

MEJORAMIENTO DE PLANTAS

Conceptos y Métodos

Theresa Fulton^a & Robert Koebner^b

^aCornell University^b CropGen International, UK

Traducido al idioma Español por Abner C. Iglesias Cruz⁽¹⁾
y autorizado su uso para el curso de Fitomejoramiento

RESUMEN

Plant Breeding o Mejoramiento De Plantas, es un módulo de aprendizaje de Integrated Breeding Platform (<https://www.integratedbreeding.net>), una plataforma de mejoramiento integrado. El libro hace énfasis sobre la importancia del mejoramiento de plantas desde antes del descubrimiento de Mendel. Detalla los temas principales de la acción genética en el Mejoramiento de Plantas, como son: los principios de la herencia, la importancia de la variación genotípica de las plantas, caracteres cuantitativos y la heredabilidad, nuevas fuentes de variación genética. Identifica los principales métodos de mejoramiento su importancia y ventajas; explica los derechos del fitomejorador sobre la producción de nuevas variedades, líneas o híbridos. Finalmente, el libro explica acerca de las nuevas tecnologías que se usan o apoyan en el mejoramiento de las plantas.

Revision por pares (*peer review*): Cornell University Plant Breeding department, Dr. R. Summers, RAGT Seeds, Cambridge, UK, y Robert Koebner.

(1) Ingeniero Agrónomo, M. Sc. Mejoramiento Genético De Plantas
(abnercelio@yahoo.com)

Docente Contratado a Dedicación exclusiva. Area de Fitomejoramiento, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria De La Selva.
Av. Universitaria s/n. Carretera Tingo María- Huánuco, Perú



INDICE

INICIO/SOBRE Plant Breeding: Conceptos y Métodos.....	5
Un Módulo de aprendizaje.....	5
Glosario de terminos comunmente encontrados en mejoramiento genetico de plantas	6
INTRODUCCION.....	9
Inicios del Mejoramiento Genético De Plantas.....	9
Ejemplo del Trigo.....	10
Historia de los primeros variedades de Trigo en Inglaterra.....	10
Polinización manual.....	11
El uso deliberado de cruzar para generar variación.....	11
El Trigo de los 1870:.....	12
Maiz:.....	12
LOS PRINCIPIOS DE LA HERENCIA.....	13
Herencia Mendeliana.....	13
Dominancia.....	13
Co-Dominancia.....	14
Dominancia incompleta.....	14
Herencia nuclear Vs. Plastidio.....	15
La herencia cuantitativa.....	16
LA VARIACION GENOTIPICA.....	17
Recombinación.....	17
Reorganización.....	18
OTRAS FORMAS DE VARIACION HEREDITARIA.....	19
Otras fuentes de variación heredable.....	19
Efectos Epigenéticos.....	19
Variantes en el número de copias.....	20
Elementos móviles.....	20

VARIACION CUANTITATIVA Y LA HEREDABILIDAD.....	21
Variación cuantitativa.....	21
Genes aditivos.....	21
Acción génica dominante.....	22
Epistasia.....	22
La Heredabilidad.....	23
La interacción genotipo X ambiente (G X E).....	23
La Heterosis.....	24
Depresión por endocría.....	24
NUEVAS FUENTES DE VARIACIÓN GENETICA.....	25
La Mutagénesis.....	25
La variación somaclonal.....	26
Transgénesis.....	26
Las cruzas amplias.....	27
LA PRACTICA DEL MEJORAMIENTO GENETICO DE PLANTAS.....	28
Definición de los objetivos del mejoramiento.....	28
Identificación de fuentes de variación genética relevantes.....	29
La elección de los progenitores.....	29
Selección en poblaciones segregantes:.....	30
Prueba de varios años y en múltiples localidades.....	30
Registros genealógicos.....	30
METODOS DE MEJORAMIENTO.....	31
Autogamas.....	31
Selección masal.....	31
Selección de línea pura.....	32
Selección por Pédigree.....	32
Descendencia de una sola semilla y líneas haploides duplicados.....	33

Haploides duplicados.....	35
Back Cross (Retrocruza).....	35
La esterilidad masculina y Híbridos F ₁	36
ALOGAMAS.....	37
Híbridos F ₁	37
Poliploides.....	39
Los niveles de ploidia afectan la fertilidad.....	40
Mejoramiento de autopoliploide.....	40
Mejoramiento de Alopoliploide.....	41
Cultivos propagados vegetativamente.....	41
Los cultivos de arboles.....	42
El mejoramiento de plantas participativo.....	42
LOS DERECHOS DE LOS FITOMEJORADORES (DF).....	43
Las nuevas tecnologías para el mejoramiento genético de plantas.....	44
Las tecnologías del fenotipado.....	44
La fotografía aérea.....	44
Los transgénicos.....	45
El mejoramiento asistido por marcadores.....	46
El secuenciamiento del ADN.....	46
El secuenciamiento de proxima generacion.....	47
El genotipado por representacion reducida.....	48
La selección genómica.....	48
Estudios de asociaciones amplias del genoma.....	48

INICIO/SOBRE Plant Breeding: Conceptos y Métodos

Un Módulo de aprendizaje

Robert Koebner y Theresa Fulton

Este módulo de aprendizaje, está destinado como un auto tutorial o un refrescador, o para proveer material de enseñanza para ser usado en un curso. Está orientado hacia científicos o estudiantes con nivel más alto con un buen antecedente en biología y un entendimiento en genética básica.

Se diseñó para ser complementado con otros módulos de aprendizaje GCP, los cuales cubren Marcadores Moleculares, Diversidad Genética, Fenotipado y Mejoramiento Asistido por Marcadores.

El módulo se presenta en 10 secciones:

1. Introducción y el desarrollo histórico del mejoramiento de plantas
2. Principios de la herencia
3. Variación genotípica
4. Otras formas de variación de la herencia
5. Variación cuantitativa y la heredabilidad
6. Nuevas fuentes de variación genética
7. La práctica del mejoramiento de plantas
8. Métodos de mejoramiento (autógamas, alógamas, poliploides, etc.)
9. Derecho de los fitomejoradores
10. Las nuevas tecnologías para el mejoramiento de plantas

Además, se incluye un glosario de términos comúnmente encontrados en el mejoramiento de plantas.

ESPECIAL AGRADECIMIENTOS A LOS MIEMBROS DEL CORNELL UNIVERSITY PLANT BREEDING DEPARTMENT Y DOCTOR R. SUMMERS (RAGT SEEDS, CAMBRIDGE, UK.) QUIÉN REVISÓ EL MATERIAL Y DIO ÚTIL SUGERENCIAS.

Glosario de terminos comunmente encontrados en mejoramiento genetico de plantas

Alelo: Forma alternante de un locus genético, por ejemplo en un locus determinado el color de ojos de un individuo podría tener el alelo para ojos azules, marrón, etc.

Breeding: El desarrollo intencional de nuevas formas de variedades de plantas o animales mediante al cruzamiento, hibridación, y la selección de la descendencia para características deseables.

Cromosoma: La estructura en un núcleo de una célula eucariota y procariota que contiene ADN.

Cross-Over: El punto a través del cromosoma meiótico, donde el intercambio de material genético toma lugar. Esta estructura frecuentemente puede ser identificado a través del microscopio.

Crossing-over: El intercambio recíproco del material entre cromosomas homólogos durante la meiosis, el cual es responsable de la recombinación genética. Este proceso involucra el proceso natural de rompimiento del cromosoma, intercambio de piezas de cromosomas y el reordenamiento de moléculas de ADN.

Domesticación: El proceso mediante el cual las plantas son genéticamente modificadas mediante selección por los humanos a través del tiempo, para características más deseables o ventajosas para los humanos.

ADN: Una abreviación para “ Acido desoxiribonucleico ”, la molécula que lleva la información genética de la herencia.

Dwarfness (Enanismo): La reducción en la altura de la planta controlada genéticamente. Para muchos cultivos, Dwarfness, mientras no es tan extremo, es una ventaja, porque esto significa que menos de la energía del cultivo se usa para el desarrollo del tallo. En vez de eso, la energía se usa para la producción de semilla/fruto/tubérculo. La revolución verde de variedades de trigo y arroz, estuvieron basados en genes enanos.

Emasculación: La remoción de las anteras de una flor antes que el polen se esparce. Para producir semilla híbrida F1 en una especie de flor monoica, la emasculación es necesario para remover alguna posibilidad de autopolinización.

Epigenetica: Variación heredable causada por diferencias en la química de ya sea del ADN (Metilación) o las proteínas asociadas con el ADN (acetilación de las histonas) más bien que en la misma secuencia del ADN.

Gameto: La célula haploide producida mediante meiosis. El gameto masculino es el grano de polen, mientras el gameto femenino es la célula huevo.

Gen: Unidad de la herencia, transmitida de generación en generación durante la reproducción. Cada gen consiste de una secuencia de nucleótidos, ocupando una posición específica a lo largo del cromosoma. Muchos genes codifican un producto funcional específico.

Genoma. Todo el material genético de un organismo.

Genotipo: La constitución genética heredada de un organismo, ver también fenotipo.

Genotipado: El proceso de identificar el maillaje de un organismo, mediante el uso de marcadores moleculares, secuenciadores de ADN, etc.

Germoplasma: La colección de un conjunto de recursos genéticos de un organismo, el cual consiste de una colección de semilla, vivero u otro tipo.

Genotipo x Ambiente (GxE): La interacción de un genotipo de la planta con el ambiente en el cual se cultiva eso que contribuye a su performance.

Haploide: Tener un conjunto simple de cromosomas, por ejemplo como en un gameto.

Haplotipo: Una combinación de variante genético (usualmente SNPs) los cuales son heredados como una unidad, porque están presentes a lo largo de un tramo tan corto que la oportunidad de un evento de recombinación ocurrido desde dentro es efectivamente cero.

Homocigoto: Contiene alelos idénticos en un locus particular.

Hibridizar: Polinización cruzada para producir híbridos.

Líneas endocriadas: Líneas que han sido auto fecundada, hasta el punto de la homocigosidad.

Depresión por endocria: La pérdida del vigor cuando algunos cultivos han reducido su heterocigosidad debido a la autopolinización forzada.

Introgresión: Movimiento de un gen o locus de una especie dentro de otro a través de la hibridación.

Landraces: Una raza local que ha sido desarrollado mediante su adaptación a su ambiente local, usualmente variedades heterogéneas.

Ligamiento, ligamiento genético: Cuando dos regiones cromosómicas están localizados físicamente cerca a cada otro tal que haya una alta probabilidad de ser heredados juntos.

Arrastre por ligamiento: La asociación negativa de genes no objetivos que son heredados con un gen de interés debido al ligamiento.

Desequilibrio de ligamiento: La asociación no aleatorizada de alelos en dos o más loci; es decir, ocurre con más frecuencia que lo esperado a través de la probabilidad.

Mapeo: El proceso de identificar la localización de un gen o segmento de ADN a través de un cromosoma. El mapeo genético es hecho a través de análisis de modelos de herencia en poblaciones segregantes (medidos en unidades de recombinación comúnmente Centi Morgans). En el mapeo físico, describe la actual localización de una secuencia en una región genómica particular (medida en bp).

Marcador molecular: Un gen o secuencia de ADN que identifica un locus particular sobre el cromosoma (sí la actual localización se conoce o no) y de quienes la herencia se puede seguir.

Mutación: Un cambio abrupto en el genotipo de un organismo que no es el resultado de la recombinación.

Patógeno: Un organismo simple el cual daña un cultivo. Los patógenos de los cultivos más importantes son los hongos, virus y bacteria. Patógenos más grandes, tales como nemátodos, ratas, aves, etc. Usualmente se refieren a plagas más que como patógenos.

Pedigree: Línea de descendencia, linaje, ancestro.

Fenotipo: La apariencia visible de un organismo. El fenotipo refleja la acción combinada del genotipo y el ambiente donde existe el individuo.

Plastidio: Organelos dentro del citoplasma de la célula de la planta el cual contiene su propio ADN y replica independientemente del núcleo. Las células de tejido verde incluye ambos Cloroplastos (los cuales son mayormente responsable de la fotosíntesis) y Mitocondrias (la cual es el lugar principal de la producción de la energía en la célula). Los amiloplastos sintetizan y almacenan almidón en tejido no verde tales como en tubérculos de papa.

Poligénico: Cuando aplicado a un carácter, este término implica que muchos genes son involucrados en su determinación. Cuando unos pocos genes son involucrados, el carácter es dicho estar bajo control oligogénico, y cuando solamente un gen es involucrado el carácter está bajo control monogénico. Muchos caracteres heredados cuantitativamente están bajo control poligénico.

Poliploidía: Un estado en la cual copias múltiples de un genoma completo están presentes. La poliploidía es raro en animales, pero común en plantas. En animales (y también en plantas) algunos tejidos dentro de un organismo diploide pueden ser poliploide. La serie poliploide es haploide (1 copia), diploide (2 copias), triploide (3 copias), tetraploide (4 copias), pentaploide (5 copias), hexaploide (6 copias), etc.

Variedad línea pura: Una variedad la cual ha sido multiplicado a través de una sucesión de autofertilizaciones de una semilla sencilla (ó algunas veces de la progenie de una planta sencilla). Variedades de línea pura se esperan ser esencialmente totalmente homocigoto y por tanto su fenotipo debería ser altamente homogéneo.

Loci de carácter cuantitativo (QTL): Las regiones del cromosoma asociado con la herencia de caracteres poligénicos.

Recombinación: La formación entre la descendencia de un apareamiento de combinaciones genéticas no presentes en cualquiera de los padres, alcanzado vía el intercambio físico de material genético durante la meiosis.

Segregación: El proceso por el cual los alelos son separados de otro como un resultado de la meiosis. Segregación puede solamente ocurrir con respecto a los genes el cual están en estado homocigota en la planta parental.

SNP: Una abreviación de "Polimorfismo del nucleótido simple", pronunciado "snip". Un SNP el cual distingue dos secuencias puede usarse como un marcador genético.

Carácter: Un carácter reconocible y medible en una planta, el cual está bajo algún control genético.

Transgénico: Un organismo conteniendo material genético de otro organismo transferido mediante ingeniería genética.

Cigoto: El producto de la fusión entre uno de los núcleo espermático del polen y la célula huevo del gameto femenino en la fertilización. Siguiendo un número de divisiones mitóticas, el cigoto se diferencia dentro del embrión.

INTRODUCCION

¿QUE ES EL MEJORAMIENTO DE PLANTAS? “EL ARTE Y LA CIENCIA DE CAMBIAR LA FORMA Y/O PERFORMANCE DE LA PLANTA PARA EL BENEFICIO DE LA HUMANIDAD ”.

Inicios del Mejoramiento Genético De Plantas

- Mucho del Mejoramiento de Plantas sucedió bastante antes de Méndel
- Pioneros recolectores probablemente identificaron individuos más productivos (Por ejemplo: árboles frutales).
- La clave del proceso fue la domesticación. Esto dio a las personas la oportunidad de realizar aquella selección de cual semilla cosechar determinaría el tipo de planta que crecería.
- El movimiento de los hombres a nuevos ambientes habría forzado a los agricultores a seleccionar por adaptación a nuevos ambientes.



Source: UK Natural Environment Research Council and Terry Brown, University of Manchester

Ejemplo del Trigo

El Trigo empezó a esparcirse fuera del creciente fértil durante el periodo neolítico.

Hace 5000 mil años, ha alcanzado el oeste y centro de Europa, norte de frica y la India.

Hace 4000 mil años fue conocido en la China.

En los años 1500, fue llevado al centro y sur de América por los colonialistas españoles. Durante los años 1600, fue llevado al sur de Africa por los colonialistas Holandeses.

En los inicios de los años 1700, fue llevado al norte de América y Canadá por Europeos del norte, y por los colonialistas Británicos a Australia a finales de los años 1700.

Desarrollo de Landrace (Variedades locales)

Landrace (variedades locales), es el producto final típico de la selección por los agricultores.

Ello tiende hacer genéticamente heterogéneo pero fenotípicamente homogéneo.



Wheat landraces
Source: Simon Orford, JIC, UK



Maize landrace cobs
Source: Wikimedia Commons

Historia de los primeros variedades de Trigo en Inglaterra

Alrededor de 1830; el trigo "Hickling" fue descubierto por Samuel Hickling y disfrutó de varios años de popularidad.

1819-1857; algunas variedades de Avena y Trigo fueron seleccionados de razas locales por Patrick Shireff.

A mediados de 1830 hacia adelante; razas locales establecidas en campos antiguos fueron reemplazados por variedades de líneas puras.



Source: Agropolis Museum

Polinización manual

La idea es antigua, ha sido usado para la producción de la Datilera por cientos o tal vez por miles de años. Un ejemplo es la Palma datilera.

La Palma datilera tiene un único sexo (monoica); entonces para maximizar el racimo del fruto, los árboles femeninos (lo cual normalmente es polinizado por el viento) comúnmente son polinizados a mano.

El número de flores masculinas de una Palma datilera, es suficiente para polinizar 40-50 árboles femeninos.

Esto permite al agricultor limitar el número requerido de árboles masculinos a dos o tres por campo.



Selling male date flowers



Fruit set on a female palm

Source:
www.nizwa.net

El uso deliberado de cruzar para generar variación

Se empezó en ornamentales (Rosa y Crisantemo) en China. Crisantemo mencionado por Confucio en la 5° centuria a.c. y aquí probablemente ser activamente mejorado desde inicios de la centuria d.c.



William Farrer, remembered on an Australian banknote



Source: <http://literarywiki.org/>

La hibridación en cereales empezó a finales de los años 1800.

El Trigo de los 1870:

En Francia, Henry De Vilmorin hizo cruces sistemáticas entre Trigo Inglés y Francés. Liberó la variedad "Dattel" en 1883.

1900: En Australia, William Farrer liberó "Federation" de alto rendimiento y resistente a la Roya.

Maíz:

1923: Se produjo el primer maíz híbrido comercial "Copper Cross".

1934: Menos del 0.5 % del hectareaje de maíz de los Estados Unidos fue ocupado por híbridos; para 1944: 59%, y para 1954: 100%.

LOS PRINCIPIOS DE LA HERENCIA

Herencia Mendeliana

Generalmente aplica a caracteres cualitativos. Algunos ejemplos:

- ¿La planta es o no resistente a los hongos?
- ¿La flor es rojo o amarillo?
- La planta necesita una cierta longitud de día para florear?

Esta situación surge cuando un carácter es controlado por un (o un número pequeño de) genes “mayores”. Hay muchos ejemplos de esto en mejoramiento:

- Resistencia a la enfermedad
- Enanismo
- Color de flor

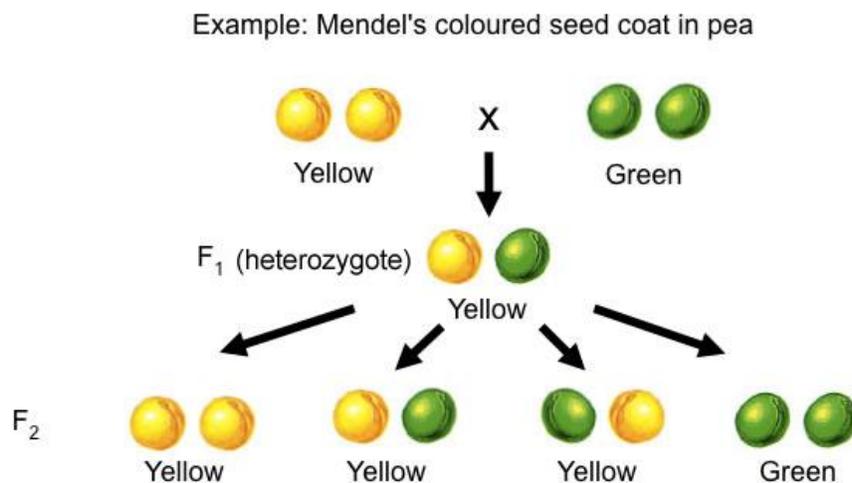
Estos caracteres son frecuentemente bastante fácil para los fitomejoradores manipularlo mediante sencilla observación en su fenotipo.

Dominancia

En cada gen en un diploide, hay dos alelos, uno heredado del padre y el otro de la madre.

Si estos alelos son diferentes de cada otro, el gen es heterocigoto. Si ellos son el mismo como uno al otro, el gen es homocigoto.

Full dominancia es donde, en el heterocigoto, solamente un alelo (el dominante) se expresa, mientras el otro alelo (el recesivo) es silencioso.



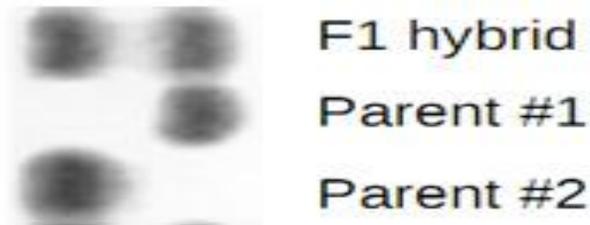
Co-Dominancia

Aquí ambos alelos se expresan

Ejemplo: Un híbrido entre una planta con flores rojas y blancas la cual produce flores rojas con manchas blancas.



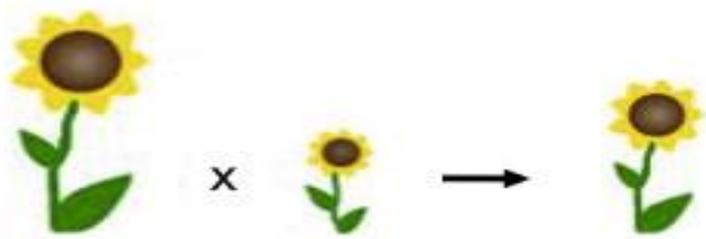
Muchas proteínas y marcadores de ADN son como este, es decir, ambos alelos parentales pueden ser detectados por separados y por igual.



Dominancia incompleta

Esto se refiere a la (común) situación donde dos alelos son ni dominante ni recesivo, sino mezcla para producir un fenotipo intermedio.

Alto X Enano, produce una planta de altura media.



Flor blanca X Flor roja, produce un híbrido con flores rosadas.



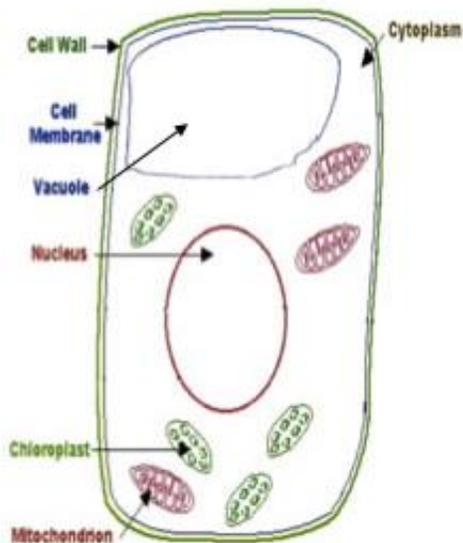
Herencia nuclear Vs. Plastidio

Mucho del ADN de una planta (ADN nuclear) está en el núcleo de la célula.

En el ADN nuclear, muchos genes están presentes como dos copias, (excepto en poliploides, donde el número de copias es el mismo como el nivel de ploidía).

Genes nucleares son heredados a través de ambos gametos masculino (polen) y femenino (huevo)

El ADN nuclear ingresa a los gametos después de la meiosis.



Algo de ADN está también presente en los cloroplastos y las mitocondrias. Esto es llamado ADN plastidio e incluye un número pequeño de genes.

Porque cada célula de la hoja contiene 20 a 100 cloroplastos y hasta miles de mitocondrias, el número de copias de genes plastidio por célula es grande.

Los plastidios están raramente presente en el grano de polen, y entonces son heredados maternalmente.

A diferencia del ADN nuclear, el ADN plastidio no pasa por la meiosis, entonces no es afectado por la recombinación.

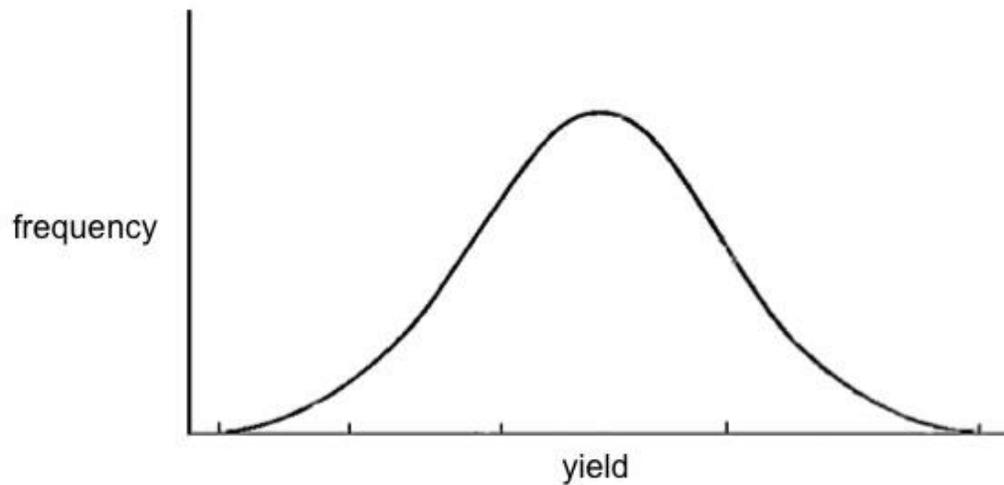
Variación en genes plastidios pueden aumentar por mutación.

La herencia cuantitativa

Muchos caracteres de la producción en la naturaleza es cuantitativa. Por ejemplo: ¿Cuanto es el rendimiento de esta variedad? ¿Cuantos días toma para florear? ¿Cuanto es su rendimiento reducido por el estres a la sequía?

El carácter cuantitativo tiende hacer controlado no por un gen, sino por varios o muchos, todos actuando juntos.

El resultado de la acción simultánea de muchos genes es una distribución continua (frecuentemente normal). Mucho del mejoramiento involucra manipular esta clase de herencia.



LA VARIACION GENOTIPICA

La variación genotípica puede ser generada de híbridos en dos maneras: Recombinación y Reorganización.

Ambos mesclan la constitución genética de los dos padres pero tampoco pueden crear nueva variación genética, porque ninguno de la progenie de un híbrido tienen nuevos alelos, lo que tienen es nuevas combinaciones de alelos existentes.

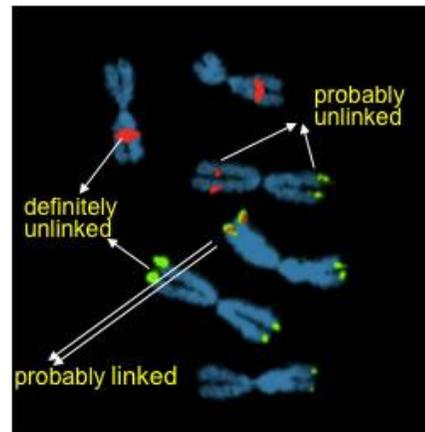
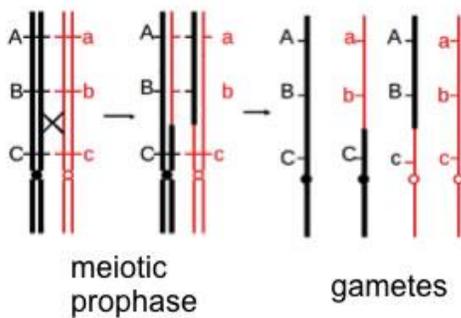
Nueva variación genética puede solamente ser introducida a través de mutagénesis (inducido o espontaneo), introduciendo un exótico germoplasma (incluyendo cruza amplias) o transgénesis.

Recombinación

La recombinación separa genes que están ligados porque se encuentran en el mismo cromosoma.

En el heterocigoto $AaBbCc$, los gametos la cual forman pueden ser ya sea "parental" (ABC ó abc) o "recombinante" (abC ó ABc).

La frecuencia de los tipos de recombinante depende de la cercanía de B a C . Esto depende principalmente sobre como físicamente están cerca B y C en el mismo cromosoma.



Reorganización

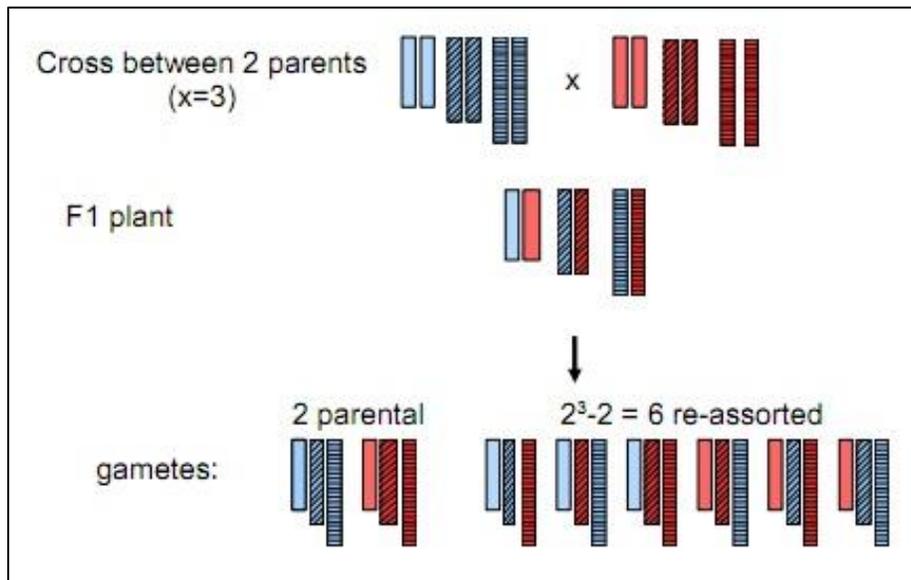
Cuando dos genes están desvinculados con cada otro porque se encuentran en diferentes cromosomas, la meiosis los separa porque cada cromosoma de un par segrega independientemente.

Mucho de la variación genotípica se creó a causa de la reorganización, porque el número de cross over en la mayoría de cromosomas vegetales es bajo.

El número de posibles gametos diferentes via reorganización depende sobre el número de diferentes pares de cromosomas presentes (usualmente llamado x).

Para $x=n$: 2^n gametos posibles, de los cuales 2 son parental, y $2^n - 2$ son reorganizados. Este número puede llegar a ser muy grande!

Por ejemplo, en el Trigo de pan, $x=21$, entonces el número de posibles reorganizaciones es $2^{21} - 2$ mayor que 2,000,000.



OTRAS FORMAS DE VARIACION HEREDITARIA

Otras fuentes de variación heredable

La variación genética hereditaria es debido a la diferencia en la secuencia del ADN de un gen. Pero hay también otras formas de variación el cual pueden afectar el fenotipo. Estos son:

- Variación epigenética
- Variación en el número de copias
- Variación debido a la actividad del transposón

Efectos Epigenéticos

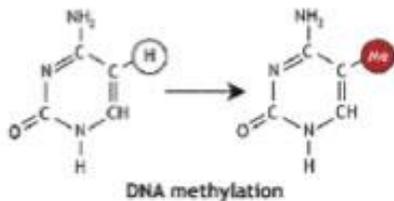
Está aumentando evidencia que parte de la variación es debido a efectos epigenéticos.

Esto puede ser a pequeños cambios en la química del ADN (especialmente la metilación).

O en la proteína asociada con el ADN (acetilación de las histonas).

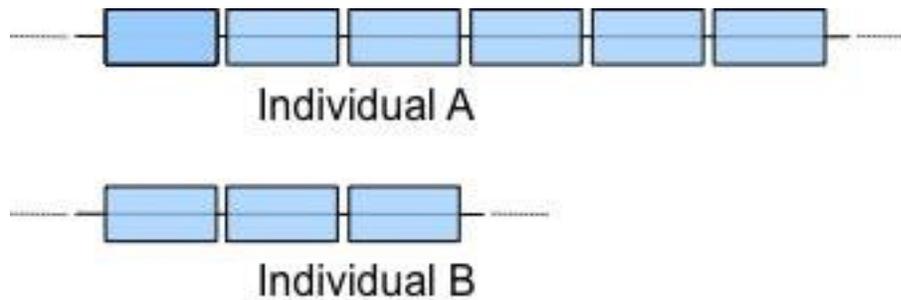
Esta fuente de variación es difícil de manejar en el presente, porque ensayos prácticos aún no han sido desarrollados.

Entonces herencia epigenética permanece impredecible.



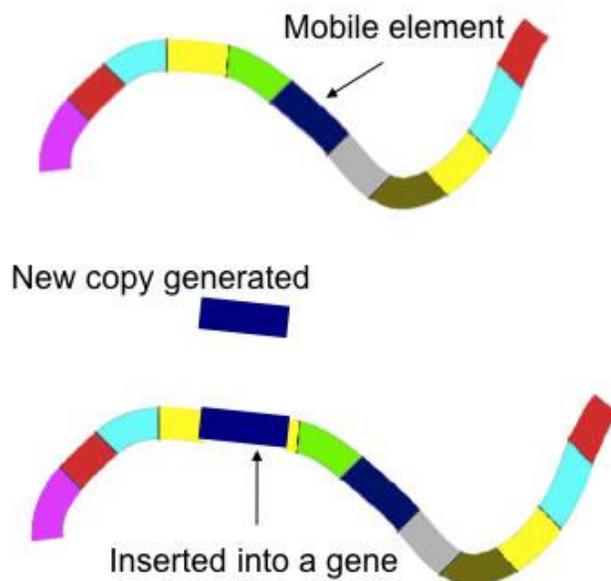
Variantes en el número de copias

Otra fuente refleja diferencias en el número de copias de un gen particular en un locus simple. En humanos, variantes en el número de copias (CNV's) son conocido hacer responsable de ciertas enfermedades. CNV's ocurre en genomas de plantas también. (ver Knox *et al.* (2010) *Theor. Appl. Genet.* 121:21-35).



Elementos móviles

Una tercera fuente es debido a la acción de elementos móviles (“genes saltarines”). Estas son piezas cortas de ADN el cual pueden (y hacer) mover de un lugar a otro en el genoma. Cuando aterrizan en una nueva posición, esto puede perturbar la expresión de un gen cerca al sitio de aterrizaje.



VARIACION CUANTITATIVA Y LA HEREDABILIDAD

Variación cuantitativa

Donde un número de genes actúan juntos sobre el mismo carácter, ello se puede hacer mediante tres maneras:

- Aditivamente
- Dominantemente
- Epistáticamente

Para las autógamias, mucho del mejoramiento (excepto para los híbridos F_1) la varianza aditiva es lo más importante de esto. Porque la acción génica dominante es irrelevante donde los genes son homocigotas, y la epistasis es generalmente un factor menor. Pero para alógamas, ambos genes actuando aditivamente o dominantemente son igualmente importante, porque muchos genes estarán en estado heterocigota.

Esto dificulta la confiabilidad de distinguir entre plantas la cual solamente difieren de otro a través de una pequeña cantidad con respecto a un carácter cuantitativo.

Entonces el progreso para estas características es gradual.

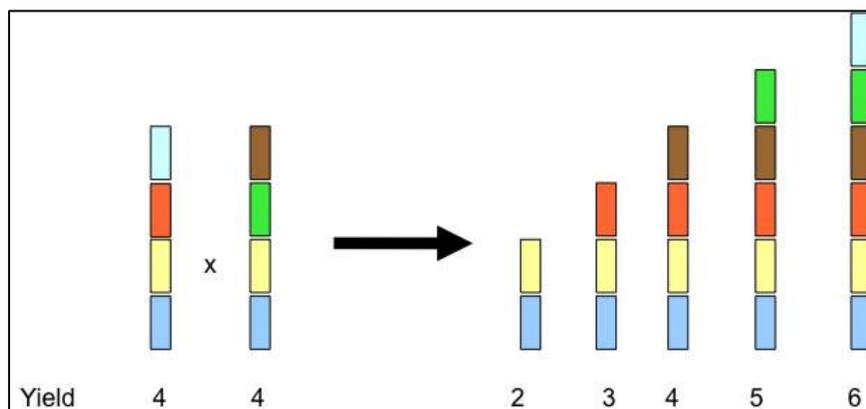
Los fitomejoradores están tratando de reunir alelos favorables no todos a la vez sino pocos al mismo tiempo.

El progreso puede continuar hasta que todos los alelos favorables han sido ensamblados en una variedad simple.

Genes aditivos

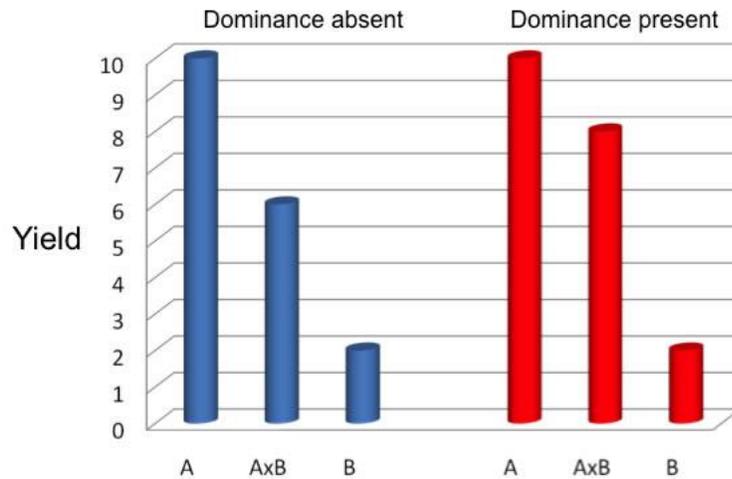
Genes aditivos son aquellos el cual cada uno contribuye independientemente a un carácter dado. Estos son lo más fácil de manipularlos para los fitomejoradores.

Por ejemplo, suponga que el rendimiento fue determinado por 6 genes, cada uno de los cuales tuvo un efecto similar en el rendimiento. Si un cruce es hecho entre dos variedades cada uno con cuatro “buenos” genes, entonces debería ser posible seleccionar plantas con más alto (o más bajo rendimiento).



Acción génica dominante

Acción génica dominante se reconoce cuando el performance de un heterocigoto no es la media de la de sus dos progenitores homocigotos.

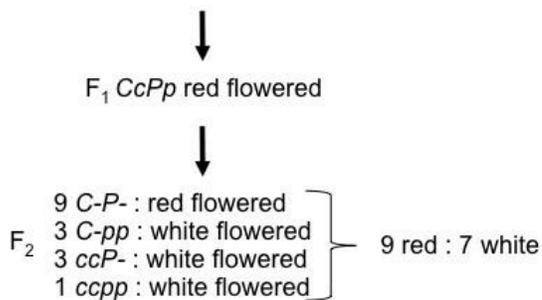


Epistasis

Algunos genes no actúan independientemente entre sí, sus efectos dependen del estado alélico en uno (o más) otros genes. Estos genes resultan en una interacción epistática.

An example:

red flowered pea ($CCPP$) x white flowered pea ($ccpp$)



	CP	Cp	cP	cp
CP	$CCPP$	$CCPp$	$CcPP$	$CcPp$
Cp	$CCPp$	$CCpp$	$CcPp$	$Ccpp$
cP	$CcPP$	$CcPp$	$ccPP$	$ccPp$
cp	$CcPp$	$Ccpp$	$ccPp$	$ccpp$

Both C and P need to be present to get a red flowered plant, so P acts epistatically on C

La Heredabilidad

Definido como la proporción de la variación total en una población en la cual es debido a factores genotípicos (como opuesto al ambiental).

A menudo denotado como h^2 . Porque es una proporción, esto varía entre 0 a 1.

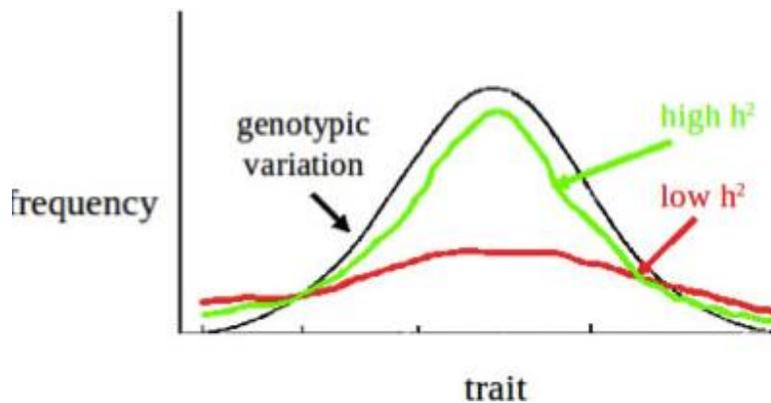
La Heredabilidad en el sentido amplio incluye efectos dominante, epistático y aditivo.

La heredabilidad en el sentido estrecho, solamente incluye variación aditiva.

Si $h^2=0$, ninguna de la variación es genotípica, todo es debido a la variación en el ambiente.

Si h^2 es pequeño, el carácter es fuertemente influenciado por el ambiente. Por ejemplo, el rendimiento.

Si h^2 es grande, el carácter es sólo ligeramente influenciado por el ambiente (por ejemplo, el color de flor).



La interacción genotipo X ambiente (G X E)

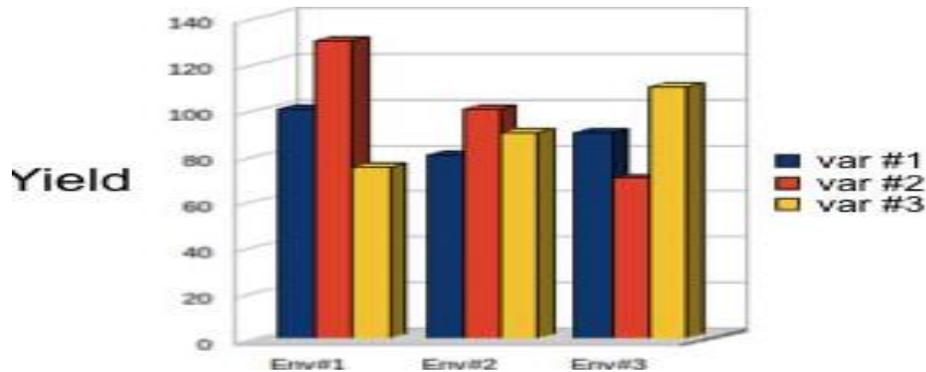
El performance de cada planta está determinado tanto por su genotipo y el ambiente en el que se cultiva.

Pero que acerca del performance de un genotipo dado en un número de ambientes diferentes?

El mejor intérprete en un ambiente (por ejemplo la var#2 en un env#1) podría no ser el mejor en otro. La var#2 es el más pobre intérprete en el env#3.

Entonces cual es la mejor variedad aquí? Esto depende de cual ambiente es de mayor importancia.

Porque GXE es tan común, es usualmente mejor para identificar una línea el cual demuestra un performance “estable”. Aquí, esto es la var#1 aunque no es el más alto rendidor en cualquiera de los tres ambientes.



La Heterosis

La Heterosis es un concepto importante para el mejoramiento híbrido. El nivel de superioridad del híbrido heterocigoto entre dos líneas endocriadas puede ser 20 % a más grande.



Source: Sherry Flint-Garcia (USDA)

Two maize inbreds (B73 and Mo17) and their F_1 hybrid (in the centre)

Depresión por endocría

Pero (a diferencia de las autógamias) las alógamas generalmente no toleran mucho la homocigosidad. Si la autopolinización es impuesto por la fuerza, el vigor de la planta usualmente declina.

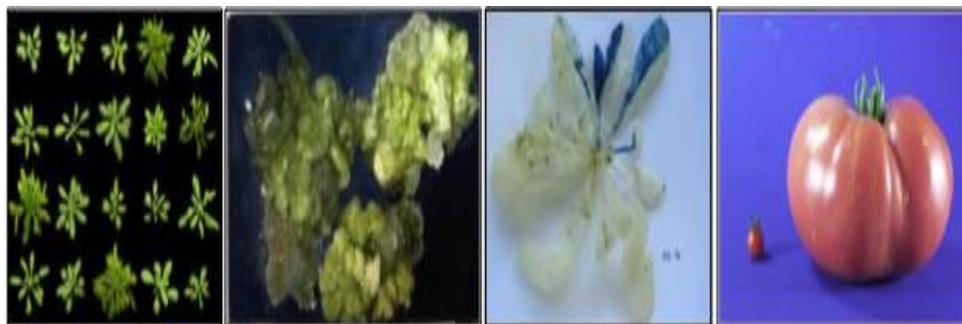
Este fenómeno es llamado “depresión por endocría”.

Sin embargo, cuando líneas endocriadas son intercruzadas, la heterocigosidad se restablece y el performance de la planta se mejora como un resultado de la heterosis.

La base molecular de la heterosis y la endocría sigue siendo controvertido.

NUEVAS FUENTES DE VARIACIÓN GENÉTICA

Nuevos alelos o nuevos genes pueden surgir de la mutagénesis, variación somaclonal y cruza amplias. Pero estas fuentes solamente deberían seriamente ser considerados cuando realmente no hay nada adecuado en el germoplasma convencional porque todos ellos son más difíciles de usar que el germoplasma “normal”.



Source: biology-blog.com

ceoe.udel.edu

jic.ac.uk

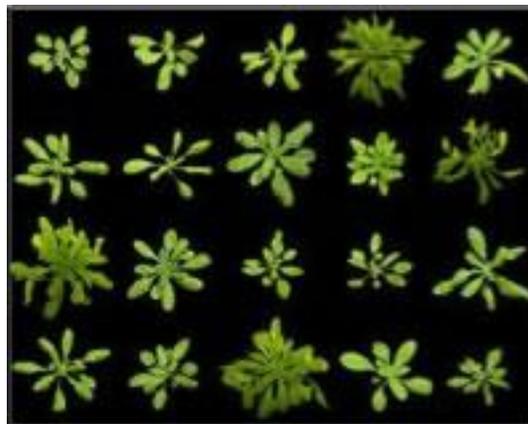
S.D. Tanksley

La Mutagénesis

La mutagénesis puede ser inducido por ambos agentes: físicos (por ejemplo: rayos X, rayos Y) o químicos (por ejemplo: EMS o azide).

Sin embargo:

- La frecuencia de éxito es muy bajo.
- Para el carácter objetivo, se necesita una efectiva técnica de selección.
- Muchas mutaciones son deletéreos y recesivos.
- La mutagénesis afecta el genoma total, entonces muchos cambios se inducen al mismo tiempo.



La variación somaclonal

La variación somaclonal ocurre cuando el tejido de la planta se cultiva *in vitro* y luego se regenera en la planta entera.

Sin embargo:

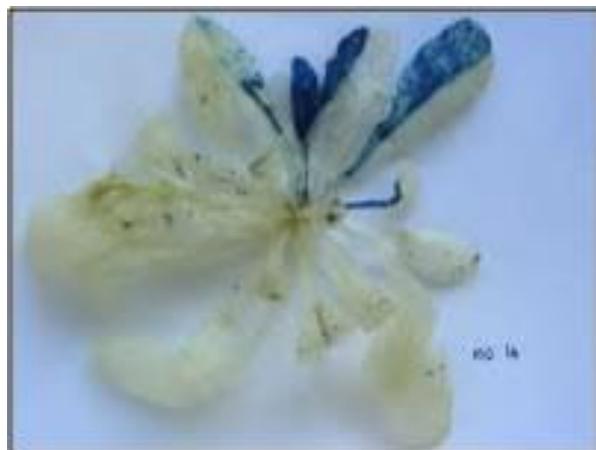
- La frecuencia de regeneración es típicamente bajo
- La frecuencia de eventos favorables es muy bajo
- Gran parte de la variación inducida es epigenético (por lo tanto impredecible).



Transgénesis

La transgénesis (también conocido como ingeniería genética) implica la transferencia *in vitro* de un gen o genes (que normalmente son de una especie no relacionada, pero no necesariamente). Es una tecnología poderosa, siempre en cuando exista un transgén disponible adecuado. Si lo hay, la pregunta es si se tiene licencia para usarlo.

Si tu planeas hacer un nuevo evento transgénico, necesitas tener la capacidad para realizar la transformación. Tú también necesitas estar conciente de todos los temas regulatorios circundantes a la liberación de un cultivo transgénico.



Las cruas amplias

La idea de las cruas amplias es tomar ventaja de los parientes silvestres del cultivo, mucho de los cuales albergan genes interesantes.

Hay muchos temas técnicos a considerar, por ejemplo:

- ¿Es la crua probable hacer exitoso?
- ¿Es rescatable el híbrido?
- ¿Es fértil el híbrido?
- ¿Hay un problema de reducción (o ausencia de) recombinación?
- ¿Es el carácter suficientemente heredado para permitir la introgresión?

A pesar de estos temas, las cruas amplias se han usado con considerable éxito en algunos cultivos. Algunos ejemplos:

- Resistencia a la Marchitez en Papa
- Resistencia a la Roya en Trigo
- Resistencia a los insectos en Arroz

Las cruas amplias se hicieron entre tomate silvestre (izquierda) y tomate cultivado (derecha), resultando en el incremento del tamaño del fruto, azúcar más alto y el color más rojo en la variedad cultivada.



LA PRACTICA DEL MEJORAMIENTO GENETICO DE PLANTAS

Definición de los objetivos del mejoramiento

La primera prioridad es que está tratando de lograr.

Probablemente no es posible solucionar todos los problemas de una sólo vez, entonces es importante decidir cuál es el carácter más importante a ser mejorado, y hacer una lista de prioridades.

Si (por ejemplo) una variedad de repente se ha convertido susceptible a una enfermedad pero es muy apreciado por los agricultores y los consumidores, entonces la prioridad probablemente será solucionar el problema de la resistencia.

Si (otro ejemplo) la restricción más importante para la productividad es la sequía, entonces una alta prioridad podría ser mejorar la tolerancia del cultivo a la sequía.

Si (un tercer ejemplo) Usted está tratando de mejorar un cultivo que actualmente se cultiva como una raza local, Usted necesitaría entender cuál es el carácter más importante en opinión de los agricultores y consumidores. A menudo esto implica la calidad del uso final en lugar del rendimiento. Pero podría ser que Usted está compitiendo con otros programas de mejoramiento, y que Usted necesita el rendimiento como la prioridad # 1.

Una consideración más importante es la factibilidad: Es decir, "Lo que es realísticamente alcanzable".

No es sensato apuntar a mejorar tolerancia a la sequía cuando usted no tiene una forma fiable de fenotipación, y/o no se conoce fuente de variación conocido.

Aquí una lista de preguntas las cuales un mejorador debería considerar:

- ¿Qué carácter podría ser mejorado para hacer una mejor variedad que el que tengo?
- ¿Cuáles son las fuerzas principales que limitan este carácter?
- ¿ Es éste un problema el cuál puede ser realísticamente direccionado?

Identificación de fuentes de variación genética relevantes

Las opciones son (probablemente en este orden de preferencia):

1. Las variedades liberadas localmente
2. Sus propias líneas del fitomejorador
3. Las Líneas endocriadas producidas por los programas de mejoramiento
4. Las razas locales
5. Las variedades liberadas por los programas de mejoramiento de otros países.
6. Las accesiones del Banco De Germoplasma

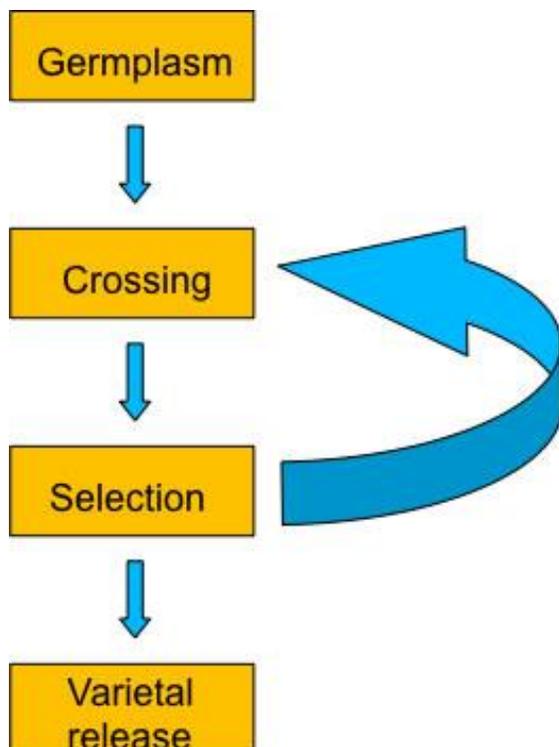
Tenga en cuenta que debido a las regulaciones internacionales de gobiernos el intercambio de germoplasma, puede ser mucho más fácil obtener material de un Banco De Germoplasma que otro programa en otros países.

La elección de los progenitores

Esto es quizás la decisión crítica hecha en cualquier programa de mejoramiento. Depende en gran medida de su objetivo de mejoramiento. Es generalmente imprudente “poner todos los huevos dentro de una canasta”.

Hay un viejo dicho: “Cruza el mejor con el mejor y espera por el mejor”

No es tan simple como aquello ... pero la primera parte del dicho no es tan irrazonable.



Selección en poblaciones segregantes:

El genotipo es más preciso, pero solamente si el marcador que se utiliza es el perfecto (es decir, se encuentra dentro del gen para el que se selecciona).

El fenotipo es típicamente más relevante y algunas veces más barato (pero note que esta igualdad está cambiando cuando el costo del genotipado cae).

Si la heredabilidad es alta, la selección fenotípica deberá casi siempre preferirse. Pero cuanto más bajo es, el genotipaje comienza más a valer la pena.

El genotípico (MAS) es particularmente el más adecuado para:

- Caracteres que son más difíciles de analizar
- Juntar (pirámide) genes que cada uno por su cuenta dan un fenotipo similar (particularmente resistencia a la enfermedad).

Prueba de varios años y en múltiples localidades

Los ensayos en múltiples localidades son una parte esencial del mejoramiento genético de plantas debido a la ubicación de las interacciones GXE (Genotipo X ambiente).

El número de las localidades va depender de la disponibilidad del material de semilla/siembra y el nivel de recursos disponibles.

Las localidades necesitan ser representativos del ambiente donde se espera que una nueva variedad crezca.

Múltiples años es necesario para evaluar el performance sobre las estaciones. En generaciones posteriores, el tamaño de cada parcela tiende a aumentar (esto mejora la confiabilidad de los ensayos), porque la disponibilidad del material de siembra se incrementa y el número de entradas a ser probadas disminuye.

Registros genealógicos

Importante tanto para entender su propio germoplasma, sino también por razones reglamentarias.

La convención es primero colocar el progenitor femenino: Así **A x B** (ó **A/B**), significa que **A** fue el progenitor femenino y **B** el masculino.

(A x B) x C (ó **A/B//C**), significa que el híbrido **A x B** fue cruzado como femenino a **C**.

A/B*3, es taquigrafía para **A/B//B//B**, es decir el híbrido **A x B** fue cruzado como femenino a **B**, y luego este híbrido fue cruzado de nuevo con **B**.

METODOS DE MEJORAMIENTO

AUTOGAMAS

1. Selección masal
2. Selección de línea pura
3. Selección por pédigree
4. Descendencia de semilla única
5. Dobles haploides
6. Back Cross (Retrocruza)
7. Híbridos F_1 y esterilidad masculina

ALOGAMAS

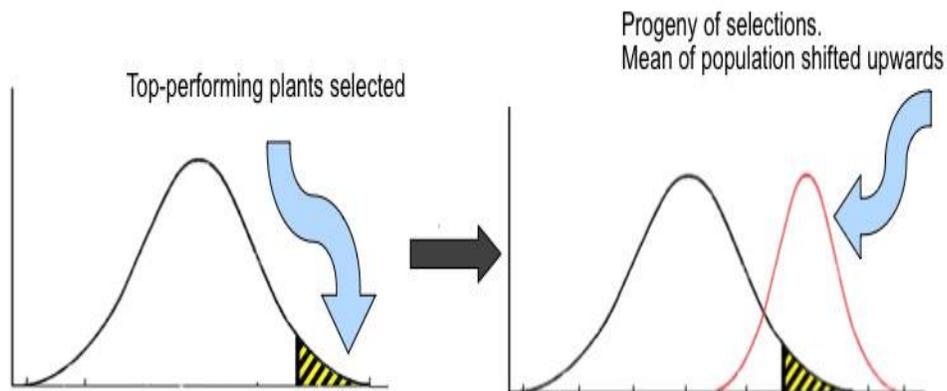
1. Poblaciones de polinización abierta
2. Poblaciones sintéticas de polinización abierta
3. Híbridos F_1

Autogamas

Selección masal

La selección fenotípica se lleva a cabo para identificar el “mejor” tipo de una población segregante, una raza local, etc. La progenie de estas selecciones se mezclan para producir la siguiente generación.

La idea es incrementar el rendimiento medio de la población en su conjunto. El resultado esperado es una población genotípicamente heterogénea que se desempeña mejor que el original. Puede repetirse en sucesivas generaciones (hasta que se haya agotado la variación genotípica). La eficiencia del enfoque es muy dependiente de la heredabilidad del carácter bajo selección.

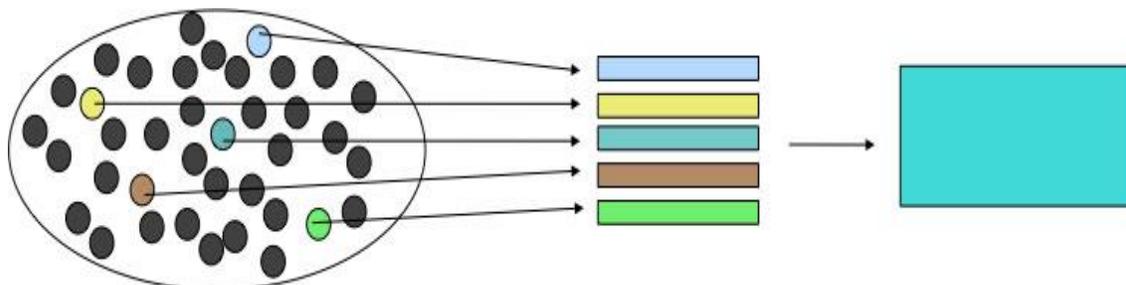


Selección de línea pura

La progenie de las selecciones de una planta sola se mantienen separadas, no mezcladas.

El resultado esperado es un conjunto de líneas genéticamente homogéneas.

La selección de la progenie es colocada sobre filas (o parcelas).

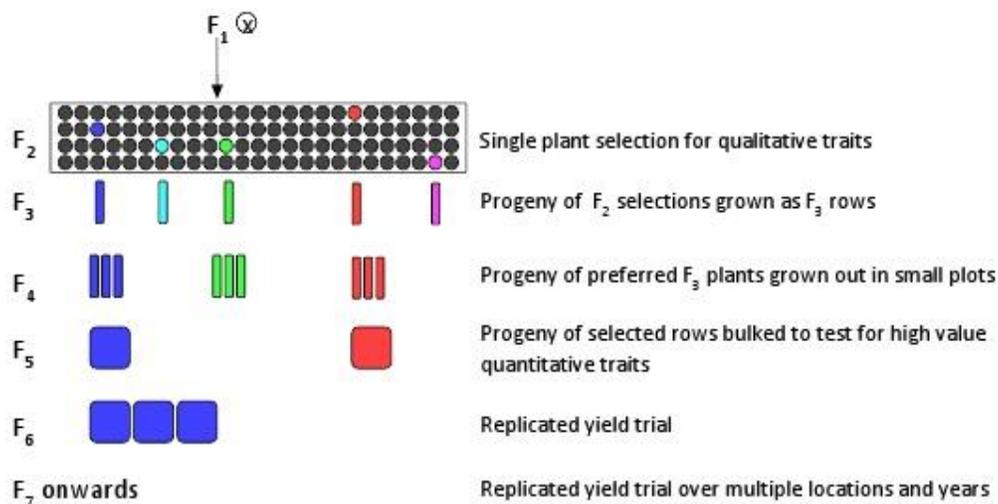


Es el enfoque más común adoptado para mejorar las razas locales. Las líneas puras son más predecibles que las razas locales heterogéneas, pero también son más vulnerables a cambios ambientales abruptos (Por ejemplo, la nueva raza de un patógeno).

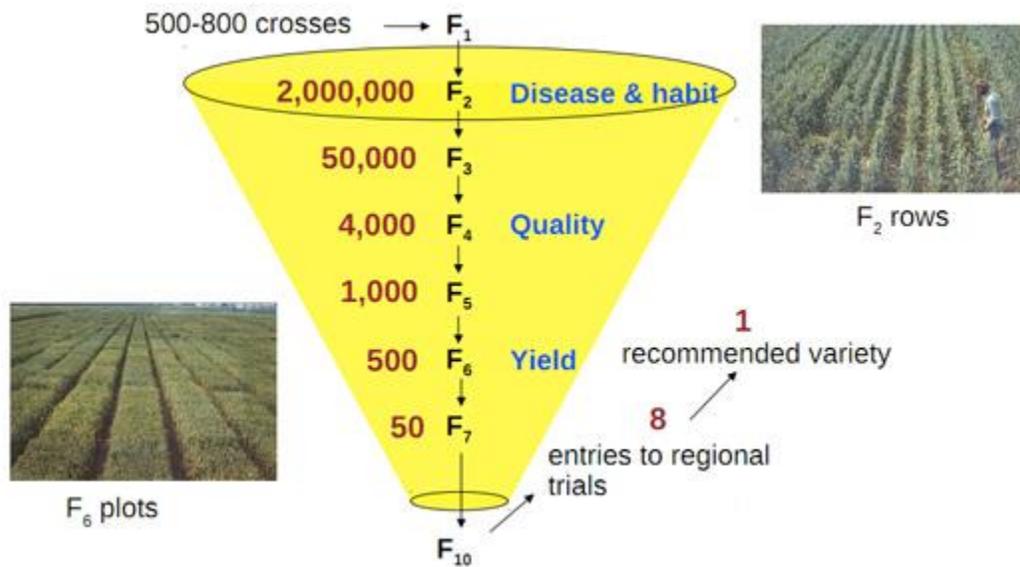
Selección por Pédigree

Este es un método muy utilizado, con muchas modificaciones menores.

Comienza con una F_1 entre dos padres, y procede con la selección de la F_2 en adelante.



El mejoramiento por Pédigree del Embudo: Un gran Programa de mejoramiento de Trigo



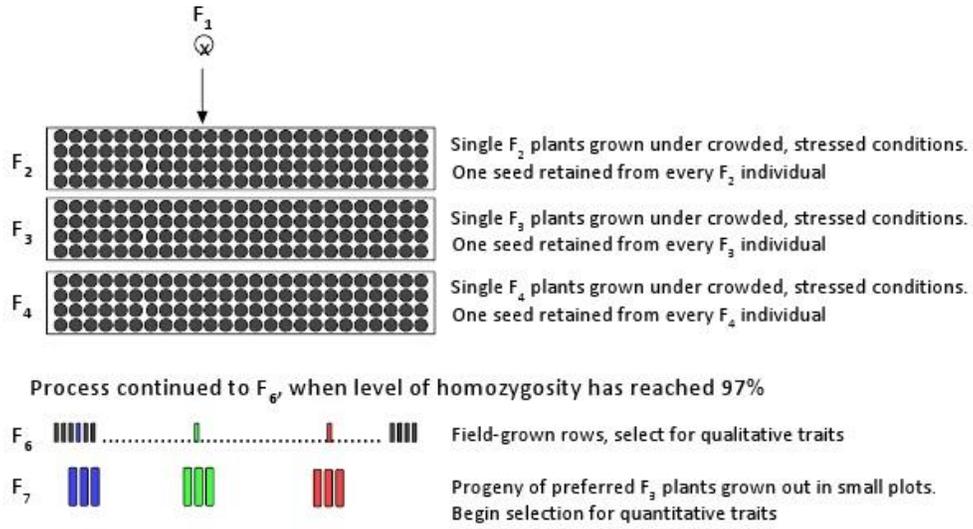
Descendencia de una sola semilla y líneas haploides duplicados

El mejoramiento por Pédigree toma mucho tiempo, especialmente si cada generación requiere un año entero.

Dos métodos para acortar este tiempo se basan en la idea de llegar a la homocigosidad tan pronto como sea posible, y sólo se aplica la selección una vez que el material se a fijado genéticamente.

Generation	% homozygosity	% heterozygosity
F ₁	0	100
F ₂	50	50
F ₃	75	25
F ₄	87	13
F ₅	94	6
F ₆	97	3

Descendencia de una sola semilla



SSD in barley.
Each stake marks one plant



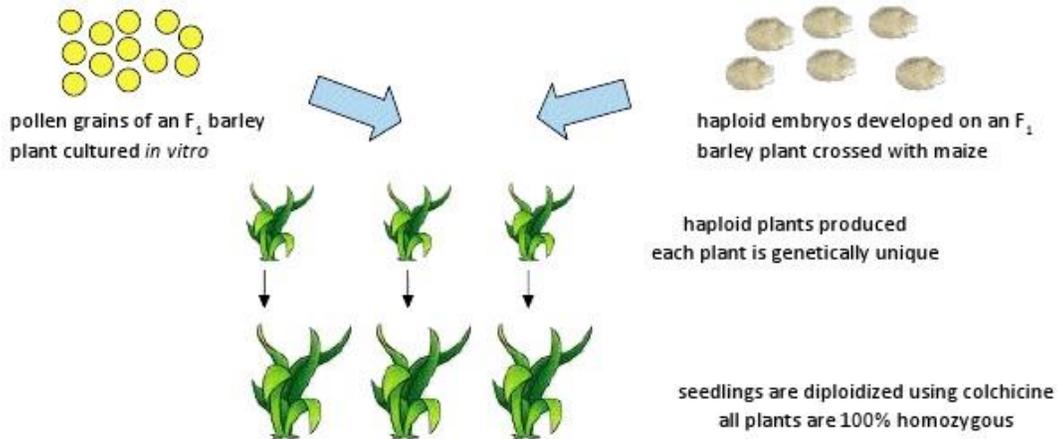
SSD in wheat
Plants are close to maturity

Source: RAGT Seeds Ltd., UK

Haploides duplicados

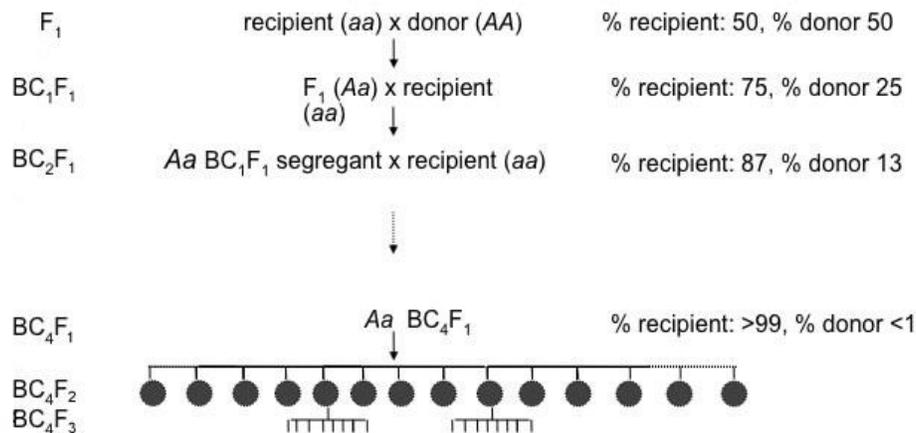
Ambos, el polen y el huevo son haploides. Algunas veces, el polen inmaduro puede ser inducido a crecer en una planta haploide. La célula huevo puede algunas veces ser inducido a diferenciarse en un embrión haploide mediante la polinización con una especie no compatible (Por ejemplo: Polinizando Cebada con Maiz).

Las plantas haploides son convertidos en diploides mediante el tratamiento con la droga Colchicina. En un haploide duplicado, cada gen es homocigota.



Back Cross (Retrocruza)

La idea del retrocruzamiento es para corregir un defecto en una buena variedad. Un ejemplo: Si una variedad popular se vuelve susceptible a una raza nueva de un patógeno, el objetivo es mover un gen de un donante a la variedad (el receptor) para producir una versión resistente de la variedad.



Las líneas fijadas para AA , se seleccionan mediante pruebas de segregación en familias BC_4F_3 . El retrocruzamiento es esencial, cuando se hacen cruza amplias, para retornar el material a un tipo adaptado.

La esterilidad masculina y Híbridos F₁

El nivel de la heterosis puede ser significativo en autógamias (por ejemplo: en Trigo y Cebada). El problema para el Fitomejorador es como generar cantidades adecuadas de semillas F₁ porque las plantas están autofertilizándose naturalmente.

Hay tres maneras de eliminar el polen de uno mismo:

- Emasculación manual
- Esterilización química
- Esterilidad genética masculina



Source: www.ars.usda.gov

istockphoto.com

carrb.com

La emasculación manual

La emasculación manual rara vez es práctico a escala suficientemente grande.

Esto trabaja mejor cuando la flor masculina está físicamente separado del femenino, pero esto solamente ocurre en alógamas.



Se utiliza cuando:

- El valor del cultivo es alto (Por ejemplo: Hortalizas, ornamentales)
- Una polinización sencilla puede producir un gran número de semillas (Por ejemplo: Tomate).

La esterilización química

La esterilización química requiere un tiempo preciso de aplicación y las condiciones ambientales apropiadas alrededor del tiempo de aplicación.

Algunas preocupaciones menores de seguridad rodean la pulverización mal dirigida, pero los esterilizantes químicos no tienen licencia sin antes comprobar que no son tóxicos para los seres humanos y animales.

Su gran ventaja es que cualquier línea se puede elegir como el progenitor femenino.

La esterilidad genética masculina

La esterilidad genética masculina es muy efectiva, pero se necesita un plan sofisticado para mantener el stock estéril masculino. Por lo tanto la elección de la progenitora femenina tiende a ser muy restringida.

La forma más fácil para manipular la esterilidad genética masculina es aquella inducida por cualquiera de los dos: un régimen de temperatura o duración de día particular. Esta forma se utiliza para hacer la mayor parte de la semilla de arroz híbrido F₁. (Ver Zhang *et al.* (1994) *Fields Crops Research* 38: 111-120.



A male sterile (left) and fertile (right) rice floret

ALOGAMAS

Híbridos F₁

Los problemas relacionados con la emasculación de las autógamias, también se aplican a las alógamas. Pero las dificultades son comúnmente menos severas, porque estas plantas han desarrollado mecanismos para asegurar la polinización cruzada. Estas incluyen:

- Plantas dioicas (plantas masculinas y femeninas separadas; ejemplo: Palma datilera, Papaya, Yam).
- Plantas declinas (Flores masculina y femenina en flor separada en una planta; ejemplo: Maíz, Calabacin).
- Plantas autoincompatibles (Ejemplo: Trébol, Pera).
- Plantas dicogámicas (Donde el estigma no es receptivo cuando el polen es liberado; ejemplo: Pecana, Comino).

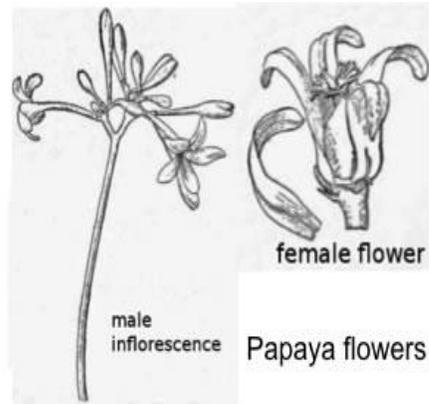
La heterosis se maximiza cuando cuando los progenitores del híbrido ambos son consanguíneos. Pero en algunas especies puede ser difícil forzar la endogamia debido a la dicogamia o autoincompatibilidad, y la mayoría sufre de depresión por endocría. En el Maíz, mucho del esfuerzo por selección fue en el mejoramiento de líneas consanguíneas que son buenos combinadores y no sufren demasiado de la depresión por endocría.

En el maíz, la emasculación se logra ya sea por despanojado mecánica o por esterilidad genética masculina.



Zucchini flowers

Source: www.helpfulgardener.com



Papaya flowers

Source: chestofbooks.com



Mechanical de-tasseling of maize.

F: rows of female plants; M: rows of male plants (tassels left intact)

Source: wikipedia

Poliploides

Muchas de las especies de cultivo importante son poliploides: Algodón, Trigo, Plátano, Caña de azúcar, Papa.

Hay dos clases de poliploides.

Los Autopoliploides. Tienen sólo un progenitor, pero dos o más veces el número de cromosomas; Ejemplo: Papa y Trébol rojo.

Los Alopoliploides. Tiene más de un progenitor y contiene el juego completo de cromosomas de cada uno de sus padres; ejemplo: Algodón y Trigo de pan.

Los Triploides. Tienen tres juegos de cromosomas. Un tipo AAA es un autotriploide, AAB o ABC son alotriploides.

Los Tetraploides. Tienen cuatro juegos de cromosomas. AAAA es un autotetraploide, AABB es un alotetraploide, etc.

La segregación genética de las proporciones Mendelianas familiares se aplican en alopoliploides, pero no en autopoliploides.

La herencia tetrasómica de la autofecundación de Aaaa:

Los números indican el dosaje de A en el cigoto.

	AA	Aa	Aa	Aa	Aa	aa
AA	4	3	3	3	3	2
Aa	3	2	2	2	2	1
Aa	3	2	2	2	2	1
Aa	3	2	2	2	2	1
Aa	3	2	2	2	2	1
aa	2	1	1	1	1	0

1 AAAA: 8 AAAa: 18 Aaaa: 8 Aaaa: 1 aaaa

ó

35 A_ _ _ : 1 aaaa

Contrasta con la proporción diploide Mendeliana familiar:

1 AA: 2 Aa: 1 aa

ó

3 A_ : 1 aa



Sources: ncagr.gov

impactlab.net

howtodothings.com

universaltechcorp.in

cropandsoil.oregonstate.edu

Los niveles de ploidia afectan la fertilidad

Los autoploipoides con un nivel impar de ploidia (3x, 5x, 7x, etc.) suelen ser autoestériles. El Plátano es un buen ejemplo. Es un triploide (La mayoría de los plátanos del desierto son AAA, muchos plátanos son AAB y los de cocina del Este de Africa es ABB).

Plátano diploide BB, *Musa Balbisiana*



Source: J. Doležel, Olomouc, Czech Republic

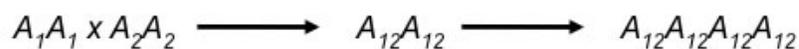


Mejoramiento de autoploiploide

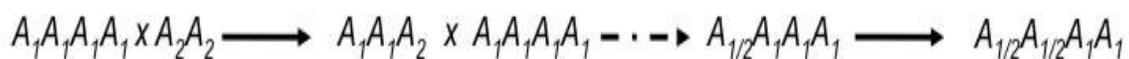
Similar al mejoramiento para diploide, excepto para diferentes expectativas Mendelianas.

Si se conoce el ancestro diploide, también hay la posibilidad de introgresión desde el nivel diploide en dos maneras:

Un nuevo poliploide se hace y se utiliza directamente como un progenitor de cruce con germoplasma autotetraploide normal.



Un híbrido se hace entre un diploide y un cultivo autoploiploide. Esto es usualmente estéril masculino, pero puede ser posible cruzarlo con la especie de cultivo.



¡Si, es complicado! Consulte los recursos que se proporcionan al principio del módulo para obtener más información.

Mejoramiento de Aloploiploide

A nivel de poliploide, el mejoramiento es lo mismo como para un diploide. La diferencia única es que debido al número alto de cromosomas, hay más potencial para el progreso a través de la reorganización. La Caña de azúcar tiene un número de cromosomas $2n$ de 100 a 130 (Cebada tiene 14, Arroz tiene 24,...).

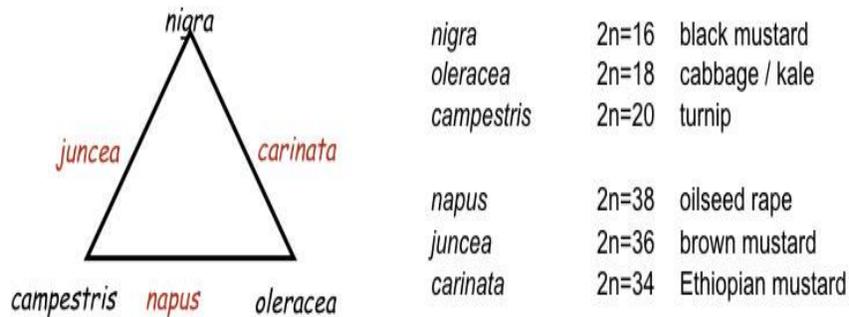
La introgresión es posible del ancestro diploide de la misma manera como para los aloploiploides.

Un ejemplo bien conocido son las Brassicas:

Relaciones de poliploidía de *Brassica* spp. (Triángulo de "U's").

B. nigra, *oleracea* y *campestris* son todos diploides.

B. napus, *juncea* y *carinata* son todos tetraploides.



Cultivos propagados vegetativamente

Un número de especies tienen que ser propagados vegetativamente porque son estériles (Ejemplo: Plátano). Pero muchos más son propagados de esta manera por conveniencia (Ejemplo: Caña de azúcar, Camote, Yuca).



Source: superstargym.com



agra-alliance.org

La propagación vegetativa significa que una vez un individuo superior ha sido identificado, puede ser reproducido una y otra vez.

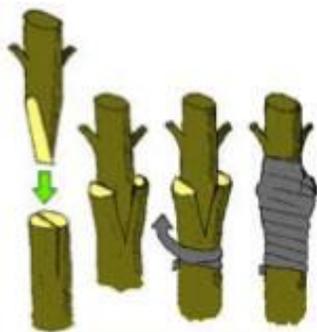
El material de plantación puede ser derivado de la raíz (Por ejemplo: Papa) o derivado del tallo (Caña de azúcar). Algunas plantas de valor muy alto son también multiplicado *in vitro* de células de meristemo del tallo (por ejemplo: Orquidea). Un problema potencial es que las mutaciones pueden acumularse a través del tiempo, resultando en la erosión del genotipo superior; también el material de plantación puede debilitarse por la infección del virus. Porque la semilla no es el producto, la fertilidad no es un problema. Esto permite más oportunidades para explotar la heterosis y las cruas amplias.

Los cultivos de arboles

Un número de los cultivos importantes son árboles: Principalmente para madera y fruta. El mejoramiento de los cultivos de árboles presentan problemas particulares porque:

- A menudo tienen un largo periodo de juvenalidad, así que toma muchos años en florecer.
- El largo tiempo que necesita para alcanzar la madurez total significa que la evaluación fenotípica es lenta.

Por ejemplo, el Pino loblolly tarda 25 años para ir de semilla en semilla sin intervención. Se pueden obtener importantes reducciones en el periodo juvenil mediante el injerto.



Source: qwickstep.com

En Pino loblolly, esto puede ser reducido en 5 - 6 años. En Cacao, los plantones injertados pueden florear dentro de los 18 meses (las plántulas se semillas tardan 36 meses).

El mejoramiento de plantas participativo

Aquí, la selección es conducida en los campos de los agricultores (en lugar de una estación de mejoramiento). La idea es incluir la comprensión de sus cultivos de los agricultores como un aporte en el proceso de selección.

El Mejoramiento Genético De Plantas Participativo, no es realmente un sistema de "Mejoramiento". El trabajo del Fitomejorador sigue siendo generar variación, y de los agricultores para determinar que tipo de plantas son las más adecuadas para su sistema de producción.

Una decisión difícil es que tan temprano en el ciclo de mejoramiento, los agricultores deben involucrarse mejor. Si la etapa es demasiado tarde, entonces gran parte de la variación relevante para los agricultores, puede haber sido descartada por el fitomejorador. Si es demasiado pronto, entonces las poblaciones mejoradas podrían no ser suficientemente homogéneo como para que los ensayos no replicados, subjetivos y en gran parte incontrolados tengan sentidos.

LOS DERECHOS DE LOS FITOMEJORADORES (DF)

Los Derechos de los Fitomejoradores está diseñado para otorgar un retorno financiero para el mejorador. Sin esto, el mejoramiento puede ser llevado a cabo si lo subsidia el sector público.

Particularmente, para variedades de línea pura de Autógamas y especies propagadas vegetativamente, es muy fácil para el agricultor mantener una muestra de la semilla, tubérculo, etc. para plantar en el siguiente año de cultivo (o incluso para la venta a otros agricultores). Los Derechos del Fitomejorador, le permite recaudar una regalía de la venta de un cultivo compuesto de su variedad.

Los Derechos del Fitomejorador, solo se concede a una variedad que puede distinguirse de otras, es estable en el tiempo, es uniforme y es superior de alguna manera (Por ejemplo: Rendimientos más altos, o tiene mejor calidad de uso final) que otras variedades actualmente comercializadas.



Source: ICARDA

Las nuevas tecnologías para el mejoramiento genético de plantas

Las tecnologías del fenotipado

Hay muchas nuevas tecnologías que hacen el fenotipado más eficiente y preciso.

Aquí, un investigador usa un sistema de código de barra laser para medir la altura de una planta de Maíz.

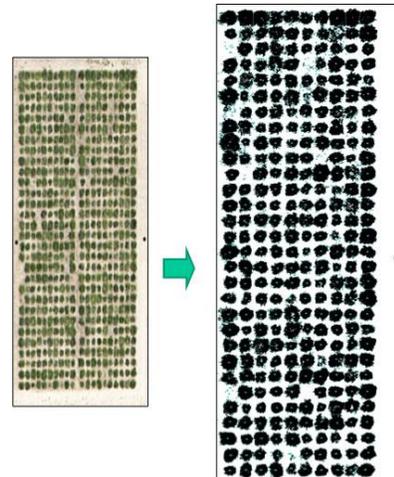


Image: Moira Sheehan

La fotografía aérea

- Se ha utilizado para manejar los bosques y otros usos del suelo por décadas.
- Puede usar el satélite (Altitudes altas)
- O aviones remotos, aviones y globos de aire caliente (baja altitud).
- Problemas únicos involucrados en el procesamiento de imágenes, incluyendo la curvatura de la tierra, el terreno, penetración solar (sombras), fondo de color desigual, etc.

Algunas características que pueden ser medidas desde fotografía aérea incluyen: Altura, Ancho, área, perímetro, significado del gris (densidad del color), modo del gris y cuatro medidas de descripción de forma. Aquí una fotografía aérea de una parcela de campo de grass canario rojo, ha sido transformado dentro de una imagen computarizada puede ser usado para medir el ancho de la planta, etc.



Gracias al Dr. Moira Sheehan

Los transgénicos

Las plantas transgénicas son aquellas que han tenido un gen o segmento de ADN de otro organismo, insertado en su ADN.

Actualmente, estos cultivos están principalmente con resistencia a insectos (Por ejemplo: Maíz BT), pero también incluyen cultivos mejorados nutricionalmente (Por ejemplo: Arroz Dorado).

Esta estrategia puede ser una efectiva y rápida manera de desarrollar variedades de cultivos mejorados, pero actualmente es impedido por temas burocráticos y legal, y la percepción del consumidor (Para una revisión buena ver: Farre *et al.* (2010) Current Opinión in Plant Biology 13 : 219-225).



Esta variedad de Maíz liberado por Monsanto y Dow en el 2009, tiene agregado 8 diferentes características de resistencia a plagas y herbicidas.

El mejoramiento asistido por marcadores

El mejoramiento asistido por marcadores, combina el uso de marcadores moleculares con técnicas de mejoramiento de plantas. El mejoramiento asistido por marcadores puede ahorrar tiempo, dinero y hacer que el mejoramiento sea más eficiente, si se usa con sabiduría. Se ha vuelto más utilizado, a medida que el costo del genotipado disminuye (y en muchos casos, el costo del fenotipado aumenta).

Hay un módulo de aprendizaje complementario disponible sobre el Mejoramiento Asistido por marcadores en: www.integratedbreeding.net/184/training/e-learning/marker-assisted-breeding-concepts (en inglés).

El secuenciamiento del ADN

El secuenciamiento del ADN, es el proceso de identificación del orden único de los nucleótidos del ADN (Adenina, Citosina, Guanina u Timina; abreviado como A, C, G y T) que forman el genoma de un organismo.

Esta información puede ser usado por los mejoradores para evaluar la diversidad genética, identificar marcadores para el mejoramiento asistido por marcadores, identificar variedades, buscar posibles funciones genéticas, etc.

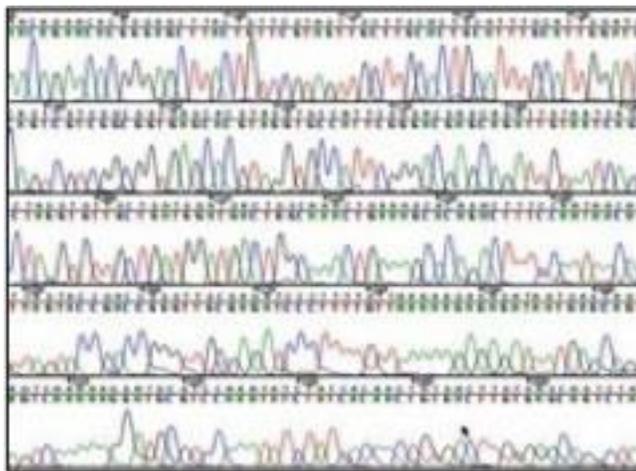


Image: T Fulton

El secuenciamiento de proxima generacion

Las nuevas tecnologías de secuenciamiento han avanzado de tal manera que miles de millones de secuencias de pares de bases se pueden generar en un día a costos decrecientes.

Para los mejoradores, tener una secuencia completa en la mano en vez de conjuntos de marcadores aislados, acelerará mucho el proceso de mejoramiento, haciendo la evaluación de la diversidad más precisa y permitiendo la selección sin la necesidad de hacer un mapa genético.

Con tanta información de secuenciación creada tan rápidamente, el cuello de botella ahora es el análisis de datos.



El genotipado por representacion reducida

Los costos de la secuenciación aumentan sustancialmente con tamaños más grandes del genoma, pero muchas especies importantes de cultivo, tales como los cereales, tienen genomas muy grandes. Por lo tanto, se han desarrollado varias técnicas para secuenciar solo las regiones objetivos del genoma, es decir, los genes, por ejemplo filtrando regiones altamente repetitivas (Barbazuk *et al.* (2005) *BioEssays* 27: 839-848).

Estos métodos se están volviendo cada vez más rentables, de tal manera que ahora es factible tener genotipos completos de poblaciones enteras de plantas (A este escrito, el costo es aproximadamente \$ 20 por muestra).

“El genotipado por secuenciación” (GBS, siglas en inglés), le permite a un mejorador utilizar la selección genómica sin desarrollar ninguna herramienta molecular previa, tales como marcadores y mapas (Elshire *et al.* *Pers comm*).

Un ejemplo en la Uva, se da en la revista de acceso abierto PLoS One: Myles *et al.* (2010), *PLoS One* 5(1): e8219.

www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0008219

La selección genómica

Una forma de selección asistida por marcadores a gran escala, donde la información del genotipado de alta densidad se combina con la información fenotípica para asignar un “ Valor de mejoramiento estimado genómico” de líneas en una población.

- Poblaciones tempranas son genotipadas y fenotipadas, y usadas como predictores de poblaciones tardías el cual no necesitan ser fenotipadas.
- Más efectivo para las características poligénicas complejas que la Selección Asistida por Marcadores, la cual solamente puede ubicar unos pocos genes.
- Simultáneamente estima todos los locus, los efectos de los marcadores y los haplotipos a través del genoma completo.
- Usado ampliamente en el mejoramiento del ganado.

Para una mejor revisión ver Heffner *et al.* (2009) *Crop Science* 49:1-12

Estudios de asociaciones amplias del genoma

(GWAS siglas en inglés)

El mapeo de la asociación identifica correlaciones del carácter/marcador, y es especialmente útil para caracteres cuantitativos, pero utiliza grandes grupos diversos de germoplasma más que poblaciones específicamente desarrolladas. El mapeo de la asociación amplia del genoma, escanea el genoma entero para las asociaciones de los caracteres complejos.

La ventaja no necesariamente es para desarrollar el mapeo tradicional de la población, lo cual puede ahorrar tiempo. Sin embargo, la eficiencia es altamente dependiente sobre el desequilibrio de ligamiento y puede ser inefectivo si hay altos niveles de la estructura de la población en el germoplasma. Se requiere el genotipado de alta densidad, pero hay más fácil con la nueva tecnología genómica.

Para una buena revisión, ver Zhu *et al.* (2008) *The Plant Genome* 1: 5-17



Atribución-Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-SA 4.0)
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.es>



@IBPlatform • /IntegratedBreedingPlatform

Los mejoradores de cultivos están a la vanguardia de la próxima revolución alimentaria, particularmente en los países en desarrollo. IBP, una plataforma de mejoramiento integrado (del inglés, *Integrated Breeding Platform*) proporciona las herramientas y el conocimiento que ellos necesitan para elevarse a un nuevo nivel de innovación en el mejoramiento vegetal.

La Plataforma ofrece un paquete de soluciones informáticas integradas (el BMS, un software de gestión del mejoramiento), varios servicios especializados como el genotipado, recursos para el mejoramiento e información relacionada para una amplia gama de cultivos, incluyendo germoplasma, diccionarios de ontología y marcadores predictivos. Además, IBP fortalece a los mejoradores de cultivos a través de capacitación, soporte dedicado y comunidades de práctica. Así, IBP se convierte en una fuente completa de prácticas avanzadas en mejoramiento vegetal.