

UNIDAD V

5. EVOLUCIÓN, ORIGEN Y VARIABILIDAD DE LAS PLANTAS CULTIVADAS

El entendimiento de la diversidad de las plantas cultivadas es un requisito indispensable para entender los recursos genéticos vegetales o recursos fitotegénéticos. Estos recursos “comprenden la diversidad genética correspondiente al mundo vegetal que se considera poseedora de un valor para el presente o el futuro.” A lo largo del proceso evolutivo del hombre se calcula que ha utilizado unas 10,000 especies de plantas comestibles produciéndose una coadaptación entre el hombre y sus plantas cultivadas y entre éstas y su ambiente” (Esquinas-Alcazar, 1993, pág. 82)

Se acepta que las plantas cultivadas evolucionaron de especies silvestres bajo la influencia del hombre. En tal sentido la identificación de los progenitores silvestres de las plantas cultivadas es de gran importancia.

Para entender el proceso de evolución de las plantas cultivadas, debe discutirse primeramente sobre: “Las causas, el lugar y tiempo del origen de la agricultura y los patrones de diversidad genético vegetal que se han propuesto. Tanto la evolución como la variabilidad genética son de mucha importancia para el fitomejorador ya que en última instancia comprende la materia prima que se utilizará en el proceso del mejoramiento genético vegetal.

5.1 EL ORIGEN DE LA AGRICULTURA:

Siempre ha existido duda del como, cuando y donde surgió la domesticación de las plantas y su cultivo.

Existe acuerdo entre los científicos de que la agricultura se inició hace unos - 10,000 a 11,000 años atrás, en varias partes del mundo; sin embargo, sólo existen hipótesis, así se cree que a finales del período glacial del pleistoceno el clima empezó a mejorar principalmente en áreas cercanas al ecuador lo que permitió mejores condiciones de crecimiento para las plantas. Para su subsistencia, el humano tuvo que recurrir a lo que le rodeaba.

Existieron dos tipos de economías de subsistencia pre-agrícolas, sugeridas por Harris en 1969, estas se describen a continuación:

- a) El cazador especializado: cuya dependencia para subsistir era de muy pocos animales.
- b) El colector, cazador, pescador quien explotaba un amplio espectro de Recursos alimenticios: provenientes de varias especies de plantas y animales.

Fue el segundo tipo de economía de subsistencia que según Harris, la que seguramente inició la domesticación de plantas ya que era menos nómada y estaba más familiarizado con las plantas que le rodeaban que el otro tipo de población. (Ford-Lloyd & Jackson, 1986, pág. 11)

Con relación al momento en que surgió la agricultura, “Basados en evidencias arqueológicas de las plantas cultivadas podemos decir que la agricultura se inició hace unos 10,000 años en varias partes del mundo. Fue a finales del último período glacial conocido como Pleistoceno, en el cual, el clima mejoró tremendamente, en especial a las cercanías del Ecuador, el hielo se retrajo y ocurrieron condiciones ambientales favorables para el crecimiento de las plantas (Ford-Lloyd & Jackson, 1986, pág. 10).

5.2 ÁREAS EN LAS CUALES SE DESARROLLÓ LA AGRICULTURA:

Con relación a los lugares donde se originó la agricultura, “De manera sorprendente existe un acuerdo entre los investigadores que existen tres zonas denominadas cunas de la agricultura. De estos lugares se extendió la agricultura hacia otros lugares del mundo. La primera es Tailandia hace unos 13,000 años; El cercano oriente, hace unos 11,000 años y Méjico, hace unos 8000 años. (Ford-Lloyd & Jackson, 1986, pág. 16)

De Candolle (1882) y Vavilov (1926) concuerdan en proponer que la agricultura ó domesticación de las plantas cultivadas parece haber ocurrido en distintas áreas bien definidas en el planeta, principalmente ubicadas en los trópicos y subtropicos y generalmente (aunque no siempre cierto) en regiones montañosas, presencia de grupos etnográficas.

Las evidencias arqueológicas nos llevan a proponer 3 áreas en las que se originó la agricultura y probablemente en forma independiente y más o menos al mismo tiempo:

Sur-occidente de Asia (Turquía, Siria, Líbano, Israel, Irak, Kuwait, Arabia Saudita, etc.).

Mesoamérica (Sur-México hasta Costa Rica)

China (República Popular China)

Con relación a como se originó la agricultura, existen varias hipótesis, pero veremos la siguiente.

La hipótesis de la basura amontonada, fue propuesta primeramente por Engelbrecht 1916 y más tarde ampliada por el genetista americano Edgar Anderson (1969). En la que sugieren que las malezas ecológicas o plantas de sucesión primaria colonizaron áreas alrededor de los lugares donde habitaba el hombre, en alguna oportunidad, estas fueron tomadas por él y sometidas al cultivo. Algunas semillas de plantas fueron tomadas por el hombre, las que más le interesó y las que no interesaron, las descartó; esta íntima la relación hombre-planta, hizo que el

hombre tomará aquellas malezas que le gustaron y descartar aquellas que no le eran palatables (nunca las domesticó). (Ford-Lloyd & Jackson, 1986, pág. 12)

Para que ocurriera el fenómeno de la agricultura, un investigador Inglés, de nombre "Hawkes, indico que para el desarrollo de la agricultura fue necesario de 3 etapas a saber: a) Arribo y colonización de las especies vegetales; b) Cosecha de alguna de ellas y c) Siembra de las semillas cosechadas" (Ford-Lloyd & Jackson, 1986, pág. 12).

Al principio el hombre consumió las cosechas de especies completamente silvestres, luego inició a seleccionar de aquellos caracteres que le interesaban de cada especie, consecuentemente las mutaciones que ocurrían en las especies y que el hombre las consideró como ventajosas fueron sujetas de selección y se perpetuaron en los genotipos de plantas de su interés.

5.3 LA DOMESTICACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LAS PLANTAS CULTIVADAS:

Las plantas domesticadas están adaptadas permanentemente a los hábitats que el hombre a preparado para ellas. A este respecto De Wet y Harlan (1975) y De Wet (1979), han sugerido que "la domesticación de las plantas" es una evolución de estas en un ambiente hecho por el hombre, a tal grado que se hacen casi dependientes del hombre no solo para su hábitat sino también para su propagación.

El proceso de domesticación de plantas ha traído como consecuencia: cambios fenotípicos en las especies, cambios en la biología reproductiva y características que hacen a los vegetales aceptables para el hombre. Los cambios más dramáticos observados son por ejemplo:

- a) Gigantismo, especialmente en las partes de la planta que el hombre utiliza, semillas, frutos, hojas, etc. El tamaño es una característica muy importante al examinar restos arqueobotánicos.
- b) Pérdida de mecanismos naturales de dispersión de semillas. Eje frijol cultivado casi perdió el mecanismo de dispersión lo que ha afectado la capacidad de reproducción de la especie trigo que tiraba semilla al madurar el hombre seleccionó en contra de esta característica.
- c) Incremento de la capacidad de adaptación. En el cual durante la domesticación las plantas cultivadas se ponen en contacto con otras especies silvestres, con las que intercambian genes. Así mismo se exponen a otras condiciones climáticas tal el caso del trigo para pan *T. aestivum* que su amplia adaptabilidad se debe a genes del pasto de cabra *Aegilops* spp. (silvestre).
- d) Reducción de la fertilidad sexual en plantas propagadas vegetativamente como yuca, camote, etc.
- e) Cambios en la biología reproductiva de Alógamas - Autógamas para que las especies cultivadas saquen ventaja del hábitat hecho por el hombre, ejemplo es el de una planta alógama y el Tomate silvestre a tomate cultivado es Autógama. (Ford-Lloyd & Jackson, 1986, págs. 14-15)

5.4 PATRONES DE DIVERSIDAD DE LAS PLANTAS CULTIVADAS Y ALGUNAS HIPOTESIS SOBRE SU ORIGEN.

5.4.1. El origen de las plantas cultivadas

“El origen de las plantas cultivadas fue una problemática que les preocupaba a los historiadores, a los arqueólogos, y a los agrónomos. Esta problemática fue abordada primeramente por Alfonso de Candolle (1885) Carlos Darwin. Sin embargo, el clásico trabajo de Alfonso de Candolle “L'Origine des Plantes Cultivées” (El origen de las plantas cultivadas) de 1882 ocupa todavía una posición excepcional entre la extensa serie de publicaciones dedicadas a este problema” (Vavilov, 1951, pág. XXI).

De Candolle era Botánico, “Fue el primero que hizo la distinción entre las especies originarias del Nuevo Mundo y las originarias del Viejo Mundo; indicó por ejemplo que algunas especies de algodón y de la Vid eran características exclusivamente de América, mientras que otras lo eran de Asia”. (Vavilov, 1951, pág. 2)

Para determinar el país de origen de las plantas cultivadas “De Candolle se basó en la presencia en alguna localidad, de una determinada planta cultivada al estado salvaje, o en la presencia de sus parientes salvajes más próximos. Este es el método botánico tal como lo consigió de Candolle quien indicó como métodos auxiliares el arqueológico, el histórico y lingüístico” (Vavilov, 1951, pág. 3).

De Candolle indicaba que las especies cultivadas se derivan de especies silvestres que existen actualmente y que solo han sufrido modificaciones por el cultivo. Ponía el ejemplo de la zanahoria cultivada lo cual sería la misma que la sp. silvestre solo que la cultivada tenía la raíz engrosada por el cultivo, pero que al plantarla en el bosque la raíces retornarían a su forma silvestre y no sería comestible. Casi no hizo aportes en cuanto a la variación de las plantas. Estableció algunas áreas de domesticación intensificaba la variabilidad, lo que es aceptado.

Uno de los científicos que ha dado notables aportes en cuanto a la diversidad vegetal y el origen de las especies cultivadas fue indiscutiblemente Nikolái Ivánovich Vavílov. La información más relevante de este científico, es la siguiente:

Botánico y genetista ruso, nacido el 23 de noviembre de 1887 y muerto a los 56 años, el 26 de enero de 1943. Inicia sus primeros estudios especializados en el instituto de Agricultura de Moscú. En 1913, consigue una beca para estudiar en la Escuela de Horticultura de Londres (John Innes Horticultural Institution of London). Posteriormente, estudiará genética con [William Bateson](#), uno de los fundadores de esta ciencia en la Universidad de Cambridge. En Londres conoce a Francis Darwin, hijo de [Charles Darwin](#). Entre 1916 y 1933 dirige y realiza personalmente expediciones a una gran cantidad de países como Irán, China, países mediterráneos, Etiopía, Afganistán, México y otras muchas regiones de Centro y Sudamérica. Realizó herborizaciones de unas 50.000 especies y variedades de plantas silvestres. En 1920 traza las líneas generales de la teoría, que establece ocho centros principales de difusión de las especies y tres secundarios. Con la muerte de Lenin y la subida al poder de [J. Stalin](#) su vida y la de las instituciones por

él fundadas cambiarían radicalmente. Fue confinado en una cárcel secreta de la KGB en Moscú. En 1938, Vavilov fue destituido de la presidencia de la Academia de Ciencias Agrícolas de la URSS y Lisenko fue nombrado en su lugar. Posteriormente, el gobierno soviético absolvió a Vavilov simbólicamente de todas las acusaciones por las que fue condenado en vida. (mcmbiografias.com, 2020)

Vavilov, como lo hemos indicado, realizó muchas expediciones al rededor del mundo y colectó muestras de las especies vegetales cultivadas y también de sus parientes silvestres, estas semillas se plantaron en Rusia y fueron sujetas a muchos estudios. Para establecer los centros de origen *sensu* Vavilov, se utilizó el método fitogeográfico diferencial; el cual consistió en lo siguiente:

- a) La diferenciación de una planta determinada en especies linneanas y grupos genéticos, con la ayuda de distintos métodos: morfológico, taxonómico, de hibridación, citológico, de reacción a parásitos, etc.
- b) En la determinación de las áreas ocupadas por estas especies, si es posible hasta en épocas remotas cuando las comunicaciones eran más difíciles que en la actualidad.
- c) En la determinación detallada de las variedades o razas (más exactamente, de los caracteres hereditarios variables) de cada especie Linneana y del sistema general de la variación hereditaria;
- d) En el establecimiento de la distribución de la diversidad hereditaria de las formas de una especie determinada en diferentes regiones y países y en la determinación de los centros geográficos donde está concentrada esta diversidad. Las regiones que presentan la diversidad máxima y que suelen incluir asimismo una serie de formas y caracteres endémicos, son generalmente centro de origen de formas.
- e) Utilizar documentos arqueológicos, históricos y lingüísticos, nos acercamos cada vez más a la determinación de los verdaderos centros de origen, tomando consideración las épocas geológicas que son accesibles a nuestros estudios. (Vavilov, 1951, págs. 6-9)

5.4.2. Los centros de origen de las plantas cultivadas *sensu* Vavilov

Sobre la base de los estudios anteriores Vavilov propuso **la hipótesis de los “Centros de origen de las plantas cultivadas”**. En unidades posteriores profundizaremos sobre el estudio de Vavilov. Estos centros se encuentran entre los 20° latitud Norte y 45° latitud sur, en regiones montañosas. (Ford-Lloyd & Jackson, 1986, pág. 17)

Según Zohary (1970) aunque para algunas especies cultivadas se ha demostrado que existen en el mundo áreas de “alta diversidad” a las que Vavilov llamó “centros de origen” son tan solo interpretaciones de eventos biológicos. (Ford-Lloyd & Jackson, 1986, pág. 19)

En tal sentido los centros de diversidad son centros de origen *Sensu Vavilov*. propuso 5 centros de origen para el viejo mundo y un subcentro (el centro Indo Malayo) y 2 para el nuevo mundo, con 2 subcentros (el centro de Chiloé yel centro Braziliano paraguayo). Ver figura siguiente para su ubicación.

Las series homologas de variación fue otro aporte de Vavilov, en la que plantea que similares patrones de variación fueron observados en en dos o más especies no relacionadas en un área determinada. Ejemplo muchos cereales como el trigo y el centeno se les ha encontrado con una espiga de similares características en una región. pues las especies esponden similarmente a una misma presión de selección natural. (Kupzow, 1975, pág. 374)

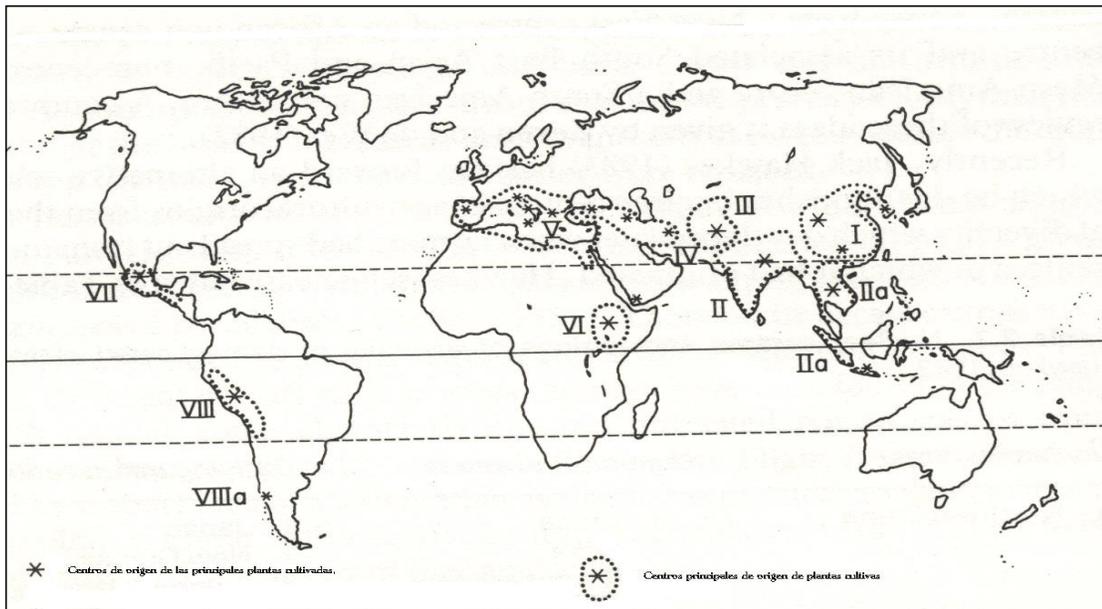


Figura 1: Centros mundiales de origen de las plantas cultivadas según N. I. Vavilov 1,951

En la figura anterior se identifican los principales centros mundiales de origen de las plantas cultivadas, a continuación, se reportan las principales plantas cultivadas que se originaron en cada uno de los centros. Unos listados de estas plantas son reportadas por Ford-Lloyd y Jackson, quienes las tomaron de D. Zohary. (Ford-Lloyd & Jackson, 1986, págs. 17-18)

I. Centro Chino (China central y occidental)

Nombre científico	Nombre común
-------------------	--------------

<i>Avena nuda</i>	Avena desnuda (Centro secundario de origen)
<i>Glycine max</i>	Soya
<i>Phaseolus angularis</i>	Frijol Adzuki
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Frijol (formas recesivas, centro secundario)
<i>Phyllostachys spp</i>	Bambúes pequeños
<i>Brassica juncea</i>	Mostaza de hoja (centro secundario de origen)
<i>Prunus americana</i>	Albaricoque
<i>Prunus persica</i>	Melocotón
<i>Citrus sinensis</i>	Naranja
<i>Sesamum indicum</i>	Ajonjolí (grupo endémico de variedades enanas; centro secundario de origen)
<i>Camellia sinensis</i>	Té Chino

II. Centro Indio (comprende Assam y Birmania)

Nombre científico	Nombre común
<i>Oryza sativa</i>	Arroz
<i>Eleusine coracana</i>	Mijo de dedo
<i>Cicer arietinum</i>	Garbanzo
<i>Phaseolus aconitifolius</i>	(se reporta un sinónimo que es <i>vigna aconitifolius</i>) se le conoce como frijol polilla.
<i>Phaseolus calcaratus</i>	Frijol arroz
<i>Dolichos biflorus</i>	Gramo de caballo
<i>Vigna sinensis</i>	Frijol esparrago
<i>Solanum melongena</i>	berengena
<i>Raphanus caudatus</i>	Rábano cola de rata
<i>Colocacia antiquorum</i>	Malanga ñame
<i>Cucumis sativus</i>	Pepino
<i>Gossypium arboreum</i>	Algodón de palo, 2X

<i>Corchorusolitorius</i>	Yute (fibra)
<i>Piper nigrum</i>	Pimienta
<i>Indigofera tinctoria</i>	Indigo

II a. Centro Indo malayo (comprende Indochina, el Archipiélago Malayo)

Nombre científico	Nombre común
<i>Dioscorea spp.</i>	Ñame
<i>Citrus maxima</i>	Pomelo
<i>Mussa sp</i>	Banano
<i>Cocus nucifera</i>	Coco

III. Centro de Asia central (comprende el Noreste de la India: Punjab, frontera noroeste y Kashmir, Afganistan, Tadjikistan, Uzbekistaán y Tian-Shan occidental)

Nombre científico	Nombre común
<i>Tricum aestivum</i>	Trigo panadero
<i>Tricum compactum</i>	Trigo club o trigo racimoso
<i>Triticum sphaerococcum</i>	Trigo de tiro
<i>Secale cereale</i>	Centeno (harina de pan y whisky) centro secundario de origen
<i>Pisum sativum</i>	Arveja
<i>Lens culinaris</i>	Lenteja
<i>Cicer arietinum</i>	Garbanzo
<i>Sesamum indicum</i>	Ajonjolí (uno de los centros de origen)
<i>Linum usitatissimum</i>	Lino o linaza (uno de los centros de origen)
<i>Carthamus tinctorius</i>	Cártamo o alazor (extrae aceite de la semilla). (uno de los centros de origen)
<i>Daucos carota</i>	Zanahoria (centro básico de variedades asiáticas)
<i>Raphanus sativus</i>	Rábano (uno de los centros de origen)

<i>Pyrus communis</i>	Pera
<i>Malus pumilla</i>	Manzana
<i>Juglans regia</i>	Nuez

IV. **Centro del cercano Oriente (comprende el interior de Asia Menor, toda Transcaucasia, Irán y las tierras altas de Turkmenistán)**

Nombre científico	Nombre común
<i>Triticum monococcum</i>	Trigo Einkorn o escanda (2X= 14)
<i>Triticum durum</i>	Trigo duro, candeal, moruno, semolero, siciliano o fanfarrón (2X=28) usado para pan, pero más para sémola y pastas
<i>Triticum turgidum</i>	Trigo resistente al calor
<i>Triticum aestivum (T. vulgare)</i>	Trigo de pan (endémico, sin aristas, uno de los centros de origen)
<i>Hordeum vulgare</i>	Cebada endémica del grupo cultivado con dos hileras. Para fermentar se produce la malta materia prima de la cerveza
<i>Secale cereale</i>	Centeno
<i>Avena byzantina</i>	Avena roja
<i>Cicer arietinum</i>	Garbanzo (centro secundario)
<i>Lens culinaris</i>	Lenteja (una gran cantidad de grupos endémicos)
<i>Pisum sativum</i>	Arveja (gran grupo de endémicas, segundo centro de origen)
<i>Medicago sativa</i>	Alfalfa azul
<i>Sesamum indicum</i>	Ajonjolí (grupo geográficamente separado)
<i>Linum usitatissimum</i>	Lino o linaza (muchas variedades endémicas)
<i>Cucumis melo</i>	Melón
<i>Prunus amygdalus</i>	Almendra
<i>Ficus carica</i>	Higo

<i>Punica granatum</i>	Granada
<i>Vitis vinifera</i>	Uva
<i>Prunus armeniaca</i>	Albaricoque (uno de los centros de origen)
<i>Pistacia vera</i>	Pistacho (uno de los centros)

V. Centro del Mediterráneo (comprende las costas del mar mediterraneo)

Nombre científico	Nombre común
<i>Triticum durum</i>	Trigo duro
<i>Avena strigosa</i>	Avena con cascara
<i>Vicia faba</i>	Haba
<i>Brassica oleracea</i>	Repollo
<i>Olea europea</i>	Olivo
<i>Lactuca sativa</i>	Lechuga

VI. Centro Abisinio (comprende lo que hoy es Etiopía, Eritrea y parte de Somalia)

Nombre científico	Nombre común
<i>Triticum durum</i>	Trigo duro (Asombrosa riqueza de formas)
<i>Triticum turgidum</i>	Trigo Poulard (Asombrosa riqueza de formas)
<i>Triticum dicoccum</i>	Emmer
<i>Hordeum vulgare</i>	Cebada (Asombrosa riqueza de formas)
<i>Cicer arietinum</i>	Garbanzo
<i>Lens culinaris</i>	Lenteja
<i>Eragrostis tef</i>	Teff
<i>Eleusine coracana</i>	Mijo de dedo
<i>Pisum sativum</i>	Arveja (uno de los centros)
<i>Linum usitatissimum</i>	Lino o Linaza

<i>Sesamum indicum</i>	Ajonjolí (centro básico)
<i>Ricinus communis</i>	Frijol de castor
<i>Coffea arabica</i>	Cafeto

VII. Centro Sur Mexicano y Centro Americano (comprende Méjico, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica)

Nombre científico	Nombre común
<i>Zea mays</i>	Maíz
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Frijol común
<i>Capsicum annum</i>	Chile
<i>Gossypium hirsutum</i>	Algodón americano
<i>Agave sisalana</i>	Cáñamo de sisal
<i>Cucurbita spp.</i>	Calabacin, Calabaza

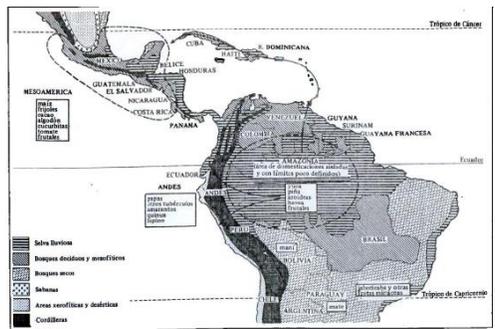


Fig. 43. AMÉRICA TROPICAL. Límites teóricos de Mesoamérica, Andes y Amazonia: líneas discontinuas. Direcciones principales de la expansión de los cultivos en líneas continuas.

Figura 9. El centro origen Sur Mexicano y Centro Americano, según Vavilov. Tomado de (León, 2000, pág. 33)

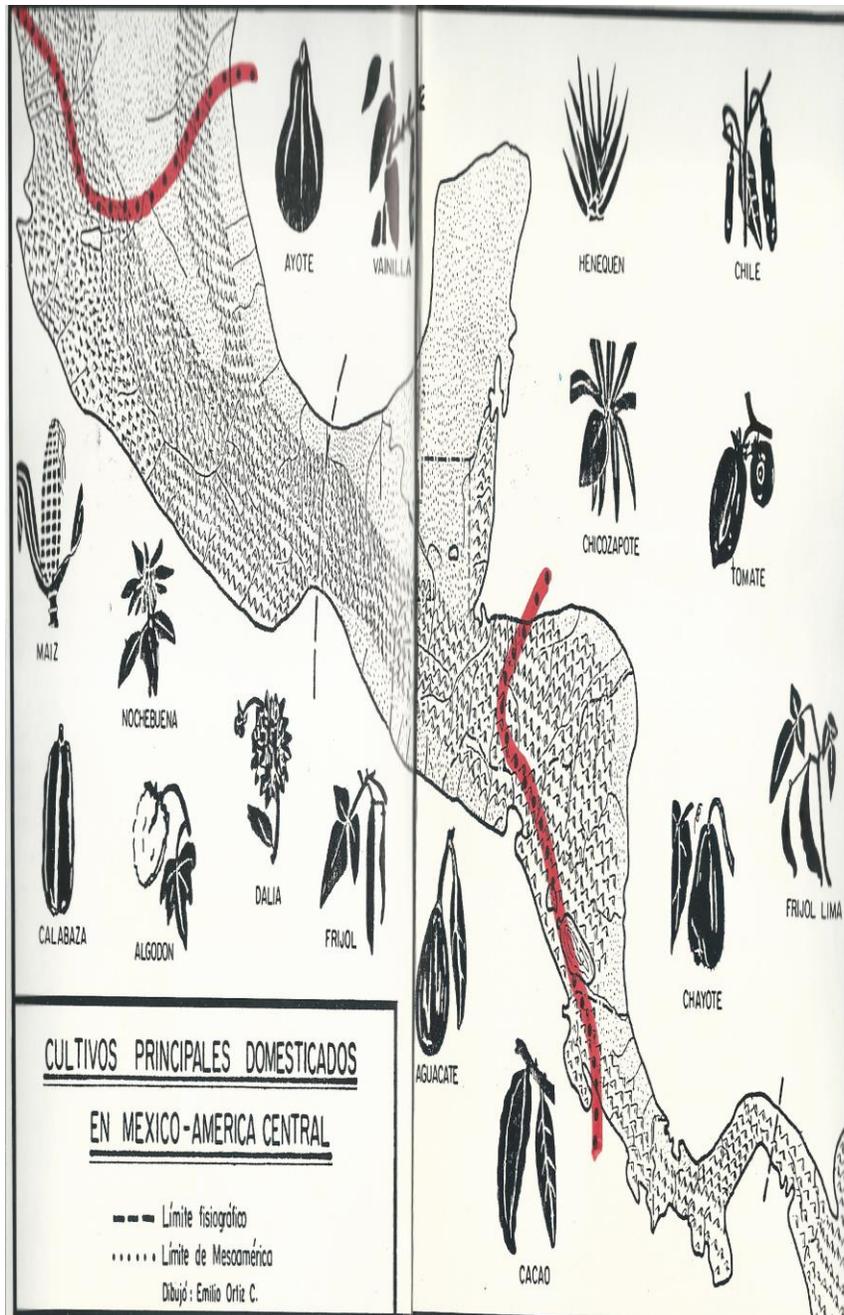


Figura 10. Cultivos que fueron domesticados en Mesoamérica. Fuente: (Programa de Recursos Genéticos CATIE/GTZ, 1979, pág. 30)

VIII. Centro Sur Americano (Perúviano, ecuatoriano y boliviano)

Nombre científico	Nombre común
<i>Ipomoea batatas</i>	Camote o papa dulce
<i>Phaseolus lunatus</i>	Frijol lima
<i>Lycopersicon esculentum</i> (hoy <i>Solanum lycopersicon</i>)	Tomate
<i>Gossypium barbadense</i>	Algodón de isla del mar (4x)
<i>Carica papaya</i>	Papaya
<i>Nicotiana tabacum</i>	Tabaco

VIII a. Centro de Chiloé (Isla próxima al Costa Sur de Chile)

Nombre científico	Nombre común
<i>Solanum tuberosum</i>	Papa

VIII b. Centro brasileño –paraguayo

Nombre científico	Nombre común
<i>Manihot esculenta</i>	Yuca
<i>Arachis hipogea</i>	Maní o manía
<i>Theobroma cacao</i>	Cacao (Centro secundario)
<i>Hevea brasiliensis</i>	Hule
<i>Ananas comosa</i>	Piña
<i>Passiflora edulis</i>	Granadilla morada

5.4.3. Importancia de los centros de origen de las plantas cultivadas

De acuerdo a los estudios de diversidad realizada alrededor del mundo se acepta que la diversidad biológica no está distribuida de manera uniforme, por el contrario, tal como lo indica Vavilov existen áreas geográficas con mayor diversidad que otras. Estas áreas llamadas centros de origen constituyen áreas potenciales con mucha riqueza florística y faunística que le sirve hoy al hombre pero que potencialmente es una reserva biológica para la subsistencia del hombre en la tierra.

Para tener una idea de la riqueza florística que tiene Guatemala, Veliz Perez (2008), afirma que:

La diversidad florística de Guatemala cuenta actualmente con 321 familias, 2,478 géneros y 10,317 especies (incluyendo algas, líquenes, hongos y hepáticas), de las cuales se conocen 20 especies de algas, 376 de hongos, 168 de líquenes, 195 de hepáticas, 782 de helechos, 527 de musgos, 58 de coníferas, 2,352 de monocotiledóneas y 5,839 de dicotiledóneas. De toda esta diversidad, 823 especies presentan algún tipo de endemismo y 538 se restringen a Guatemala. En la misma República de Guatemala, distribución de la flora no es uniforme, y se reporta que existen regiones con mayor incidencia de endemismo, tales como la sierra de las Minas, la sierra de los Cuchumatanes, la montaña de Xalapán, el cerro San Gil-sierra Santa Cruz, el Trifinio, el Arco Húmedo Norte que comprende desde Izabal hasta Huehuetenango, el pie de monte volcánico y las zonas semiáridas que incluyen el monte espinoso y áreas aledañas. (p. 261)

Es importante señalar que Guatemala además de su riqueza florística también presenta una diversidad cultural, representada por grupos mayas, garífonas y xincas que están distribuidos en diferentes zonas geográficas del país. Una distribución de los idiomas de los pueblos indígenas de Guatemala lo observamos en el mapa de Richards, reportado por Quezada et. al. Lo anterior es una explicación de la presencia de cultivos agrícolas nativos que fueron domesticados en la zona mesoamericana a la que pertenece Guatemala y que forma parte de la agrobiodiversidad del país. De tal suerte que es muy común escuchar que Guatemala tiene riqueza en Recursos Fitogenéticos. En párrafos anteriores, según los estudios de Vavilov, el centro de origen conocido como Mesoamérica al que pertenece Guatemala o Centro de origen Sur Mexicano y Centro Americano *sensu Vavilov* se reporta riqueza en diversidad de especies cultivadas como, chile (*Capsicum annuum*), Chilacayote (*Cucurbita ficifolia*), guisquil o Zapallo (*Cucurbita moschata*) Camote (*Ipomoea batatas*) Frijol Lima (*Phaseolus lunatus*) Frijol común (*Phaseolus vulgaris*) Maíz (*Zea mays*), miltomate (*Physalis ixocarpa*) Tomate rojo (*Lycopersicon esculentum*) y otros. Ver figura sobre los cultivos de Mesoamérica.

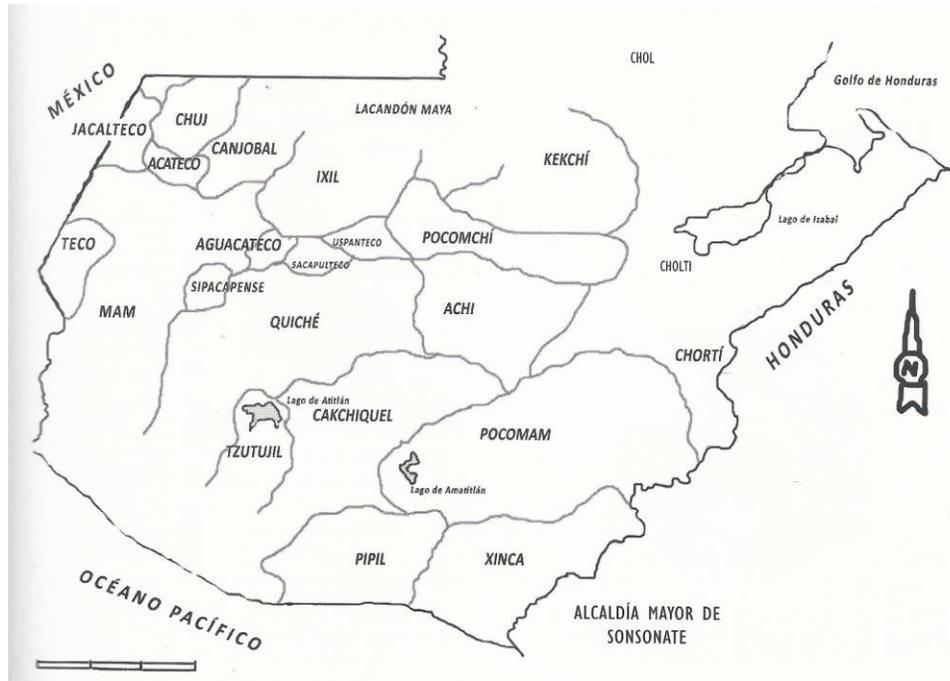


Figura 11. Distribución de los idiomas de los pueblos indígenas en el año 1700. Fuente: Richards (2003). Tomado de (Quezada, Carlos; Ayala, Helmer; Arana, Malco; Martínez, Vicente;, 2008)

Además de pertenecer al centro de origen de plantas cultivadas, hemos indicado anteriormente que De Candolle (1882) y Vavilov (1926) indican que Mesoamérica también se considera como una de las regiones en donde probablemente se originó la agricultura.

Los centros de origen, para los fitomejoradores, constituyen áreas geográficas de gran importancia para el mejoramiento genético de las especies cultivadas ya que existe la posibilidad de encontrar diversidad genética o genes con características deseables (resistencia a plagas, enfermedades, condiciones climáticas, etc.) que se encuentran en los llamados parientes silvestres de las plantas cultivadas.

5.4.4. Los Recursos Fitogenéticos

Los Recursos Fitogenético se entiende como cualquier material genético de origen vegetal de valor real o potencial para para suplir las necesidades de la humanidad (alimentación, vestuario, vivienda, ornamentación etc.). Los Recursos Fitogenéticos comprenden las siguientes categorías.

a) Variedades tradicionales o autóctonas de especies cultivadas.

En Guatemala se encuentra una abundancia de este tipo de materiales genéticos especialmente en cultivos como maíz, frijol, chiles, cucúrbitas (ayote, güicoy, chilacayote, pepitoria, etc.). Algunos autores les llaman cultivares primitivos en vista que han estado en

esas localidades durante muchos años atrás. Maíces como los arriquines, cuarenteños, salpores etc., en el caso de frijol los nombres de rabia de gato, pecho amarillo, son algunos nombres que identifican a este tipo de materiales genéticos.



Figura 12: Diversidad de Chiles (*Capsicum* spp.). Tomado de Miguel Carravedo Fantova, Zaragoza, España.

En un estudio realizado en el Oriente del país, con el objeto de recolectar y caracterizar algunas variedades de frijol, consideradas tradicionales en el municipio de Ipala del Departamento de Chiquimula. Se elaboró un catalogo de los materiales genéticos encontrados cuyos nombres se reportan en el cuadro siguiente. (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)., 2011)

Cuadro 1. Nombre de 25 cultivares de frijol del municipio de Ipala, Chiquimula considerados como variedades tradicionales, probablemente “nativos”.

COPANECO	SAN FRANCISCO
ROSITA	FRIJOL HOMBRE
MEDIA GUIA	PATÓN DE SOPE
RABIA DEL GATO	VAINA ROSADA
ARBOLITO	RIENDA
TURRIALBA	VERDE AMARILLO
SURIN SEDA NEGRA	CORDELIN
AMERICANO	CHAPIN
VAINA BLANCA	PATUDO
VAINA MORADA PATA DE SOPE	TALETE
SAN JACINTO	JAMAPA
PECHO AMARILLO	CHIVOLO
VAINA MORADA	

Fuente: (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)., 2011)

b) Variedades comerciales.

Corresponde a los materiales genéticos provenientes de programas de mejoramiento genético moderno, tales como variedades, híbridos, sintéticos, líneas etc. Son ejemplos el híbrido ICTA HB-83 de maíz blanco, la variedad ICTA Lijero de frijol.

c) Materiales de mejora o componentes genéticos.

Son los distintos materiales genéticos que los fitomejoradores obtienen en el transcurso de la obtención de un híbrido o una variedad, ejemplo líneas endogámicas, mestizos, etc.

d) Parientes silvestres de las plantas cultivadas.

En el proceso de domesticación que ocurrió hace muchos años el hombre domesticó una especie pero dejó a otra especies o especies relacionadas en estado silvestre, probablemente porque evolucionaron juntas. Además ocurre en los centros de origen como Mesoamérica que la especie silvestre que se domesticó una muestra que tomó el hombre cambio su genotipo pero el resto de las muestras se quedaron en estado silvestre. Para Guatemala es común en alturas de 800 a 1500 msnm encontrar frijoles silvestres (*Phaseolus vulgaris var silvestres*). (Azurdia, 2008, págs. 425-427) . (Vásquez, 1995)

Para el caso de maíz (*Zea mays*), su pariente silvestre más cercano el “Teocinte (*Zea mays sp. mexicana*) crece en forma espontánea en las montañas de Huehuetenango y localidades de Jutiapa” (Azurdia, 2008, pág. 425). (Vásquez, 1995)

Otro caso interesante, es quizás el el pariente silvestre de la papa cultivada (*Solanum tuberosum*) “el cual crece en las montañas de los Cuchumatanes que es una papa silvestre conocida como *Solanum demissum*, de donde se obtuvo resistencia para la enfermedad conocida como tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*)” (Azurdia, 2008, pág. 427). (Vásquez, 1995)



Figura 13: N:I: Vavilov colectando Teocinte en México y al lado derecho la fotografía de un espécimen de Teocinte colectado en Jacaltenango Huehuetenango, muestra del herbario Bigua de la facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC.

Muchas especies que crecen de forma espontanea son utilizadas como alimento o medicina por los pobladores de las áreas donde estas crecen. Por ejemplo, el consumo de las flores de madre cacao (*Gliricidia sepium*), las flores de plantas de crecimiento espontánea de loroco (*Fernaldia Pandurata*). Las hojas de Quilete o macuy (*Solanum*

americanum) y Chipilín (*Crotalaria spp*). Por último, las flores del árbol de palo de pito (*Erythrina berteroana*) son muy consumidas por comunidades rurales del país.

Guatemala posee una gran diversidad de especies silvestres y parientes silvestres de las plantas cultivadas pero que muy poco se ha hecho por su estudio y su conservación. Así mismo el uso de especies silvestres por las comunidades nativas de Guatemala juega un papel importante en su alimentación, ya que de no existir estos recursos la situación alimentaria sería de mayor cuantía.

Los recursos fitogenéticos constituyen un patrimonio de la humanidad de valor incalculable y su pérdida (erosión genética) es un proceso irreversible que supone una grave amenaza para la estabilidad de los ecosistemas, el desarrollo agrícola y la seguridad alimentaria del mundo.

5.4.5. Actividades que se desarrollan en un programa de Recursos Fitogenéticos o programa de Recursos Genéticos Vegetales

Es recomendable que todo país cuente con un programa de Recursos Fitogenéticos cuyo objetivo sea el conocimiento el desarrollo y la conservación de la riqueza vegetal con que cuenta. Guatemala como parte del centro de origen de plantas cultivadas conocido como Mesoamérica y como uno de los centros de origen de la agricultura, es seguro esperar que el territorio cuente con una riqueza florística enorme que suple nuestra alimentación, materias primas, energía y muchas de nuestras medicinas. Las plantas “son fundamentales para regular el clima, el ciclo del agua, protección de los suelos y mantener el balance químico del planeta. Cuando una especie desaparece el equilibrio ecológico se ve amenazado” (CAB INTERNATIONAL, 1995).

Cuando los cultivares primitivos de una especie vegetal, se pierden ya sea por la sustitución por modernos cultivares que se caracterizan por su uniformidad, se provoca una pérdida de la diversidad genética de esa especie, contribuyendo a lo que se conoce como “erosión genética”

Como parte del compromiso que tiene Guatemala, por ser signataria del Convenio de Diversidad Biológica, el que en el Art. 9 dice que cada parte contratante:

- a) Adoptará medidas para la conservación ex situ de componentes de la diversidad biológica, preferiblemente en el país de origen de esos componentes;
- b) Establecerá y mantendrá instalaciones para la conservación ex situ y la investigación de plantas, animales y microorganismos, preferiblemente en el país de origen de recursos genéticos.

Las principales actividades para el conocimiento, la conservación y desarrollo de los RF se deben ejecutar las acciones que se representan en la figura siguiente.

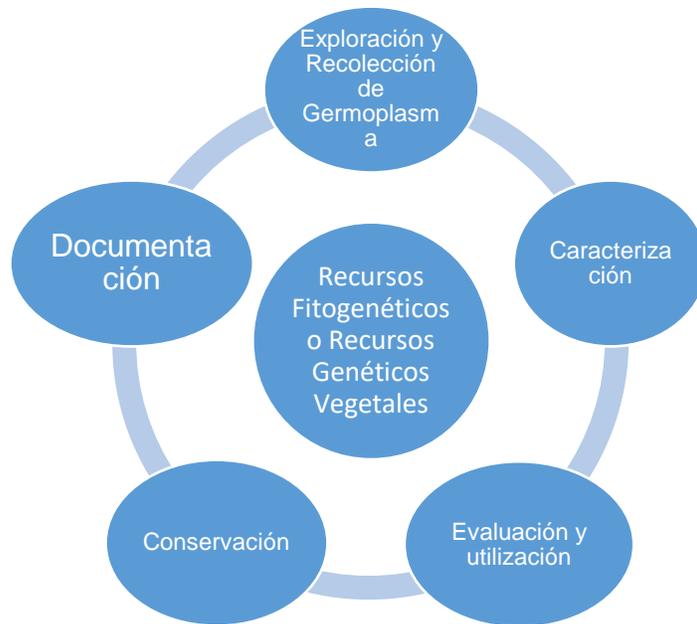


Figura 14. Representación gráfica de las distintas actividades que se desarrollan en el estudio de los Recursos Fitogenéticos.

La Exploración y Recolección de germoplasma

Con relación a la exploración, el primer paso que es identificar la especie o especies de la que queremos obtener su germoplasma, es decir es el punto focal de interés. Seguidamente procedemos a la búsqueda de información acerca de los lugares donde posiblemente podremos encontrar este germoplasma. Por ejemplo, la flora de Guatemala es una consulta obligada. Así mismo es recomendable avocarse con expertos que nos pueden orientar en las ubicaciones o localidades donde puede encontrarse la especie de nuestro interés.

Una vez definida el área de exploración, se debe hacer la visita, anotando todo lo relacionado con las distancias, la situación de acceso, la comunicación con lo pobladores, los cultivos de la zona, si oficinas del Ministerio de Agricultura o de CONAP. La exploración nos servirá para planificar la visita de Recolección de germoplasma.

En la Recolección preparar lo necesario para para la visita al lugar probable de recolección de germoplasma. Los materiales necesarios para la recolección de germoplasma deben asegurar la calidad del germoplasma recolectado. Así mismo asegurarse que las épocas de recolección de germoplasma varia según las especies. Es posible que al recolectar el germoplasma este debe proesarse en un laboratorio de semillas, con el objeto de prepararlas para la fase de almacenamiento o conservación

La caractgerización del germoplasma

La caracterización es de la descripción de un material genético (cultivar, variedad mejorada, etc) de sus características morfológicas, agronómicas, botánicas etc. A través del uso de un descriptor de cada especie vegetal cultivado. El IBPG (International Board for Plant Genetic Resources) una organización internacional creo los descriptores para cada especie vegetal cultivada en la que no solo se indican los descriptores con su correspondiente estado del descriptor, indicando la forma y cuando deben anotarse. Para

realizar la caracterización se hace necesario sembrar en el campo los cultivares a caracterizar, darle los cuidados agronómicos para su desarrollo y aplicar el descriptor.

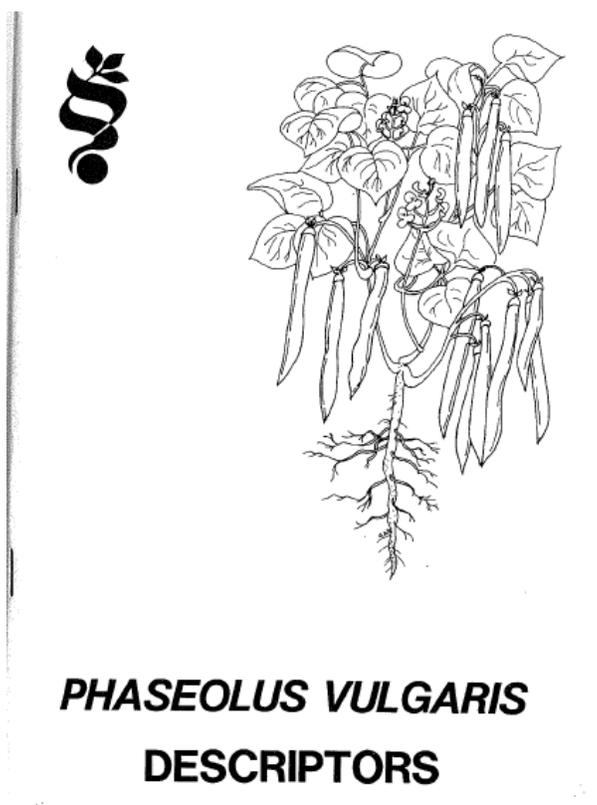


Figura 15. Descriptor del frijol común Phaseolus vulgaris, creado por el IBPGR.

Después que se ha levantado la información de las características de cada cultivar o variedad vegetal, con base en el descriptor respectivo, se ordena la información generando una matriz básica de datos, en la que se puede identificar las diferentes características que presentan los cultivares estudiados.

Tabla x. Matriz básica de datos de 27 cultivares de Chipilin (Crotalaria Spp.) en la que se presentan las características bromatológicas de cada cultivar. (Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala; Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas e International Board for Plant Genetic Resources, 1995, pág. 30)

Cuadro 3. Matriz básica de datos que presenta los análisis bromatológicos de cada cultivar de Chipilin (Crotaria spp)

COLECTA No.	HUMEDAD FRESCO %	MATERIA SECA %	HUMEDAD RESIDUAL %	FIBRA CRUDA %	NITROGENO %	PROTEINA (N x 6.25) %	CENT-AS %	MINERALES mg/ 100 gr. Materia seca.			MAGNESIO	SODIO	POTASIO	mg/100 gr. CAROTENOS
								CALCIO	FOSFORO	HIERRO				
3	86.2	13.8	8.92	14.92	5.18	32.38	10.45	1727.20	447.00	79.70	441.30	55.80	2575.75	26.88
11	84.4	15.6	11.49	10.09	5.93	37.12	9.01	1550.95	420.85	46.80	379.65	48.30	2182.10	16.04
14	87.3	12.7	10.17	9.13	5.75	36.98	8.05	1314.75	374.50	27.00	252.80	48.90	2167.80	23.27
17	85.1	14.9	9.18	10.55	5.55	34.49	9.21	1462.25	460.45	41.65	303.80	60.35	2310.30	21.40
19	85.4	14.6	9.23	10.53	6.12	38.26	9.29	1481.55	372.60	83.60	350.65	58.70	2354.05	11.01
21	87.6	12.4	9.03	10.15	5.90	36.91	9.95	1448.75	436.05	59.00	337.80	47.65	2291.80	14.75
22	79.8	20.2	10.13	10.19	5.69	35.60	9.67	1693.10	356.30	78.70	325.10	46.45	1972.75	15.79
23	86.1	13.9	9.37	10.84	5.80	26.26	8.72	1523.50	461.05	43.10	294.35	56.95	2041.55	19.08
88	87.6	12.4	10.63	9.77	5.22	32.63	9.21	1363.05	369.25	55.05	283.35	60.20	2199.10	25.45
330	83.8	16.2	8.52	9.26	5.54	34.68	8.43	1267.80	359.25	41.40	230.95	38.20	2062.40	21.39
339	84.5	15.5	10.76	8.71	5.61	35.08	8.07	1438.20	344.35	22.90	324.35	44.25	2317.75	15.66
357	80.4	19.6	9.63	9.26	5.38	33.66	8.60	1331.45	425.40	41.85	263.65	41.50	2033.85	28.22
404	82.8	17.2	10.83	6.72	5.20	32.55	8.20	1252.65	322.30	52.80	302.55	42.40	1935.65	18.05
736	81.2	18.8	10.01	9.94	5.88	36.76	8.36	1571.60	466.45	48.40	315.80	44.40	2209.00	30.57
748	83.5	16.5	11.47	7.33	5.07	31.72	8.69	1380.10	331.15	24.65	287.75	46.00	2293.30	14.34
753	84.6	15.4	8.83	7.15	5.40	33.79	8.55	1348.06	355.90	40.95	316.00	47.95	2124.90	16.04
826	85.3	14.7	10.02	10.20	5.78	36.14	10.57	1406.05	521.50	87.60	342.65	42.45	2189.05	32.94
831	86.3	13.7	10.05	9.62	5.42	33.93	8.33	1331.35	257.30	48.45	272.10	43.35	1704.20	19.33
838	85.5	14.5	9.37	5.57	4.93	30.83	8.09	1361.30	297.60	37.85	287.75	46.00	2293.30	24.12
852	80.8	19.2	9.80	8.49	5.03	31.46	8.35	1482.00	219.75	60.85	261.25	54.30	2105.40	20.21
857	87.4	12.6	9.78	7.90	5.09	31.83	9.59	1364.80	288.25	70.45	272.80	48.95	2125.60	30.93
859	84.4	15.6	10.91	8.19	5.29	33.08	8.16	1348.65	304.20	58.95	252.90	44.95	1876.60	13.87
864	82.4	17.6	10.84	8.77	5.02	31.38	8.34	1491.90	271.45	46.70	252.95	57.15	1961.70	13.87
872	86.5	13.5	9.83	8.24	5.26	32.92	8.38	1460.15	303.20	62.00	268.60	39.00	1991.85	14.22
1024	86.1	13.9	9.29	5.70	5.27	32.97	8.09	1406.95	420.00	48.35	246.25	50.75	2190.55	23.82
1086	81.5	18.5	9.29	8.84	5.14	32.13	8.52	1440.85	357.00	58.65	263.10	37.00	2177.55	20.46
1142	85.8	14.2	9.04	8.89	4.93	30.81	8.41	1515.10	340.95	41.00	291.20	45.90	1961.70	26.06

FUENTE: Análisis del INCAP

Si las características son cuantitativas es necesario aplicar técnicas estadísticas para estimar la media, la desviación estándar, el coeficiente de variación para cada cultivar. Las características cualitativas se analizan con frecuencias o porcentajes. Se pueden utilizar estudios de agrupamiento para crear fenogramas, que nos orientaran sobre el agrupamiento de cultivares según su parecido entre ellos.

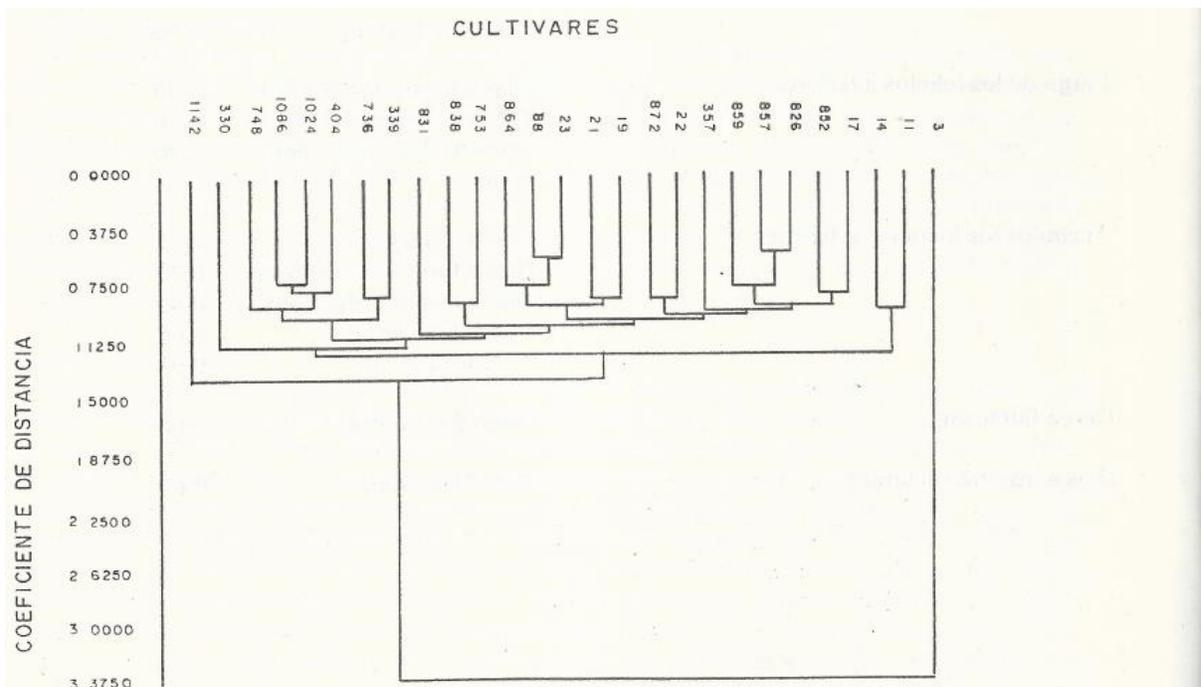


Figura 16. Fenograma de 27 cultivares de Chipilín (*Crotalaria* spp.) caracterizados en el centro troical Bulbuxya, San Miguel Panam, Suchitepequez. (Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala; Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas e International Board for Plant Genetic Resources, 1995, pág. 33).

La fase de la Evaluación, comprende conocer un numero reducido de las características de una numero reducido de cultivares o variedades, cuando se tiene un

objetivos específico, ejemplo una evaluación del rendimiento, días a cosecha, altura de planta, tamaño o peso de frutos. Generalmente los cultivares se siembran en el campo utilizando Diseños experimentales. A las variables cuantitativas se les practica un Análisis de Varianza y Pruebas de medias. Para variables cualitativas utilizar frecuencias o porcentajes. Esta etapa nos permitirá identificar los mejores cultivares para características definidas.

La conservación del germoplasma o de los Recursos Fitogenéticos

La estrategia de conservación depende de la naturaleza del material, de los objetivos y alcance de la conservación. Según el tiempo de conservación:

A corto plazo: hasta 5 años

A mediano plazo 5 a 15 años

A largo plazo más de 15 años

Existen dos enfoques para la conservación de germoplasma: *in situ* y *ex situ*

Conservación *In situ*:

En el sitio o lugar, se aplica a especies silvestres parientes de las plantas cultivadas sean cultivos o forestales, generalmente a largo plazo.

La Conservación *ex situ*, es guardar el germoplasma de especies vegetales fuera de sus zonas de origen. Generalmente se usan instalaciones llamados Bancos de Germoplasma.

Las muestras guardadas en estos banco se identifican con un número de accesión, aunque otros recomiendan el número de colecta, pero el número de accesión es el más usado.

Los Bancos de germoplasma, son estructuras en la que se almacenan generalmente semillas por un tiempo que no pase de 5 años. Pero se pueden guardar a mayor tiempo dependiendo el tipo de semillas.

Existe una clasificación de las semillas según si se pueden guardar en bancos de germoplasma por un tiempo relativamente mediano o largo. Si la semilla de una especie vegetal si soportan que se le baje el porcentaje de humedad (5%) y se pueden almacenar a temperaturas bajas, sin mostrar problemas, a estas semillas se les denomina ortodoxas (incluye la mayoría de cereales y hortalizas). Pero por el contrario si las semillas no soportan este proceso antes descrito se les denomina recalcitrantes (semillas de Cacao, aguacate, mango, encinos etc.). Ultimamente se ha incluido un grupo intermedio entre ambas que se les conoce como intermedias como ejemplo las semillas de Coffea y de Citrus.

Se ha demostrado que cuando la temperatura de almacenamiento se baja, la vida de la semilla se prolonga, de manera contraria, las semillas pierden su viabilidad. Actualmente los bancos de gemoplasma trabajan con temperaturas de entre cinco grados centígrados y menos cinco grados centígrados. Así mismo se están utilizando temperaturas de criopreservación (menores de -20° C, utilizando nitrógeno líquido).

Muy recientemente surgió en el año 2008, el Banco mundial de semillas de Svalbard, ubicado en el Archipiélago de Noruega, en Europa. Se ha construido una bóveda subterránea diseñada para almacenar semillas de todo tipo de plantas de cultivo alrededor del mundo. También conocida como «La cámara del juicio final», contiene alrededor de 825,000 diferentes muestras o acepciones de semilla de diferentes especies vegetales.

Se ha reportado que eEn caso de una catástrofe global, este almacén de semillas podría ser la única forma de salvar a la humanidad. «Todas las semillas que se pueden encontrar en este depósito son especies sobrevivientes, son las que nuestros ancestros consideraron que valía la pena preservar.» Declaró el agricultor Cary Fowler, quien diseñó la bóveda.

Eta bóveda de semillas la comparan con el Arca de Noe y es resistente a la actividad volcánica, los terremotos, la radiación y las inundaciones, en caso de que incremente el nivel del mar. Si llegara a fallar la electricidad, el gélido frío del hielo perenne servirá de refrigeración natural, conservando las semillas durante siglos.



Fiigura 17. Banco de germopla de Svalbard, Noruega. Cuenta con una 825,000 acepciones de semillas de diferentes partes del mundo.

Los jardines botánicos y los arboreta, también es una forma de conservación de germoplasma solo que las especies se mantienen vivas en el terreno para que se pueda observar su fenotipo.

La Conservación *in vitro* se está utilizando hasta muy recientemente para guardar germoplasma a corto plazo, sin embargo su costo es elevado.

Por ultimo se tienen las colecciones de campo, las cuales conservan especies vegetales que se propagan por medios asexuales y no por semilla. Se conocen como Jardines clonales. En especies como yuca, camote, malanga, Ñame, Cacao se mantienen en esta forma de conservación

Documentación del germoplasma

Esta es la etapa mediante la cual todas las fases del trabajo en Recursos Fitogenéticos debe ser documentada por medio de programas informáticos. Esto facilita el intercambio de germoplasma. Sin embargo en nuestro país, esta fase está poco desarrollada.

5.5. LA VARIABILIDAD GENÉTICA

La Variación: término usado en genética para indicar diferencias fenotípicas que presentan individuos en una variedad, raza, familia, etc. “dependen de la interacción entre la herencia y el ambiente. La constitución genética determina una variación que es intrínseca de cada organismo, depende de su origen y le acompaña para toda su vida. La variación ecológica o ambiental que corresponde a factores externos, es independiente del origen del organismo, no es heredable y durante toda la vida de un individuo puede cambiar considerablemente” (Brauer, 1969, pág. 66).

La Fitogenética se ha preocupado por establecer el efecto tanto genético como ambiental, como elementos clave para el mejoramiento genético de las plantas. “los estudios sobre heredabilidad sirven para evaluar qué parte de la variación de los caracteres cuantitativos corresponde a factores genéticos y por diferencia, la correspondiente a factores ecológicos” (Brauer, 1969, pág. 67) .

debido a factores genéticos, ambientales, de la interacción y las mutaciones. Si observamos unas plantas de frijol detenidamente en su tamaño, color, posición de las vainas, color de grano, tamaño de vaina, etc. nos daremos cuenta que no hay dos individuos exactamente iguales; aunque tal vez parecidos.

5.5.2. Clases de variación:

La variación observada en las especies vegetales cultivadas puede ser de dos clases:

5.5.2.1 Variaciones debido al ambiente.

5.5.2.2 Variaciones genética o hereditaria.

5.5.2.1. Variaciones debido al ambiente:

Si sembramos dos semillas de maíz que tienen una similar composición genética, una en un suelo rico y la otra en un suelo pobre, veremos que la que se ha sembrado en suelo fértil crecerá más vigorosa que la otra aunque tengan una composición genética parecida de esta forma es como se hace para conocer variaciones ambientales, se siembran plantas con características hereditarias similares en ambientes distintos.

5.5.2.2. Variación genética o hereditaria:

Esta variación se debe a que las plantas tienen características genéticas diferentes. Generalmente se pueden observar cuando se cultivan distintos materiales genéticos en condiciones ambientales similares.

5.5.3. Origen de la variación genética

Existen varias fuentes de variación genética tales como:

- 5.5.3.1. Segregación y Recombinación
- 5.5.3.2. Hibridación Interespecífica
- 5.5.3.3. Poliploidía
- 5.5.3.4. Mutaciones

Veamos cada una de ellas

5.5.3.1. Segregación y Recombinación

Estas se refieren a los principios establecidos por los trabajos de Mendel en 1886. Las bases dadas por Mendel se conocen comúnmente como la genética mendeliana

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*). La arveja una planta anual, fácil de cultivar, con flores hermafroditas y lo más importante es que se trata de una especie autógena. Con base en los experimentos realizados llegó a establecer las bases para fundamentar dos principios de gran importancia en la Fitogenética que son: el **principio de la segregación y el principio de la recombinación independiente**.

Los aportes que dio Mendel a la biología fueron de gran importancia, a tal grado que con justa razón se le conoce como el padre de la Genética. Para efectos prácticos muchos cursos de Genética dividen el mismo en dos, en Genética Mendeliana y la Genética cuantitativa. Sin embargo, el entendimiento de la segunda se hace a través de la primera. En tal sentido haremos una revisión de las dos leyes que aportó Mendel al conocimiento de la herencia que un principio fue en los vegetales pero se ha generalizado para todos los seres vivos. Veamos estos principios

El principio o ley de la segregación:

El **principio o ley de la segregación**, indica que los padres solo pueden transmitir una forma alélica de un gen por medio de un gameto a sus descendientes. Cuando Mendel hizo sus experimentos no se habían descubierto los cromosomas ni la meiosis, ni los genes.

Mendel cruzó variedades altas de arveja con otras de porte bajo y obtuvo en la generación F1 (la F simboliza la inicial de la palabra filial que en latín significa progenie) plantas altas, la característica de planta baja desapareció en la F1.

Mendel planteaba que los factores genéticos (o genes) están en pares y en el momento de la formación de gametos se separan en gametos sexuales diferentes así:

Lo anterior se resume de la siguiente manera:

Fenotipos	Genotipos	Frecuencia genotípica	Frecuencia Fenotípica
Amarillo y liso	GGWW	1	9
	GGWw	2	
	GgWW	2	
	GgWw	4	
Amarillo y arrugado	GGww	1	3
	Ggww	2	
Verde y liso	ggWW	1	3
	ggWw	2	
Verde y arrugado	Ggww	1	1

En la anterior cruce se producen individuos diferentes como puede observarse en las frecuencias genotípicas cada par de genes segrega y se recombina independientemente, dando origen a nuevos individuos bajo el punto de vista genético.

Con base a lo anterior Mendel concluyó que los pares de alelos distintos se repartían independientemente en los gametos.

5.5.3.2. Hibridación ínter específica:

Desde el punto de vista de la genética mendeliana un híbrido se produce por la fusión de gametos que difieren en su constitución alélica en uno o más loci. En poblaciones de plantas alógamas de reproducción asexual generalmente produce individuos heteróticos o híbridos.

En nuestro caso nos referimos al cruce de individuos que pertenecen a un taxón o especie diferente.

Importancia de la hibridación ínter específica:

Bajo el punto de vista de los mejoradores la importancia radica en que la hibridación abre la posibilidad de transferir características de una especie a otra.

Gracias a la hibridación es posible aprovechar especies silvestres que están emparentadas con las especies cultivadas, la resistencia a plagas y enfermedades y otros

aspectos adversos de las especies silvestres se debe a que estas plantas se hallan sometidas “a la lucha por la existencia” en el sentido Darwiniano, o sea sobreviven únicamente aquellas especies que tienen características fisiológicas que le permitan subsistir calor, humedad) o factores bióticos (como insectos y microorganismos).

Desde el punto de vista genético lo anterior implica que cuando las especies silvestres conviven con los organismos patógenos y sobreviven en medios adversos, están sometidos a una selección natural y van acumulando en su germoplasma caracteres que le dan ventajas de sobre vivencia bajo condiciones adversas.

Otra importancia de la hibridación Interespecífica es el apareamiento de características en el híbrido diferente a las que existen en los progenitores. Por último, a través de la hibridación pueden producirse Aloploides.

Barreras a la Hibridación Interespecífica: Según Stebbins 1,950, existen dos tipos de barreras a saber: Externas e Internas.

Barreras Externas: Estas barreras son separaciones físicas en tiempo, espacio, ambiente y nichos ecológicos que evitan el arribo del polen de una planta al estigma de la otra.

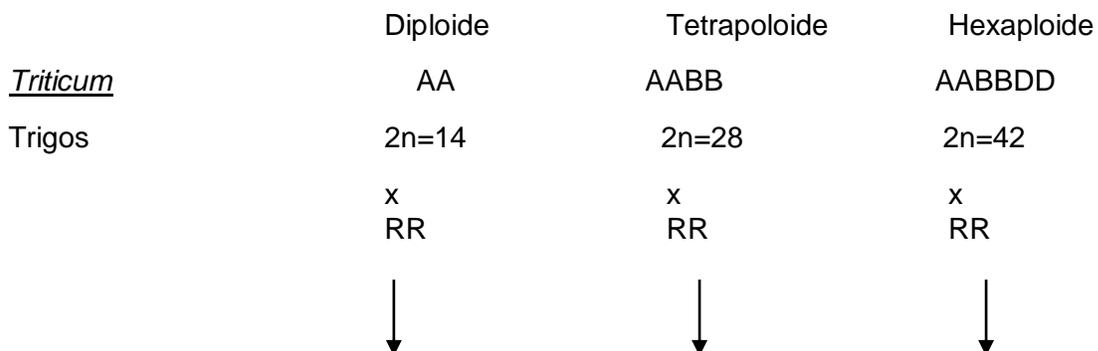
Barreras Internas: las Barreras internas para el intercambio genético entre dos especies o poblaciones, se relacionan con sistemas citológicos y fisiológicos no armoniosos entre las poblaciones diferentes, así tenemos:

- a) No ocurrencia de fertilización: Debido a fenómenos de incompatibilidad e incongruencia.
- b) Híbridos débiles o no viables: A pesar que se producen cigotos híbridos, los individuos F1 son débiles, las causas se agrupan en 3 categorías.
 - No armonía entre los genomas de las especies parentales
 - No armonía entre el genoma de una especie con el citoplasma de la otra.

Ejemplos de cruzas Interespecífica

1. Se ha logrado mejorar la fertilidad del triticale a través del doblamiento de cromosomas usando colchicina.

Cuadro 5: Esquema del mejoramiento de *Triticale* utilizando cruzamientos y colchicina.



Secale cereale

2n=14	AR	ABR	ABDR
Centeno	Híbrido no exitoso	Híbrido estéril	Híbrido estéril
		↓	↓
		colchicina	colchicina
		2n=42 fértil	2n=56 fértil
		No del todo	no del todo

2. Manzana

Todas la variedades actuales de manzana resistentes a *Venturia inaequalis* se han obtenido del siguiente cruce:

Malus communis x *Malus floribunda*



Híbridos resistentes a *Venturia inaequalis*

3. Tomate

Lycopersicon esculentum x *Lycopersicon pimpinellifolium*

Resistente a *Cladusporium*

Fusarium

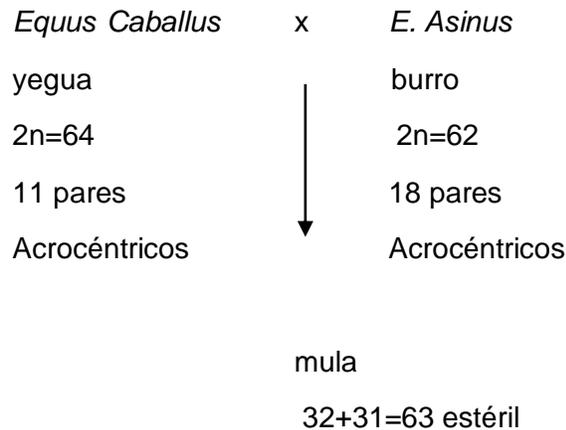
Stemphylium



Híbrido fértil

La Esterilidad del Híbrido: se debe entre otras razones a una no armonía entre los genomas parentales, ó a veces entre un genoma de un padre o el citoplasma del otro

padre. La causa es debida a una diferencia estructural entre cromosomas parentales que interfieren en el apareamiento de homólogos en la meiosis. Para ejemplificar la esterilidad de los híbridos hemos tomado el ejemplo clásico que ocurre en el reino animal, que se reporta a continuación



5.5.3.3. Poliploidia:

Existen dos conceptos el de aneuploidía y Euploidia En general son todas las variaciones que ocurren en el número cromosómico de las especies; existen dos conceptos dentro de la Poliploidía, la aneuploidía y la euploidía, los que se describen a continuación:

5.5.3.3.1. Aneuploidia:

Usado para describir, aquellos organismos cuyo número cromosómico no es múltiplo del No. básico de grupo. Entendiéndose que el número básico es el menor número de cromosomas encontrados en un genoma de un grupo de especies relacionadas taxonómicamente, se representa con una X. Así un individuo con número básico X cromosomas, su complemento normal será 2X; si el individuo tiene 2 X + ó 2X- uno o varios cromosomas, es un aneuploide, ya que no puede dividirse exactamente en su número básico. Su origen está en la no disyunción de los pares de cromosomas, en meiosis. Probablemente lo difícil para el estudiante es de entender la terminología utilizada para los aneuploides, la cual trataremos a continuación.

Cuadro 6: Terminología utilizada para nombrar a los aneuploides. Tomado de Allard 1,971.

Nombre	Fórmula Complemento Somático Normal	Complemento Somático cromosómico en que A, B y C son cromosomas no homólogas
Normal	2X	(ABC) (ABC)
Nulisómico	2X-2	(AB) (AB)
Monosómico	2X-1	(ABC) (AB)
Doble Monosómico	2X-1-1	(AB) (AC)
Trisómico	2X+1	(ABC) (ABC) (C)
Doble Trisómico	2X+1+1	(ABC) (ABC) (A) (B)
Tetrasómico	2X + 2	(ABC) (ABC) (A) (A)
Monosómico, trisómico	2X - 1 + 1	(ABC) (A), (AB)

5.5.3.3.2 Euploidia

Se usa para indicar situaciones en las cuales existen uno o varios juegos de cromosomas enteros. Se cree que surgen de accidentes en meiosis al formar gametos sin reducir de $2N$ a n , también puede ocurrir en células mitóticas duplicando el número y formando quimeras que al florecer producen gametos $2N$ y si se producen se forman individuos $3N$. La terminología utilizada es más comprensible que la anterior. Los Monoploides: son individuos que tiene un complemento del juego de cromosomas de la sp.

Se representa por "X" = (ABC) genoma

Triploides: $3X$ (ABC) (ABC) (ABC) - tres juegos completos

Tetraploide: $4X$ (ABC) (ABC) (ABC) (ABC)

Alotetraploide: $2X + 2X'$ = (ABC) (ABC) (A1B1C1) (A1B1C1) ó (ABC) (ABC) (DEF) (DEF)

Son Autopoliploides cuando todos los juegos de cromosomas son idénticos o parecidos. Son Aloploides porque poseen juegos de cromosomas generalmente provenientes de diferentes especies.

5.5.3.3.3. Efecto de la Poliploidia en el fenotipo:

Generalmente la Poliploidia tiende a aumentar de tamaño las porciones vegetativas de las plantas. Los aneuploides como los monosómicos y trisómicos surgen a partir de gametos $n-1$, $n+1$, estos gametos se producen por la no disyunción de algún par de

cromosomas. Los poliploides generalmente surgen por accidentes en la meiosis que conduce a la formación de gametos (2N) sin reducir.

5.5.3.3.4. Importancia de la Poliploidía: en plantas cultivadas:

Algunos autores consideran que la mitad de las especies cultivadas son poliploides y principalmente son euploides (triploides, tetraploides, etc.). Otros autores consideran que 1/3 de las angiospermas son poliploides. En especies cultivadas es mucho mayor, lo que evidencia que los accidentes citológicos son frecuentes y además se evidencia la importancia que tiene la poliploidia en la evolución

5.5.3.3.5. Endopoliploidia:

Es la presencia de células poliploides en tejido diploide debido a que estas células han sufrido división nuclear pero no citoplasmática. Fue observado primeramente en las raíces de espinaca en las que $2n=12$ y $2n=96$ (16-ploide).

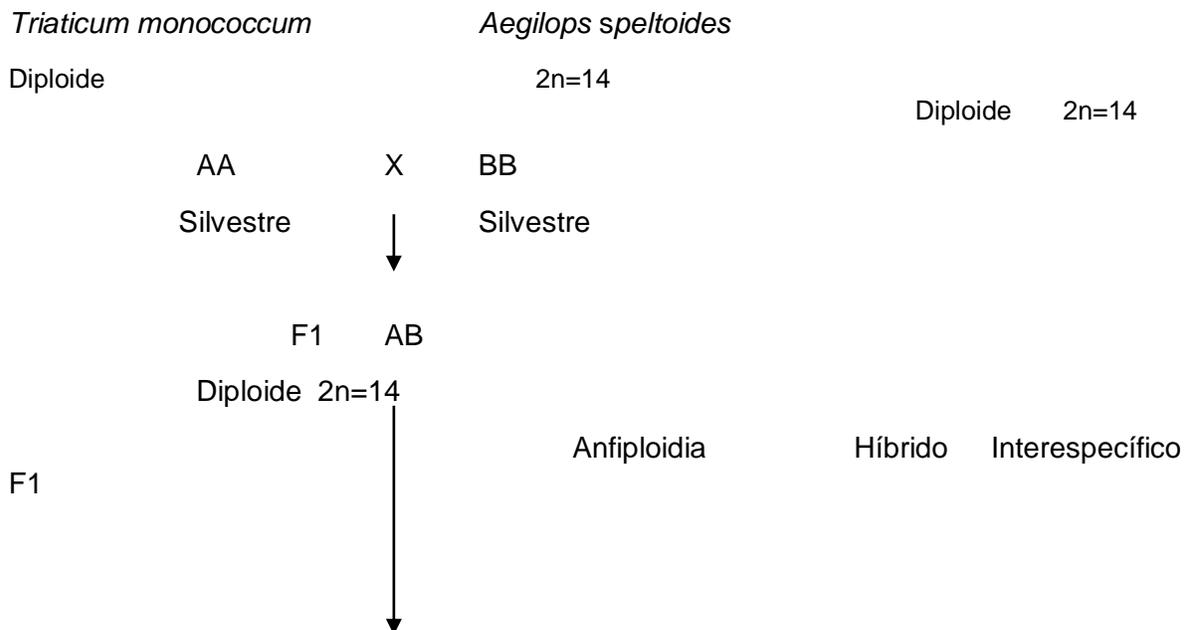
Además se encuentra en nódulos de raíces que albergan bacterias fijadoras de N_2 . Se ha tratado de inducir utilizando colchicina, se ha tenido éxito en uva ya que por la autotetraploidia producirán uvas de mayor tamaño. Existen autotetraploides naturales en papa, café, maní y alfalfa. Los autotriploides rara vez producen células sexuales funcionales resultando en una esterilidad y falta de semillas como en plátano, y sandía.

La Poliploidía ha jugado un papel importante en la evolución de las especies, esto se puede ejemplificar en trigo veamos el siguiente esquema en el que se puede ver como actúa la Poliploidía y la hibridación específica, simultáneamente en una especie.

5.5.3.3.6. Esquema Citogenético de la evolución del trigo (*Triticum aestivum* ó *T. vulgare*):

En estudios recientes se han desarrollado esquemas en los que se muestra el proceso de evolución de esta especie. En el mismo se combinan procesos de hibridación y de Poliploidía al mismo tiempo.

Cuadro 7: Esquema que muestra el proceso de evolución del trigo (*Triaticum aestivum* ó *T. vulgare*).



#cromoso- Aloidia ha duplicado su
 Aletetraploide mico proveniente de 2 sp.
 Sinónimo de
 en este caso

Grupo Emmer

cultivo y silvicultura *T. dicacoides* (silvestre)

de palestina *T. diccocom* (cult. Emmer) AABB X
T. durum (cult. durum) 4x=28

Anti= ambos, dos lados
Aegilops squarrosa

2n=14=DD

2n=28

“silvestre”

ABD

2n=21

3x=21

Duplicación de

se acepta como Anfiploide

Es un Poliploide, por tener seis juegos de cromosomas, se trata de un Hexaploide. Además tiene genomas de más de 2 especies por lo tanto es Aloploide.

Trigo común AABBDD

2n=42=n=21

6x=42

Como hemos revisado anteriormente el concepto Anfiploide, el cual está formado del prefijo griego *anfi* que significa ambos, de los dos o por todos lados. Cuando hablamos de un anfiploide es porque sus complementos genéticos provienen de distintas especies, cuando una especie posee dos complementos de dos especies se dice que son Anfidiplodes. Para muchos autores anfiploidia es sinónimo de alopoliplodia.

Ejemplos de especies poliploides, existen muchas especies cultivadas que son poliploides y es un fenómeno muy común en el reino vegetal. En el cuadro 11 se reportan algunas especies cultivadas que presentan poliploidía.

Cuadro 8: Ejemplos de especies cultivadas poliploides y su número cromosómico

Especie	# Cromosómico gamético
<i>Gossypium arbarium</i>	13
<i>thurberi</i>	13
<i>barbadense</i>	26
<i>hirsutum</i>	26
<i>Nicotiana sylvestris</i>	12
<i>vomentoso</i>	12
<i>tabacum</i>	24

5.5.3.4. Mutaciones como fuentes de variación:

Se acepta que la mutación es la base de la evolución. En el amplio sentido los genes son producto de las mutaciones, que incluyen cambios en los pares de bases, duplicaciones, inserciones, inversiones, deleciones, traslocaciones, adiciones y duplicaciones. Indica Micke, 1,995 que las mutaciones ocurren en la naturaleza por influencias de agentes químicos y físicos dando como resultado principal errores en la replicación del ADN, aunque las células vivas poseen mecanismos para detectar y reparar errores de este tipo algunos de estos errores se trasladan a la descendencia. Los genes pueden dividirse en aquellos que proveen la información normal y otros que contribuyen a la adaptación bajo condiciones particulares ambientales. Existe obviamente una jerarquización de los genes, las que tienen que tomarse en cuenta al momento de alterar los genes por muta génesis. Algunos genes codifican para funciones básicas como la fotosíntesis y otros para la construcción de tejidos, otros a través de la acción enzimática

o catalítica determinan como cuando, donde que cantidad o intensidad de la función de otro gen. Así ellos influyen en el tiempo de diferenciación de los tejidos, respuesta al estrés defensa a reacciones contra patógenos o insectos, regeneración y la maduración. De acuerdo al rol de los genes algunas mutaciones serán detrimentes o letales para la célula o para el organismo pero otras serán neutrales o beneficiosas.

Las mutaciones espontáneas en un gene particular son muy raras probablemente ocurre una en un millón de células, pero el genoma de las plantas superiores contienen al menos unos 100,000 genes. Por tal razón cada planta podría esperar más de una mutación en su próxima generación. La frecuencia de las mutaciones espontáneas es subestimada ya que mutaciones con poca incidencia en la expresión fenotípica pasa desapercibida por el hombre, pero juegan un rol en el proceso de evolución de los individuos.

La evolución genética que encontramos hoy en los vegetales superiores es el resultado de la evolución pasada y no representa el completo espectro de las mutaciones espontáneas, más bien son producto de numerosas mutaciones y recombinaciones sujetas al a la interacción con las fuerzas discriminadoras del ambiente. Muchas variantes o especies han sido eliminadas cuando no son capaces de sobrevivir a cambios drásticos en el ambiente..-

El mejorador de plantas requiere de variación genética, por esta razón la misma debe conservarse en bancos de germoplasma. Las mutaciones espontáneas han jugado un papel importante en el pasado y lo harán en el futuro y han contribuido en los procesos de domesticación de acuerdo a las necesidades del hombre. Su frecuencia sin embargo es demasiado baja, pero existe la posibilidad de incrementar el porcentaje de mutaciones a través de la utilización de agentes muta génicos, es decir el de mutaciones inducidas.

De Vries 1901 describió las mutaciones como cambios bruscos en el material genético que afecta la herencia a las plantas y animales. Las mutaciones de acuerdo a los cambios que ocasiona pueden clasificarse como sigue:

1. De punto o puntuales: las que afectan pequeñas regiones en los cromosomas ocasionando cambios de una o dos bases

Eje: Secuencia original: sustitución, adición y delección de bases nitrogenadas.

Se le recomienda al estudiante investigar cada uno de los tipos de mutaciones que se han enumerado.

2. Cromosomales o Aberraciones:

Afectan porciones o piezas más grandes en el cromosoma.

1. Duplicación
 2. Deficiencia
 3. Inversión
 4. Tras locación: Traslado de una parte de un cromosoma a otro cromosoma.
3. Cuando afectan uno o varios cromosomas ó juegos completos - aneuploidía y euploidia que fue revisada en el capítulo de Poliploidía.

5.7. MUTACIONES Y EL MEJORAMIENTO GENÉTICO:

El interés por las mutaciones inducidas para el mejoramiento genético, se inició con Müller 1927 cuando el pudo inducir mutación en *Drosophila* usando rayos "X".

Existen dos tipos de agentes muta génicos: las radiaciones y los químicos, sin embargo con ambos muta génicos los resultados son impredecibles, proporción 800 mut. desf/1 favorable y la gran son recesivas.

5.8. USO DE LA RADIACIÓN:

Todos los elementos de la tabla periódica arriba del bismuto tienen un núcleo inestable y se estabilizan por un cambio en la energía nuclear acompañada por la liberación de partículas o radiación electromagnética. Así un elemento se transforma en otro con la emisión de rayos Alfa Beta o Gamma. El cobalto Co 60 bombardeado con neutrones bajos produce cobalto sesenta Co 60 que es inestable, su descomposición da rayos gamma. Esta energía es transferida al material irradiado en pares de iones. El espécimen a irradiar es colocado en un recipiente de concreto y plomo y se expone a la fuente de radiación.

Los irradiadores deben monitorearse frecuentemente para conocer su actividad.

Por la fórmula

$$A=A_0e^{-\lambda t}$$

$$T = \frac{1}{\lambda}$$

A= actividad actual

A₀= actividad inicial de Irradiación

e= factor

t = tiempo transcurrido desde que lo hicieron

T= tiempo de vida media (tiempo en que la mitad de

los

átomos se han desintegrado.

Efecto de la radiación en moléculas biológicas:

Se ha concluido que entre carbohidratos, lípidos y proteínas, los ácidos nucleicos son lo más susceptibles de ser cambiados. De las bases nitrogenadas la pirimidinas (citosina y timina) son más radio sensitivas que las purinas. Se ha demostrado que la timina es la más radio sensitiva.

Tipos de daños sufridos al ADN por la radiación

1. Cambios de bases
2. Pérdidas de bases
3. Rompimiento de puentes de hidrógeno
4. Fracturas en la hélice simple
5. Fracturas en la hélice doble

Además puede ocurrir a nivel de cromosoma. El efecto de la célula difiere del ciclo celular M-61-5-62.

DOSIS Y RESPUESTA

No todas las células responden de la misma manera, así diferentes partes de la planta responden de diferente manera a la radiación.

Ejemplo

Polen seco ----- Dos veces la sensibilidad que el polen fresco.

Semillas dormantes son menos sensitivas que semillas no dormantes.

Gimnospermas son + sensitivas que las angiospermas.

Células haploides + sensitivas que diploides, diploides + sensitivas que poliploides.

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.

- Azurdiá, C. (2008). Agrobiodiversidad de Guatemala. En C. N. -CONAP-, *Guatemala y su biodiversidad. Un enfoque histórico, cultural, biológico y económico*. (págs. 399-463). Guatemala, Guatemala.
- 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.
- CAB INTERNATIONAL. (1995). *Collecting plant Genetic Resources*. (L. Guarino, V. Rao, & R. Reid, Edits.) Cambridge, United Kingdom.
- 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_
- Daniel, W. W. (1991). *Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud*. (M. Guzman Ortíz, Ed.) México, México: Limusa Noriega.
- Esquinas-Alcazar, J. (1993). *La diversidad genética como material básico del desarrollo Agrícola*. Madrid, España, Mundi-prensa.

- Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala; Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas e International Board for Plant Genetic Resources. (1995). *Caracterización de algunos cultivos nativos de Guatemala*. Informe de Proyecto.
- 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.
- Ford-Lloyd, B., & Jackson, M. (1986). *Plant Genetic Resources* (146 ed.). Bristol, England, Great Britain: Edward Arnold.
- 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.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2011). *Catálogo de frijoles criollos de Ipala, Guatemala*. IICA, Managua. Recuperado el 10 de septiembre de 2020, de <http://repiica.iica.int/docs/B3194e/B3194e.pdf>
- Kupzow, A. J. (1975). Vavilov"s Law of Homologous series at the Fiftieth Anniversary of its Formulation. *Economic Botany*(29), 372-379.
- La Web de las Biografías*. (s.f.). Recuperado el 3 de Septiembre de 2020, de <http://www.mcnbiografias.com/app-bio/do/show?key=vavilov-nicolai-ivanovich>

- León, J. (2000). *Botánica de los cultivos Tropicales*. San José, Costa Rica: Agroamérica.
- 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). *Genotecnia Vegetal. Métodos, Teoría y Resultados* (Vol. Tomo I. Primera Parte. Capítulo 1). México D.F., México: AGT.
- mcmbiografias.com. (14 de Septiembre de 2020). *La Web de las Bibliografías*. Obtenido de <http://www.mcnbiografias.com/app-bio/do/show?key=vavilov-nicolai-ivanovich>
- 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.
- Programa de Recursos Genéticos CATIE/GTZ. (1979). *Los Recursos Genéticos de las plantas cultivadas en América Central*. De investigación, Turrialba.
- Quezada, Carlos; Ayala, Helmer; Arana, Malco; Martínez, Vicente;. (2008). La diversidad cultural de Guatemala. Algunas relaciones con la biodiversidad. En C. N. -CONAP-, *Guatemala y su biodiversidad: un enfoque histórico, cultural, biológico y económico* (págs. 55-115). Guatemala, Guatemala.
- Reyes Castañeda, P. (1985). *Fitogenotecnia. Básica y Aplicada*. (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

Sandoval Sagastume, A. A. (1989). *Introducción a la Genética General*. Guatemala, Guatemala.

Simmonds, N. W. (1979). *Principles of crop improvement* (First ed.). New York, United States of America: Longman.

Sinnot, E. W., & Dunn, L. C. (1939). *Principles of Genetics*. New York, United States of America: McGraw-Hill Book Company, Inc.

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

Vásquez, F. (1995). *Diversidad de especies vegetales silvestres de uso potencial*. Memorias del I Congreso Nacional sobre Biodiversidad de Guatemala, Guatemala, Guatemala.

Vavilov, N. I. (1951). *Estudios sobre el origen de las plantas cultivadas*. (F. Freier, Trad.) Buenos Aires, Argentina: ACME.

Veliz Pérez, M. (2008). Diversidad Florística de Guatemala. En C. N. -CONAP-, *Guatemala y su biodiversidad, un enfoque, cultural, biológico y económico*. (pág. 261). Guatemala, Guatemala.

Welsh, J. (1981). *Fundamentals of plant genetics and breeding*. New York, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

