



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TENANCINGO

INGENIERO AGRÓNOMO EN FLORICULTURA



UNIDAD DE APRENDIZAJE: MEJORAMIENTO GENÉTICO DE
ORNAMENTALES

TEMA: ENDOGAMIA, HETEROSIS Y
MÉTODOS CUANTITATIVOS

AUTOR: DRA. ELIZABETH URBINA SÁNCHEZ

ABRIL DE 2017

PRESENTACIÓN

La incorporación de nuevas variedades y especies a la industria florícola es en la actualidad de gran importancia en términos de competitividad por la gran demanda de novedades en este sector. Los países poseedores de esta gran riqueza como México (Cuarto lugar como país megadiverso) tiene esta oportunidad y reto para impulsar esta actividad, de ahí la importancia del conocimiento de las técnicas y métodos de mejoramiento genético en la formación del Ingeniero Agrónomo en Floricultura, quien debe tener la sensibilidad y las herramientas para poder aprovechar esta riqueza que solo ha beneficiado a otros países quienes se han llevado y domesticado una gran cantidad de especies como dalia, nochebuena, fucsias, flor de muerto, varias orquídeas y cactus. Por lo que antecede esta presentación tiene el objetivo de dar los conocimientos y herramientas de utilidad en el mejoramiento genético de plantas ornamentales con estrategias a corto, mediano y largo plazo como una opción productiva rentable y sustentable para la industria florícola

Forma de uso

El presente material se expondrá ante grupo y a la vez que se va a ir explicando cada uno de los puntos que se presentan en la diapositiva, de una manera más exhaustiva, de tal manera que este material servirá de apoyo para que el alumno adquiera los conocimientos con mayor facilidad.

ENDOGRAMIA

- ▶ El término endogamia indica una forma de apareamiento entre individuos más o menos emparentados. Cuanto más cercano sea el parentesco entre dos animales, mayor es el porcentaje de consanguinidad en la progenie resultante.

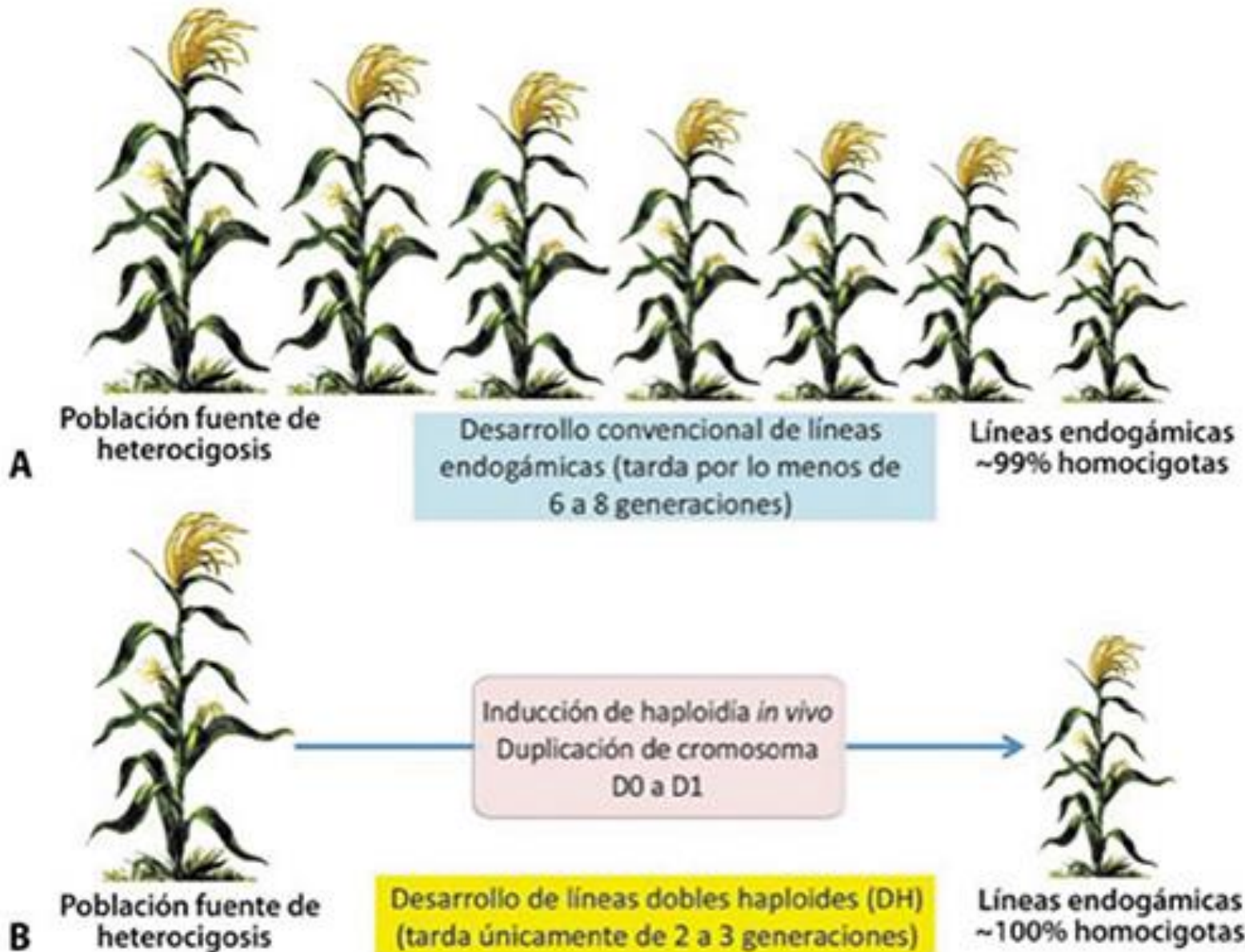


ENDOGAMIA

- ▶ En las plantas monoicas compatibles la endogamia es máxima cuando ocurre la autofecundación, pero pueden presentarse diferentes grados de endogamia en atención al parentesco entre el conjunto de progenitores o al número de ellos.



ENDOGRAMIA



ENDOGAMIA

- ▶ En las especies autógamas (tipo de reproducción sexual consistente en la fusión de gametos femeninos y masculinos producidos por el mismo individuo) la endogamia es la forma natural de realizarse.
- ▶ En las plantas alógamas (son hermafroditas, monoicas o dioicas) se practica la endogamia de forma artificial, controlando la polinización.



ENDOGAMIA

La consanguinidad suele ir acompañada de:

- Reducción del tamaño.
- Disminución del vigor.
- Pérdida parcial o total de la fecundidad.
- Plantas deformes, albinas, susceptibles de acame, etc
- Un debilitamiento general de la población.



ENDOGAMIA

- ▶ En 1760, Kolreuter, trabajando con tabaco, fue el primero que indicó la manifestación de mayor vigor de los híbridos y los efectos de endogamia.

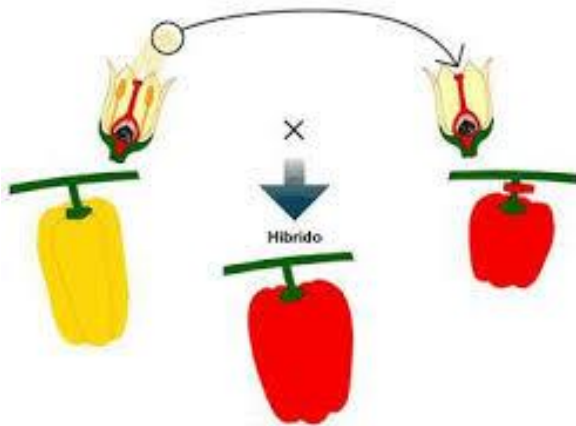


ENDOGRAMIA



Darwin en 1876, expresó:

- ▶ La autofecundación conduce con frecuencia a pérdida del vigor y otros signos evidentes.
- ▶ La hibridación entre tipos poco semejantes suele ir acompañada de gran vigor.
- ▶ La hibridación debe tener importancia biológica, ya que muchas especies recurren a diversos mecanismos que favorecen la fecundación cruzada.



ENDOGAMIA

En 1918 Jones hace un resumen de los resultados obtenidos al autofecundar una población de plantas de maíz y concluye:

- ▶ Existe una reducción en el tamaño de las plantas y en la productividad, pero esta reducción se manifiesta en las generaciones sucesivas sólo hasta cierto punto.
- ▶ Se observa el aislamiento de subvariedades o líneas que difieren notablemente en caracteres morfológicos.
- ▶ A medida que estas subvariedades o líneas van siendo más uniformes, la reducción en el vigor va siendo menos apreciable.
- ▶ Se observa la segregación de plantas anormales, débiles y parcial o totalmente estériles o que no llegan a sobrevivir.
- ▶ Se obtiene algunas líneas que difieren por su vigor, desarrollo y productividad y que son uniformes año tras año, sin cambios apreciables; sin embargo, estas líneas son, excepción, menos vigorosas y menos productivas que la población original.

1

Selección de plantas con características interesantes de una población



2

Creación de líneas puras por sucesivas autofecundaciones



1ª generación de autofecundación



2ª generación de autofecundación



3ª generación de autofecundación



7ª generación de autofecundación

PRUEBAS DE APTITUD COMBINATORIA



LÍNEA PURA
altamente homocigota para los caracteres de interés

ENDOGAMIA

Consecuencias:

- Aumentan las frecuencias de homocigotas. Expresión de alelos recesivos.
- Disminuye la frecuencia de heterocigotas.
- Las poblaciones se hacen más uniformes.
- Expresión de alelos deletéreos en homocigosis.



Propósitos

- Reducir frecuencias de los alelos recesivo deletéreo incrementar la varianza genética entre individuos de una población.

ENDOGAMIA

Coeficiente de endogamia:

- ▶ Es la probabilidad de que dos genes en un mismo locus sean iguales por descendencia. Indica la proporción en que desaparecen los heterocigotos. Se simboliza por F y es un valor cuantitativo que mide la intensidad de la endogamia y varía. $F=1$ para completa homocigosis y $F=0$ para una población panmíctica.
- ▶ El coeficiente de endogamia es calculado para determinar el nivel de homocigosis en una generación específica.

$$F = \frac{1}{2} (1 + F')$$

Donde:

F' : coeficiente de endogamia de la generación anterior.

$F=1$ homocigosis completa

$F=0$ panmixia

ENDOGAMIA

Considerando la ley de Hardy y Weinberg el valor de F se expresara en la siguiente fórmula:

Genotipo	Frecuencia	Panmixia F=0	HP F=1
AA	$P^2 (1-F) + pF$	p^2	p
Aa	$2pq (1 - F)$	$2pq$	0
aa	$Q^2 (1 - F) + qF$	q^2	q

ENDOGAMIA

Cuando el sistema de apareamiento se lleva a cabo en una población panmíctica, la frecuencia p para el gen A y la frecuencia q de su alelo a se mantienen constantes de generación en generación y el equilibrio se expresa:

$$p^2 AA + 2pq Aa + q^2 aa = 1$$

Cuando hay endogamia la expresión es:

$$p^2 (1-F) + pF AA + 2pq (1-F) Aa + q^2 (1-F) + qF aa = 1$$

ENDOGAMIA

Supongamos una población que está en equilibrio para el par Aa; $N=10$; $F=0.25$, después de 5 ó 6 generaciones de apareamiento al azar; si consideramos los dos casos siguientes:

1. La frecuencia de a es $q = 0.5$ y de A es $p = 0.5$; es decir, alelos igualmente frecuentes.
2. La frecuencia de a es $q = 0.1$ y de A es $p = 0.9$; es decir, el alelo recesivo es raro.

Para el caso 1 y la población en panmixia, la proporción de los homocigotos después de 5 ó 6 generaciones será:

$$p^2 AA + 2pq Aa + q^2 aa = 1$$

$$.25 AA + 0.50 Aa + 0.25 aa$$

ENDOGAMIA

Si la población de $N=10$, la proporción de homocigotos después de 5 ó 6 generaciones de apareamiento sería:

AA	Aa	aa
$[p^2 (1-F) + pF]$	$2pq (1 - F)$	$[q^2 (1 - F) + qF]$
$+.25 (1- .25) + (.5 \times .25)$	$+ 2 \times .25 (1- .25)$	$+ [.25 (1- .25) + (.5 \times .25)]$
31.25%	37.5%	31.25%

El incremento de homocigotos fue; para el recesivo de 0.25 a 0.3125 es decir .0625 ó 25% de incremento.

ENDOGAMIA

Para el caso 2, la proporción de panmixia de homocigotos sería:

Genotipos	AA	Aa	aa
Frecuencia	.81	.18	.01

En la población de $N=10$, la proporción de homocigotos después de 5 ó 6 generaciones en que $F=0.25$ de apareamiento al azar sería:

AA	Aa	aa
$[p^2 (1-F) + pF]$	$+ 2pq (1 - F)$	$+ [q^2 (1 - F) + qF]$
$[\.81 (1 - .25) + (.9 \times .25)]$	$+ (2 \times .9 \times .1 \times .75)$	$+ [(.01 \times .75 + .1 \times .25)]$
83.25%	13.5%	3.25% = 100

El incremento de homocigotos recesivos fue de .01 a .0325 ó 325%.

ENDOGAMIA

- ▶ Alfalfa: tras 2-3 generaciones de autofecundación la mayoría de las líneas se pierden.
- ▶ Remolacha azucarera y zanahoria son también muy sensibles
- ▶ La cucurbitáceas en general parecen poco afectadas por la endogamia: poseen alta tolerancia.
- ▶ El maíz tiene una posición intermedia: 20-30 % de las líneas llegan a altos niveles de homocigosis con respecto a la población original.



ENDOGAMIA

Manifestaciones en maíz:

- ▶ Pérdida de vigor
- ▶ Plantas deficientes en clorofila
- ▶ Tallos frágiles y quebradizos
- ▶ Plantas enanas
- ▶ Espigas pequeñas
- ▶ Panojas malformadas
- ▶ Reducción en la productividad



Figura 3. Raza de maíz Zamorano Amarillo, usada como modelo para integrar el patrón heterótico en la formación de híbridos de grano amarillo para la zona de transición en México (1900 a 2200 msnm).

HETEROSIS

Primeros trabajos:

- ▶ Koelreuter (1776) con *Nicotiana*.
- ▶ Darwin (1862) con varias especies incluyendo al maíz.
- ▶ Beal (1880) reportó vigor híbrido en cruces entre poblaciones de maíz de distintos orígenes.
- ▶ Shull (1917) denominó a este fenómeno como “heterosis” como la superioridad del híbrido sobre las poblaciones parentales.

HETEROSIS

Condición híbrida



Efecto estimulante sobre la fisiología
de la planta



Híbrido superior a los homocigotas
(Shull and East, 1908)

HETEROSIS

- ▶ Heterosis es el comportamiento superior de los individuos híbridos en comparación con los padres
- ▶ Manifestación de vigor en la F1 para uno o varios caracteres superando a la media de los padres

HETEROSIS

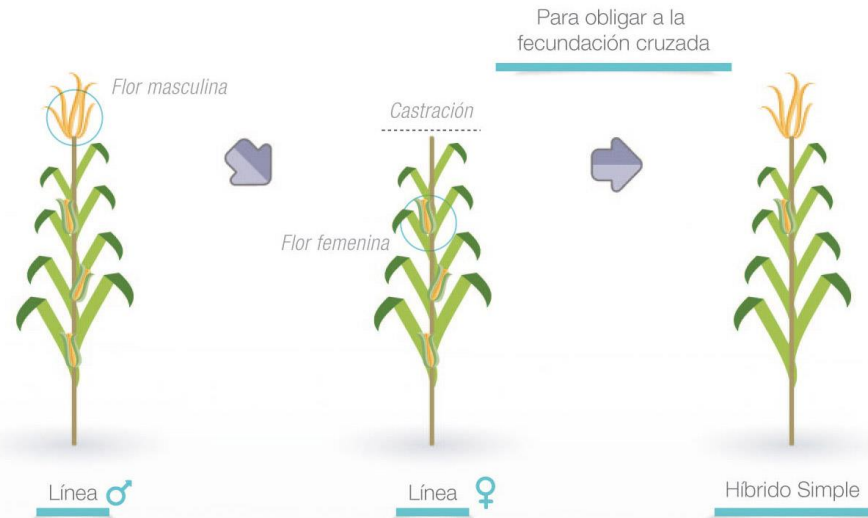
Características

- ▶ Esencialmente es un fenómeno fenotípico.
- ▶ Operacionalmente se destaca en el comportamiento exhibido por las progenies o familias.
- ▶ Mas frecuente e intenso en alógamas que en autógamias: 10% en trigo, 200% en maíz.

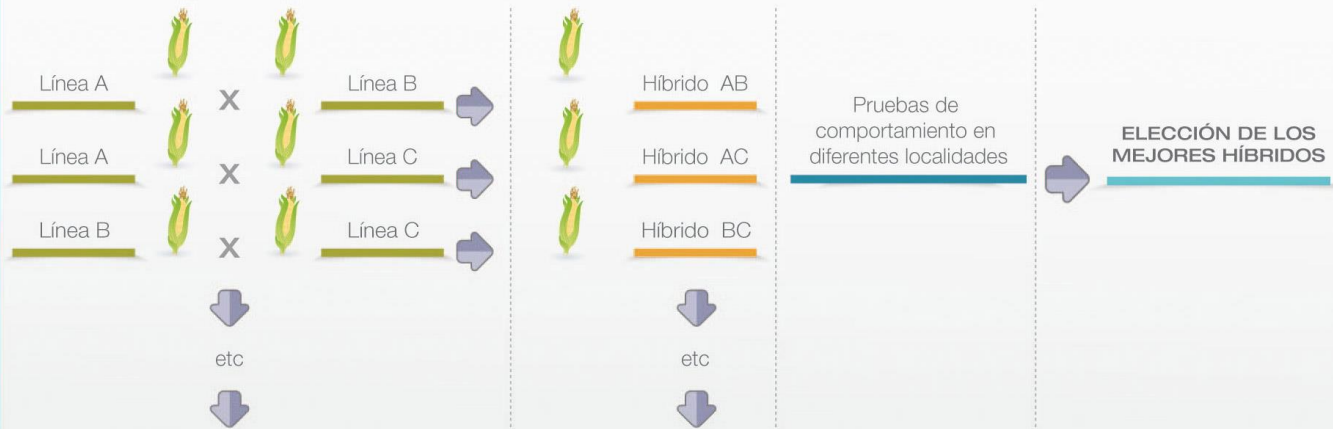
HETEROSIS

● Obtención de Híbridos

PRINCIPIO



MÉTODO

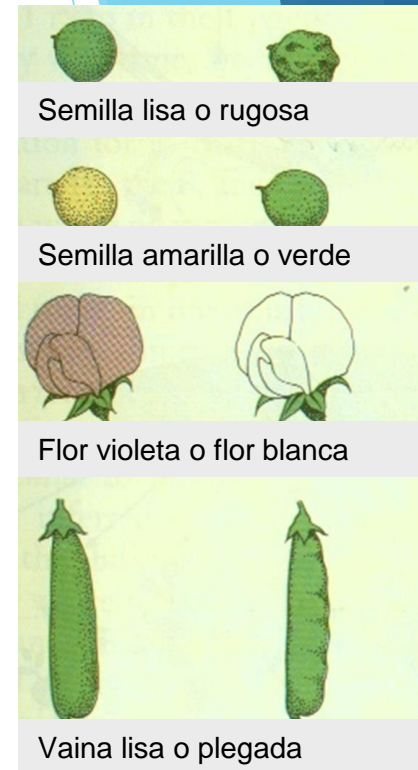


Genética cuantitativa

Se reconocen dos tipos de caracteres de acuerdo con su forma de transmisión a la descendencia: caracteres cualitativos (Mendelianos) y cuantitativos (métricos).

- **Los caracteres cualitativos (Mendelianos)**

Son caracteres de herencia simple gobernados por un par de genes, poco influidos por el medio ambiente y de alta heredabilidad. Sus diferencias son fácilmente identificables (Verde - amarillo; liso - rugoso; alto - bajo) y presentan variación discontinua.



Genética cuantitativa

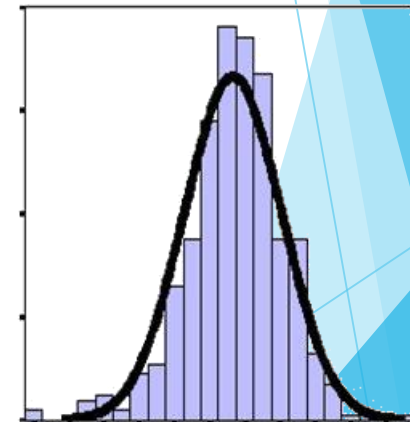
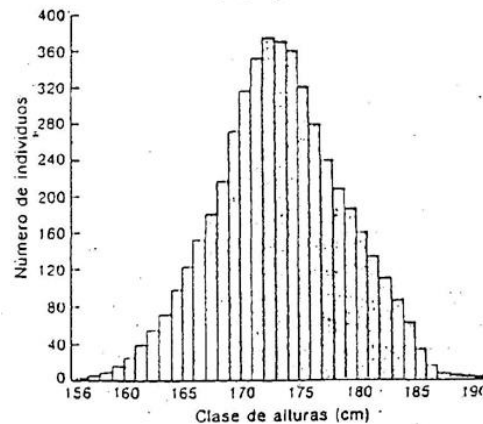
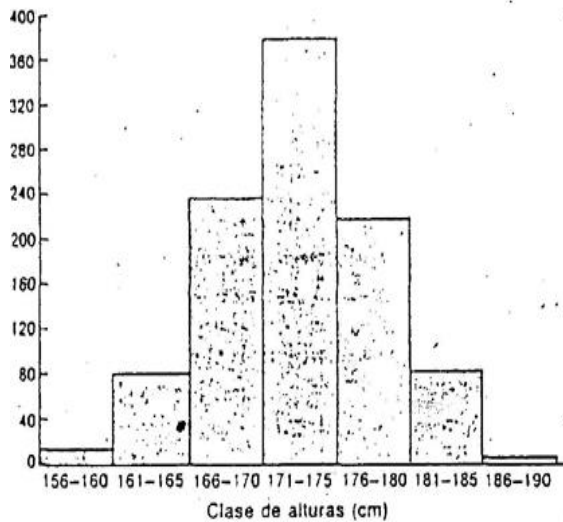
- **Los caracteres cuantitativos (Métricos)**
 - ❖ Son cualquier carácter fenotípico (morfológico, fisiológico, conductual) que toma distintos valores cuantificables en diferentes individuos y no sigue una patrón de herencia mendeliana simple.
 - ❖ Son caracteres de herencia compleja, gobernados por muchos genes (poligenes), influenciados en gran medida, por el medio ambiente y de baja heredabilidad. Sus diferencias requieren de medición para ser identificables y presentan variación continua.

Genética cuantitativa

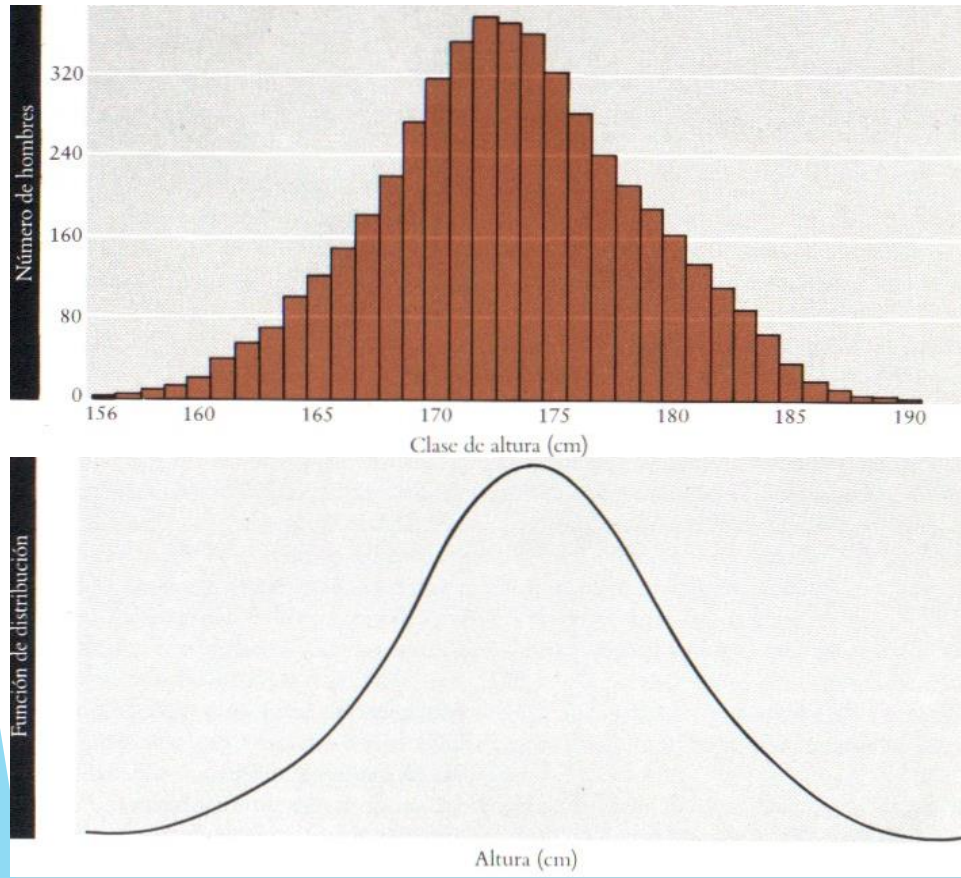
- ❖ Los caracteres cuantitativos pueden ser codificados por muchos genes (quizá de 10 a 100 o más), contribuyendo al fenotipo con tan pequeña cantidad cada uno, que sus efectos individuales no pueden ser detectados por los métodos mendelianos.
- ❖ La variabilidad fenotípica expresada en la mayor parte de los caracteres cuantitativos tiene un componente ambiental relativamente grande en comparación con el componente genético correspondiente

- Los datos de un carácter cuantitativo pueden presentarse gráficamente como una distribución de frecuencias.

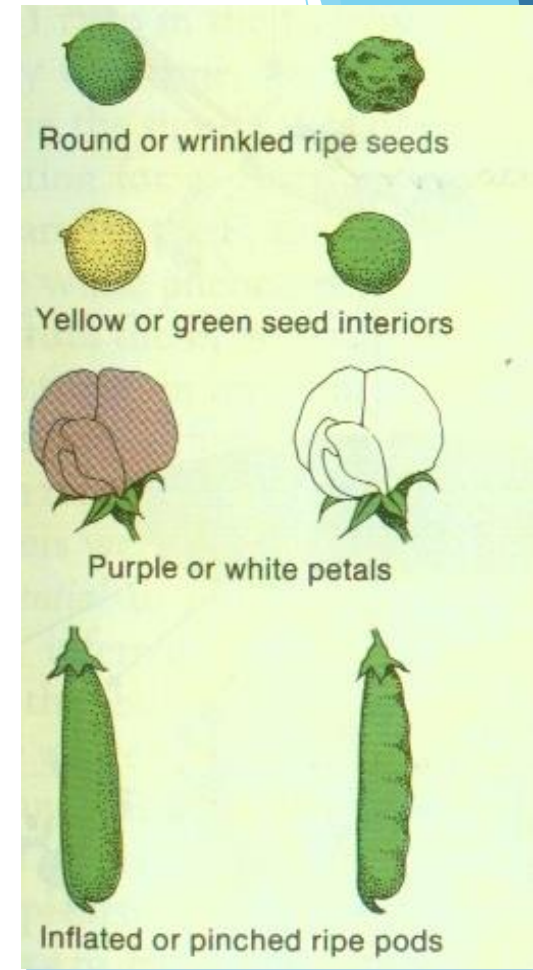
- Una de las características de los rasgos cuantitativos es que sus valores numéricos están generalmente distribuidos en una curva en forma de campana denominada *curva de distribución normal*.



Variación cuantitativa vs cualitativa

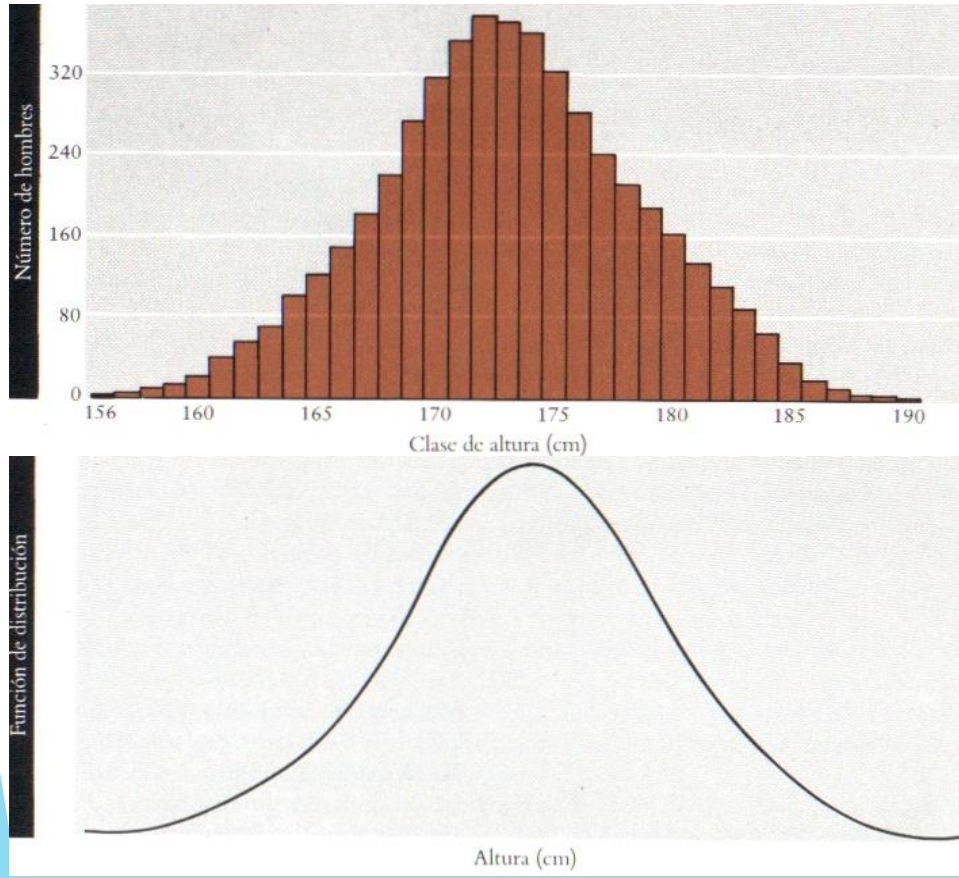


Distribución de la altura de varones adultos

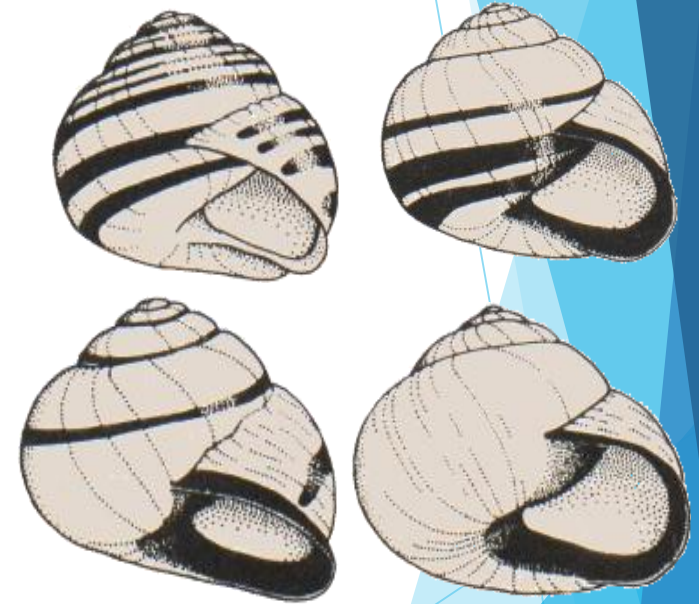


Caracteres cualitativos mendelianos

Variación cuantitativa: continua o discreta

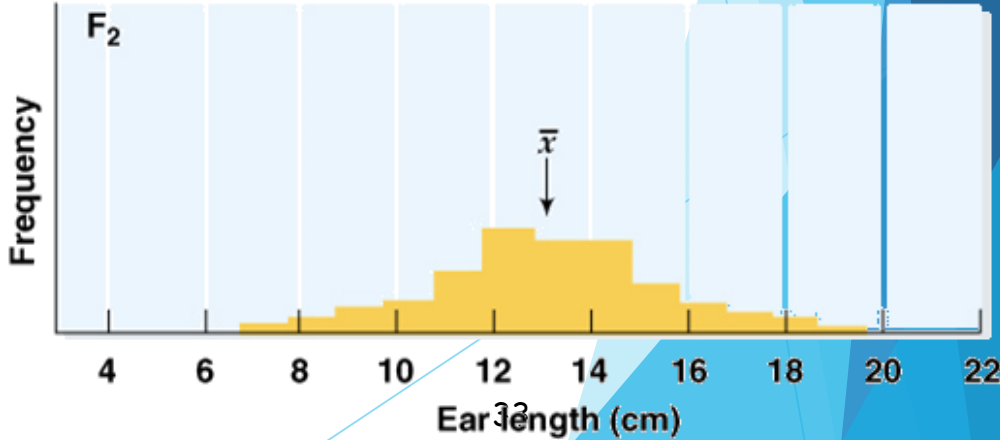
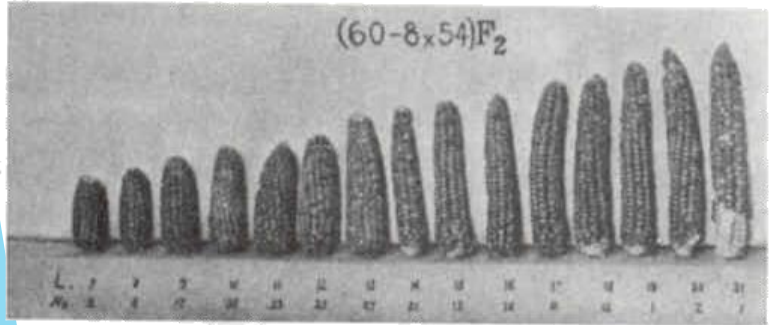
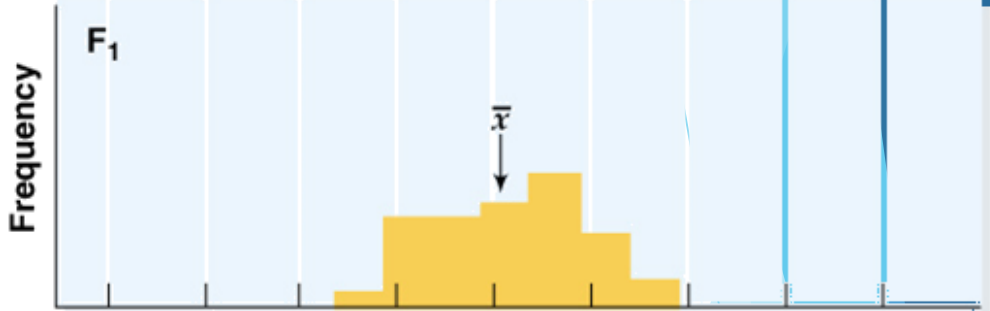
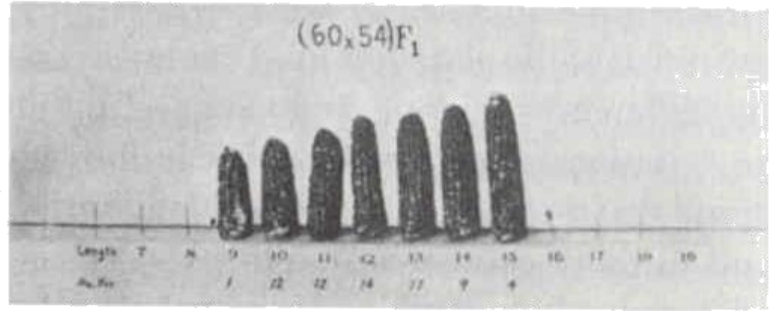
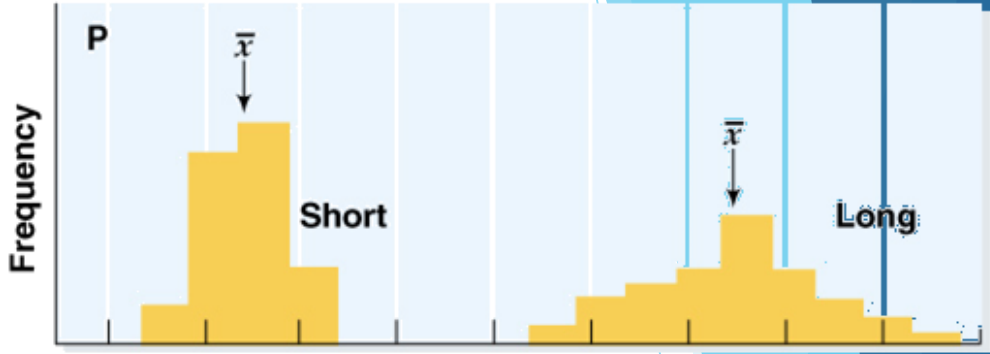
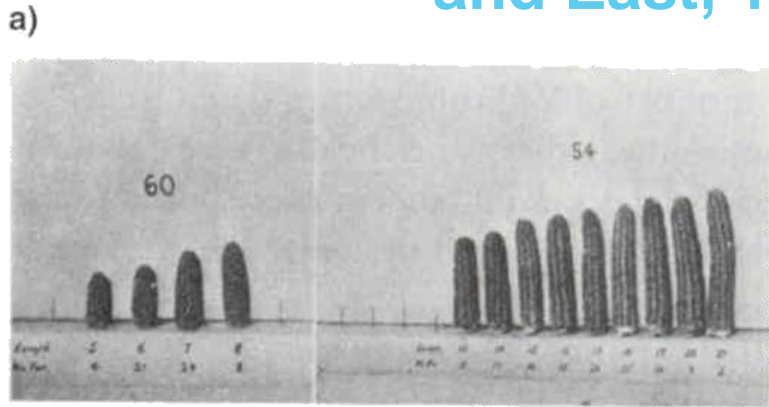


Carácter cuantitativo continuo



Caracteres cuantitativos
discreto

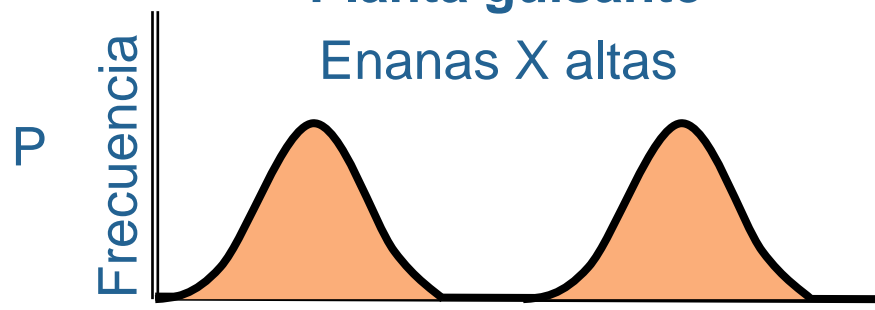
Variación cuantitativa en el maíz (Emerson and East, 1913)



Variación Mendeliana vs cuantitativa

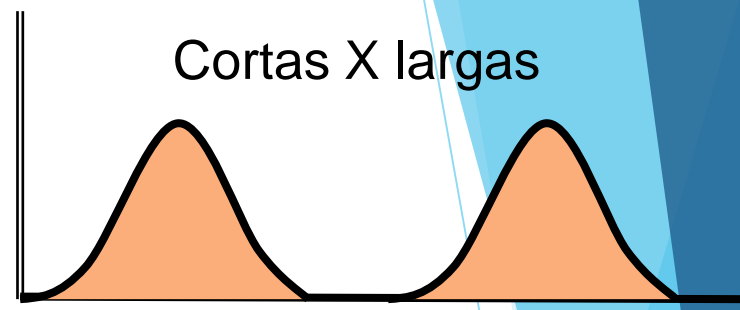
Planta guisante

Enanas X altas



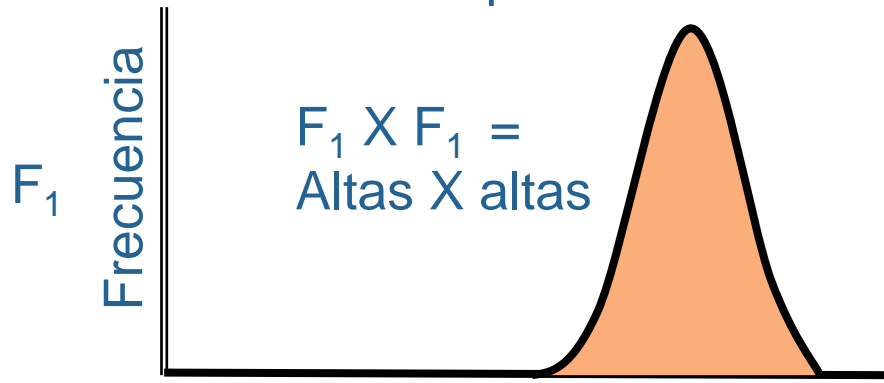
Maíz

Cortas X largas



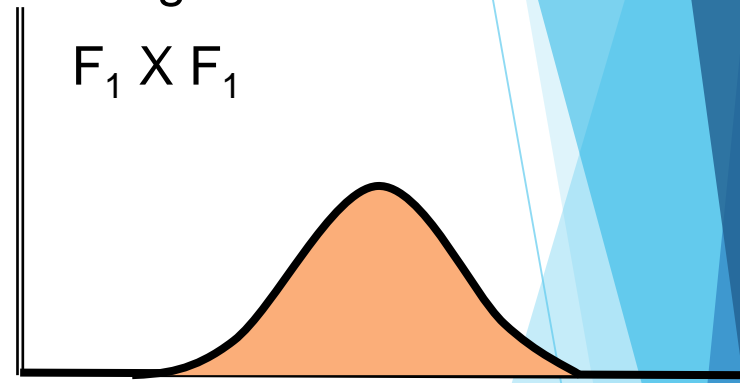
Altura planta

$F_1 \times F_1 =$
Altas X altas



Longitud de la mazorca

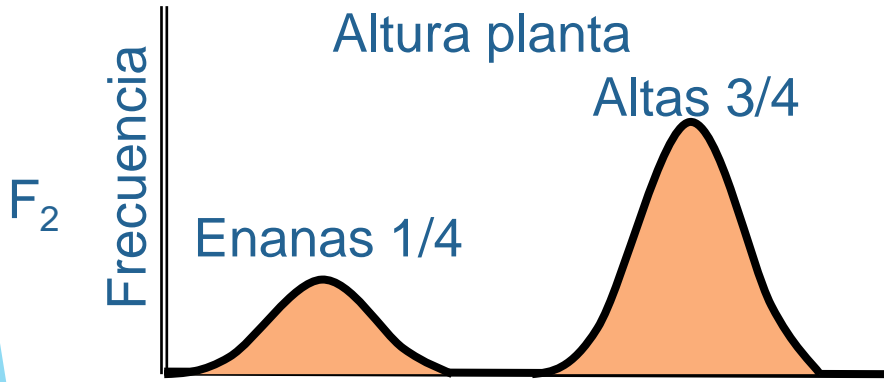
$F_1 \times F_1$



Altura planta

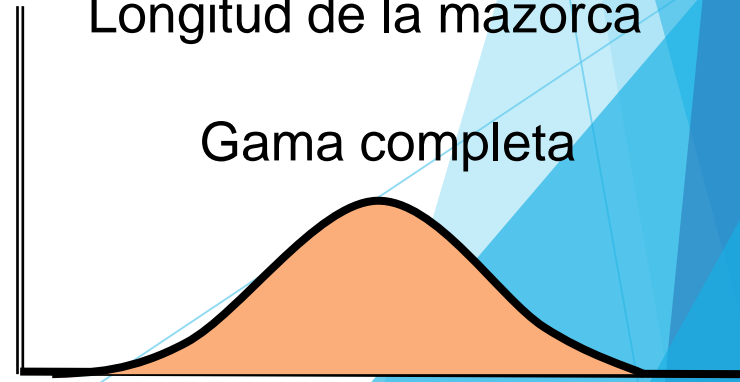
Enanas 1/4

Altas 3/4



Longitud de la mazorca

Gama completa



Genética cuantitativa

Genética cualitativa	Genética cuantitativa
<ol style="list-style-type: none">1. Caracteres de clase.2. Variación discontinua, diferentes clases fenotípicas.3. Efectos patentes de un solo gen. Genes mayores.4. Se estudian apareamientos individuales y su progenie.5. El análisis es por medio de cálculos de proporciones y relaciones.	<ol style="list-style-type: none">1. Caracteres de grado.2. Variación continua. Las determinaciones fenotípicas muestran un espectro o gama.3. Control poligénico, los efectos de los genes individuales son difícilmente detectables. Genes menores.4. Se estudian poblaciones y todos los tipos de cruzamientos.5. El análisis es de tipo estadístico, proporcionando cálculos aproximados de los parámetros de las poblaciones.

Genética cuantitativa

La naturaleza de las diferencias en los caracteres de tipo cuantitativo, requieren de dos condiciones básicas para su estudio:

- ❖ Conociendo que las relaciones fenotípicas no pueden detectarse a simple vista en progenies aisladas, se necesita para el estudio del carácter a considerar del análisis de una población.
- ❖ Para detectar las pequeñas diferencias de la expresión del carácter en la población se requiere de la medición.

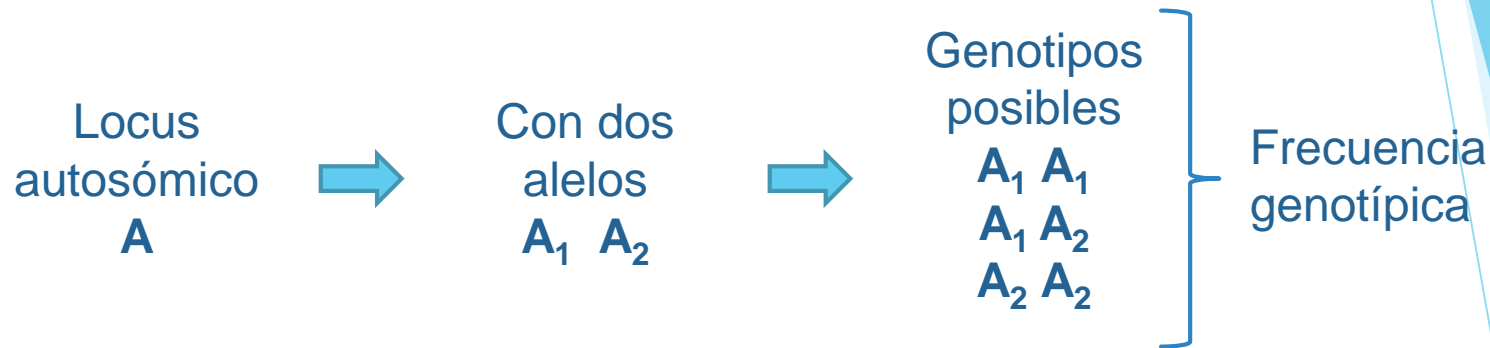
Genética cuantitativa

Población genotípica

- ❖ Por población genotípica se conoce a un grupo de individuos reproductivos; involucrándose no sólo la constitución genética de los individuos que componen la población, sino también, el que estos genes sean transmitidos a su progenie.
- ❖ En una población de este tipo, la constitución genética está descrita por la proporción o porcentaje de individuos que pertenecen a cada genotipo, la frecuencia de estos individuos es llamada frecuencia genotípica.

Genética cuantitativa

Estimación de la frecuencia genotípica



Si encontramos genotipos

- $A_1 A_1 = \frac{1}{4}$ la frecuencia de este genotipo es 25%
- $A_1 A_2 = \frac{1}{2}$ la frecuencia de este genotipo es 50%
- $A_2 A_2 = \frac{1}{4}$ la frecuencia de este genotipo es 25%

La frecuencia genotípica total debe de ser =100%

Genética cuantitativa

Estimación de la frecuencia génica

La frecuencia génica se refiere a la proporción de alelos de un gen en una población. Por ejemplo la frecuencia génica del alelo A_1 en el caso anterior sería:

	Gen		Genotipos			
	A_1	A_2	$A_1 A_1$	$A_1 A_2$	$A_2 A_1$	$A_2 A_2$
Frecuencia (f)	p	q	P	H	H	Q

La frecuencia génica de A_1 sería:

$$f(A_1) = p = P + 1/2H$$

La frecuencia génica de A_2 sería:

$$f(A_2) = q = Q + 1/2H$$

Ley de Hardy-Weinberg (Modelo de un solo locus)

- En una población grande con apareamiento aleatorio las frecuencias génicas y genotípicas permanecen constantes de generación en generación, en ausencia de migración, mutación y selección.
- La deducción de la **Ley de Hardy-Weinberg** comprende tres pasos:
 1. De los progenitores a los gametos que ellos producen.
 2. De la unión de gametos a los genotipos de los cigotos producidos.
 3. De los genotipos de los cigotos a las frecuencias génicas de la generación filial.

Ley de Hardy-Weinberg

- La generación paterna tiene las siguientes frecuencias:

$A_1 A_1$ $A_1 A_2$ $A_2 A_2$
P H Q

Se producen dos clases de gametos,
los que tiene el gen A_1 y los que
tiene el gen A_2

La frecuencia del gameto $A_1 = P + 1/2H = \text{frec. Génica de } A_1 = p$

La frecuencia del gameto $A_2 = Q + 1/2H = \text{frec. Génica de } A_2 = q$

$$P + H + Q = 1 \quad p + q = 1$$

Ley de Hardy-Weinberg

El apareamiento aleatorio entre individuos es equivalente a la unión aleatoria de gametos.

Gametos	$A_1=p$	$A_2=q$ ♂
$A_1=p$	$A_1 A_1$ p^2	$A_1 A_2$ pq
$A_2=q$ ♀	$A_1 A_2$ pq	$A_2 A_2$ q^2

Las frecuencias genotípicas de los cigotos

$$\begin{array}{ccc} A_1 A_1 & A_1 A_2 & A_2 A_2 \\ p^2 & 2pq & q^2 \\ P & H & Q \end{array}$$

Ley de Hardy-Weinberg

Finalmente se usan las frecuencias genotípicas para determinar las frecuencias génicas de la generación filial.

Frecuencia génica de $A_1 = P + 1/2H$

Frecuencia génica de $A_1 = p^2 + 1/2(2pq)$

Frecuencia génica de $A_1 = p^2 + pq$ *se factoriza*

Frecuencia génica de $A_1 = p(p+q)$ *y como $p+q=1$, entonces;*

Frecuencia génica de $A_1 = p$ la cual es la misma frecuencia génica que en la generación paterna.

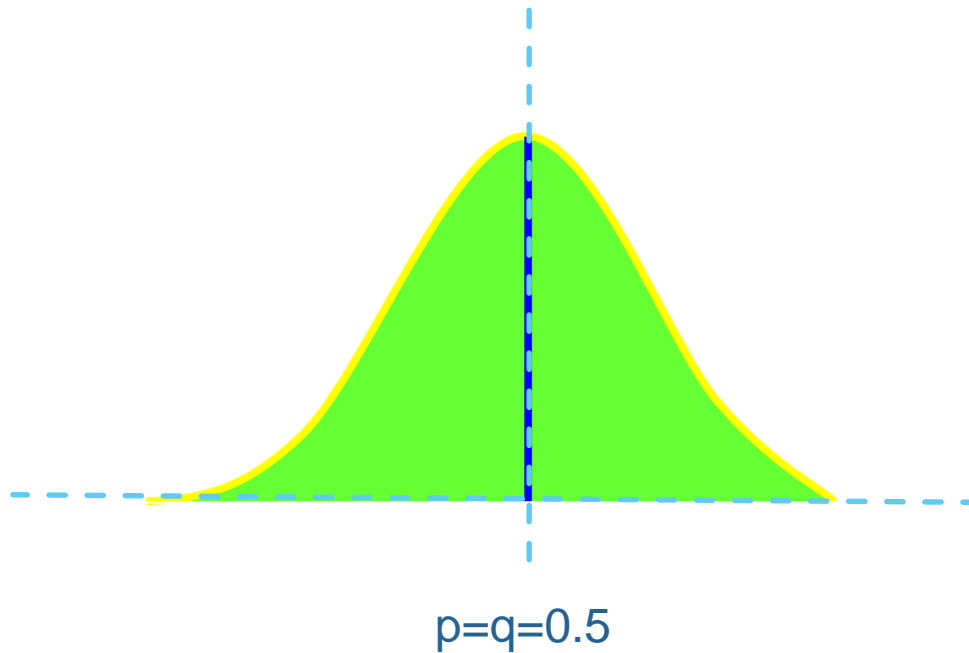
Recordar que:

$A_1 A_1$	$A_1 A_2$	$A_2 A_2$
p^2	$2pq$	q^2
P	H	Q

Del mismo modo se obtiene la frecuencia génica de A_2 , la cual resulta igual a q , igual a la generación paterna.

Ley de Hardy-Weinberg

Gráficamente el equilibrio de una población es cuando no hay cambio en la media para este caso cuando $p=q=0.5$



Equilibrio de una población según
Ley de Hardy-Weinberg

Ley de Hardy-Weinberg

Progenitores

A_1A_1 A_1A_2 A_2A_2
 0.4 0.2 0.4

Frec. genotípica parental

A_1A_1 A_1A_2 A_2A_2
 0.25 0.5 0.25

Frecuencia genotípica 1ª Generación
(Aún no está en equilibrio, ya que difieren las frecuencias genotípicas).

A_1A_1 A_1A_2 A_2A_2
 0.25 0.5 0.25

Frecuencia genotípica 2ª Generación

Gametos

Frecuencia génica de los gametos

$$f(A_1) = 0.4 + 0.1 = 0.5$$

$$f(A_2) = 0.4 + 0.1 = 0.5$$

Apareamiento aleatorio de individuos:

A_1 (0.5) A_2 (0.5)

A_1 (0.5) 0.25 A_1A_1 0.25 A_1A_2

A_2 (0.5) 0.25 A_1A_2 0.25 A_2A_2

Frecuencia génica de la generación filial

$$f(A_1) = 0.25 + 0.25 = 0.5$$

$$f(A_2) = 0.25 + 0.25 = 0.5$$

Apareamiento aleatorio del individuo

♂

A_1 A_2
 (0.5) (0.5)

A_1 (0.5) 0.25 A_1A_1 0.25 A_1A_1

♀ A_2 (0.5) 0.25 A_1A_2 0.25 A_2A_2

La frecuencia génica y genotípica del equilibrio de H-W se alcanza en la 1ª generación después del apareamiento aleatorio de individuos o en la 2ª generación partiendo de la frecuencia genotípica parental.

Modelo cuantitativo

La hipótesis de Fisher sugiere un modelo en el cual las diferencias fenotípicas entre individuos podrían escribirse en términos de sus componentes genéticos y ambientales.

$$t = T - \bar{T}$$

Donde:

T= Valor fenotípico de un individuo

\bar{T} = Media general de la población.

t= la desviación entre T y \bar{T}

$t = T - \bar{T}$, puede escribirse como la suma de una desviación genotípica (g) y una ambiental (e):

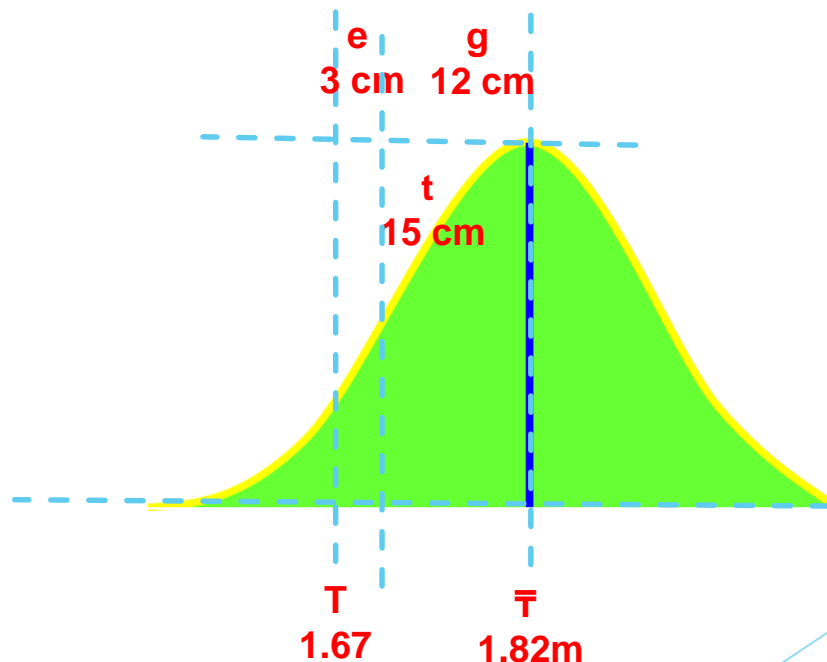
$$t = g + e$$

Modelo cuantitativo

En una muestra de árboles de durazno, el promedio de altura fue de 1.82m. Los árboles de 1.67m de altura se desviaban de es media por -15cm. ($1.82-1.67=15\text{cm}$).

Un genetista cuantitativo estimó que era de esperar que el 80% de esta desviación, o -12cm se debían a diferencias genotípicas entre individuos, mientras que el 20% restante, o -3cm, era de esperarse se debiera a diferencias ambientales.

En suma $-12\text{cm (g)} -3\text{cm (e)} = -15\text{cm (t)}$, la desviación fenotípica total.



Los individuos con altura $T = 1.67$ se desvían por -15cm. Esta desviación puede descomponerse en los componentes genético ($g = 12\text{cm}$) y ambiental ($e = 3\text{cm}$).

BIBLIOGRAFÍA

- ▶ Reyes c, P. 1985. fitogenotecnia básica y aplicada. Editorial agt editor. México. D.f. 460 p.
- ▶ MARQUEZ S, F. 1985. Genotecnia vegetal, Métodos, Teoría y Resultados (I y II). 1era. Edición, editorial AGT Editor, México.
- ▶ Cubero, J.I. 1999. Introducción a la Mejora Genética Vegetal. 1era. Edición, Mundi-Prensa, México.