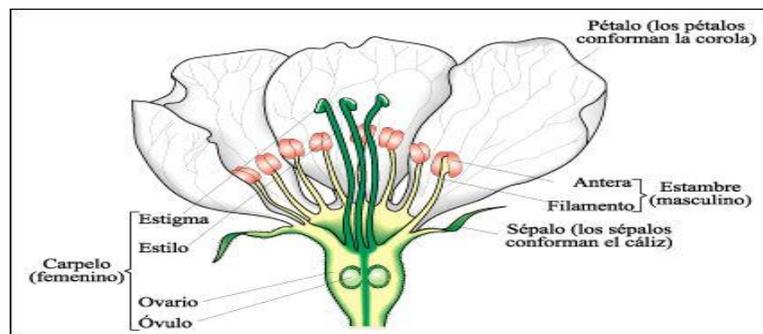


Figura 9. Esquema de una flor completa con sus verticilos esenciales y accesorios. Tomado de: https://www.google.com.gt/search?biw=1920&bih=974&tbm=isch&sa=1&q=foto+de+una+flor+completa++en+los+vegetales&oq=foto+de+una+flor+completa++en+los+vegetales&gs_l=psy-ab.3...1858214.1865120.0.1867769.37.24.1.0.0.0.262.2446.0j17j1.18.0....0...1.1.64.psy-ab..20.0.0.HvALSArnoS8#imgrc=j3nRzppHgHZFhM:

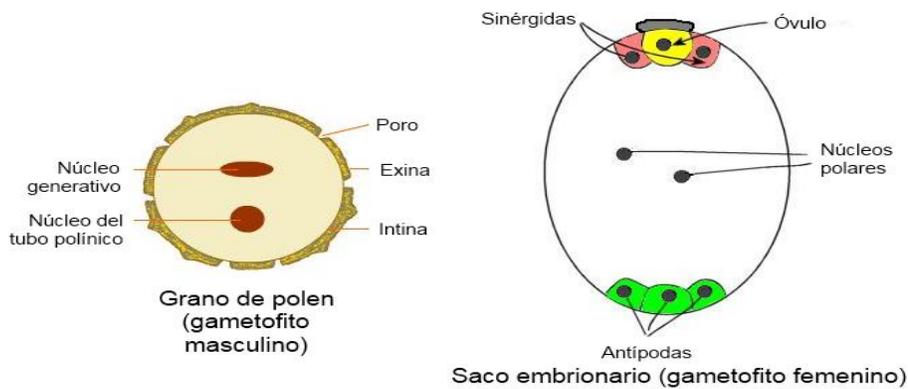


Figura 10. Estructuras de la flor que se relacionan directamente con la fecundación, es decir el saco embrionario o gametofito femenino de una angiosperma y el gameto masculino representado por el grano de polen. Recuperado de: https://www.google.com.gt/search?q=foto+de+un+saco+embrionario+en+los+vegetales&tbm=isch&imgil=UUsEmqvzOYnGqM%253A%253BEgjD7V1nVV7Y3M%253Bhttp%25253A%25252F%25252Fwww.biologia.edu.ar%25252Fplantas%25252Fflores.htm&source=iu&pf=m&fir=UUsEmqvzOYnGqM%253A%252CEgjD7V1nVV7Y3M%252C&usq=_cbNdrqFdwWXCOEOu1k1wVTRI2m4%3D&biw=1920&bih=974&ved=0ahUKEwiVmd7Rw7vVAhUCJiYKHVjwBisQyjcIPw&ei=KVWDWdXgGoLMmAHY4JvYAw#imgrc=CB-GqIH8ZCpqYM

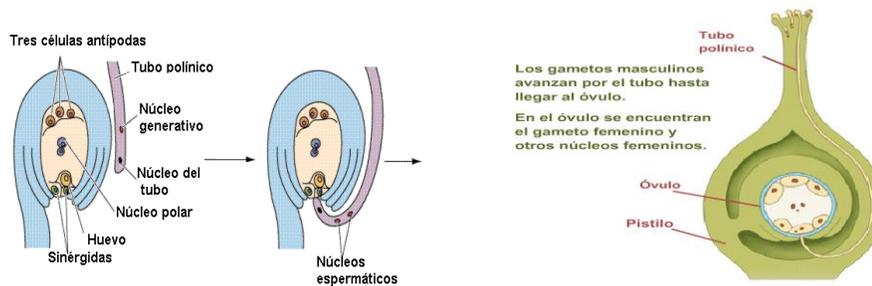


Figura 11. La llegada del tubo polínico al micrópilo del ovario en la fecundación. Estructura del saco embrionario de una angiosperma. Recuperado de: https://www.google.com.gt/search?q=foto+de+un+saco+embrionario+en+los+vegetales&tbm=isch&imgil=UUsEmqvzOYnGqM%253A%253BEgjD7V1nVV7Y3M%253Bhttp%25253A%25252F%25252Fwww.biologia.edu.ar%25252Fplantas%25252Fflores.htm&source=iu&pf=m&fir=UUsEmqvzOYnGqM%253A%252CEgjD7V1nVV7Y3M%252C&usq=_cbNdrqFdwWXCOEOu1k1wVTRI2m4%3D&biw=1920&bih=974&ved=0ahUKEwiVmd7Rw7vVAhUCJiYKHVjwBisQyjcIPw&ei=KVWDWdXgGoLMmAHY4JvYAw#imgrc=CB-GqIH8ZCpqYM

Fertilización doble.

En el capítulo anterior hemos definido lo que es fecundación doble o doble fecundación. Las consecuencias de esta doble fecundación se resumen en las relaciones entre la estructura de la flor y las partes del fruto formado, se describen en el cuadro siguiente.

- Ovario..... ⇒ Fruto (formado a veces por más de Ovario, más tejidos adicionales).
- Óvulo..... ⇒ Semilla (a veces se une con el fruto)
- Tegumentos..... ⇒ testa (cubiertas de la semilla)
- Nucela..... ⇒ perispermo (usualmente ausente o reducido,
a veces tejido de almacenamiento).
- 2 núcleos polares + 1 núcleo espermáticos... ⇒ endospermo triploide $3n$).
- Núcleo del huevo + 1 núcleo espermático... ⇒ cigoto, embrión (diploide $2n$).

Figura 12: Partes de la flor y las estructuras que dan origen, después del proceso de fecundación en una angiosperma. Según Hartman y Kestler 1990 (Hartmann & Kester, 1980)

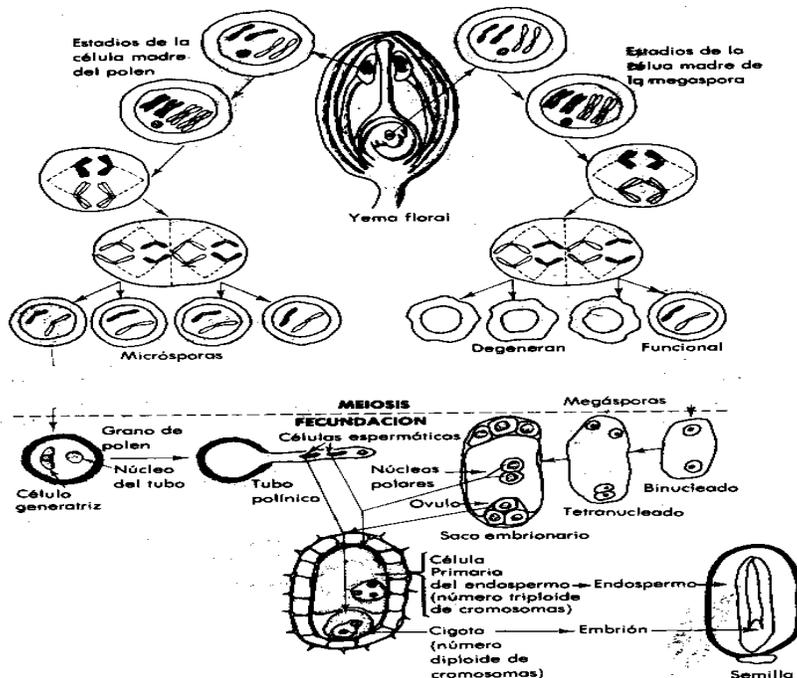


Figura 13. Representación gráfica del proceso de fecundación de una angiosperma. Según Hartman y Kester, 1,990

Dice Font Quer, “que la doble fecundación es propia de las angiospermas y consiste en la unión de uno de los núcleos espermáticos dentro del tubo polínico con el núcleo de la ovocélula, a la vez que el otro núcleo espermático dentro del tubo polínico se une al núcleo secundario del saco embrional. De la primera unión procede el embrión y de la segunda el endosperma” (Font Quer, 1985, pág. 459).

Agrega Font Quer, que en la doble fecundación se distingue la **fecundación generativa y la vegetativa**, la **generativa** ocurre cuando un núcleo generativo o espermático se une a la ovocélula y constituye el núcleo diploide del cigoto.

La **fecundación vegetativa** es la fusión del otro núcleo generativo o espermatonúcleo con el núcleo simple o diploide del endosperma. En algunos casos el núcleo del endosperma es doble o diploide y la fecundación vegetativa forma un núcleo triploide (endosperma triploide) que explica el fenómeno de la xenia, tan corriente en cruzamientos de maíz.

según las raíces latinas, el vocablo Xenia, significa extranjero, es un fenómeno relativo a la influencia del polen extraño procedente de una raza o especie distinta sobre el endosperma de la semilla resultante. Así cuando una inflorescencia femenina de maíz de grano amarillo es polinizada en parte por otra raza de grano azul o morado, las mazorcas tienen granos de ambos colores. Ello se explica por la doble fecundación, el endospermo en tales casos, es origen híbrido ya que el núcleo secundario del saco embrionario es fecundado por un núcleo generativo de otra raza y los caracteres del otro progenitor ya se manifiestan en la semilla. (fruto).



Figura 14. Con la cruce natural o artificial de una planta de maíz de granos amarillos por una planta de granos de color morado o negro, se obtienen mazorcas con granos de diferentes colores, este es el fenómeno conocido como Xenia.

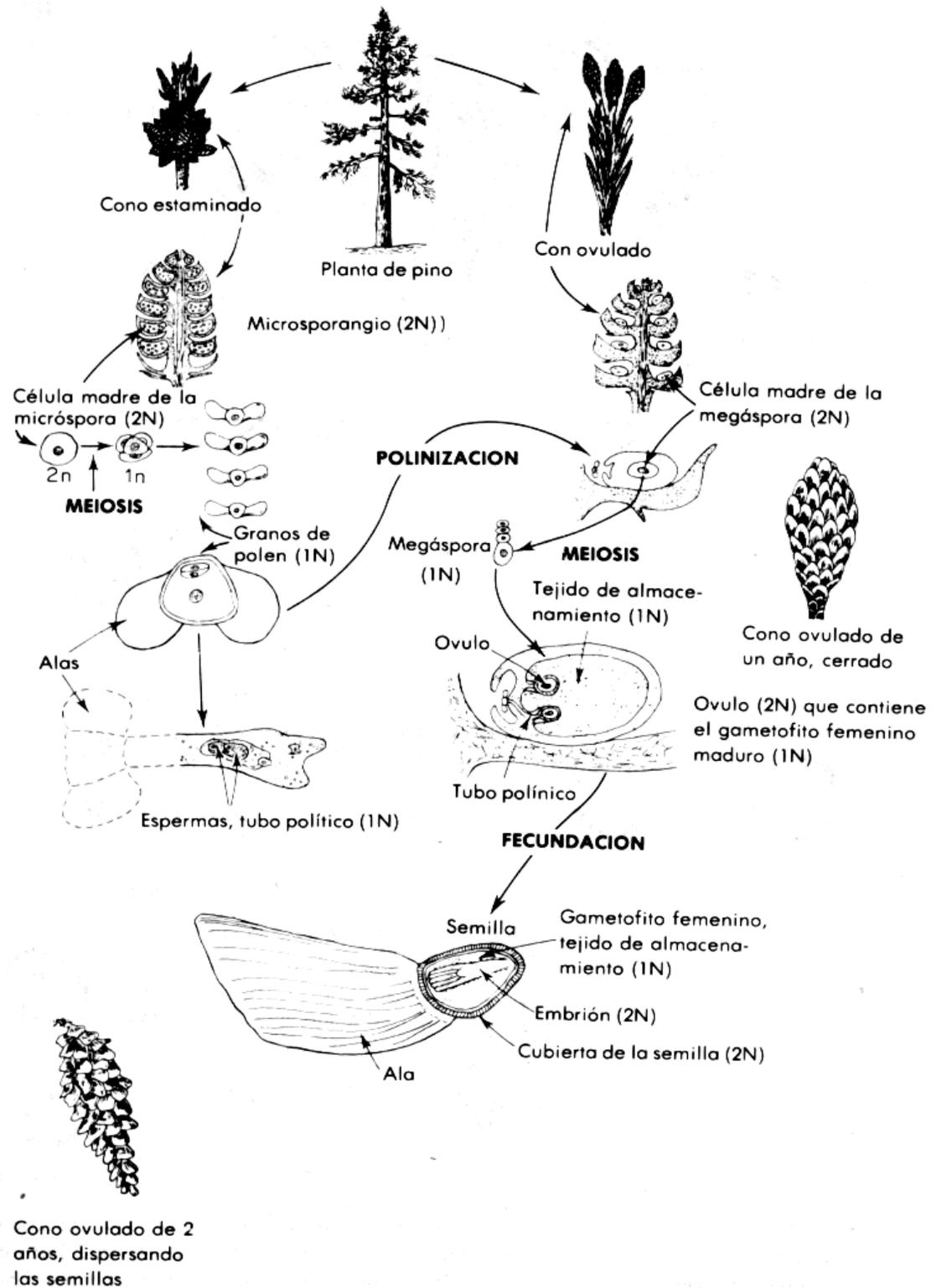


Figura 15. Representación gráfica del proceso de fecundación de una gimnosperma. Según Hartman y Kester, 1,990.

2.4. El Genoma en las plantas superiores

“Un genoma es el conjunto de cromosomas que corresponden al conjunto haploide de una especie” (Stansfield, 1991, pág. 4). Sin embargo, otra definición es:

“El genoma de una especie es toda la información genética contenida en un individuo, para organismos nucleados, el genoma está subdividido en una colección de cromosomas, cada uno portando distintos subconjuntos de genes y por tanto diferentes secuencias de nucleótidos. Los organismos nucleados son aquellos cuyos cromosomas de cada célula están ordinariamente confinados dentro de una región delimitada por una membrana, a la que se le llama núcleo, a estos organismos se les llaman eucariotes (del griego *Karion* que significa núcleo y el prefijo *eu* que significa verdadero, es decir verdadero), la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*), el maíz (*Zea mays*), el hombre (*Homo sapiens*) son los eucariotes más extensamente estudiados” (Goodenough, 1978, pág. 27).

En los eucariotes, el genoma está representado por una serie de cromosomas, cada uno de ellos constituido por una molécula de ADN (ácido desoxirribonucleico) de doble hélice lineal en asociación con las proteínas particulares incluyendo las histonas.

Los cromosomas contienen a los genes los cuales son “las unidades de la herencia y que ocupan un sitio específico o locus en el cromosoma y que codifica la estructura de un polipéptido o molécula de RNA o regula la actividad y el comportamiento de un gen estructural y puede mutar a una o más formas alélicas alternativas” (Avers, 1991, pág. 713).

La morfología de los cromosomas se puede ver en la figura inferior, como se observa cada cromosoma consta de dos cromátidas hermanas unidas por un centrómero.

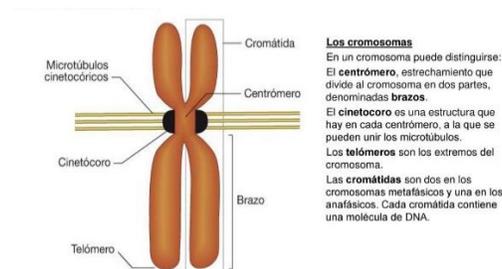


Figura 16. Representación de un cromosoma con sus partes principales, tomado de: https://www.google.com/search?q=foto+del+cariotipo+del+maiz&tbm=isch&chips=q:foto+del+cariotipo+del+maiz,online_chips:dotaci%3%B3n+cromos%3%B3mica&hl=es&ved=2

[ahUKEwjE8qOPsqDqAhURTTABHUKkBrkQ4IYoA3oECAEQGA&biw=1349&bih=608#imgrc=rz0XV_MitwX9TM&imgdii=Ea0cbxMhrNizOM](https://www.google.com/search?q=foto%20del%20cariotipo%20del%20maiz&tbm=isch&hl=es&hl=es&tbs=rimg%3ACRGtHG8TlazYYZWg8xN-NPh9&ved=0CBsQuIIBahcKEwig79qNsqDqAhUAAAAAHQAAAAAQHQ&biw=1349&bih=608)

Por convención los cromosomas se pueden describir morfológicamente por su tamaño y su localización del centrómero.

Así los cromosomas **metacéntricos**, tienen el centrómero en el centro del cromosoma, por lo que sus brazos cromosómicos son del mismo tamaño. Los **submetacéntricos** su centrómero está mas cerca de un extremo del cromosoma por lo que sus brazos son tamaño desigual. Si el centrómero está muy cerca de un extremo del cromosoma, se le conoce como **acrocéntrico**. Por ultimo se tienen aquellos cromosomas que están justo en el extremo del cromosoma, a tal grado que solo definen un brazo del cromosoma y son llamados **telocéntricos** (Ver figura 8). Dentro del cariotipo de una especie se pueden encontrar diferentes tipos de cromosomas según la posición del centrómero. Así en el cariotipo del humano encontramos cromosomas metacéntricos, submetacéntricos, acrocéntricos. (Avers, 1991, pág. 543)

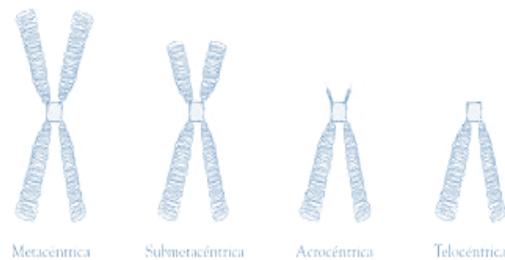


Figura 17. Tamaño, forma y posición del centrómero en los cromosomas. Tomado de:

<https://www.google.com/search?q=foto%20del%20cariotipo%20del%20maiz&tbm=isch&hl=es&hl=es&tbs=rimg%3ACRGtHG8TlazYYZWg8xN-NPh9&ved=0CBsQuIIBahcKEwig79qNsqDqAhUAAAAAHQAAAAAQHQ&biw=1349&bih=608>

Muy relacionado con los cromosomas está el vocablo Cariotipo: "**El Cariotipo** es el arreglo de los cromosomas o de los tipos de cromosomas que se observan durante la metafase, distribuidos de manera ordenada" (Herskowitz, 1987, pág. 799). También se puede definir el cariotipo como las descripción completa de la forma y ordenados por su tamaño de los cromosomas de una especie en la metafase. (Goodenough, 1978). Es precisamente en la metafase donde los cromosomas se encuentran mas condensados que en cualquier otra fase de la mitosis, por lo que son mas fáciles de contarlos e identificarlos.



Figura 18. Cariotipo del humano del lado izquierdo y el del maíz del lado derecho, nótese la forma y el tamaño de los cromosomas. Tomado de: https://www.google.com/search?q=cariotipo+del+maiz&tbm=isch&ved=2ahUKEwishNaPy6PqAhXpazABHWhsD2QQ2-cCegQIABAA&oq=cariotipo+del+maiz&gs_lcp=CgNpbWcQARgAMgQIIxAnOgIIADoGCAAQCBAeOgQIABAYOgYIABAKEBhQ6doJWP72CWDmlgpoAHAAeACAAAb0JiAG6G5IBDTAuMy4zLjluMS43LTGYAQcGAAQgAQtd3Mtd2l6LWltZw&scient=img&ei=CRH4XuzbF-nXwbkP6Ni9oAY&bih=608&biw=1349&hl=es&hl=es#imgrc=IkZ7BshCnw8PDM&imgdii=bOWGkWMCGD6QSM.

En el proceso de división celular a través de la mitosis, las células replican su ADN. Así durante el ciclo celular el cual se representa como $G_1 \rightarrow S \rightarrow G_2 \rightarrow M$ → la G_1 representa la brecha o espacio uno, la S representa la síntesis, que es donde ocurre la replicación del ADN, la G_2 representa el espacio o brecha 2 y la M que representa la división celular mitosis. El proceso que dura esta división celular depende de la especie. Por ejemplo, vea en la siguiente figura el tiempo que dura el ciclo celular en el haba.

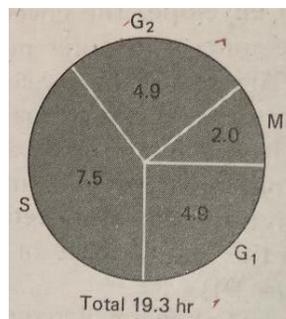


Figura 19. Ciclo celular en las células de la raíz de haba (*Vicia Faba*) Tomado de (Goodenough, 1978, pág. 30).

2.5. La gametogénesis vegetal:

En los órganos sexuales de la flor, ocurre un proceso de gran importancia en la reproducción de los vegetales superiores, este proceso se conoce como **gametogénesis**,

es decir el proceso que genera gametos- En los estambres se desarrolla la producción de los gametos masculinos o granos de polen (microsporogénesis) y en el pistilo se producen los gametos femeninos u óvulos (microsporogénesis). Estos procesos por ser de mucha importancia en la reproducción vegetal se entran a considerar a continuación.

Stansfiel (1991) dice: “Al proceso completo de producción de gametos o esporas maduras, del cual la división meiótica es la parte más importante, se conoce como gametogénesis” Para el caso de los vegetales, se requieren una o más divisiones itóticas para producir esporas reproductivas, pero en os animales los productos meióticos evolucionan directamente a gametos por idferenciación, crecimiento o ambos” (p.11).

En las plantas superiores las formaciones de gametos constituyen dos procesos conocidos como la microsporogénesis y la megasporogénesis. La primera de ellas se lleva a cabo en la antera (del estambre) de la flor, originando las esporas reproductivas conocidas como granos de polen o gametos masculinos maduros, a partir de las células madres de microsporas que son diploides. Por el contrario, la megasporogénesis, se lleva a cabo en el ovario (del pistilo) dando lugar a los sacos embrionarios o gametos femeninos madros, se da a partir de las células madres de las megasporas que son diploides.

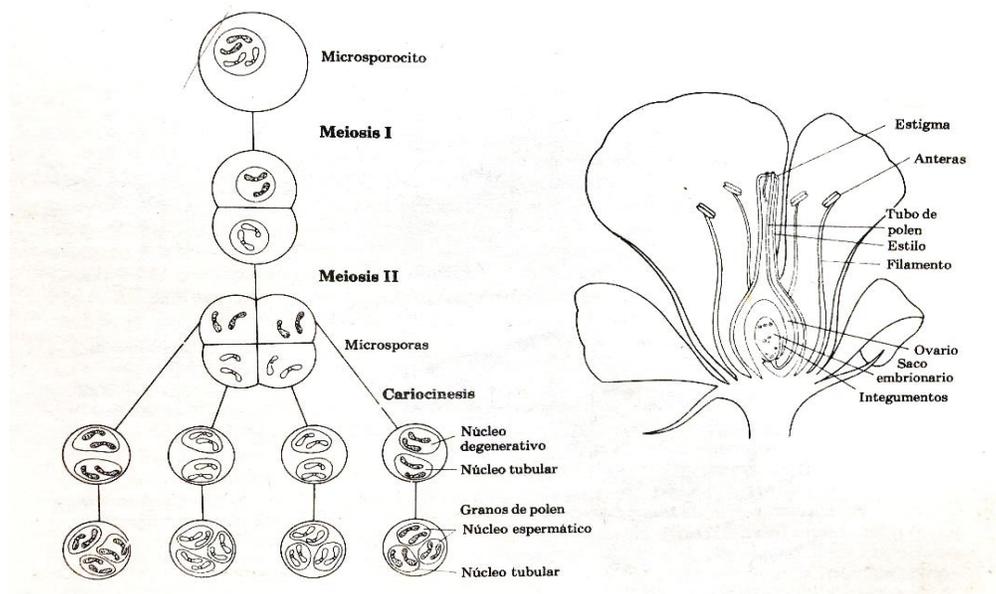


Figura 20: Microsporogénesis vegetal, que se inicia con el microsporocito 2n y se forman cuatro granos de polen haploides, al final del proceso. Al lado derecho el esquema de una flor perfecta. Tomado de (Stansfield, 1991, pág. 11)

Ver la formación del grano de polen en el link <https://youtu.be/TEUnFUUVu0k>

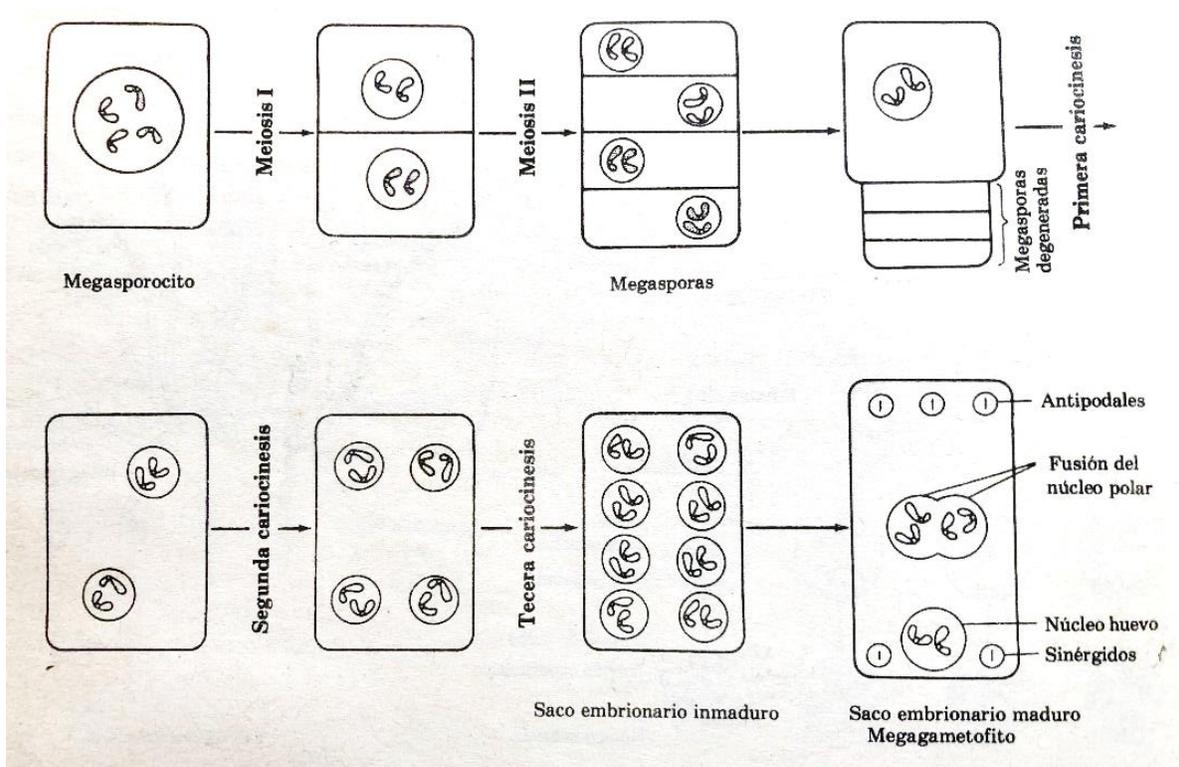


Figura 21: Representación gráfica de la megasporogénesis en plantas superiores. Tomado de (Stansfield, 1991, pág. 12).

2.6.

2.5.1. Relación entre la gametogénesis, la meiosis y las leyes de Mendel:

Previo a profundizar sobre estas relaciones, haremos una revisión de algunos conceptos genéticos que nos ayudarán a entender dichas relaciones.

Ya se mencionó anteriormente que en el **carioripo** del humano que representa una célula en estado **diploide**, existen dos cromosomas homólogos de cada uno de los cromosomas de las especies, cada homólogo proviene de cada gameto es decir masculino y femenino en el proceso de fecundación.

Hemos indicado también que los genes se ubican a lo largo de los cromosomas ocupando un lugar denominado **locus** (su plural es **loci**). Si consideramos una característica estudiada por Mendel por ejemplo la forma de las semillas de arveja, que pueden ser lisas o rugosas, resulta que las lisas son dominantes y se representa con la nomenclatura tradicional con la letra **A**, y las semillas lisas que es carácter recesivo, se representa como **a**. Nótese que **A** y **a** representan genes que son alelos, indicando que ellos representan dos genes alternativos que ocupan el mismo lugar en el locus cromosomal.

Con respecto a la característica forma de la semilla en arveja como lo trabajó Mendel, es claro que existen tres posibilidades, a saber: “1) Si una planta en la fecundación recibió el alelo **A**, de su madre y el alelo **A** de su padre, en este caso su dotación genética es expresada de manera simbólica genética como **AA**, la diagonal significa que la planta es diploide; 2) La planta pudo haber recibido en la fecundación, el alelo **a**, de cada uno de los padres por lo que se representa como **a/a**; 3) La planta pudo haber recibido un alelo de cada clase, de cada padre, se representaría como **A/a**. Una planta con dos alelos idénticos, para un locus por ejemplo **AA** o **aa** se dice que es homocigoto, pero si una planta es **A/a**, se le denomina heterocita (el prefijo hetero significa diferente)”. (Goodenough, 1978, pág. 86)

El término **fenotipo** deriva de la raíz griega *phain* que denota la expresión particular de un gen, ejemplo “semilla lisa” como un rasgo. “El Fenotipo es el organismo y todos los caracteres que le son propios y que pueden distinguirse en él, en contraste con su constitución genotípica (el genotipo)” (Brauer, 1969, pág. 486). Por otro lado el Genotipo “comprende todos los genes localizados en los cromosomas y los factores de herencia citoplasmática” (Brauer, 1969, pág. 488) .

2.5.2. Meiosis

La meiosis es la división celular responsable de reducir el número cromosómico de las células madres diploides tanto de las megasporas como las microsporas para dar origen a los núcleos **haploides** que formarán parte de las estructuras de reproducción que son los gametos masculinos y femeninos.

Si el proceso de meiosis no existiera, el número de cromosomas se acumularía en cada proceso de fecundación y por otro lado no habría la oportunidad de intercambio del material genético pues en la subfase de diploteno en la profase I de la meiosis ocurre el entrecruzamiento de las cromátidas hermanas (formando los llamados *quiasmata*, su singular es quiasma) para dar origen a diferentes genotipos en los gametos formados, que posteriormente serán la fuente de variabilidad genética indicada en los párrafos anteriores.

2.5.3. La primera ley de Mendel: la segregación de los alelos

Mendel en su clásico estudio con arveja, realizados en los jardines del monasterio de Brunn, Austria inició sus observaciones en 1,857, a pesar que no era biólogo, condujo sus experimentos con mucho detalle, con un espíritu científico, pero quizá mucho entusiasmo. Muchos científicos consideran que el éxito de Mendel se debió no solo a su espíritu investigativo sino también al material genético utilizado para sus experimentos, la arveja (*Pisum sativum*), que es una planta autógama. Mendel, descubrió el **principio o ley de la segregación, conocida como la primera ley de Mendel**, indicando que los padres solo pueden transmitir una forma alélica de un gen o de un factor como el le llamó, por medio de un gameto a sus descendientes. Así por ejemplo si una planta de arveja que posee un gen o factor para semillas lisas y un alelo para semillas rugosas, solo puede transmitir uno de

esos dos factores o alelos por medio de sus gametos a la primera descendencia. Cuando Mendel hizo sus experimentos no se habían descubierto los cromosomas ni la meiosis.

En la figura 14 se observa una célula madre de microspora o megaspora que sufrirá meiosis. Puede verse un par de cromosomas homólogos con sus centrómeros en cada bivalente, el bivalente negro proviene del padre y es portador del gen **a** y el gris de la madre es portador del alelo **A**, es decir es un heterocigoto **A/a** que sufrirá una meiosis. Por el fenómeno de la segregación de los cromosomas homólogos, que establece que las células haploides que se generan en este proceso contendrá el gen **A** o **a**, pero nunca ambos. Es decir, en la metafase, cada bivalente (**aa** y **AA**) se alinearán en la placa ecuatorial y se separan en el anafase I de la meiosis quedando separados cada bivalente en **aa** y **AA**. Este fenómeno es llamado el **principio de segregación** y es a menudo referido como la **primera ley de Mendel**. Es importante señalar que la primera ley de Mendel sobre el principio de la segregación solo se aplica a cromosomas homólogos.

Los cromosomas como unidades físicas que contienen genes localizados a lo largo de ellos, estos se mueven juntos en las etapas de la meiosis o mitosis y decimos que estos genes están ligados a su cromosoma y ocurre la segregación en la anafase I.

Es en este proceso donde los genes ubicados en los cromosomas se distribuyen o segregan independientemente. Lo anterior tiene una gran implicación bajo el punto de vista genético ya que gracias a estos procesos va ocurrir recombinación de características en los individuos y por lo tanto surgirá la variabilidad genética.

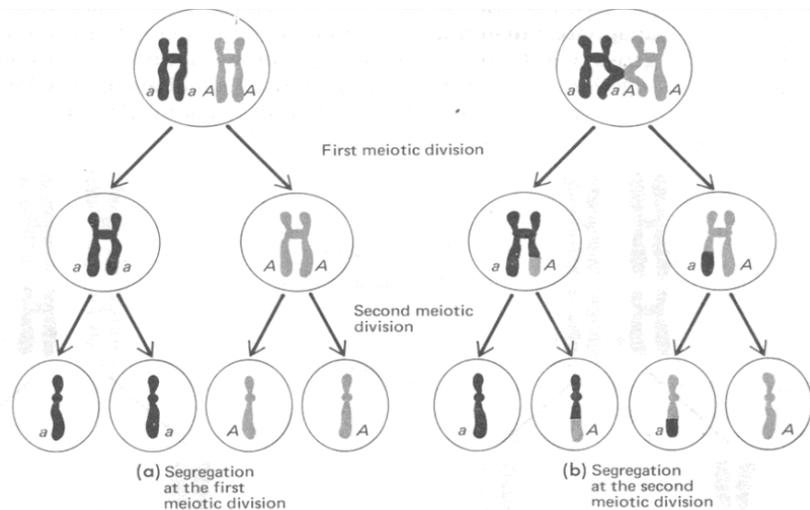


Figura 22: Un par de cromosomas homólogos que portan un gen heterocigótico **A/a**, en meiosis segregando al final del anafase I y formando cuatro células haploides que solo

pueden contener el gen **A** o **a**, pero no ambos (figura del lado izquierdo). Esto ilustra el principio de la segregación que es la primera ley de Mendel. En el lado derecho, existe la formación de un quiasma entre cromosomas homólogos (recombinación) durante la profase I. Tanto los cromosomas de la madre como del padre portan cromatidas que no son idénticas y segregan en el anafase II. Tomado de (**Goodenough, 1978, pág. 90**).

2.5.4. La segunda ley de Mendel: Ley de la distribución independiente de alelos en cromosomas no homólogos.

Como se ha indicado con anterioridad el principio de la segregación de Mendel, su primera ley, se aplica únicamente a cromosomas homólogos. Como se aprecia en la figura 15 en la que aparecen dos pares de cromosomas homólogos, es decir un par es portador de los alelos **A** y **a**, y el segundo cromosoma homólogo porta los alelos **B** y **b**. Como los dos homólogos se distribuyen aleatoriamente de manera independiente existe la probabilidad de que un cuarto de todas las células haploides formadas resultado de la meiosis contendrá genes **A** y **B**, un cuarto **a** y **b**, un cuarto **a** y **B** y un cuarto **A** y **b**. A esto se le denomina **el principio de distribución independiente** y representa la **segunda ley de Mendel**. Como lo indica Stansfield (1991): “El principio o Ley de la distribución independiente de Mendel, establece que “la segregación de un par de factores es independiente de cualquier otro, hoy sabemos que esto es cierto solo para los cromosomas no homólogos, **esta es la segunda ley de Mendel**” P. 19.

<https://www.youtube.com/watch?v=nBt6RNGZW34>

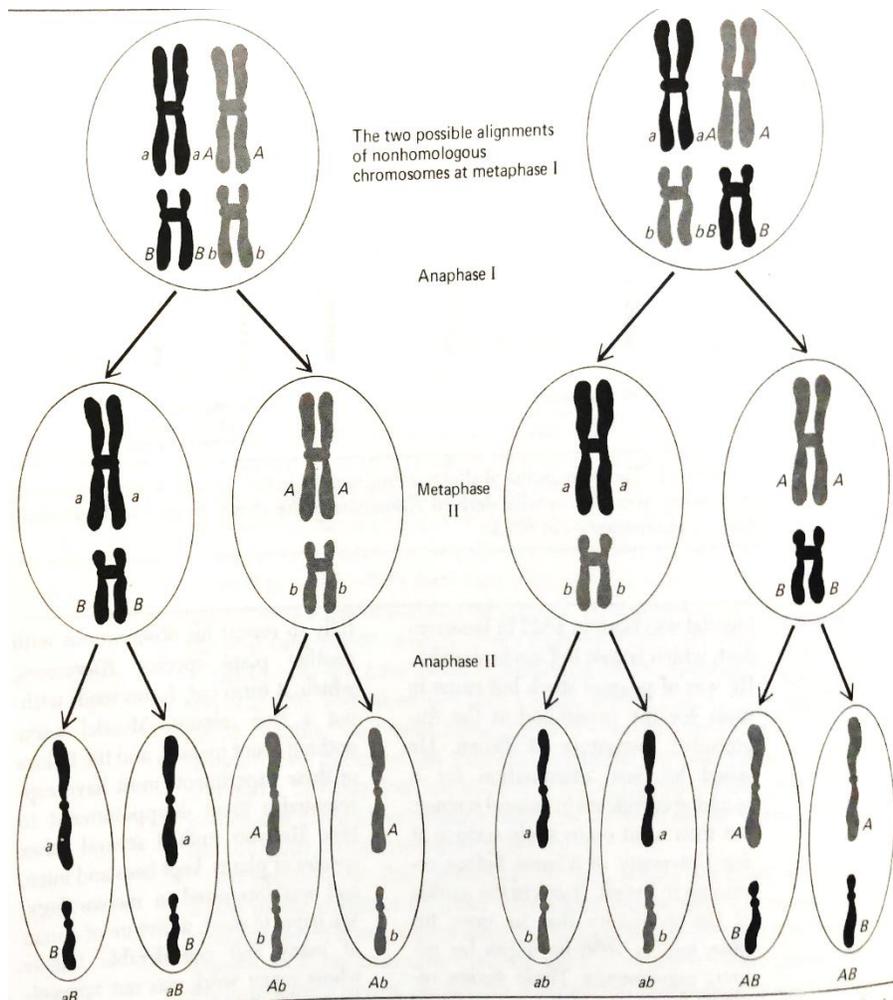


Figura 23: La distribución independiente de cromosomas no homólogos durante la meiosis, los cromosomas maternos en gris y los paternos en negro. En la metafase I los dos juegos de cromosomas no homólogos pudieron haberse alineado en la metafase, así, los cromosomas derivados del padre están en un lado y los derivados de la madre en el otro, como se muestra en la célula de el lado izquierdo. Otra posibilidad se muestra en la célula del lado derecho. Compare los productos de la meiosis en cada caso. (Tomado de *Genetics*, Goodenough 1,978).

2.6. El fruto:

El fruto según la definición clásica, “Es el ovario desarrollado y con las semillas ya hechas, siendo el fruto consecuencia del desarrollo del ovario” (Font Quer, 1985, pág. 501). Pero esta definición de fruto se considera como primitiva ya que otros autores como Beck, Pascher, y Pol dicen que fruto “Es todo órgano vegetal, debidamente transformado, que encierra semillas hasta que están maduras, para luego diseminarlas o para desprenderse de la planta junto con ellas. Lo esencial del fruto son sus semillas y el pericarpo que las guarda sea cual fuera la significación organogénica de este último” (Font Quer, 1985, pág.

503). Existe otra definición de fruto como “El ovario maduro, junto con cualquier estructura que madure con el y que forme una unidad con el mismo” (Cronquist , 1986, pág. 604)

El conocimiento de la morfología y estructura de la semilla y por añadidura el fruto, es de vital importancia para aquellos que se dedicarán a la producción de semillas, esto le ayudará a comprender mejor el comportamiento de la semilla como “algo vivo”. En muchos casos la parte utilizada para la siembra de una especie vegetal no es precisamente una semilla, sino, un fruto. A continuación, trataremos de dar un vistazo a los diferentes tipos de

2.6.2. Tipos de frutos:

Como es sabido, los frutos presentan diferentes formas, texturas, estructuras, colores, esto se debe a la gran diversidad de flores que presentan las angiospermas, pero esto dificulta su clasificación, para los efectos de este documento tomaremos la clasificación propuesta por Flores Vindas, 1989. Aunque este documento no es precisamente para un curso de botánica, consideramos necesario revisar nuevamente algo que muchos lectores pudieron haber aprendido en cursos anteriores de este tema.

En vista que la fecundación se lleva cabo dentro del ovario en las angiospermas, la pared del ovario se convertirá en la pared del fruto, conocida como **pericarpio**. El pericarpio puede contener dos o tres capas distintas, iniciando del exterior hacia el interior del ovario el **exocarpio, el mesocarpio y el endocarpio**. Ontogénicamente el fruto derivado de un pistilo simple sin intervención de ninguna otra parte de la flor da origen a un **fruto simple**, si interviene cualquier otra estructura de la flor junto con el pistilo simple se forma un **fruto simple accesorio**. Cuando en una flor simple, varios pistilos son fecundados sin intervención de cualquier otra parte de la flor se obtiene un **fruto agregado**; cuando varios pistilos simples de una misma flor son fecundados e interviene cualquier otra u otras estructuras de la flor se forman el **fruto agregado accesorio**. Por último, todo fruto formado a partir de varias flores se denomina **fruto múltiple**. La clasificación de los frutos reportada a continuación por Flores Vindas, 1,989 por ser la que contiene los elementos de varios autores como winkler, que se describe a continuación:

Cuadro 3. Clasificación de los frutos, reportada por Flores Vindas, 1989.

1. Frutos simples: con base a la estructura de la pared, estos se dividen en **Frutos secos** (indehiscentes y dehiscentes) **y frutos carnosos.**

1.1 Frutos secos

1.1.1. Indehiscentes: no se abren al madurar, desarrollados de ovarios que contienen una sola semilla.

Aquenio: contiene una sola semilla unida a una pared del fruto en un solo punto, deriva de un solo ovario con un solo lóculo. Eje. Girasol (*Helianthus annuus*, *Bidens pilosa*, *Galinsoga ciliata*), etc.

Balausta: con lóculos numerosos y semillas, de pericarpio coriáceo. Ejemplo Granada (*Punica granatum*).

Balano o calibrum: fruto duro, con un solo lóculo y un involucreo en la base. Eje. *Quercus macrocarpa*, *Q. Costaricensis*, *Q. Oocarpa*, *Q seemanii*. En *Quercus* por estar el fruto subtendido por un involucreo seco copulado, se clasifica también como accesorio con el nombre de cúpula o glande.

Cápsula indehiscente: fruto seco derivado de un ovario con dos o más lóculos. Ejemplos: Jícaro (*Crescentia cujete*), peine de mico *Apeiba tiborbou* y *Enallagna latifolia*.

Cariópside o grano: fruto seco indehiscente con la cubierta de la semilla adherida a la pared del fruto, deriva de un ovario superior con un lóculo. El endosperma constituye el 80% del fruto y contiene almidón y proteínas. Eje. Maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum vulgare*), arroz (*Oryza sativa*).

Cipsela: aquenio derivado de un ovario inferior con un lóculo. Eje. *Erigeron canadensis*.

Nuez: fruto con una semilla, de pericarpio duro, que deriva de un fruto unilocular. Eje. El marañón (*Anacardium occidentale*). La parte utilizada como fruta fresca es el pedúnculo, de forma piriforme constituido por parénquima en su mayoría, que contiene azúcares atravesado por canales laticíferos y haces vasculares.

Sámara: fruto alado como en el fresno (*Fraxinus spp.*)

Utrículo: fruto pequeño, vesicular o inflado como en el amaranto (*Amaranthus spp.*)

1.1.2. Frutos Indehiscentes:

Cápsula: fruto derivado de un ovario compuesto por dos o más carpelos. Eje. Cedro (*Cedrela odorata*), la jacaranda (*Jacaranda mimosaeifolia*), llama del bosque (*Spathodea campanulata*), cardosando o chicalote (*Argemone mexicana*) y la china (*Impatiens balsamina*).

Folículo: fruto derivado de un carpelo que se abre a lo largo de las suturas. Eje. Magnolia (*magnolia poasana*), macadamia (*Macadamia integrifolia*).

Legumbre o vaina: fruto derivado de un carpelo que se abre a lo largo de dos suturas. Eje. *Gliricidia sepium*, *Albizia adinocephala*, *Pithecellobium arboreum*, *Acacia spp.*, *Phaseolus vulgaris*, *Glycine max*, *Vicia faba*, *Pisum sativum*, *Cassia grandis*, *Arachis hypogea*, *Tamarindus indica*,. Las especies anteriores presentan vainas dehiscentes. En otras especies las vainas son

dehiscentes, como en las especies: *Cassia grandis*; *Tamarindus indica*; *Enterolobium cyclocarpum*.

Lomento: legumbre que se separa transversalmente en segmentos que contienen una semilla. Eje. *Mimosa pudica* *Muellera frutescens*.

Silicua: fruto que se deriva de dos o más carpelos y se abre a lo largo de dos suturas. Eje. *Brassica campestris*. Cuando en el fruto el ancho es más grande que el largo se denomina Silícula, como en *Capsella bursa-pastoris*.

Esquizocarpos: frutos dehiscentes que en lugar de exponer las semillas, exponen frutillos. Eje. *Altea rosea*, el apio (*Apium graveolens*), *Hacer pseudoplatanus*.

1.2. Frutos Carnosos: derivan de un gineceo monocarpelar o multicarpelar. La pared puede ser carnosa en su parte interna, externa o en ambas. La succulencia se debe a la presencia de células de parénquima.

Pomo: se forma de un gineceo con dos o más carpelos y un ovario ínfero, el receptáculo e hipantio unidos al ovario que constituyen la parte carnosa principal. El endocarpo es cartilaginoso. El ovario consiste de 5 carpelos unidos con placentación axial. En el centro del fruto se encuentra por lo general una abertura. Ejemplos: manzana (*Pyrus malus*), pera (*Pyrus communis*), membrillo (*Cydonia oblonga*).

Baya: fruto carnoso de pericarpo succulento: uva (*Vitis vinífera*), tomate (*Solanum lycopersicon*), dátil (*Phoenix dactilifera*), banano (*Musa spp*), papaya (*Carica papaya*), guayaba (*Psidium guajaba*), cacao (*Theobroma cacao*), güisquil (*Sechium edule*).

Drupa: fruto carnoso con endocarpo duro. Ejemplo: jocote (*Spondias purpurea*), mango (*Mangifera indica*), nance (*Byrsonima crassifolia*).

Hesperidio: baya septada de cubierta gruesa, con la mayor parte del fruto derivado de pelos glandulares. Ejemplo los cítricos.

Pepónide: es una baya con una corteza no septada, derivada de un ovario ínfero. Ayote (Cucurbita pepo), pepino (Cucumis sativus), melón (Cucumis melo)

FRTUOS AGREGADOS: Son los que se forman por carpelos de un gineceo apocárpico, que maduran como una unidad sobre un receptáculo común otras estructuras accesorias. Eje. La fresa (*Fragaria vesca*), la frambuesa (*Fragaria vesca* la magnolia (*Magnolia poasana*).

Aquenacetum: agregado de aquenios. Eje. Fresa (*Fragaria vesca*).

Bacacetum o Etaerio: agregado de bayas. Eje. *Actaea*.

Drupacetum: agregado de drupillas. Ejemplo Frambuesa (*Fragaria vesca* Mora (*Rubus costaricanus*), la anona (*Annona reticulata*), guanaba (*Annona muricata*).

Foliacetum: fruto agregado de folículos. Eje. *Caltha*, *Magnolia poasana*.

Samaracetum: fruto agregado de samaras. Eje. *Liriodendron tulipifera*.

2. FRUTOS MULTIPLES: son aquellos frutos que derivan de los gineceos de las flores de una inflorescencia. Se encuentran sobre un eje común y usualmente son coalescentes. Ejemplos:

Bibaca: baya fusionada. En *Lonicera*

Sorosis: fruto sobre un eje que usualmente coalescen, derivan de dos ovarios de varias flores. Eje. Morera (*morus nigra*), fruta de pan (*Artocarpus communis*), Piña (*Ananas comunosus*, mano de tigres(*Monstera deliciosa*).

Sicono: frutos en que el sincarpo contiene aquenios en la pared interna de su receptáculo hueco. Eje. *Ficus*.

2.7. LA SEMILLA

La semilla es el sitio parcial de desarrollo del esporofito (embrión) y es el lazo de unión entre generaciones sucesivas. Es la estructura que permite supervivencia y dispersión de las especies vegetales. Bajo el punto de vista botánico es el óvulo fecundado y maduro el cual contiene una planta embriónica con su respectivo tejido nutritivo de almacenamiento y cubierto por una capa protectora común mente llamada testa. “La semilla es el ovulo maduro” (Cronquist , 1986, pág. 610) La semilla resulta de las transformaciones del óvulo después que ha ocurrido el proceso de polinización y fecundación que ampliaremos más adelante. La semilla es el sitio en donde se desarrolla el nuevo esporofito o embrión, así mismo es el lazo de unión entre generaciones sucesivas. La estructura general de la semilla se observa en la siguiente figura.

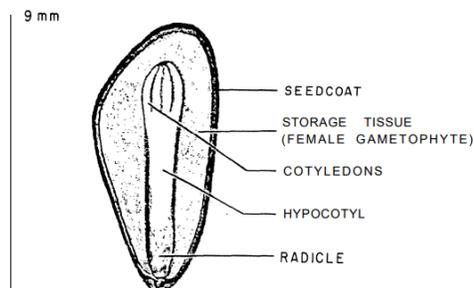


Figura 24: Estructura interna de la semilla de pino, mostrando la cubierta de la semilla, tejido de almacenamiento, cotiledones, hipocotilo y radícula. Tomado de (Bonner, Vozzo, Elam, & Land Jr., 1994)

2.7.1. Partes de la semilla

Se identifican tres partes básicas, a saber: el embrión, los tejidos de almacenamiento y las cubiertas de la semilla.

2.7.1.1. El embrión

Al ocurrir el proceso de fecundación, el cigoto formado sufre varias divisiones mitóticas, hasta formar el embrión cuya estructura básica es un eje embrionario con un punto de crecimiento en cada extremo uno que dará origen al tallo y otro que dará origen a la raíz y una o varias hojas seminales (cotiledones) adheridos al eje embrionario, mismas que son usadas para clasificar a las especies vegetales en monocotiledóneas, dicotiledóneas y policotiledóneas (en algunas gimnospermas como el género *Pinus*).

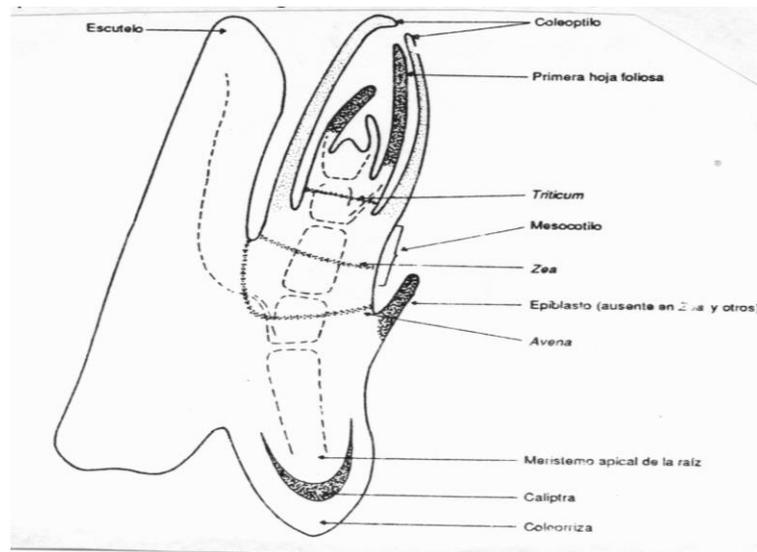


Figura 25: Estructura del embrión de las gramíneas. Tomado de Flores Vindas 1989.

En vista que el tamaño del embrión difiere en las semillas, es utilizado para su clasificación, como veremos más adelante en endospermicas y no endospermicas. En las primeras el tamaño del embrión es pequeño con relación al resto de la semilla y en las segundas el embrión es dominante con respecto al resto de la semilla.

La posición del embrión es diferente de acuerdo con la especie vegetal. En gramíneas, el embrión maduro se ubica hacia la base del lado dorsal dentro del cariósipide. El embrión es de tamaño pequeño en relación con el endosperma. A continuación se presenta la estructura general del embrión en las gramíneas.

De acuerdo a la posición del embrión dentro de la semilla, así tomará su nombre, la siguiente clasificación fue tomada de Flores Vindas.

1.-Embrión basal: comprende semillas con abundante endosperma y el embrión se ubica en la base de la semilla. Podemos encontrar los siguientes tipos:

- Rudimentario
- Masivo
- Capitado
- Lateral

2.-Embrión periférico: es alargado, arqueado, anular espirolobal o derecho. Los cotiledones son angostos o expandidos, pero son más pequeños que el tipo encurvadoo doblado, el perisperma es central o lateral.

3.-Embrión Axial o lineal: es largo angosto, usualmente derecho, aunque encorvado o espiralado, los cotiledones son pequeños y no se expanden. El endosperma puede estar presente o ausente.

- 3.1 Lineal
- 3.2. Enano
- 3.3. Micro

4.-Embrion axilar foliar:

- Espatulado
- Encorvado
- Doblado
- Revestido

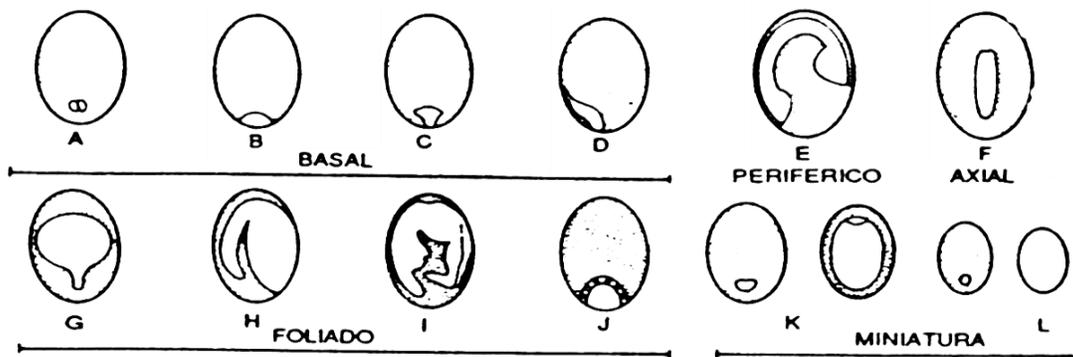


Figura 26: Tipos de embriones encontrados en diferentes semillas. A=rudimentario, B = ancho, C = capitado, D =lateral, E = periférico, F = lineal, G = espatulado, H = encorvado, I = doblado, J = invertido, K = enano, L = micro. Flores Vindas 1,989.

2.7.1.2. Los tejidos de almacenamiento

Las semillas acumulan energía en forma de carbohidratos, lípidos y proteínas, fuentes necesarias como precursores de esqueletos de carbón y una fuente de energía para ensamblar esos precursores. Los lípidos aparecen como cuerpos lípidos en el endosperma y el embrión.

El contenido de lípidos en las semillas varía, según la especie de que se trate, así, en girasol (*Helianthus annuus*) de un 30%, de un 50% en el higuerrillo (*Ricinus communis*),

el maíz (*Zea mays*) y maní (*Arachis hipogaea*). En otras especies como la el coco (*Cocos nucifera*), la palma africana (*Elaeis guianensis*) el contenido es superior.

Los carbohidratos se almacenan como almidón o en paredes gruesas compuestas de gran parte de hemicelulosas. Los cereales contienen entre un 70 a 80% de almidón y las leguminosas alrededor de 60%. El grupo de carbohidratos más importantes encontramos las mananas, encontradas en la datilera (*Phoenix dactylifera*), y en café (*Coffea arabica*). El otro grupo de carbohidratos son los xiloglucanos, que son amiloides que se encuentran en el endosperma o embrión en más de 2500 especies, ejemplos: *Tamarindus indica*, *Impatiens balsamina*, *Annona muricata*. El último grupo está representado por las galactanas, las que se localizan en los cotiledones del embrión como en el género *Lupinus*.

Las proteínas están presentes en casi todas las semillas, como fuente de nitrógeno que necesita la plántula para sus etapas iniciales. Las proteínas se almacenan como granos de aleurona los que contienen proteína cristaloides y cristales de oxalato de calcio. Las proteínas son necesarias para la síntesis de enzimas involucradas en la digestión de almidón.

El endosperma es utilizado en la definición de diferentes tipos de semilla. Los tejidos de almacenamiento en las semillas no endospermicas están representados por los cotiledones que son muy evidentes en este tipo de semillas. En las semillas endospermicas el tejido de reserva está representado por estructuras tales como el endosperma, el perisperma y para el caso de las gimnospermas en el gametofito femenino.

El endospermo o endosperma resulta de la fusión de un núcleo generatriz o espermático con los núcleos polares que se encuentran en el saco embrionario. En el caso de ocurrir una doble fusión en la fecundación el endosperma es $3n$, como en *polygonum*, *Allium*, *Adoxa* y *Oenothera*. El endosperma tiene que ver con el crecimiento y germinación del embrión. En los taxa *Ricinus*, *Allium cepa*, *Palmae*, y *Zea mays*, tienen semillas albuminosas, con una cantidad de grande de endosperma en la semilla madura. Existe endosperma nuclear, celular y helobial.

El perisperma, es un término genérico par los tejidos de almacenamiento de origen nuclear, en algunas especies desaparece tempranamente, pero en otras se mantiene dominante ejemplo: *Yucca* y *Coffea*.

2.7.1.3. Cubiertas de las semillas

Las cubiertas de las semillas o testa se derivan de los tegumentos del óvulo, pueden consistir en los tegumentos, los remanentes de la nucela y el endospermo y a veces partes del fruto. Las cubiertas externas de las semillas son características de las familias a que pertenece la especie vegetal. En algunos casos esta cubierta se vuelve dura e impermeable al agua, veremos más adelante como influyen estas cubiertas en la germinación de la semilla. En algunas especies las cubiertas de la semilla se mantienen adheridas el fruto en tal forma que la semilla y el fruto se manejan juntos, como semilla.

Las cubiertas de la semilla le proporcionan protección mecánica al embrión, permitiendo su transporte a grandes distancias o almacenarse por períodos prolongados. Las semillas bitégmicas la cubierta seminal consta de testa (tegumento externo) y tegmen (tegumento interno), cada uno con su propia abertura, en el tegumento externo lo constituye el exostoma y para el interno el endostoma. El exostoma y el endostoma conforman el micrópilo. En las semillas unitégmicas tienen una sola abertura (el micrópilo) y la cubierta seminal es la testa. En la cubierta seminal se localiza una cicatriz que es tipo funicular o hilo, que es donde se separa el funículo y la semilla. La cubierta seminal está constituida por los tegumentos, el tejido calazal y el tejido rafal. Aquellas semillas que presentan cubiertas seminales complejas son el resultado de divisiones anti y periclinales en los tegumentos.

Durante la diferenciación de la cubierta seminal pueden formarse: taninos, cristales, mucilagos, corcho o células esclerenquimáticas o colenquimáticas. El parénquima puede servir como tejido de almacenamiento como el colorénquima o aerénquima. Se pueden encontrar taninos en vacuolas los que pueden ser reservorios de alcaloides y su posible función es de protección contra predadores (hervívoros e insectos), contra patógenos (bacterias, hongos etc.) y de la luz. , además aumenta la dureza de la semilla y le da su color. La formación de capas de esclerénquima, en la epidermis, se dice que la semilla es exotestal. Pero la capa de esclerénquima puede estar en las capas medias del tegumento externo, de esa forma las semillas son mesotestales; en las semillas endotestales, la epidermis interna del tegumento externo la diferencia como un tejido mecánico. Si la diferenciación del esclerénquima ocurre en el tegumento interno, entonces las semillas se les denomina exotégmicas, mesotégmicas o endotégmicas de acuerdo con la posición del tejido, en mención.

En las cubiertas de semillas se encuentran estructuras especiales siendo las más importantes la carúncula y el estrofiolo. La carúncula es una protuberancia carnosa, que se origina por proliferación celular del tegumento externo en el exostoma; en *Ricinus communis* y *Euphorbia* y *Viola* la carúncula se le conoce con el sinónimo de ariloide. En semillas de la Mimosaceae hay una fisura o derpesión característica la que se le denomina pleurograma, está involucrada en el proceso de germinación, es típico en *Enterolobium cyclocarpum*, *Pithecellobium dulce*.

La testa puede ser suave como en *Pithecellobium arboreun*, *P. dulce*, dura como en *Tamarindus indica*, en conacaste, *Enterolobium cyclocarpum*.

La presencia de tricomas o alas en la testa es una característica asociada al mecanismo de dispersión de semilla de la especie. Así encontramos semillas aladas, mostrando diferentes tipos de alas; o semillas coronadas mostrando una corona en uno de los extremos de la semilla y crestadas con una o varias escrescencias en forma de costura y semillas verrucosas, mostrando pliegues o verrugas.

2.7.2. TIPOS DE SEMILLAS

Los diferentes tipos de semilla, se clasifican según la morfología del embrión y de las cubiertas de la semilla. A continuación describimos los diferentes tipos de semilla, según Hartman y Kester, 1,990.

2.7.2.1. Semillas endospérmicas: semillas con endospermo o perispermo dominantes como órganos de almacenamiento.

2.7.2.1.1. Embrión rudimentario: el embrión es muy pequeño o poco desarrollado, pero continua creciendo en la germinación. Ejemplos:

<i>MAGNOLIACEAE</i>	⇒ <i>Magnolia</i> .
<i>RANUNCULACEAE</i>	⇒ <i>Aquilegia, Delphinium</i> .
<i>PAPAVERACEAE</i>	⇒ <i>Eschscholtzia, Papaver</i> .
<i>FUMARIACEAE</i>	⇒ <i>Dicentra</i>
<i>ARALIACEAE</i>	⇒ <i>Fatsia</i>
<i>AQUIFOLIACEAE</i>	⇒ <i>Ilex</i>

2.7.2.1.2. Embrión lineal: El embrión está más desarrollado que en las semillas de la clase anterior y crece más durante la germinación. Ejemplos:

<i>APACEAE</i>	⇒ <i>Daucus</i> .
<i>ERICACEAE</i>	⇒ <i>Calluna, Rhododendron</i> .
<i>PRIMULACEAE</i>	⇒ <i>Cyclamen, Primula</i> .
<i>GENTIANACEAE</i>	⇒ <i>Gentiana</i> .
<i>SOLANACEAE</i>	⇒ <i>Datura, Solanum</i> .
<i>OLEACEAE</i>	⇒ <i>Fraxinus</i> .

2.7.2.1.3. Embrión miniatura: El embrión llena la mitad de la semilla. Ejemplos:

<i>CRASSULACEAE</i>	⇒ <i>Calluna, Heuchera, Hypericum</i> .
<i>BEGONIACEAE</i>	⇒ <i>Begonia</i> .
<i>SOLANACEAE</i>	⇒ <i>Nicotiana, Petunia, Salpiglossis</i> .
<i>SCROPHULARIACEAE</i>	⇒ <i>Antirrhinum, Linaria, Mimulus, Nemesia, Penstemon</i> .

LOBELIACEAE ⇒ *Lobelia*.

2.7.2.1.4. Embrión periférico: el embrión encierra a los tenidos del endosperma del perisperma. Ejemplos:

POLYGONACEAE ⇒ *Eriogonum*.

QUENOPODACEAE ⇒ *Kochia*.

AMARANTHACEA ⇒ *Amaranthus, Celosia, Gomphrena*.

NYCTAGINACEAE ⇒ *Abronia, Mirabilis*.

2.7.2.2. Semillas no endopérmicas: clasificadas de acuerdo con el tipo de cubiertas de la semilla.

2.7.2.2.1. Con cubiertas duras que restringen la entrada del agua

FABACEAE ⇒

GERANIACEAE ⇒ *Pelargonium*.

ANACARDIACEAE ⇒ *Rhus*

RHAMNACEAE ⇒ *Ceanothus*.

MALVACEAE ⇒ *Abutilon, Altea*.

CONVOLVULACEAE ⇒ *Convolvulus*.

2.7.2.2.2. Semillas de cubiertas delgadas con capa mucilaginosa.

BRASSICACEAE ⇒ *Arabis, Iberis, Lobularia, Mathiola*.

LINACEAE ⇒ *Linum*.

VIOLACEAE ⇒ *Viola*.

LAVIACEAE ⇒ *Lavandula*.

2.7.2.2.3. Cubiertas externas de las semillas leñosas, con una capa interna semipermeable.

<i>ROSACEAE</i>	⇒ <i>Geum, Potentilla.</i>
<i>ZYGOPHYLLACEAE</i>	⇒ <i>Larrea.</i>
<i>BALSAMINACEAE</i>	⇒ <i>Impatiens.</i>
<i>CISTACEAE</i>	⇒ <i>Cistus, Helianthemum.</i>
<i>ONAGRACEAE</i>	⇒ <i>Clarkia, Oenothera.</i>
<i>PLUMBAGINACEAE</i>	⇒ <i>Armeria.</i>
<i>APOCYNACEAE</i>	⇒
<i>POLEMONIACEAE</i>	⇒ <i>Phlox.</i>
<i>HDROPHYLLACEAE</i>	⇒ <i>Nemophila, Phacelia.</i>
<i>BORAGINACEAE</i>	⇒ <i>Anchusa.</i>
<i>VERBENACEAE</i>	⇒ <i>Lantana, Verbena.</i>
<i>LAVIACEAE</i>	⇒ <i>Coleus, Moluccela</i>
<i>DIPSACAEAE</i>	⇒ <i>Dipsacus, Scabiosa.</i>

2.7.2.2.4. Cubierta externa de la semilla fibrosa, con una capa membranosa más o menos semipermeable, incluyendo los remanentes del endospermo.

ASTERACEAE ⇒ *Muchas especies*

2.7.2.3. No clasificadas.

2.7.2.3.1. Embrión rudimentario, sin reserva alimenticia.

ORCHIIDIACEAE ⇒ *Orquídeas en general.*

2.7.2.3.2. Embrión miniatura modificado, situado en la periferia de la semilla.

POACEAE ⇒ *Gramineas en general.*

2.7.2.3.3 Embrión miniatura axilar, circundado por tejido gametofítico.

Gimnospermas, en particular las coníferas.

BIBLIOGRAFÍA

(s.f.).

Allard, R. W. (1980). *Principios de la mejora genética de las plantas* (Cuarta ed.). (J. L. Montoya, Trad.) Barcelona, España: Omega.

Avers, C. J. (1991). *Biología Celular*. (I. De León Rodríguez, & A. J. Pérez Zapata, Trads.) Mexico, Mexico: Iberoamericana.

Bonner, F. T., Vozzo, J. A., Elam, W. W., & Land Jr., S. B. (1994). *The seed Technology. Training Course. Instructor Manual*. New Orleans, United States of America. Recuperado el 30 de Julio de 2020, de https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/gtr/gtr_so106.pdf

Brauer, O. (1969). *Fitogenética aplicada*. (Primera ed.). México, México: Limusa-Wiley .

Brewbaker, J. (1967). *Genética Agrícola* (Primera ed.). (H. Sauza, Trad.) Ciudad de México, México: Uteha.

Congreso de la República de Guatemala. (1972). Ley orgánica del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. *Decreto 68-72(68-72)*. Recuperado el 21 de marzo de 2020, de https://www.congreso.gob.gt/detalle_pdf/decretos/3130

Cronquist , A. (1986). *Introducción a la Botánica* (Octava ed.). (A. M. Ambrosio, Trad.) México, México: CECSA.

Curtis, H., Schnek, A., & Barners, S. (2008). *Biología* (7a. ed.). (M. Panamericana, Ed.) https://www.academia.edu/28117021/Biologia._Curtis_-_Barnes_7ma_edici%C3%B3n_: Médica Panamericana. Recuperado el seis de junio de 2020, de https://www.academia.edu/28117021/Biologia._Curtis_-_Barnes_7ma_edici%C3%B3n_

Flores Vindas, E. (1989). *La planta: estructura y función*. San José, Costa Rica: Edición Tecnológica.

- Font Quer, P. (1985). *Diccionario de Botánica*. Barcelona, España: Labor S.S.
- Frankel, R., & Galun, E. (1977). *Pollination Mechanisms, Reproduction and Plant Breeding*. Berlin, Alemania: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Recuperado el 12 de junio de 2020
- Goodenough, U. (1978). *Genetics*. Kent, Great Britan: W & J Mackay Ltd.
- Harlan, J. R., & De Wet, J. (1971). Toward a rationa calssification of cultivated plants. *Taxon*, 509-517.
- Hartmann, H. T., & Kester, D. E. (1980). *Propagación de plantas*. México, México: CECSA.
- Hayes, H. K., & Immer, F. R. (1947). *Métodos Fitotécnicos*. (A. E. Marino, & S. Horovitz, Trads.) Buenos Aires, Argentina: AGME AGENCY.
- Herskowitz, I. H. (1987). *Principios de Genética*. México, México: Continental.
- López Pereira, M. (1999). Impacto de la investigación en mejoramiento de maíz. *Agronomía Mesoamericana*(10(2)), 111-131. Recuperado el 21 de marzo de 2020, de http://www.mag.go.cr/rev_meso/v10n02_111.pdf
- Márquez, F. (1985). *Genotecnioa Vegetal. Métodos, Teoría y Resultados* (Vol. Tomo I. Primera Parte. Capítulo 1). México D.F., México: AGT.
- Mendel, G. (1865). The Electronic Scholarly Publishing Project. 41. (T. E. Project, Ed.) Recuperado el 24 de marzo de 2020, de <http://www.esp.org/about/site/>
- Poehlman, J. (1979). *Mejoramiento genético de las cosechas*. Mexico: Limusa.
- Reyes Castañeda, P. (1985). *Fitogenotecnia. Básica y Apliicada*. (Primera ed.). México D.F., México: AGT.
- Robles, Sanchez, R. (1982). *Terminología genética y fitogenética*. México, México: Trillas.
- Ruiza, M., Fernández , T., & Tamaro , E. (2004). Biografía de Gregor Mendel. Barcelona, España. Recuperado el 24 de marzo de 2020, de <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/m/mendel.htm>

- Ruiza, M., Fernandez, T., & Tamaro, E. (2004). Bibliografías y vidas. La enciclopedia en línea. *Biografía de Thomas Hunt Morgan*. Barcelona, España. Recuperado el 10 de junio de 2020, de https://www.biografiasyvidas.com/biografia/m/morgan_thomas.htm
- Sánchez Monge, E. (1959). *Fitogenética (Mejora de plantas)*. Barcelona, España: Salvat. Recuperado el 19 de marzo de 2020, de file:///C:/Users/Usac/Downloads/Sanchez-MongeE_Fitogen_1955.pdf
- Simmonds, N. W. (1979). *Principles of crop improvement* (First ed.). New York, United States of America: Longman.
- Stansfield, W. D. (1991). *Genética* (Segunda ed.). (E. Fraga, Escamilla, Trad.) México, México: McGRAW-HILL.
- Vallejo Cabrera, F. A., & Estrada Salazar, E. I. (2002). *Mejoramiento Genético de plantas*. Palmira, Colombia. Recuperado el 26 de Julio de 2020, de https://www.academia.edu/24265572/Vallejo_Franco_Mejoramiento_Genetico_de_Plantas?auto=download
- Welsh, J. (1981). *Fundamentals of plant genetics and breeding*. New York, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.