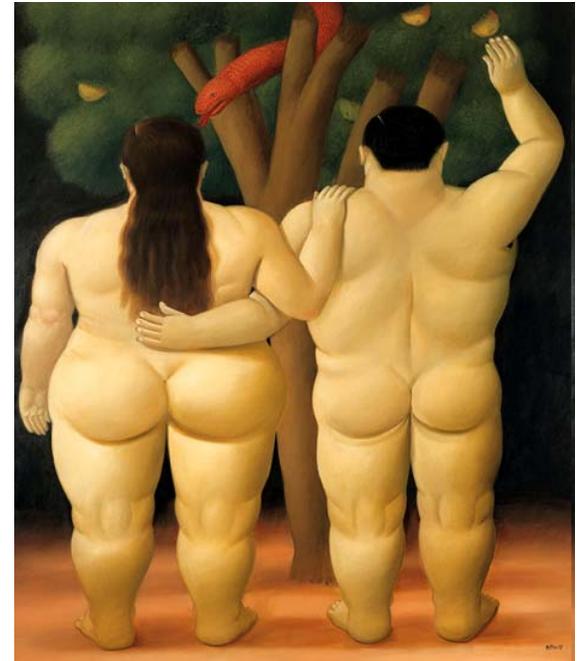


El Sexo de las Plantas

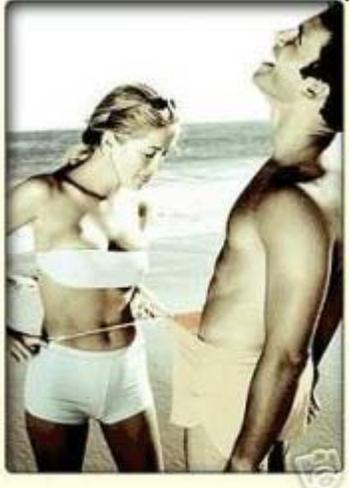


Rafael Navajas Pérez
Universidad de Granada
11 Mayo 2012

SEPARACIÓN DE SEXOS Y DIMORFISMO SEXUAL



SEPARACIÓN DE SEXOS Y DIMORFISMO SEXUAL





En Plantas...

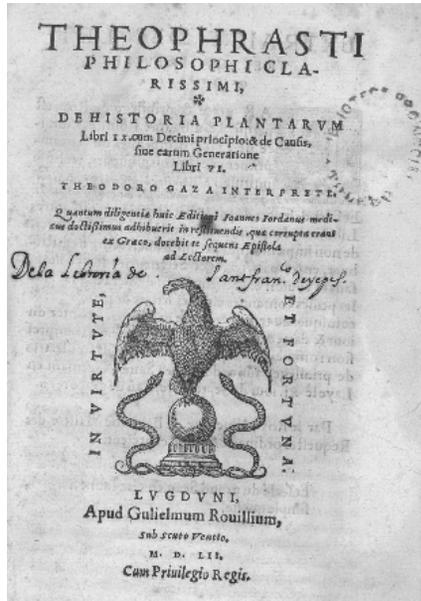
- No existen **caracteres sexuales secundarios**. El dimorfismo sexual no es evidenciable en tejidos somáticos
- Las células de la línea germinal no se diferencian al principio del desarrollo, **sus órganos y gametos derivan de células somáticas**
- Se reproducen **vegetativamente**



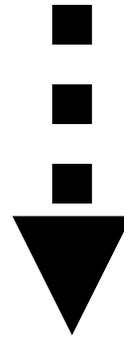
Son realmente "castas" las plantas?



El Sexo de las Plantas



Aristóteles y su pupilo Teofrasto, Siglo IV a.C. Clasifican las plantas en función de sus características morfológicas.

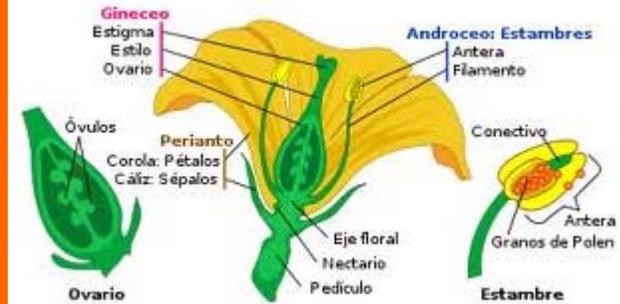


Moriscos, Siglo XVI. La desaparición del cultivo del pistacho en la Península Ibérica



El Sexo de las Plantas

Andrea Cesalpino, Siglo XVI.
Primeras hipótesis sobre la reproducción vegetal



Nehemiah Grew, Siglo XVII.
Determina que los estambres son los órganos masculinos



Rudolf Jakob Camerarius, Siglo XVII.
polinización artificial





Baobab, *Adansonia digitata*. Árbol de 5-30 metros. Polinizado fundamentalmente por murciélagos.



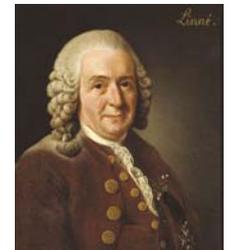
Hibisco, *Hibiscus sp.* Arbusto de hasta 5 metros. Puede ser polinizado por aves (colibrí).



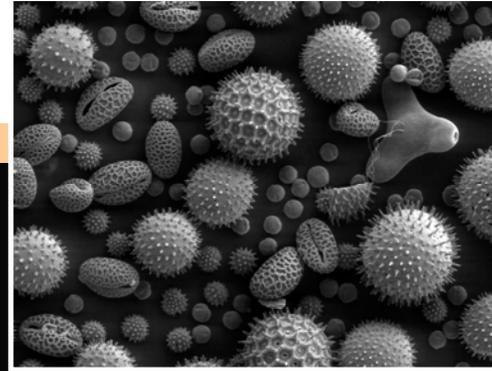
Malva, *Malva sp.* Hierba de hasta 2 metros. Polinizada fundamentalmente por insectos.



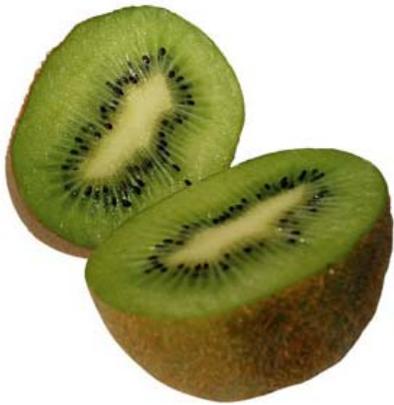
Sistema de Clasificación de **Linneo**, Siglo XVIII.



El sexo importa: los machos



El sexo importa: las hembras



El sexo importa: plantas ornamentales



Polinización en orquídeas



Ophrys apifera



Ophrys speculum



Ophrys tenthredinifera



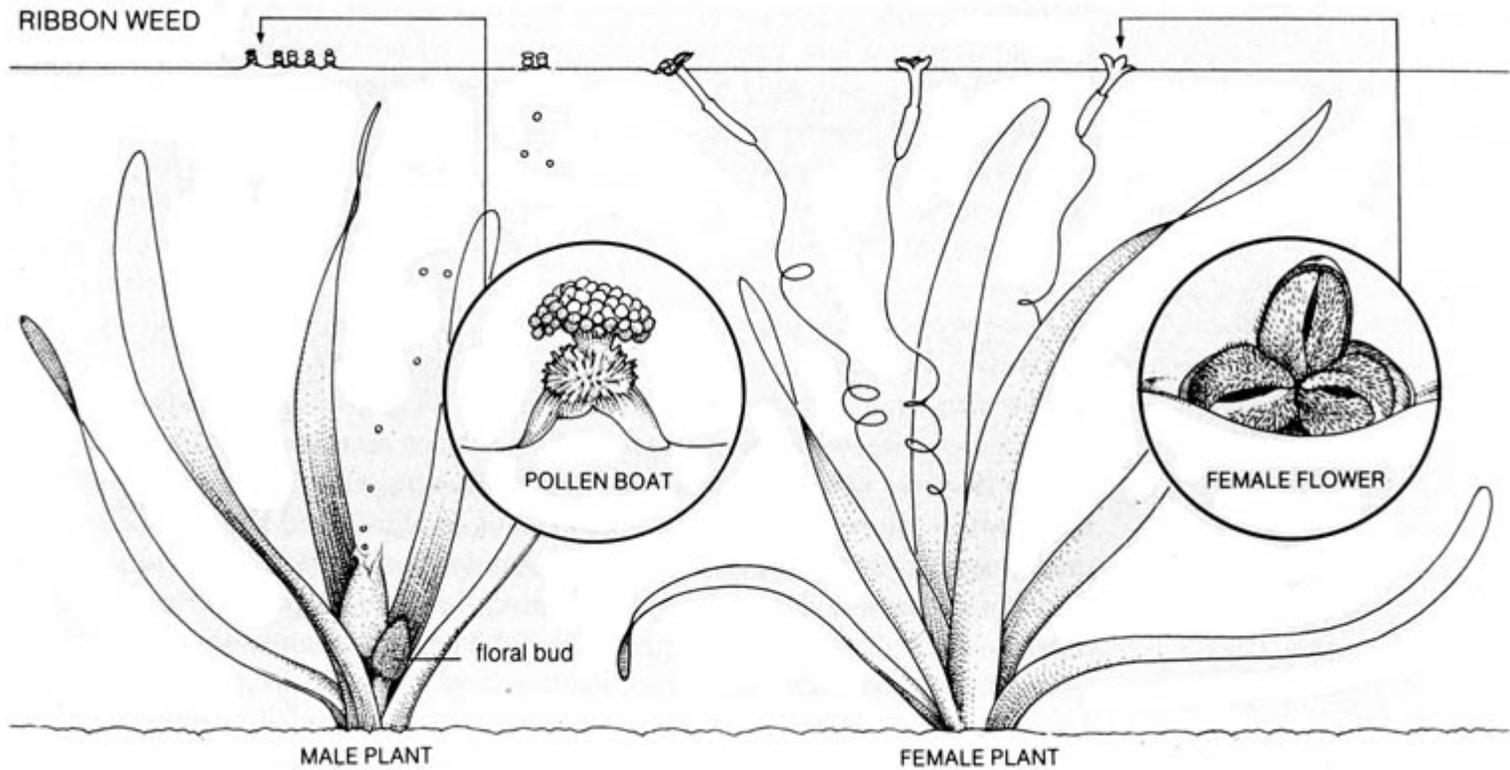
Ophrys incubacea



Ophrys dyris



Ophrys lutea



Sistema reproductivo de *Vallisneria spiralis*





GIORGIO CELLI

Le piante
non sono angeli

*Astuzie,
sesso e
inganni
del mondo
vegetale*

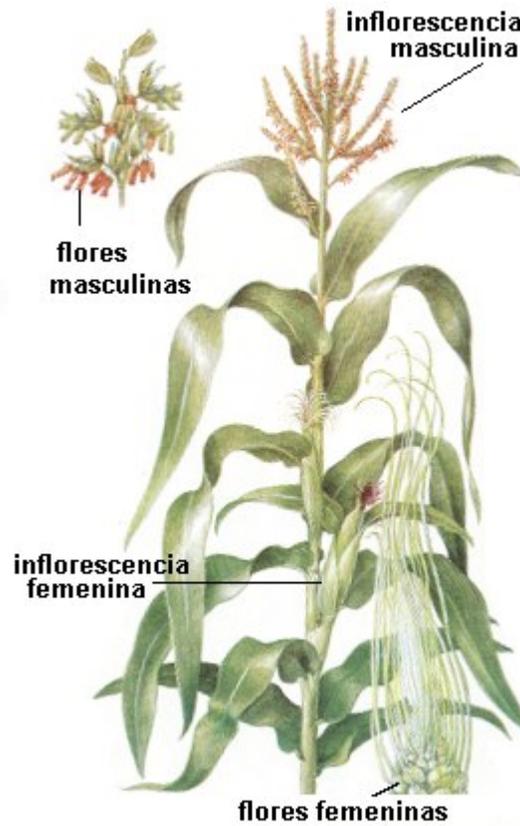


14881 H.C. Dada - 1999

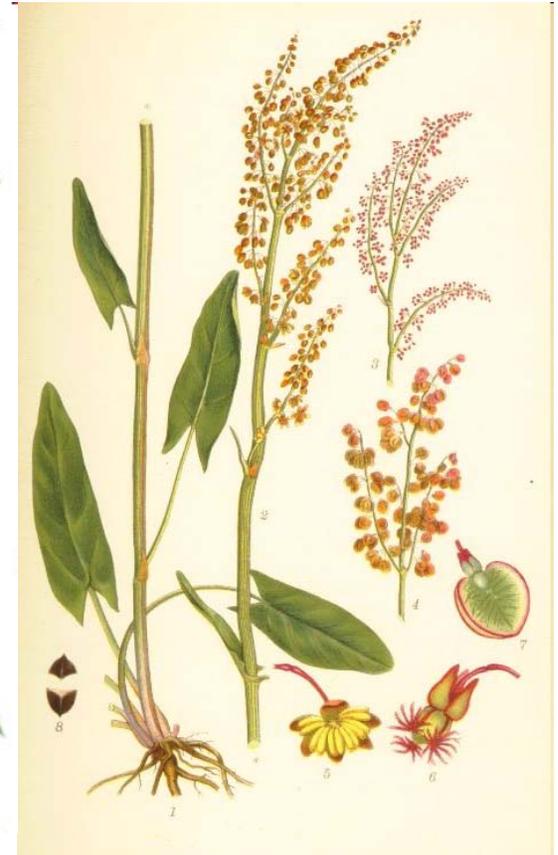
SISTEMAS DE DETERMINACIÓN SEXUAL EN PLANTAS



HERMAFRODITISMO



MONOECIA



DIOECIA

38% Angiospermas

SISTEMAS DE DETERMINACIÓN SEXUAL EN PLANTAS

- Mecanismos para **evitar la autopolinización** (disposición de los órganos sexuales, periodos de maduración distintos, genes de incompatibilidad,...)
- **Cleistogamia**

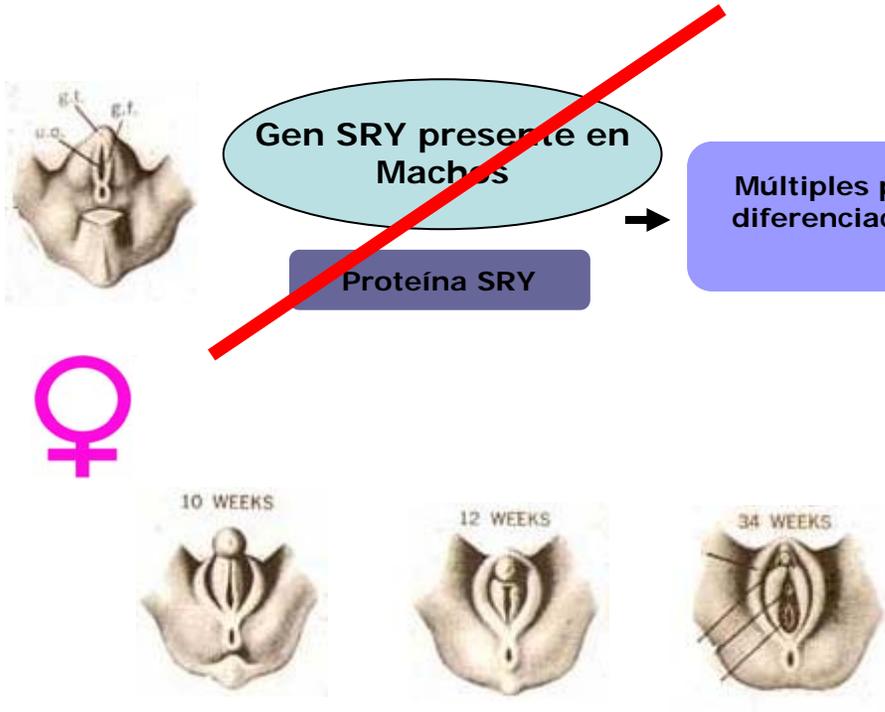


Beneficios de la Reproducción Sexual...



¿Qué nos hace tan distintos (aparentemente)?

mecanismo de determinación sexual en mamíferos

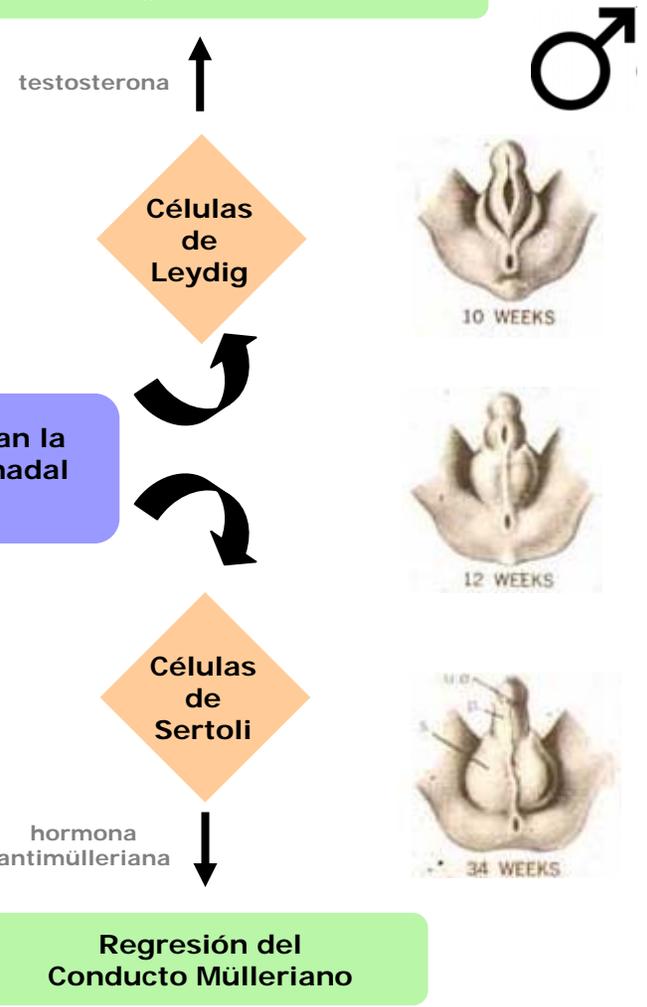


Gen SRY presente en Machos

Proteína SRY

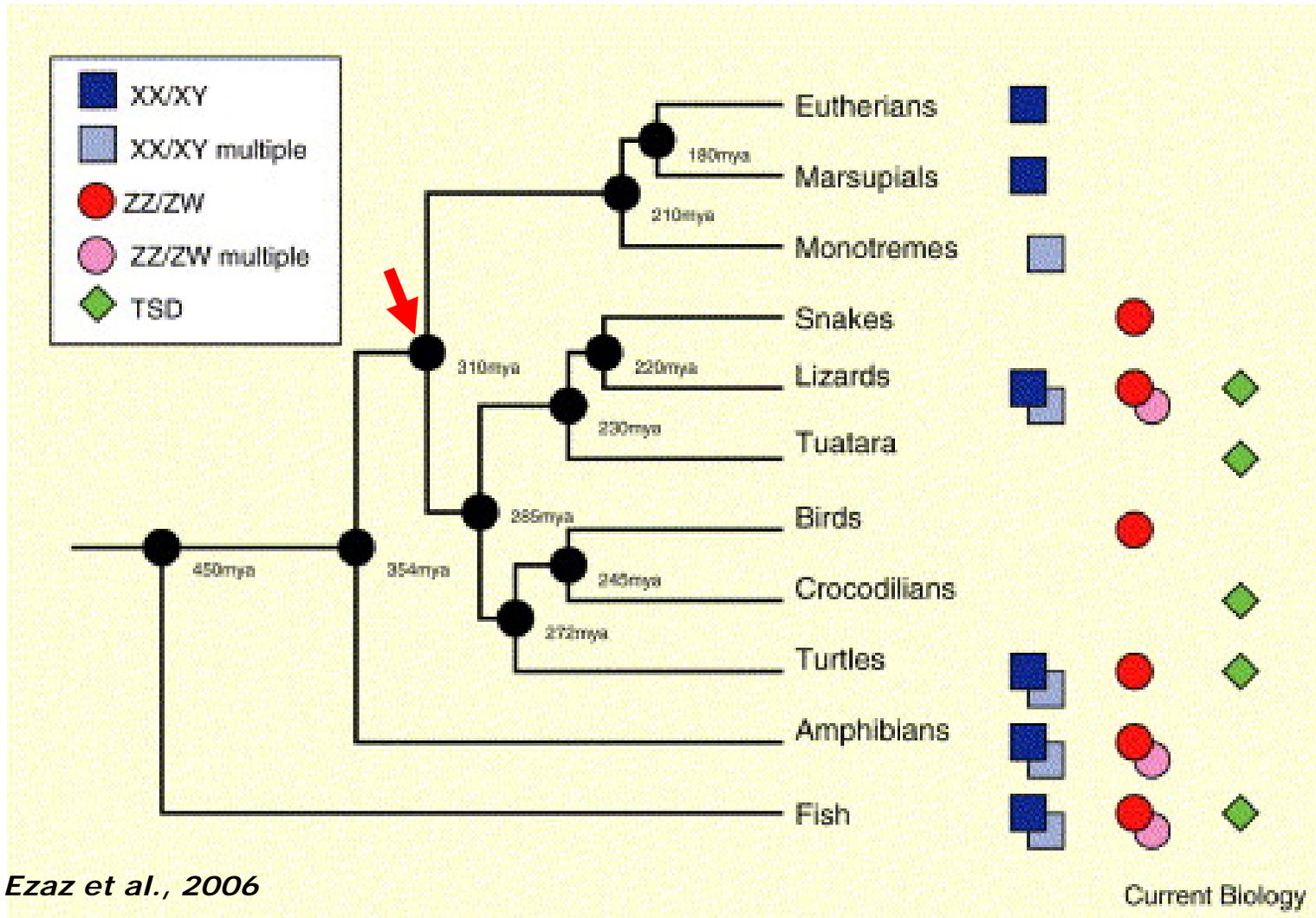
Múltiples proteínas que provocan la diferenciación de la médula gonadal en testículos

Desarrollo del Conducto de Wolff y desarrollo de genitales masculinos



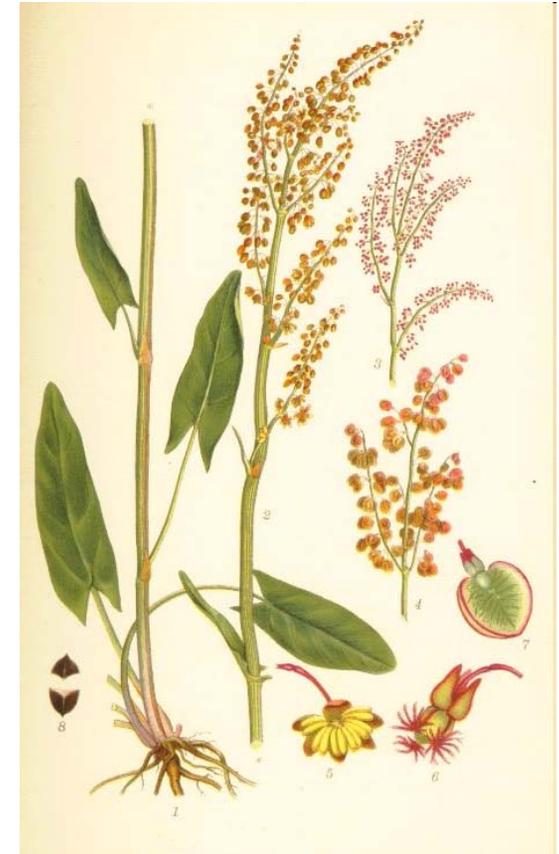
¿Qué nos hace tan distintos (aparentemente)?

mecanismos de determinación sexual en animales



SISTEMAS DE DETERMINACIÓN SEXUAL EN PLANTAS

Family	Species	Female sex chromosome	Male sex chromosome	Viability of YY genotype	Sex determination
Homomorphic sex chromosomes					
Actinidiaceae	<i>Actinidia deliciosa</i>	—	—	—	Active Y system
	<i>A. chinensis</i>	Male heterozygous	—	Yes	Active Y system
Amaranthaceae	<i>Acnida</i> species	Male heterozygous	—	—	Active Y system
Asparagaceae	<i>Asparagus officinalis</i>	Male heterozygous	—	Yes	Active Y system
Asteraceae	<i>Antennaria dioica</i>	Male heterozygous	—	No	—
Caricaceae	<i>Carica papaya</i>	Male heterozygous	—	No	Active Y system
	<i>Vasconcellea</i> species	Male heterozygous	—	No	Active Y system
Caryophyllaceae	<i>Silene otites</i>	Uncertain	—	—	—
Chenopodiaceae	<i>Spinacia oleracea</i>	Male heterozygous	—	Yes	Active Y system
Cucurbitaceae	<i>Bryonia multiflora</i>	Male heterozygous	—	—	—
	<i>Ecballium elaterium</i>	Male heterozygous	—	—	Active Y system
Dioscoreaceae	<i>Dioscorea tokoro</i>	Male heterozygous	—	—	Active Y system
Euphorbiaceae	<i>Mercurialis annua</i>	Male heterozygous	—	Yes	Active Y system
Ranunculaceae	<i>Thalictrum</i> species	Male heterozygous	—	Yes	—
Rosaceae	<i>Fragaria</i> species	Female heterozygous	—	—	—
Vitaceae	<i>Vitis</i> species	Male heterozygous	—	Yes	Active Y system
Heteromorphic sex chromosomes					
Cannabidaceae	<i>Cannabis sativa</i>	XX	XY	Yes	X to autosome ratio
	<i>Humulus lupulus</i>	XX	XY	Yes	X to autosome ratio
	<i>H. lupulus</i> subsp. <i>cordifolius</i>	X ₁ X ₁ X ₂ X ₂	X ₁ Y ₁ X ₂ Y ₂	—	X to autosome ratio
	<i>H. japonicus</i>	XX	XY ₁ Y ₂	No	X to autosome ratio
Caryophyllaceae	<i>Silene latifolia</i> , <i>S. dioica</i> , <i>S. diclinis</i>	XX	XY	No	Active Y system
Cucurbitaceae	<i>Coccinia indica</i>	XX	XY	—	Active Y system
Polygonaceae	<i>Rumex angiocarpus</i>	XX	XY	—	—
	<i>R. tenuifolius</i>	(XX)XX	(XX)XY	—	—
	<i>R. acetosella</i>	(XXXX)XX	(XXXX)XY	—	Active Y system
	<i>R. graminifolius</i>	(XXXXXX)XX	(XXXXXX)XY	—	—
	<i>R. hastatulus</i>	XX	XY or + XY ₁ Y ₂	—	X to autosome ratio
	<i>R. acetosa</i>	XX	XY ₁ Y ₂	—	X to autosome ratio
	<i>R. paucifolius</i>	(XX)XX	(XX)XY	—	—

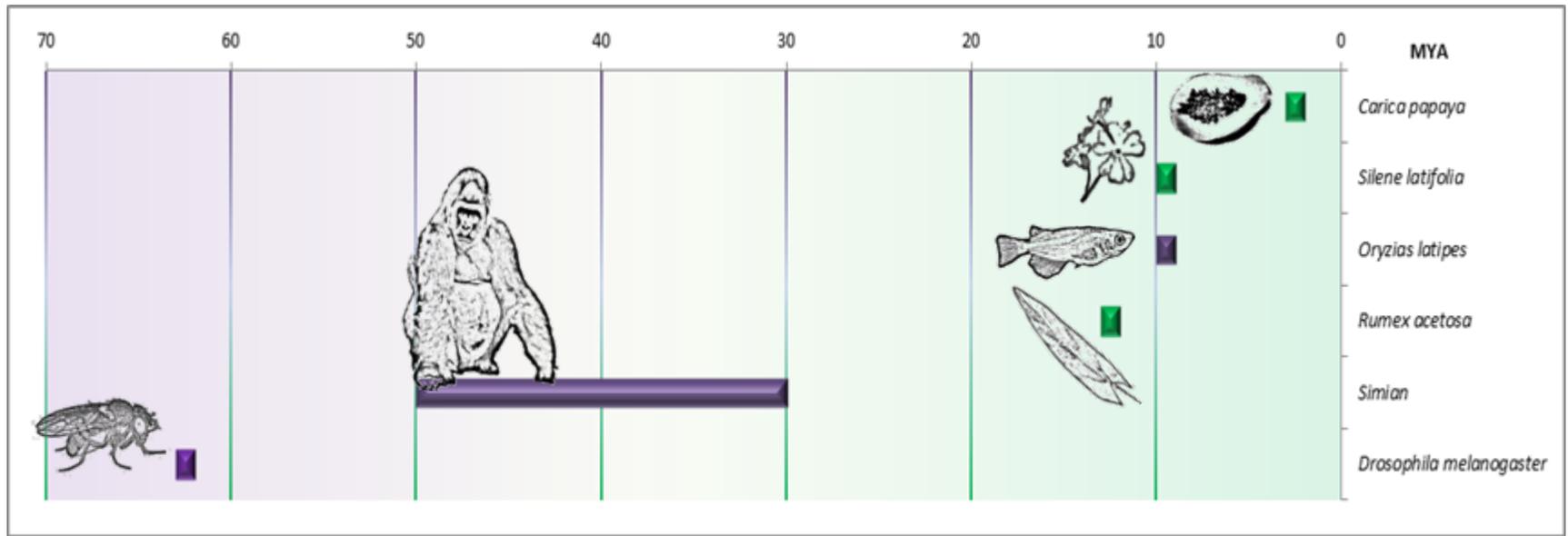


DIOECIA

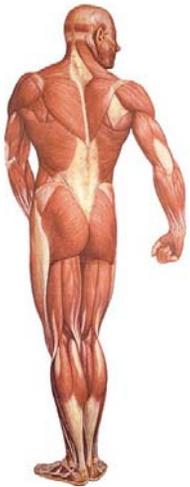
38% Angiospermas

Compiled mostly from Westergaard (1958), Charlesworth and Guttman (1999), and Matsunaga and Kawano (2001)

EVOLUCIÓN DE LOS CROMOSOMAS SEXUALES



Sola-Campoy et al., 2012



200-300 m.a.



las fresas



la papaya



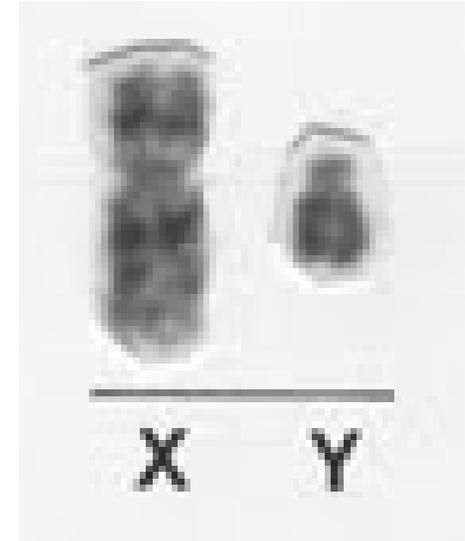
las collejas



las acederas

Hasta 20 m.a.

Características de los Cromosomas Sexuales

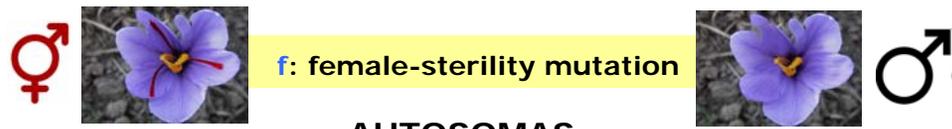


Pérdida de Material Genético

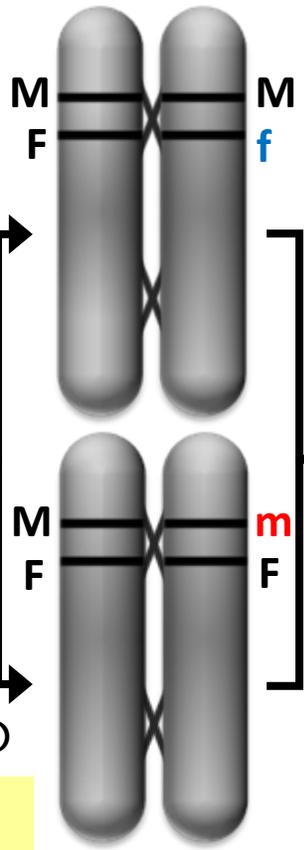
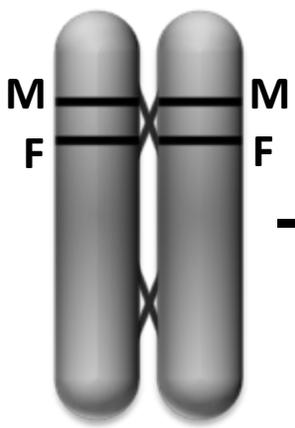
Pocos Genes Funcionales

Alto contenido ADN basura (ADN satélite y Elementos Móviles)

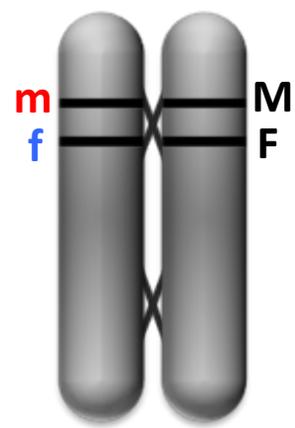
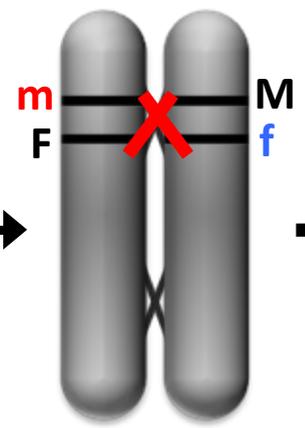
Grado de sinapsis-recombinación



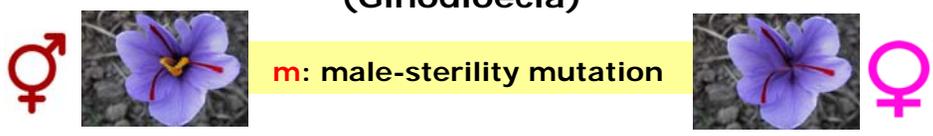
AUTOSOMAS (Androdioecia)



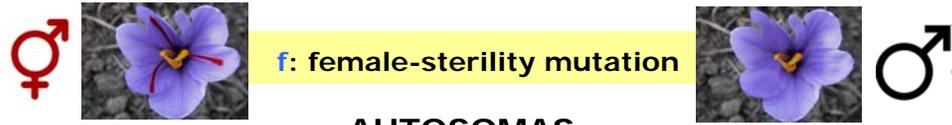
m/f: male and female-sterility mutation



M: male activator
F: female fertility



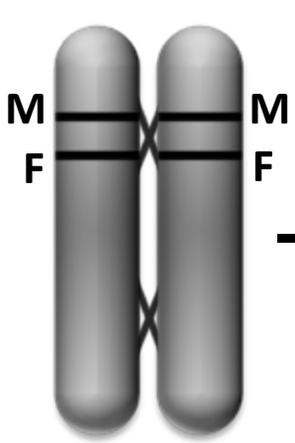
AUTOSOMAS (Ginodioecia)



AUTOSOMAS (Androdioecia)

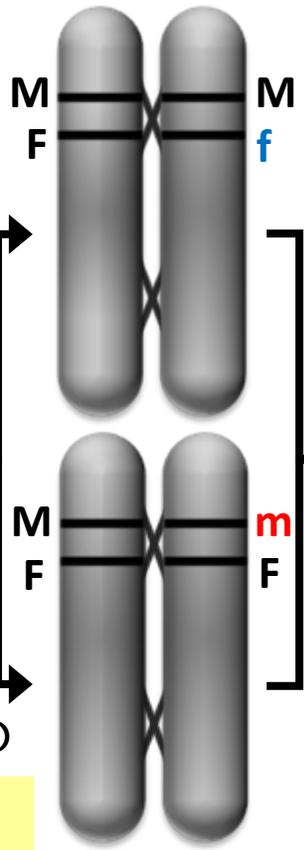


m/f: male and female-sterility mutation

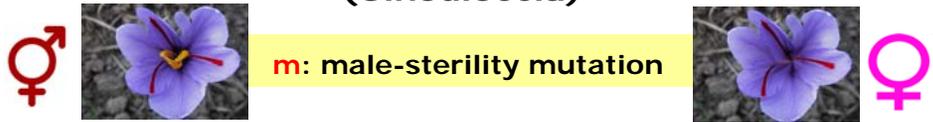


AUTOSOMAS (Hermafroditismo)

M: male activator
F: female fertility



AUTOSOMAS (Ginodioecia)



PROTO XY (Subdioecia)

PROTO XY (Dioecia)

XY (Dioecia)

XY (Dioecia)

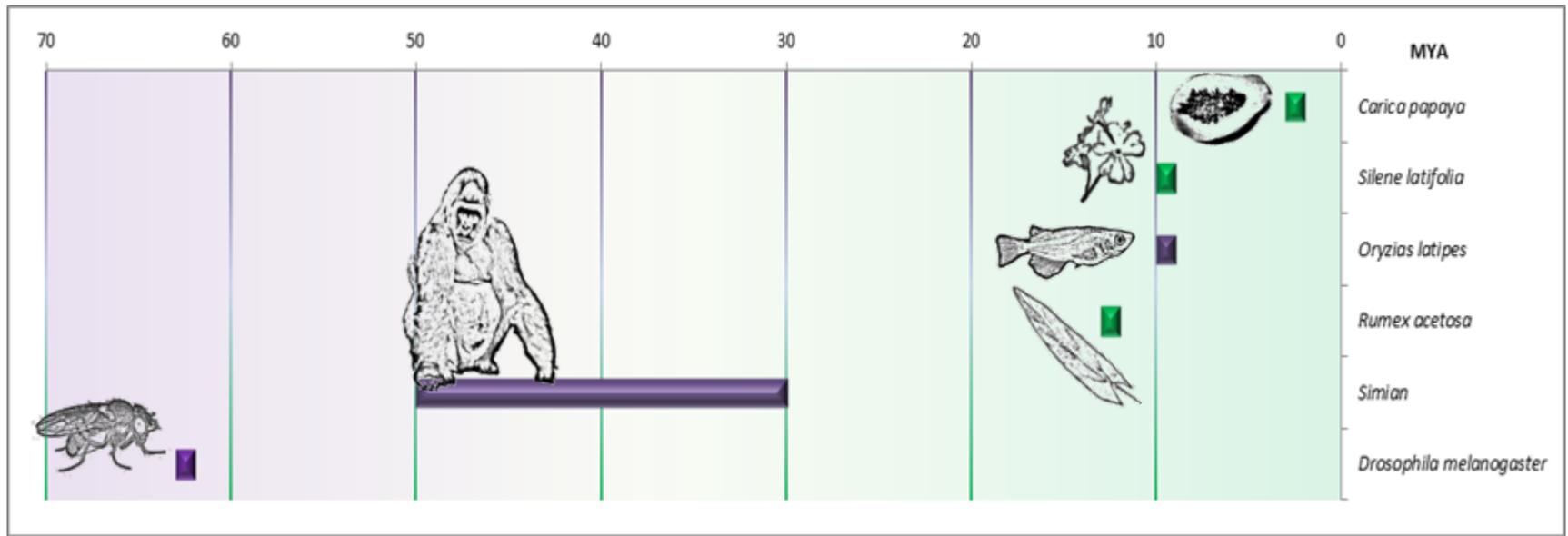
Reordenaciones Cromosómicas

Acumulación de Secuencias Repetidas

Cromosoma Y Degenerado



EVOLUCIÓN DE LOS CROMOSOMAS SEXUALES



Sola-Campoy et al., in press



200-300 m.a.



las fresas



la papaya



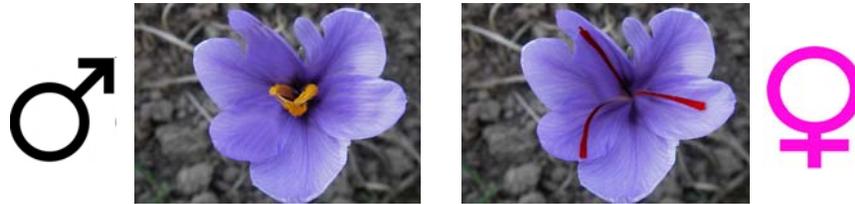
las collejas



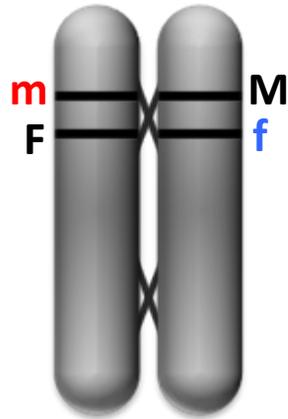
las acederas

Hasta 20 m.a.

PRIMERA ETAPA: LAS FRESAS (*Fragaria virginiana*)



m/f: male and female-sterility mutation



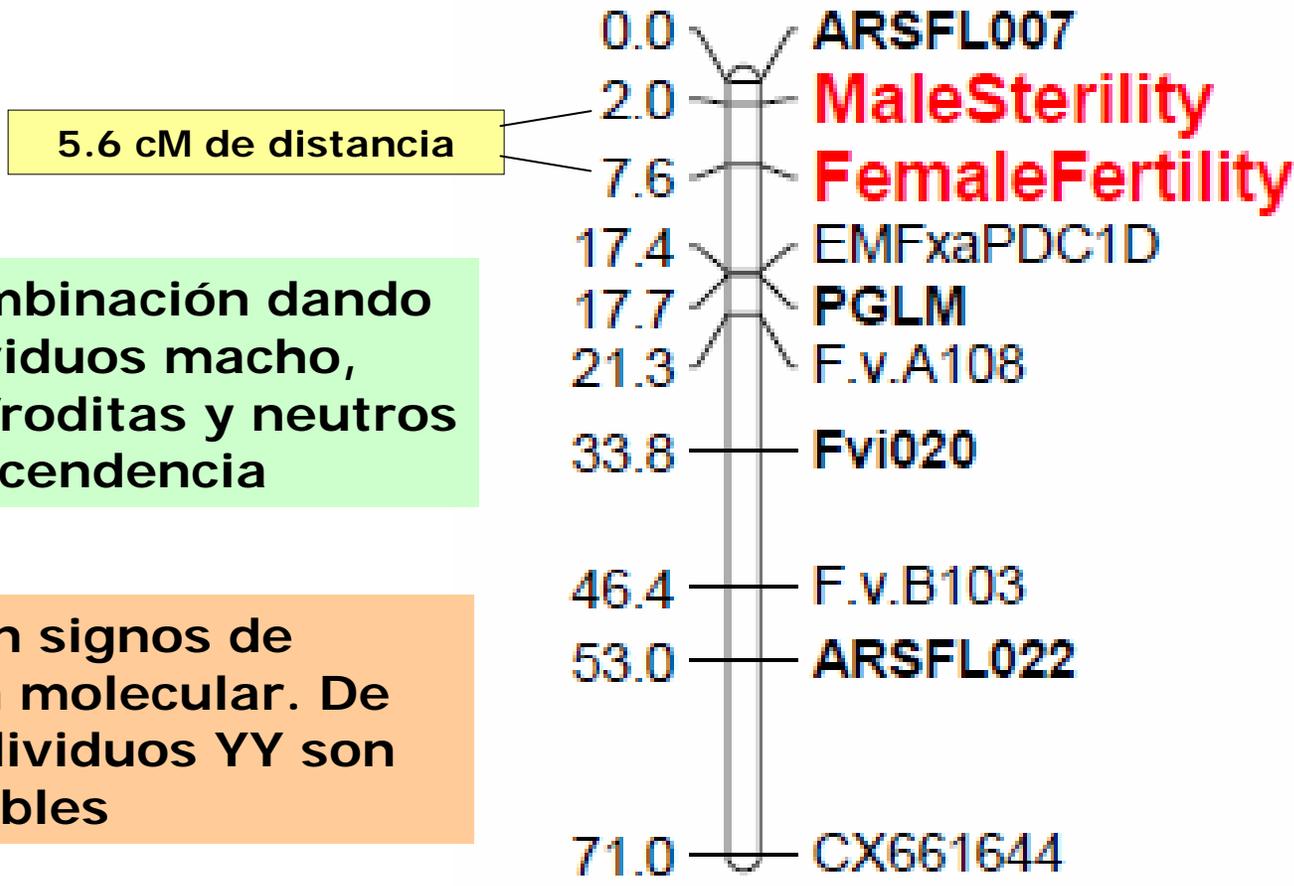
PROTO XY
(Subdioecia)



PRIMERA ETAPA: LAS FRESAS (*Fragaria virginiana*)

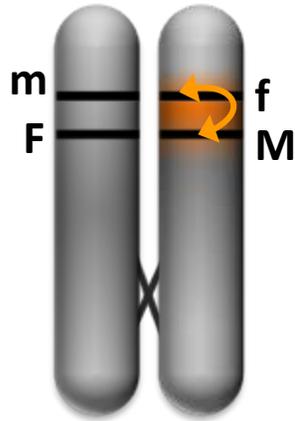
Ocurre la recombinación dando lugar a individuos macho, hembra, hermafroditas y neutros en la descendencia

No existen signos de degeneración molecular. De hecho, los individuos YY son viables



Ashman et al., 2012

SEGUNDA ETAPA: LA PAPAYA (*Carica papaya*)

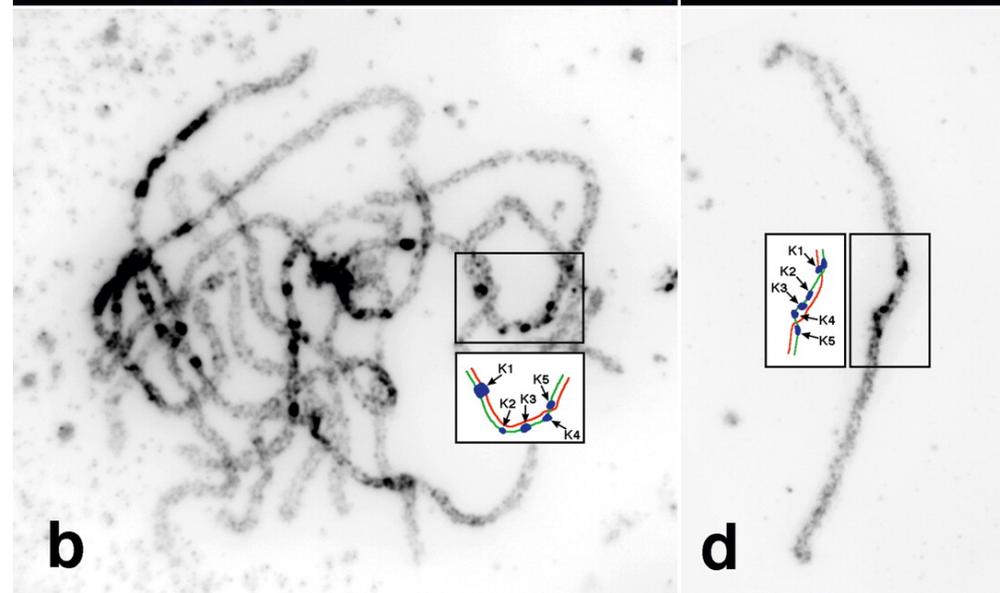
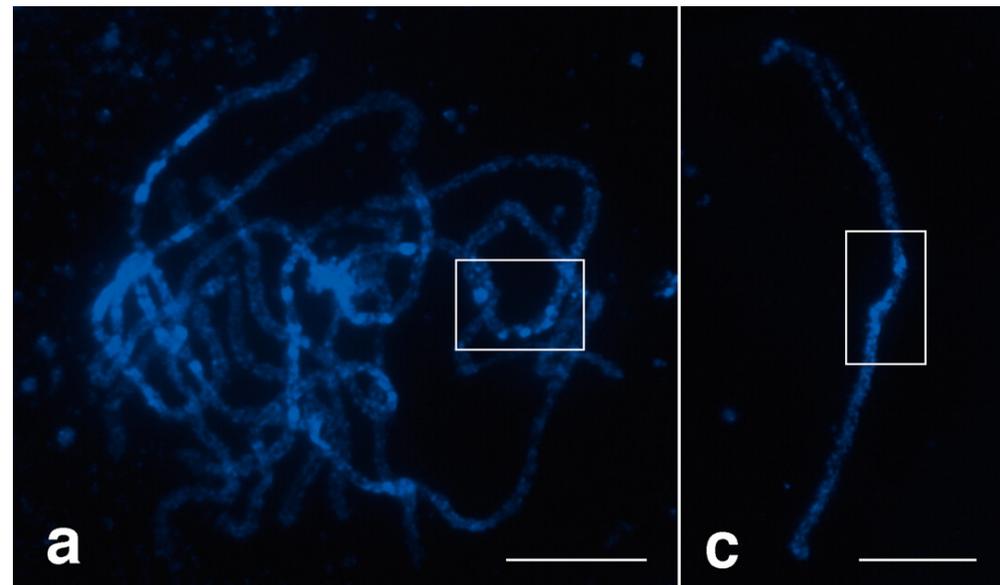
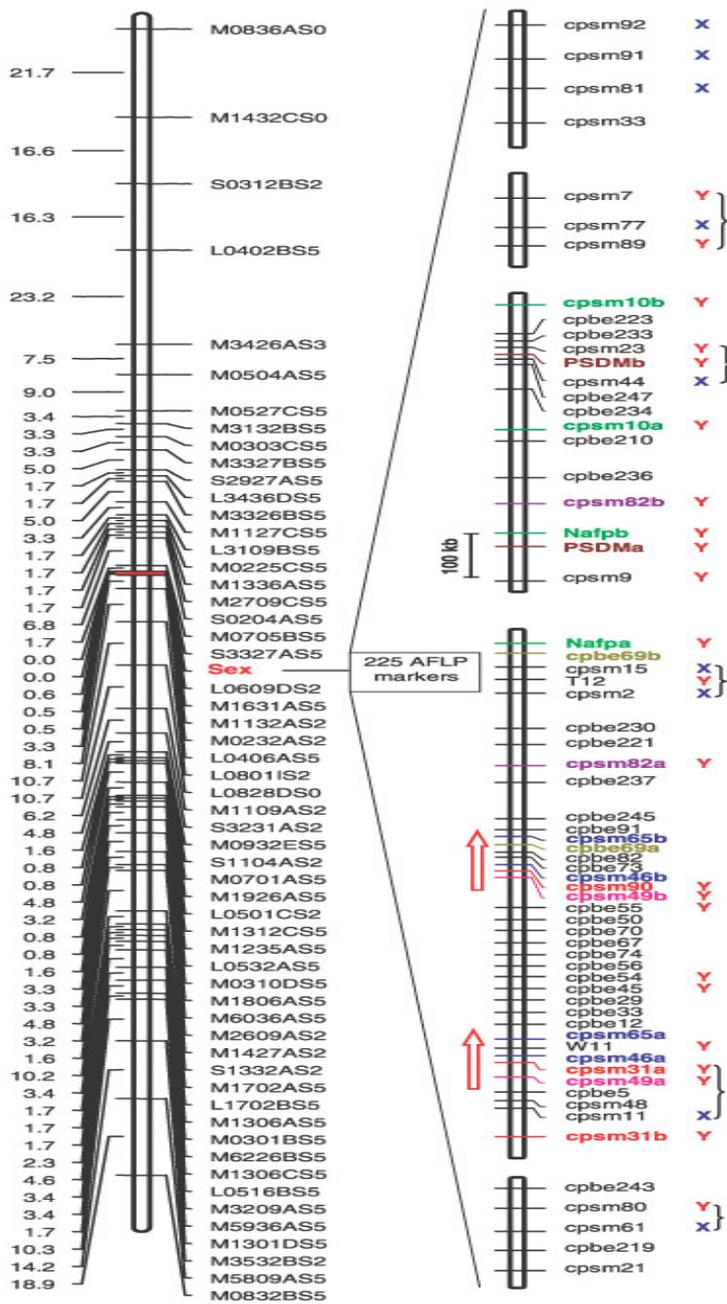


PROTO XY
(Dioecia)

Reordenaciones
Cromosómicas



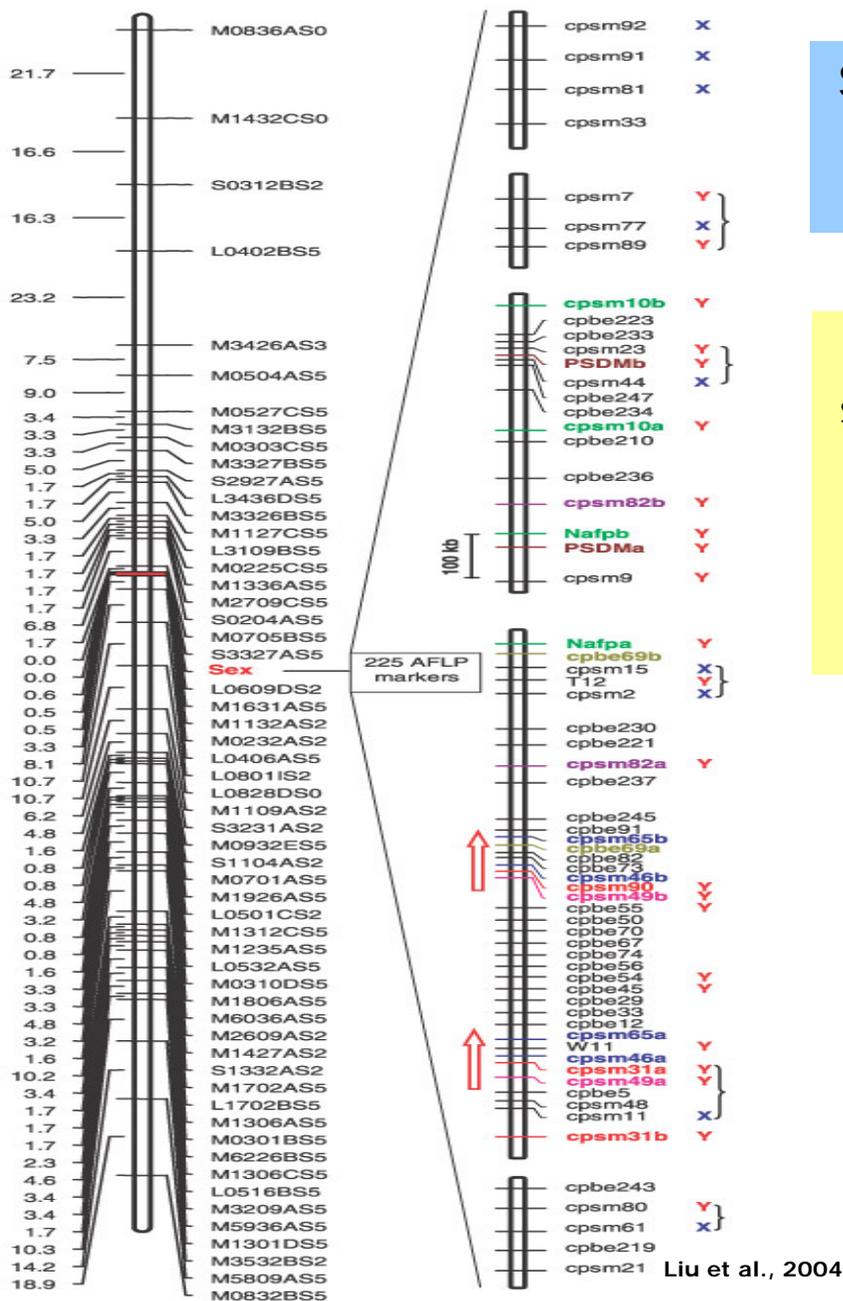
SEGUNDA ETAPA: LA PAPAYA (*Carica papaya*)



Liu et al., 2004

Zhang et al., 2008

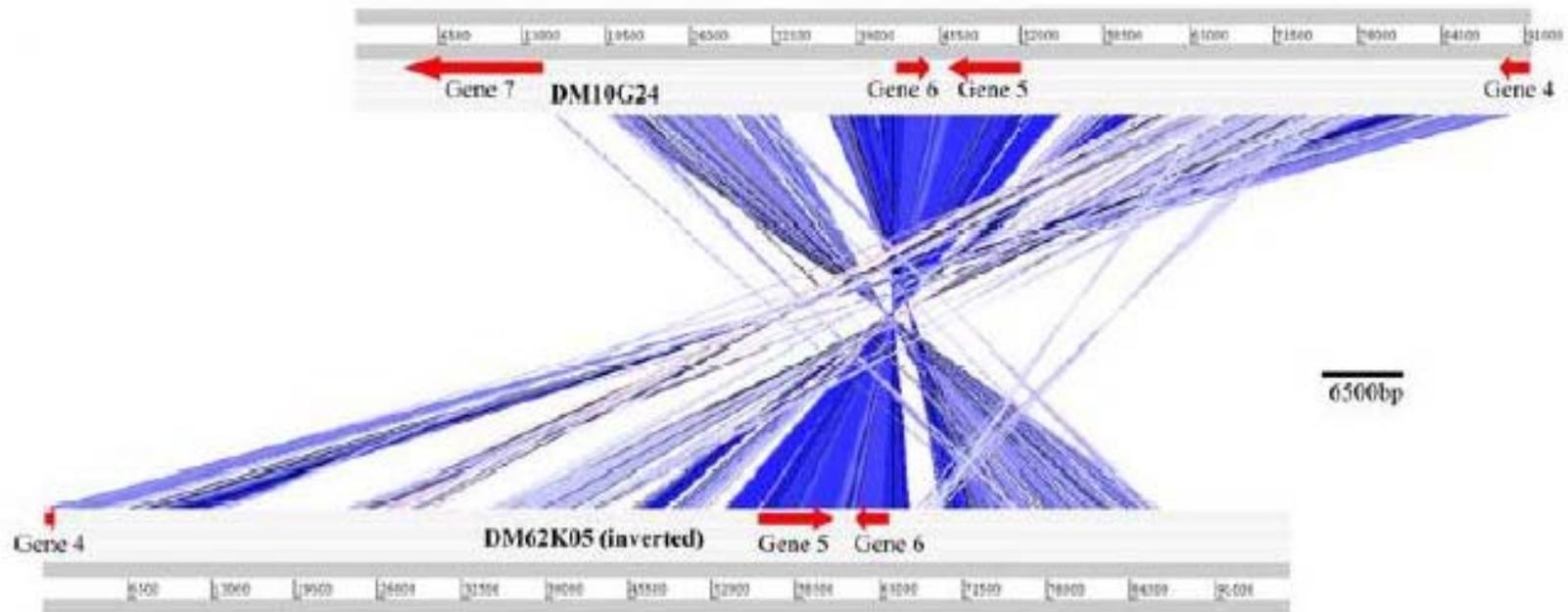
SEGUNDA ETAPA: LA PAPAYA (*Carica papaya*)



Se observa una región en la que hay una tasa de recombinación reducida

Los genes determinantes del sexo se encuentran acumulados en una zona muy próxima al centrómero (que de por sí ya presenta baja tasa de recombinación)

SEGUNDA ETAPA: LA PAPAYA (*Carica papaya*)

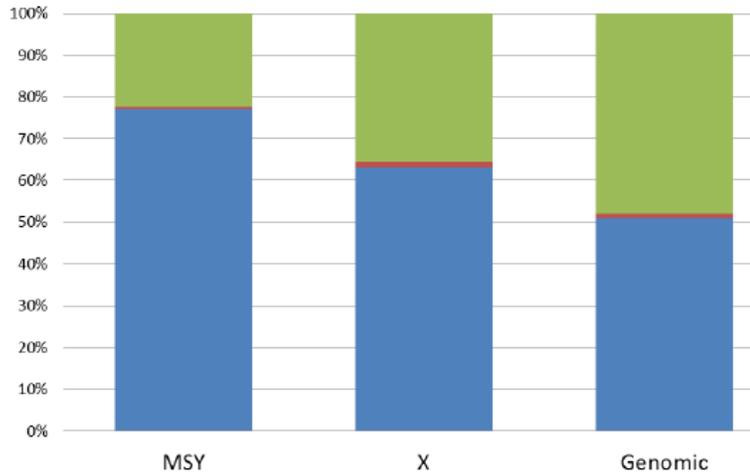


Yu et al., 2008

La presencia de **inversiones** está involucrada en el cese de la recombinación

SEGUNDA ETAPA: LA PAPAYA (*Carica papaya*)

EL PRIMER CROMOSOMA Y DE PLANTAS EN SER SECUENCIADO COMPLETAMENTE



Existe una expansión de la cromatina del cromosoma Y (8,2 Mb), con respecto a la del X (3,4 Mb) (134%)

ACUMULACIÓN DE SECUENCIAS REPETIDAS (retrotransposones)

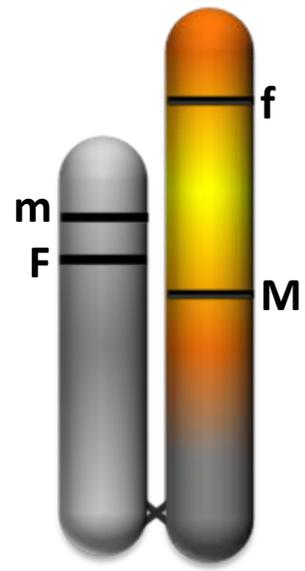
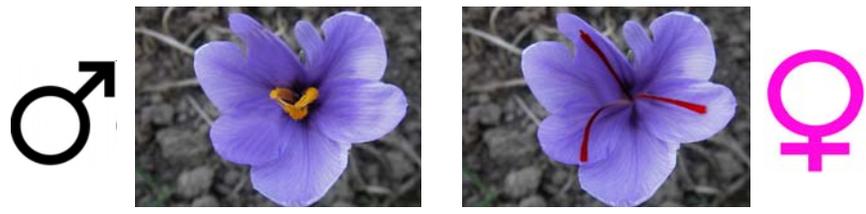
Ming et al., under review

YY no viables

22 genes específicos de la región MSY (Habiendo perdido antes 29 genes, y habiendo adquirido 9 desde autosomas -de los que volvió a perder 3)

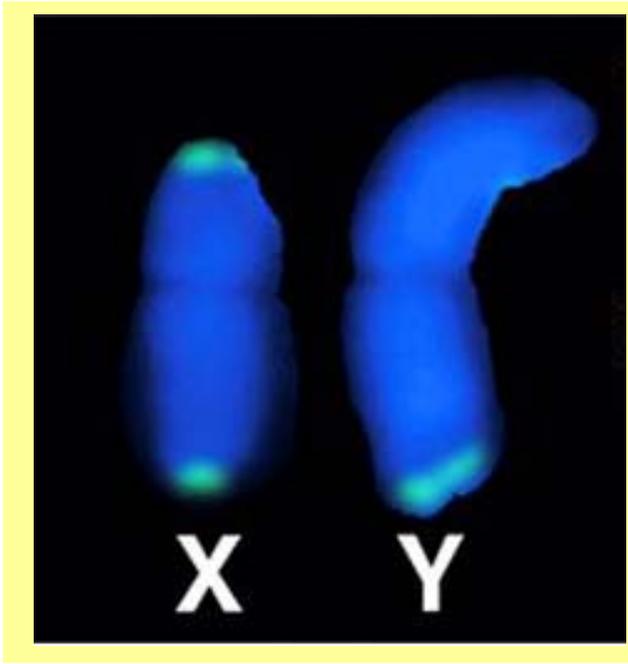
29 genes específicos de la región homóloga del X (Habiendo perdido 13, y no habiendo adquirido ninguno)

TERCERA ETAPA: LAS COLLEJAS (*Silene latifolia*)

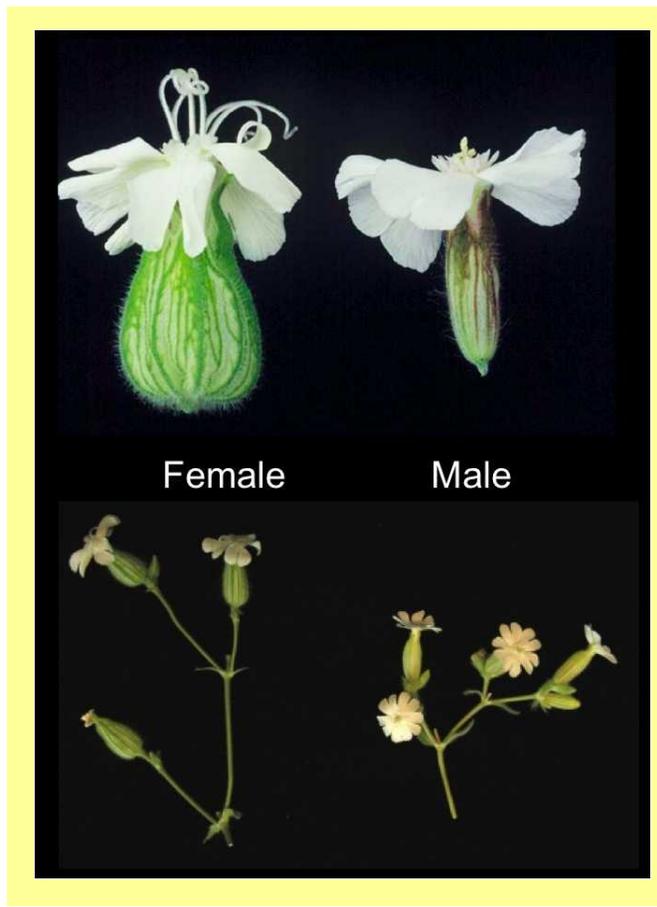


XY
(Dioecia)

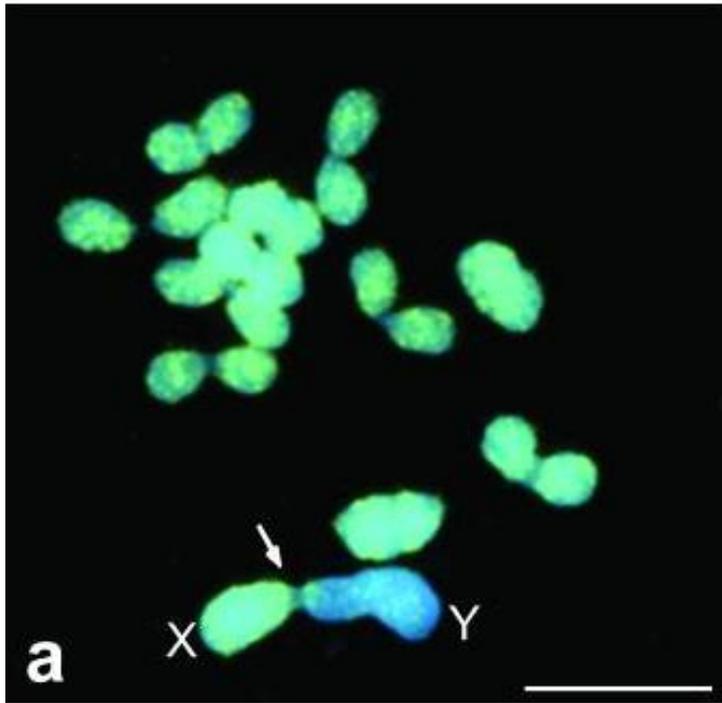
Acumulación de
Secuencias
Repetidas



Matsunaga, 2009

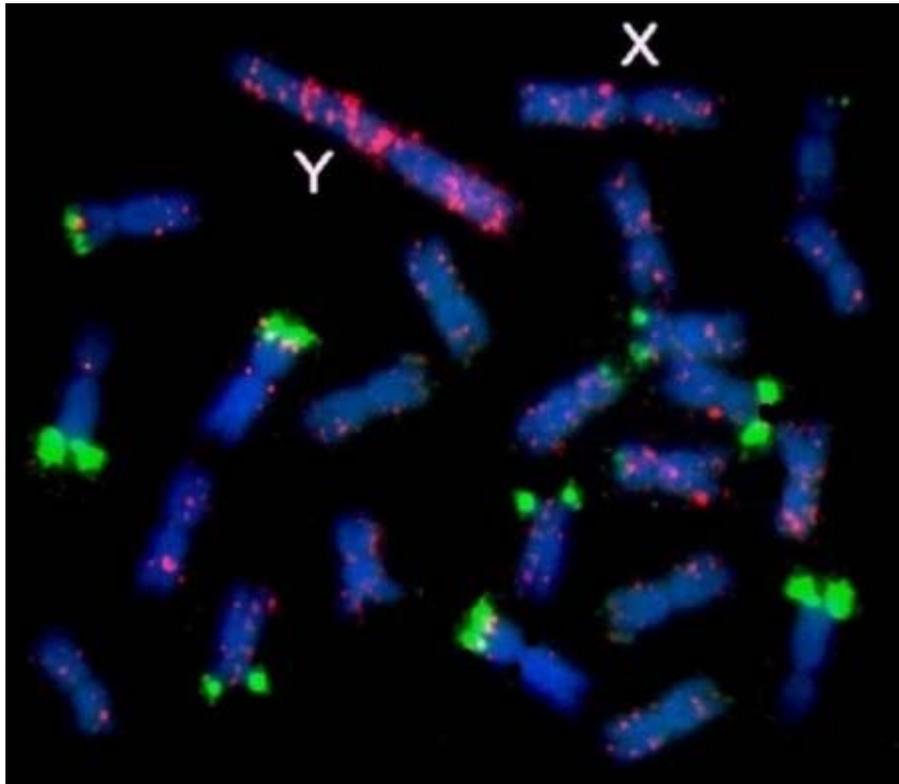


TERCERA ETAPA: LAS COLLEJAS (*Silene latifolia*)

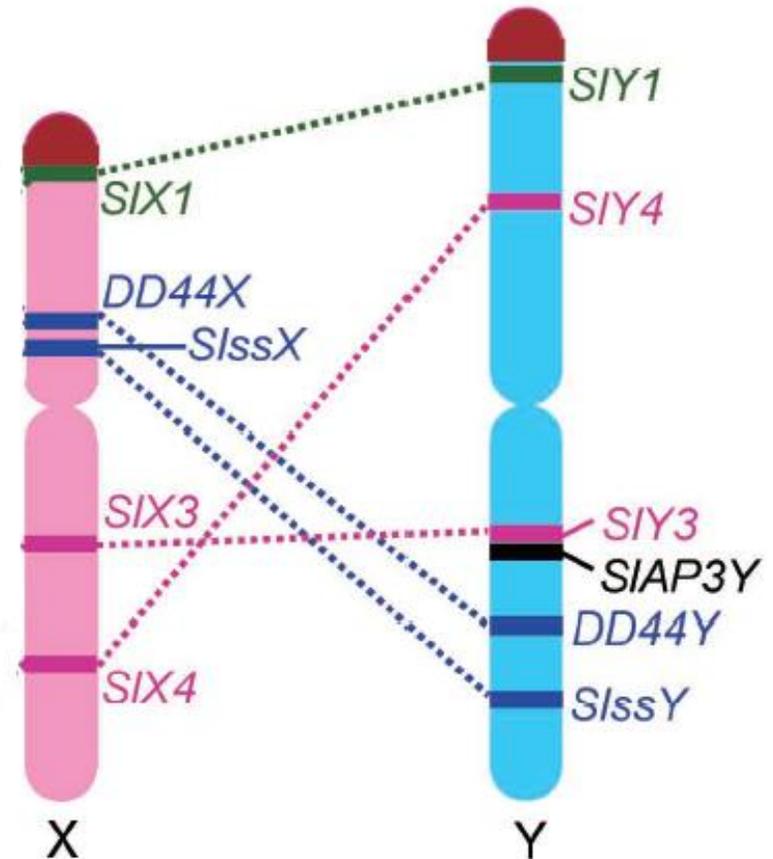


Existe diferenciación a nivel morfológico (**Cromosomas Heteromórficos**)

TERCERA ETAPA: LAS COLLEJAS (*Silene latifolia*)



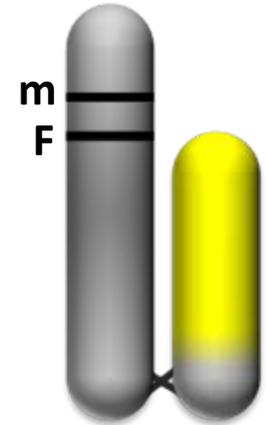
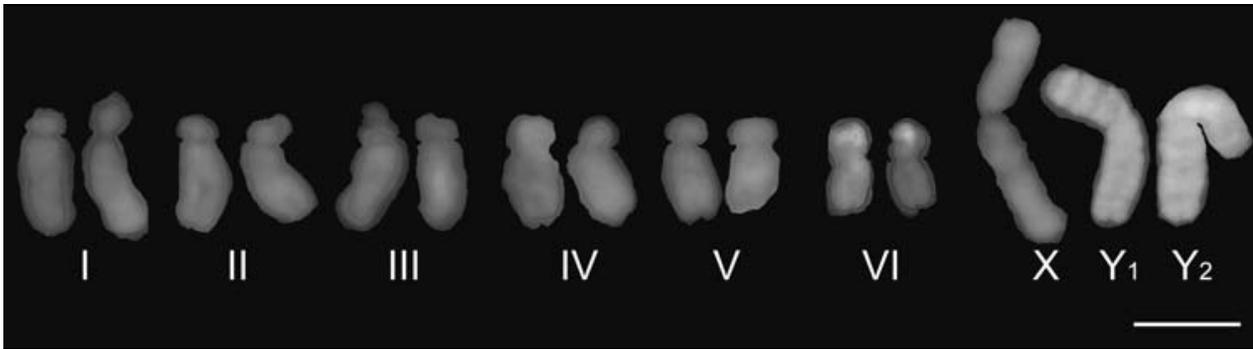
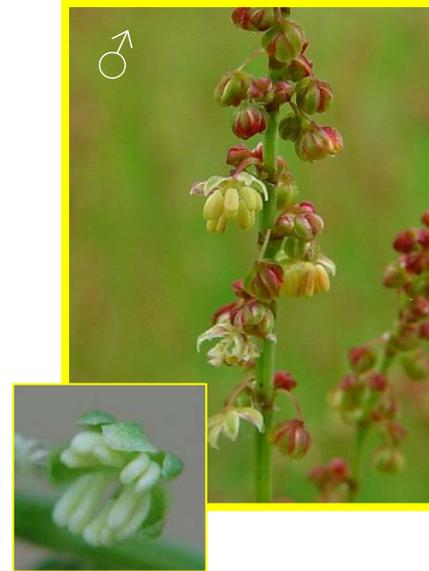
Vyskot et al.



Existen reordenaciones cromosómicas, inactivación de genes del Y y moderado nivel de degeneración molecular

YY no viables

CUARTA ETAPA: LAS ACEDERAS (*Rumex acetosa*)



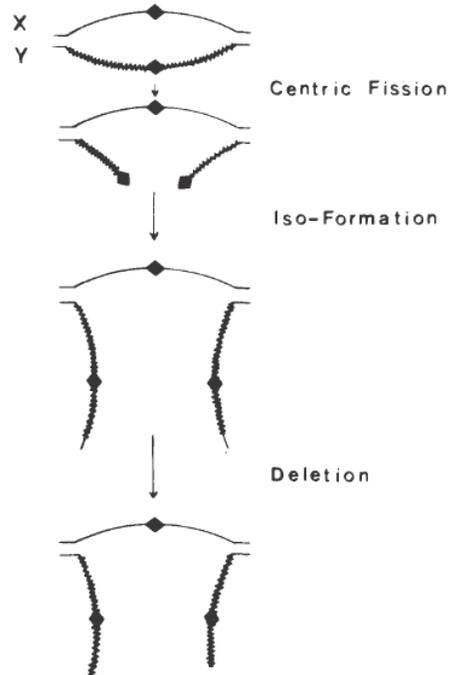
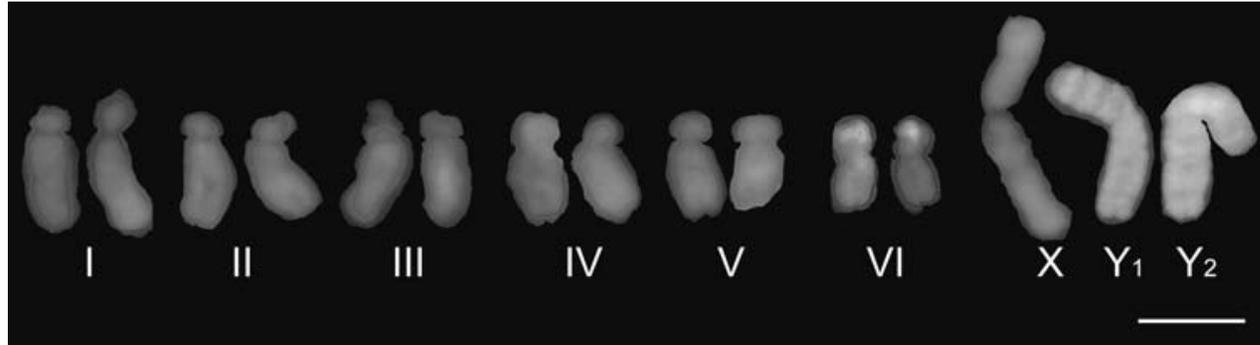
XY
(Dioecia)

Cromosoma Y
Degenerado

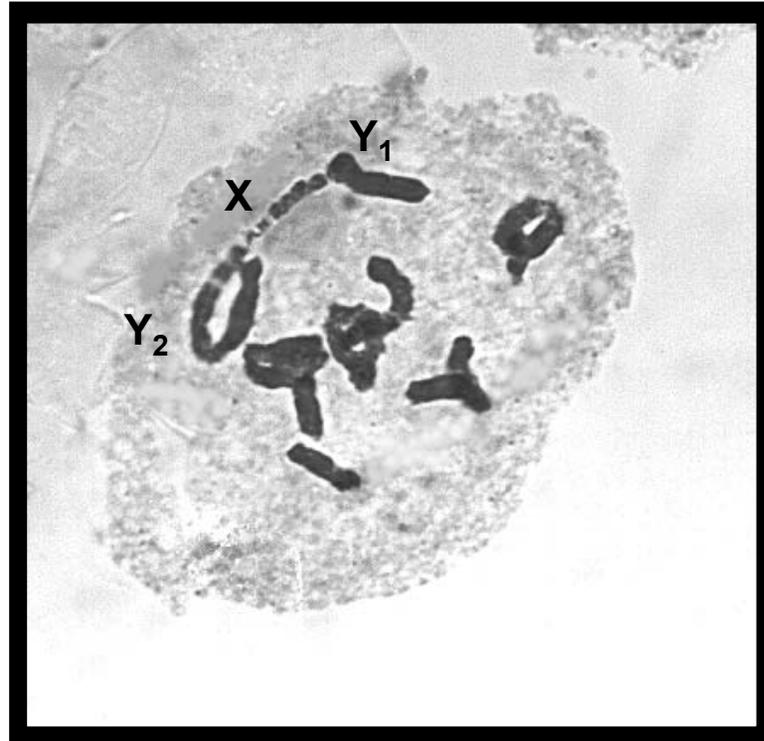


LOS SUPER-MACHOS DE *Rumex acetosa*

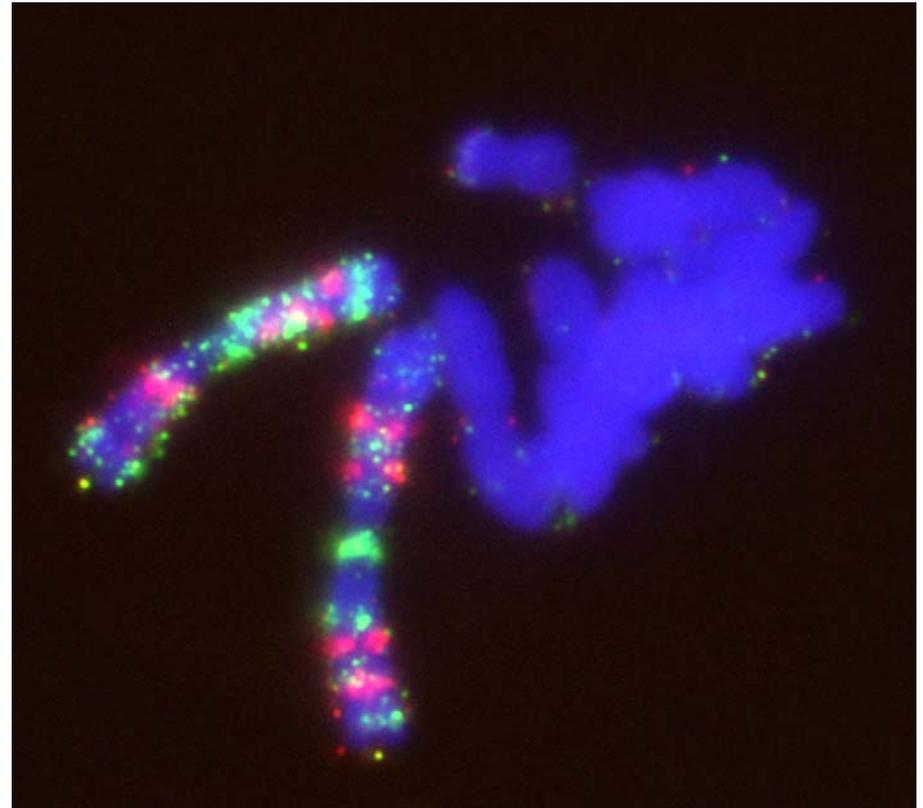
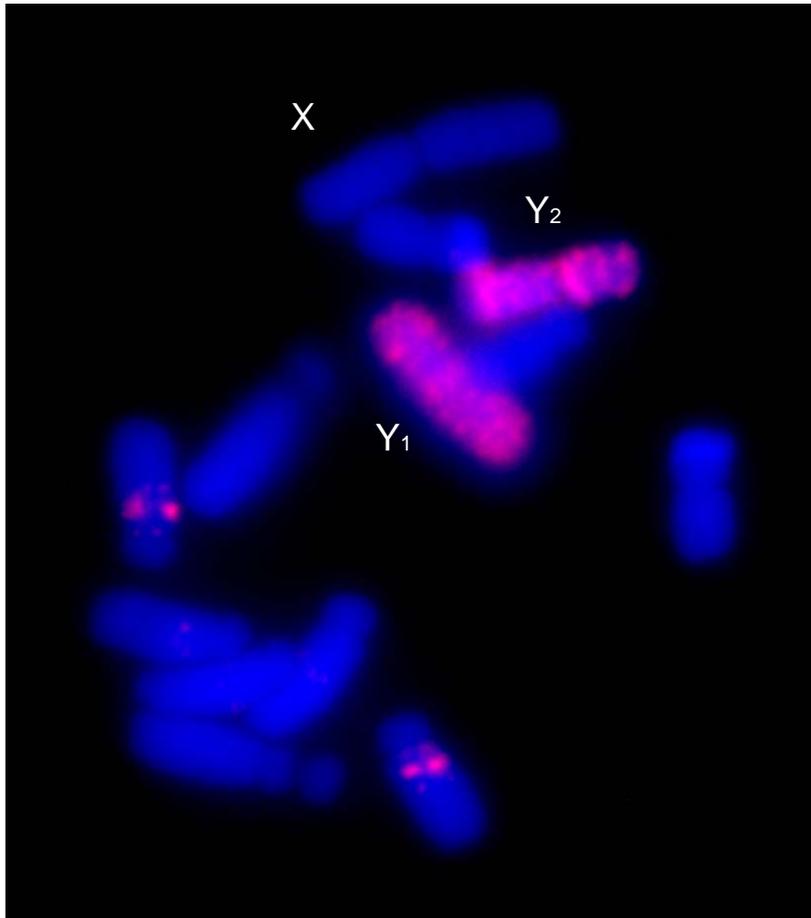
Navajas-Pérez et al., 2009



Ruiz Rejón et al., 1994

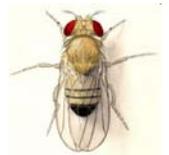


Los cromosomas Y de *Rumex acetosa* se encuentran completamente **degenerados por la acumulación de secuencias repetidas**, especialmente **ADN satélite**

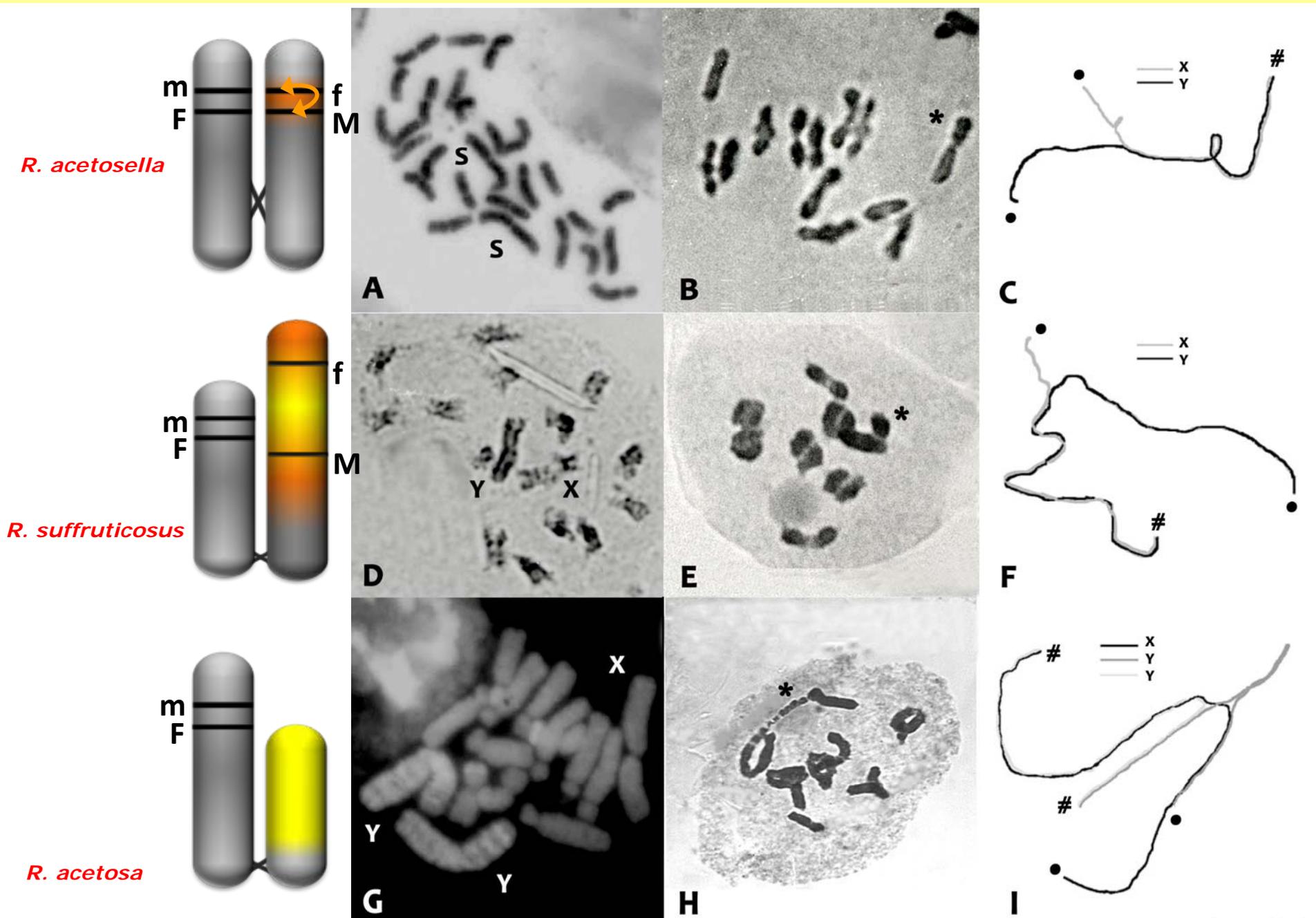


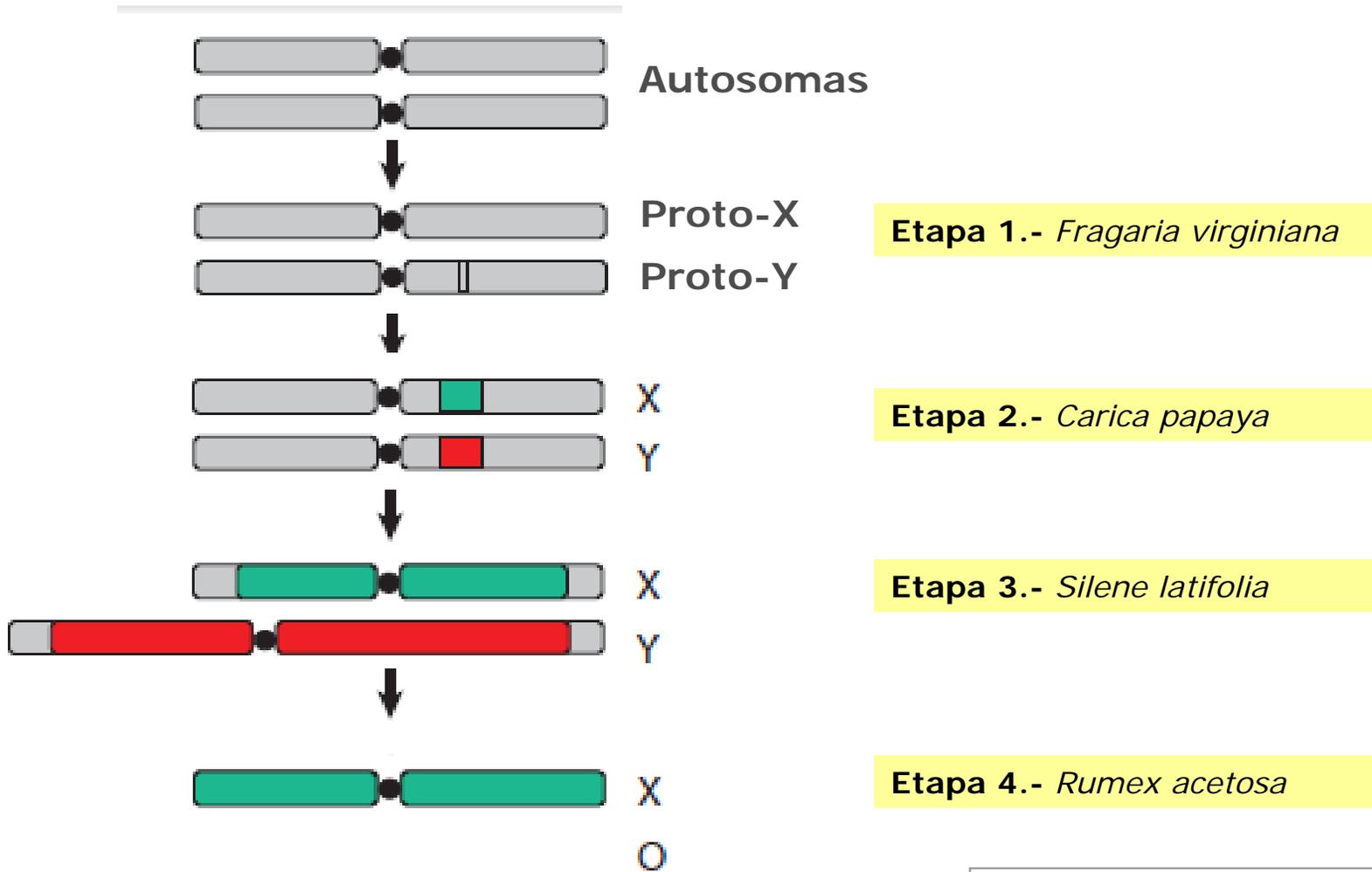
Navajas-Pérez et al., 2006

X:Autosomas



EVOLUCIÓN DE LOS CROMOSOMAS SEXUALES EN *Rumex*

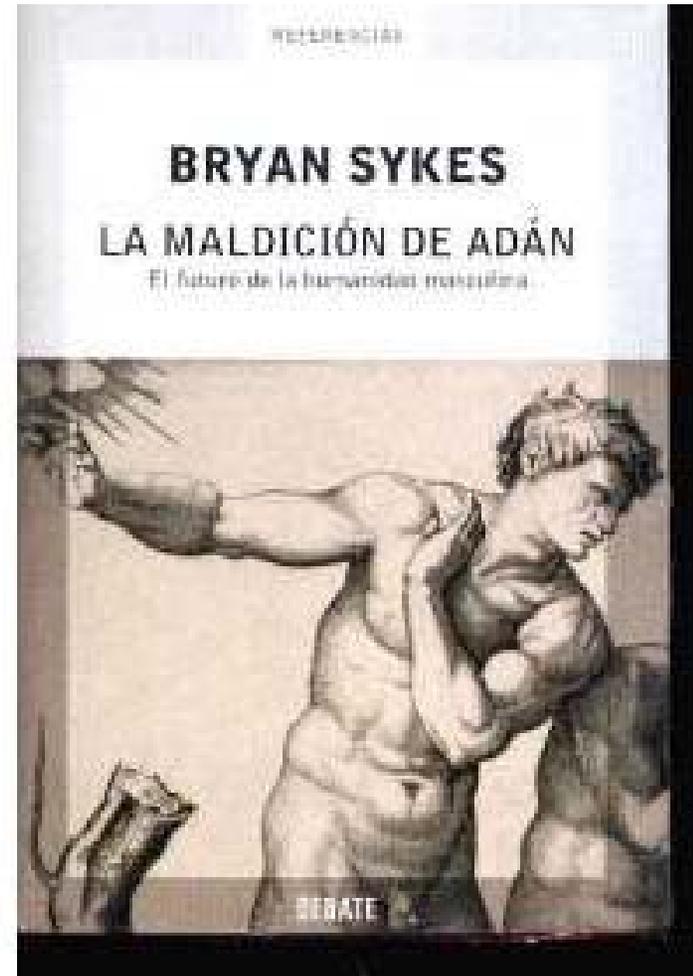


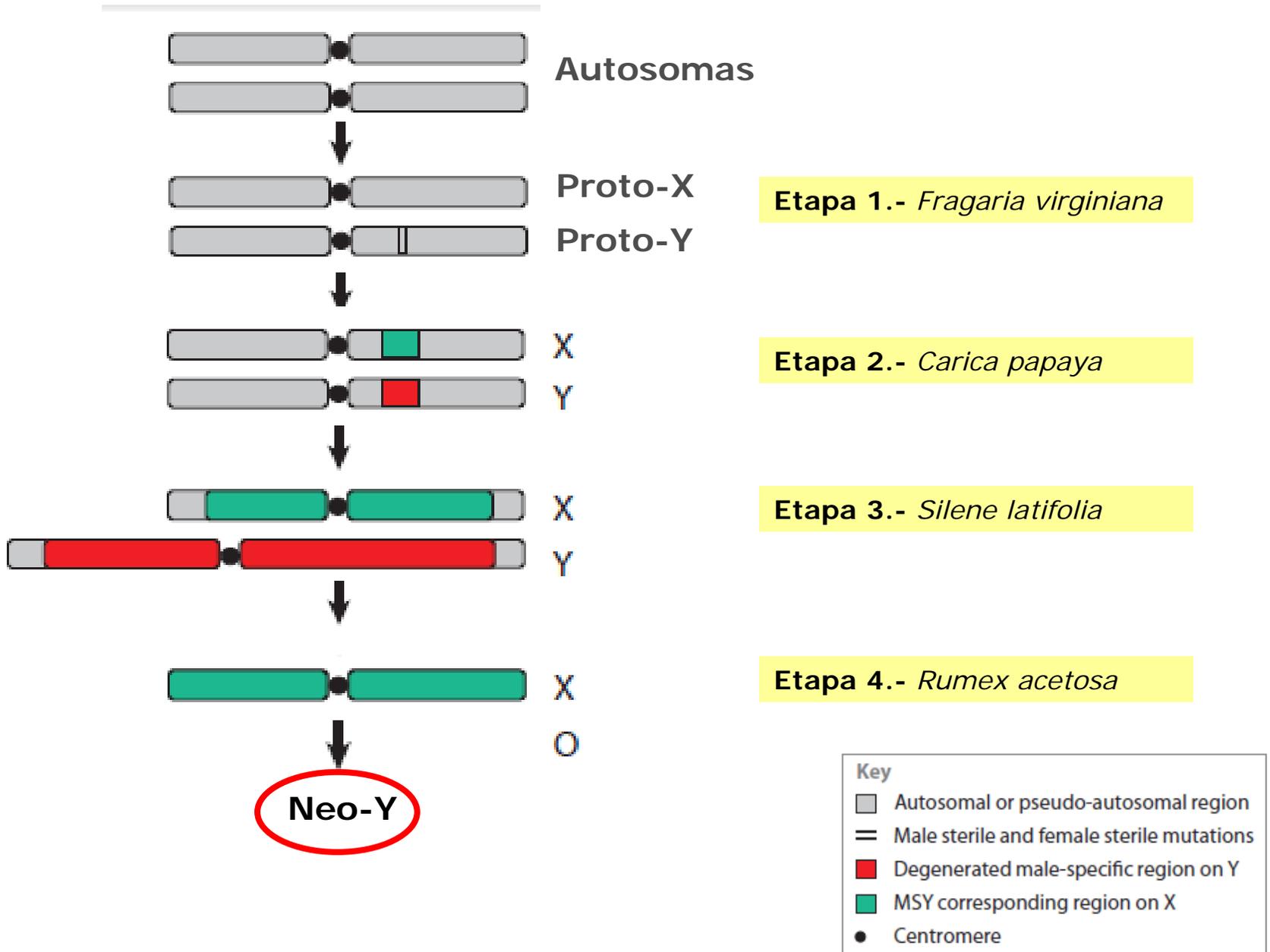


Key

- Autosomal or pseudo-autosomal region
- Male sterile and female sterile mutations
- Degenerated male-specific region on Y
- MSY corresponding region on X
- Centromere

Los cromosomas sexuales de plantas sirven para demostrar que los Y humanos cometieron un *pecado original de tipo genético* cuando asumieron la función de determinar el sexo masculino, y este pecado según algunos conlleva la desaparición del cromosoma Y





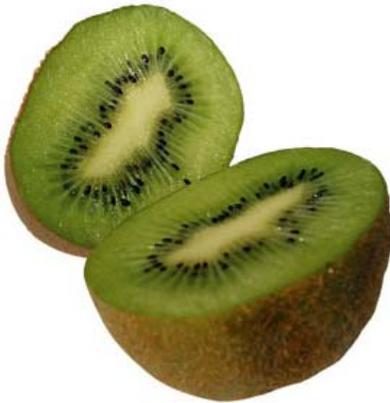
Pueden aparecer nuevos cromosomas Y, como en el caso de *Drosophila miranda*

Hay especies en las que existen machos a pesar de no tener cromosomas Y funcionales –sistema X:autosomas- (Ratilla topo, *Ellobius lutescens*, en mamíferos, o las acederas, *Rumex acetosa*, plantas)

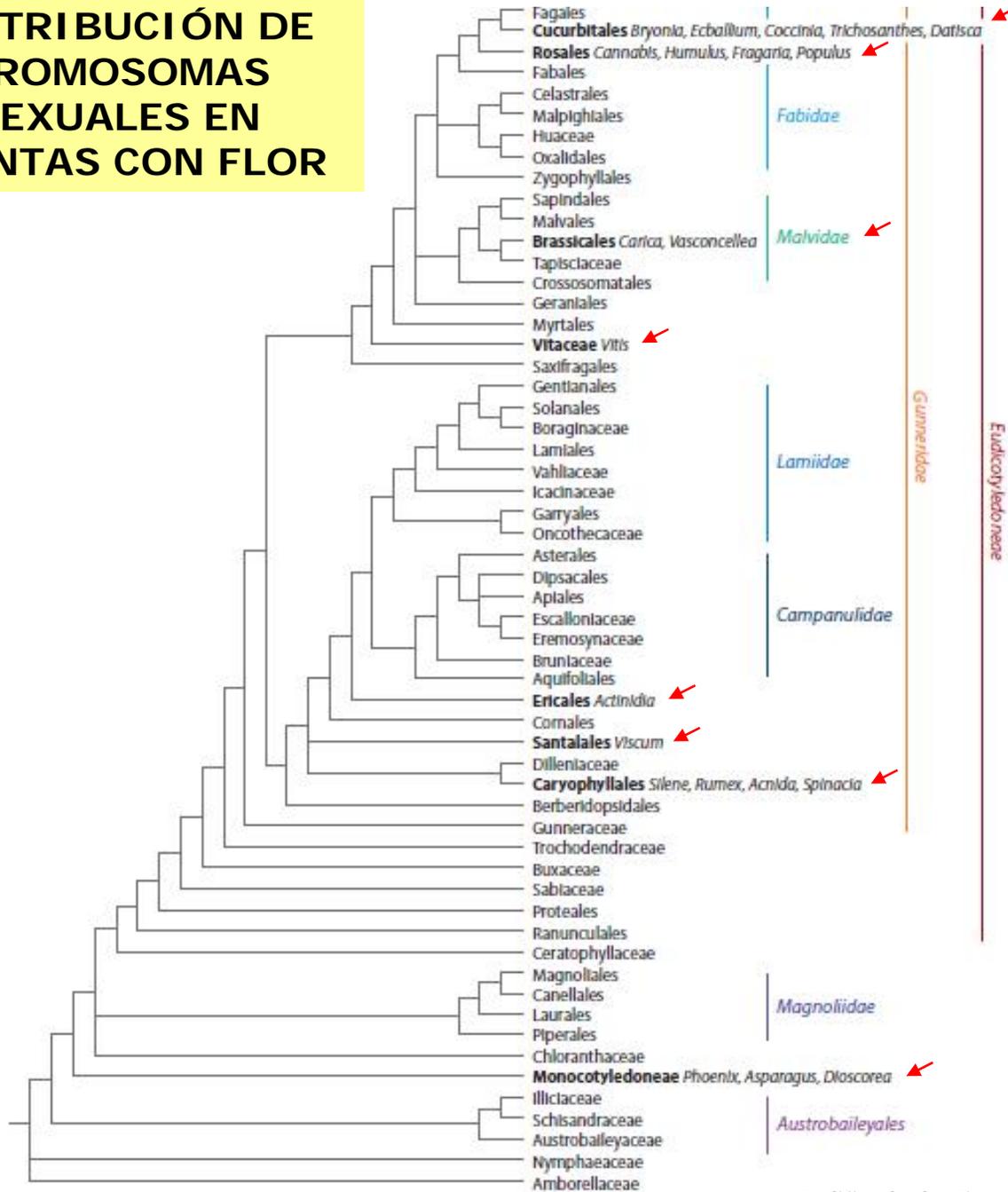
Se encuentra en discusión que el cromosoma Y humano esté degenerando tan deprisa (en los últimos 6 m.a. no ha sufrido tanta degeneración molecular como el del chimpancé)

Siempre nos queda la INGENIERÍA GENÉTICA...

Aplicaciones de la Biología Molecular



DISTRIBUCIÓN DE CROMOSOMAS SEXUALES EN PLANTAS CON FLOR



Briófitos y Algas

El Sexo de las Plantas



Rafael Navajas Pérez
Universidad de Granada
11 Mayo 2012