

# “La Degeneración del Cromosoma Y, ¿el fin del Género Masculino?”



Rafael Navajas Pérez  
Universidad de Granada  
26 Octubre 2012

# Separación de Sexos y Dimorfismo Sexual





# El Matriarcado de los Insectos Partenogenéticos



## **Partenogénesis.**

(Del gr. παρθένος, virgen, y -génesis).

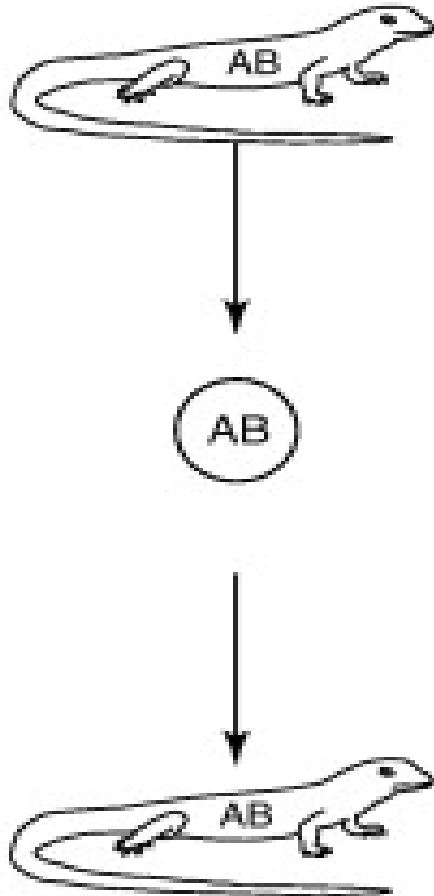
1. f. *Biol.* Modo de reproducción de algunos animales y plantas, que consiste en la formación de un nuevo ser por división reiterada de células sexuales femeninas que no se han unido previamente con gametos masculinos.

# Reproducción Asexual en Vertebrados

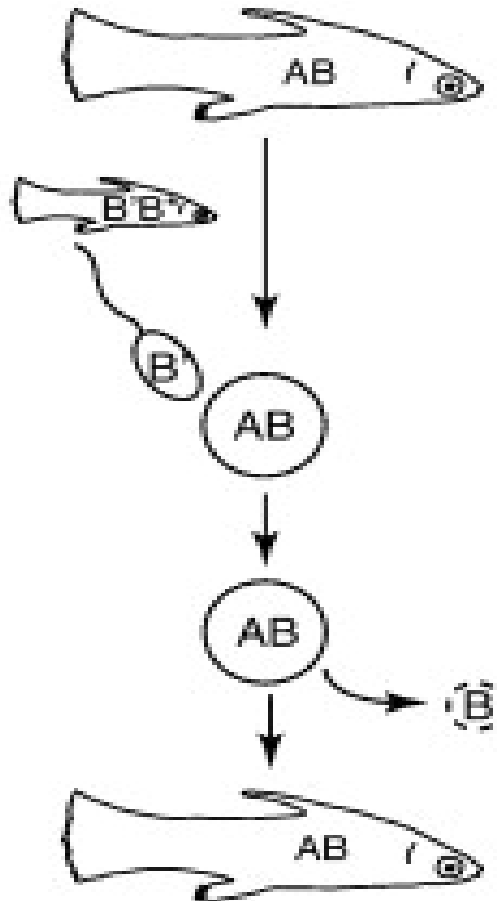


# Reproducción Asexual en Vertebrados

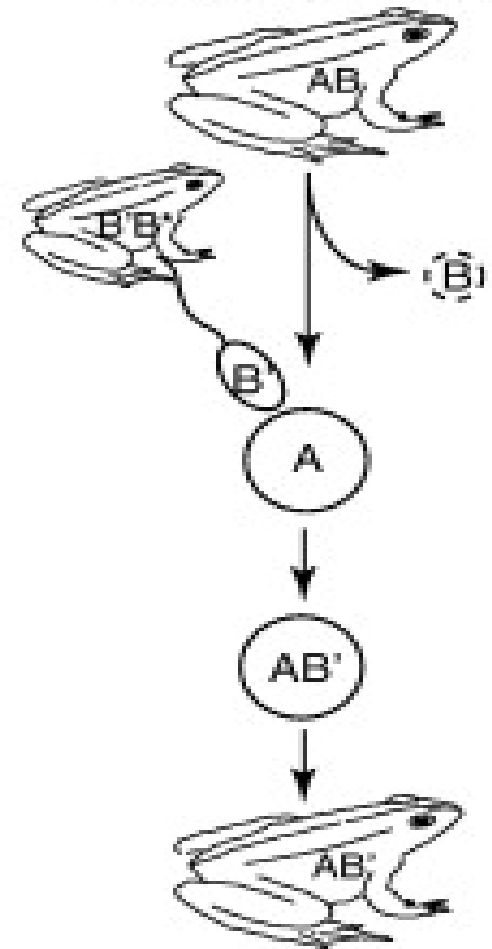
Parthenogenesis



Gynogenesis

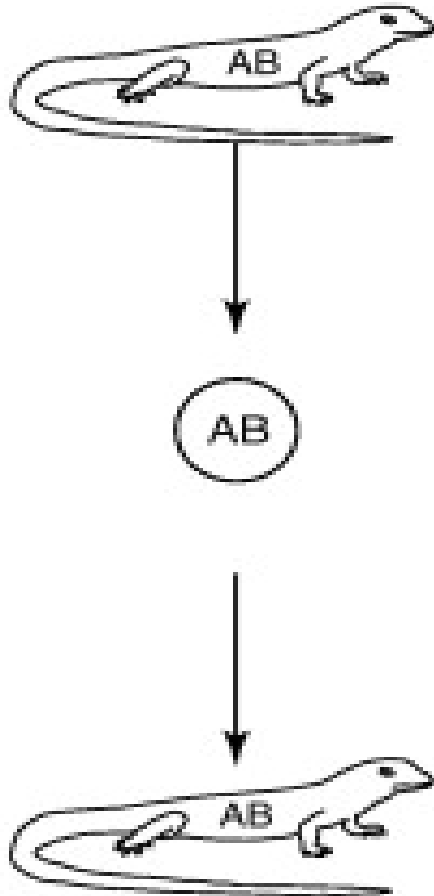


Hybridogenesis

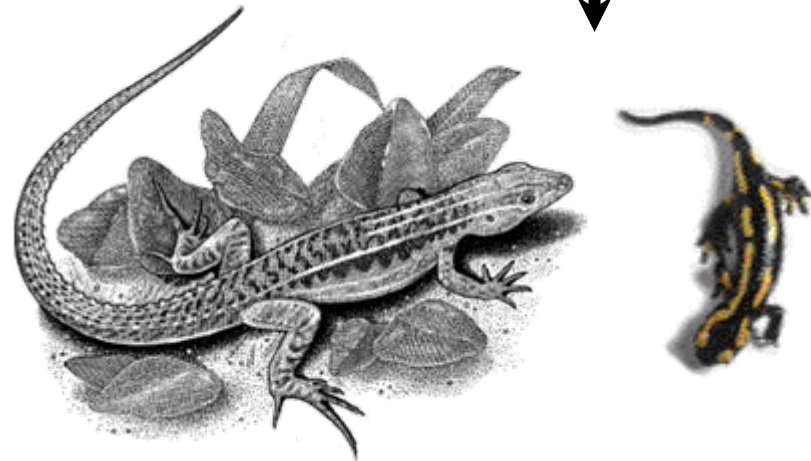


# Reproducción Asexual en Vertebrados

Parthenogenesis

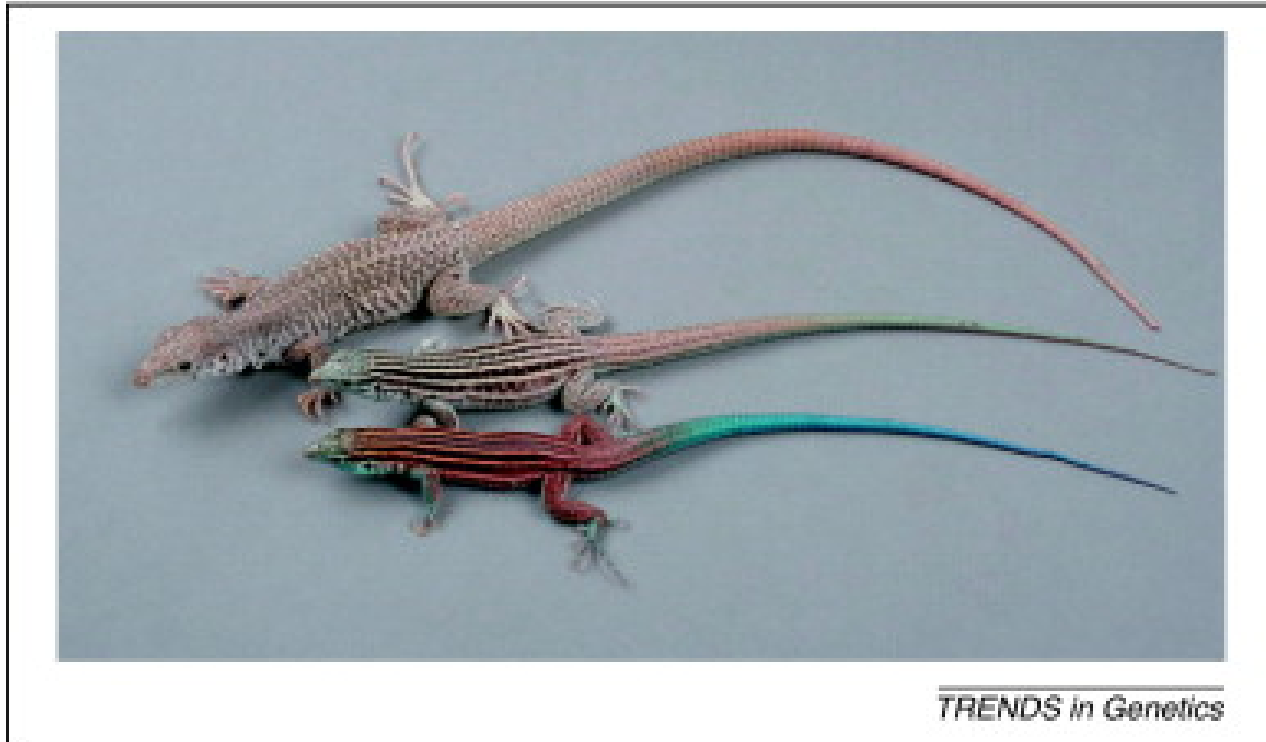


Facultativa o Persistente



# Reproducción Asexual en Vertebrados

Origen híbrido de la mayor parte de especies (**Alta Heterozigosidad**)



The parthenogenetic species *Aspidoscelis neomexicana* (center) arose from a hybridization event involving a male *A. inornata* (bottom) and a female *A. tigris*

# Reproducción Asexual en Vertebrados

*Otros Mecanismos para Producir Variabilidad Genética  
o el **precio de prescindir de los machos...***

- Diversos eventos de hibridación que originan múltiples **Genotipos**
- Generación de diversos niveles de **Ploidía**
- **Reordenaciones cromosómicas**
- Recombinación **Homeóloga** (entre cromosomas homólogos)
- **Mutaciones**



**Pero en humanos... ¿Es prescindible el Género Masculino?**

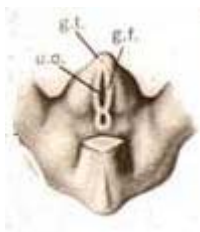


## Reproducción Asexual en Mamíferos

*Expresión de ciertos genes dependiendo del sexo del parental del que se heredan (Impronta Genética)*



# ¿Cómo se determina el sexo 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



testosterona ↑

Células de Leydig



10 WEEKS



12 WEEKS



Células de Sertoli



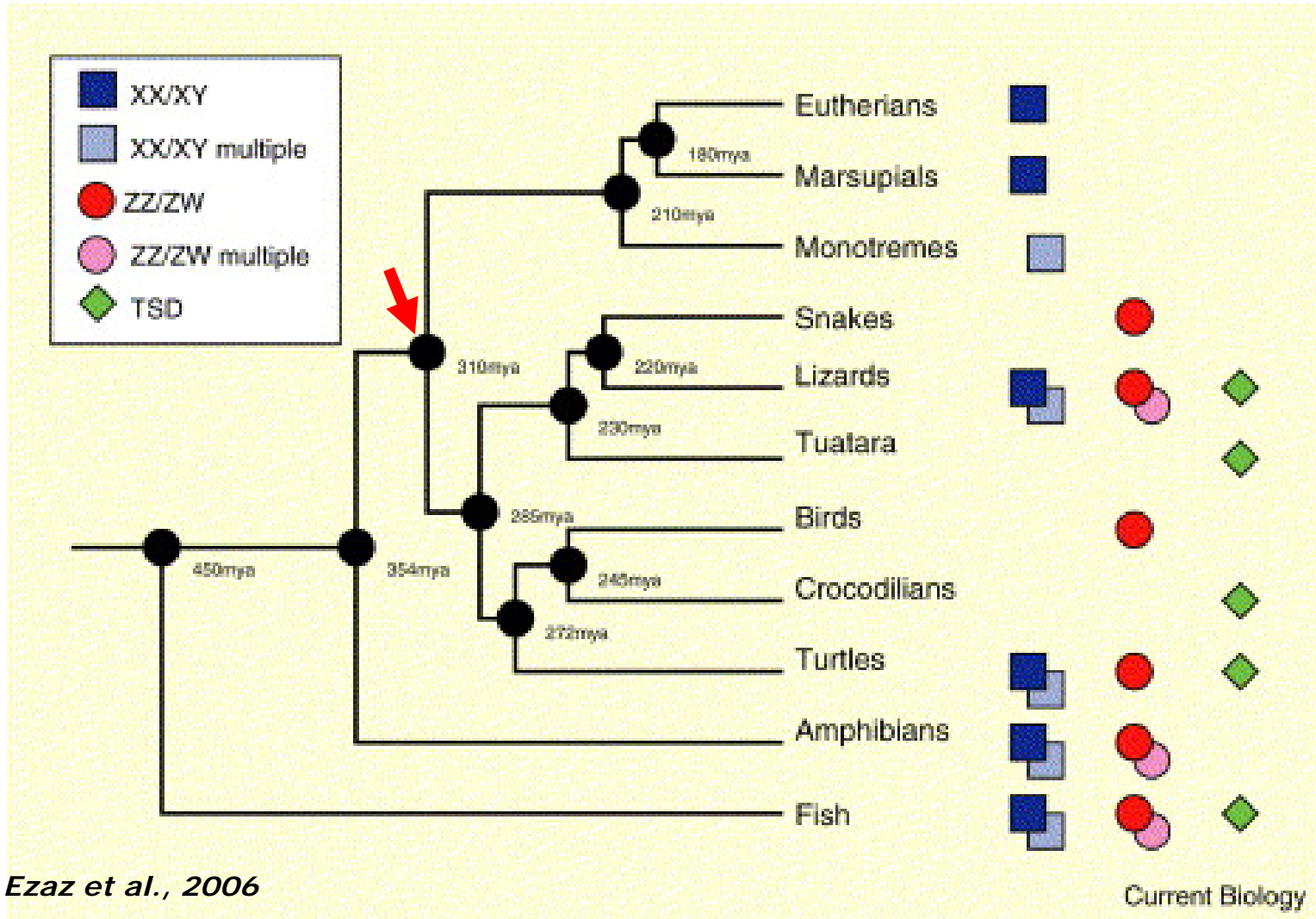
34 WEEKS

hormona antimülleriana ↓

Regresión del Conducto Mülleriano

# ¿Cómo está controlado el Sexo?

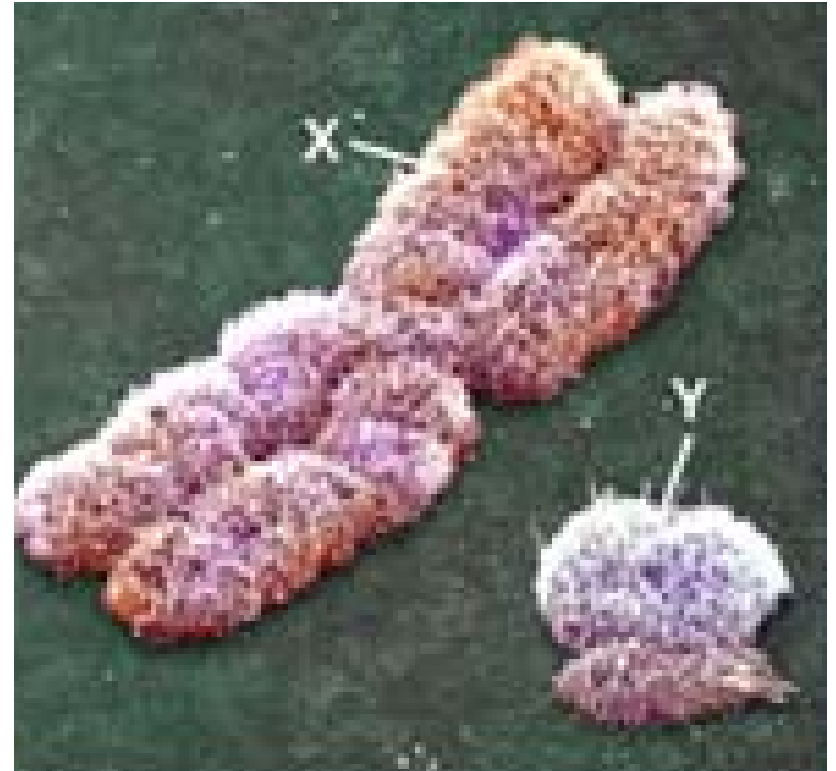
mecanismos de determinación sexual en animales



# Características de los Cromosomas Sexuales



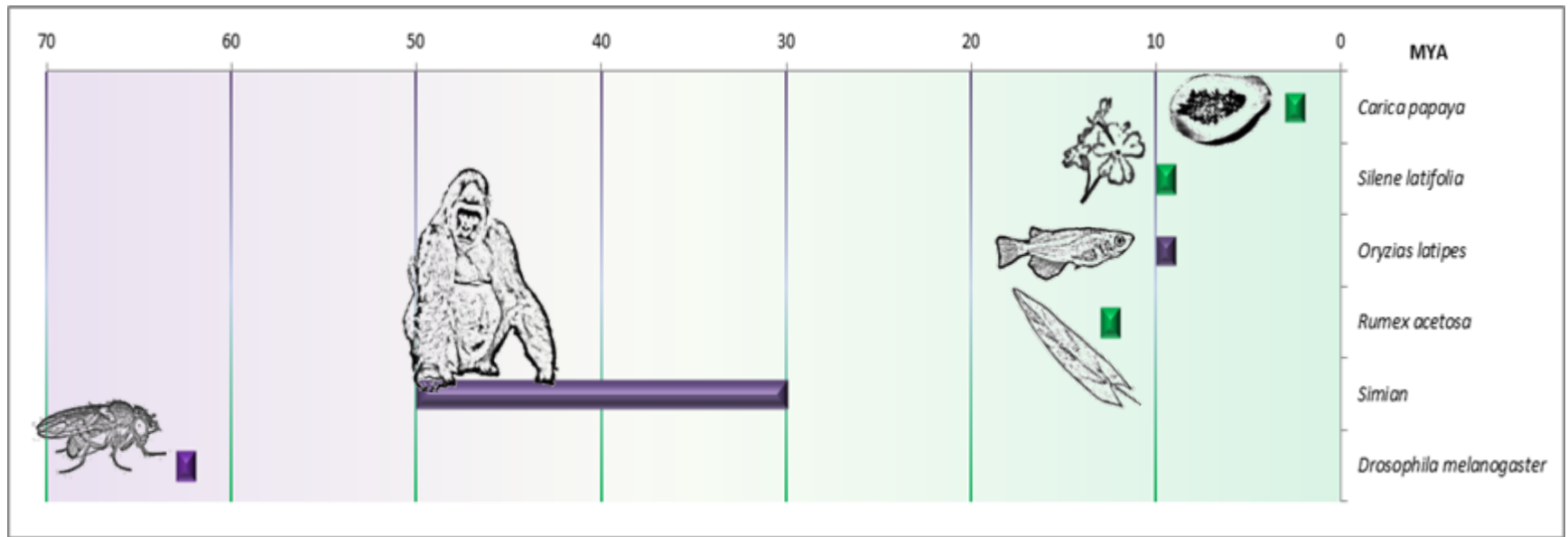
*Parecidos Razonables...*







# EVOLUCIÓN DE LOS CROMOSOMAS SEXUALES



Sola-Campoy et al., 2012



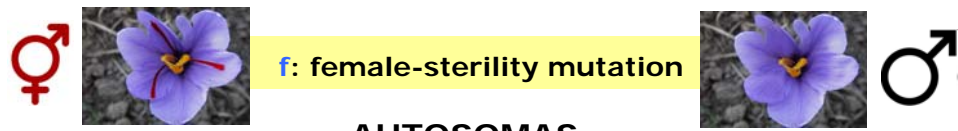
200-300 m.a.

# SISTEMAS DE DETERMINACIÓN SEXUAL EN PLANTAS

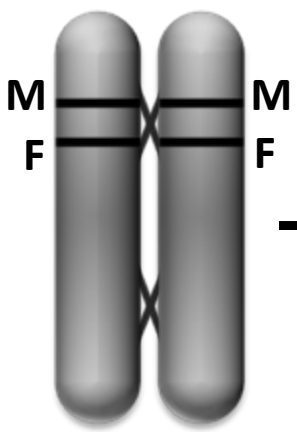
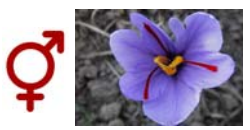
(38% Angiospermas Dioicas)

Family	Species	Female sex chromosome	Male sex chromosome	Viability of YY genotype	Sex determination
<b>Homomorphic sex chromosomes</b>					
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
<b>Heteromorphic sex chromosomes</b>					
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 <sub>1</sub> X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> Y <sub>1</sub> X <sub>2</sub> Y <sub>2</sub>	—	X to autosome ratio
	<i>H. japonicus</i>	XX	XY <sub>1</sub> Y <sub>2</sub>	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 <sub>1</sub> Y <sub>2</sub>	—	X to autosome ratio
	<i>R. acetosa</i>	XX	XY <sub>1</sub> Y <sub>2</sub>	—	X to autosome ratio
	<i>R. paucifolius</i>	(XX)XX	(XX)XY	—	—

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

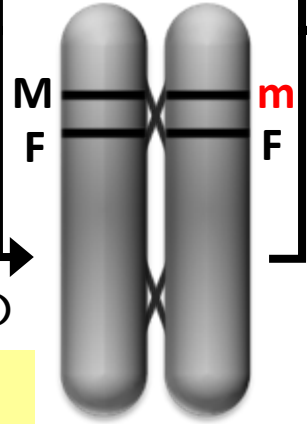
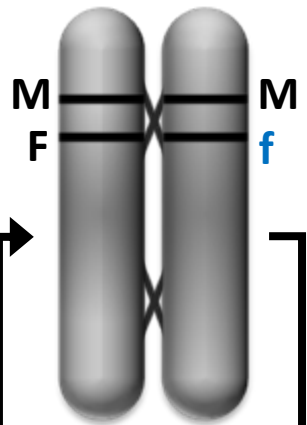


AUTOSOMAS  
(Androdioecia)

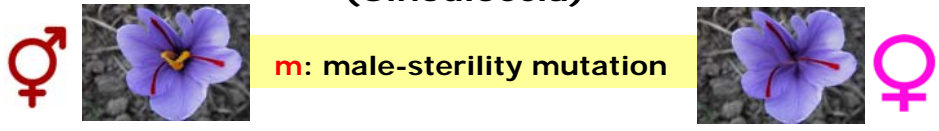


AUTOSOMAS  
(Hermafroditismo)

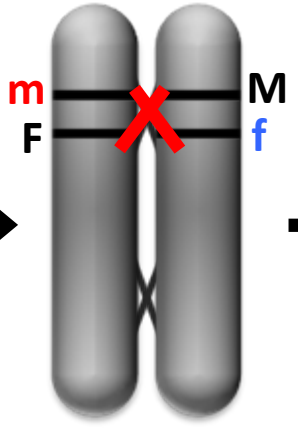
M: male activator  
F: female fertility



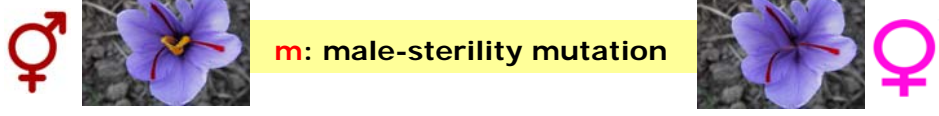
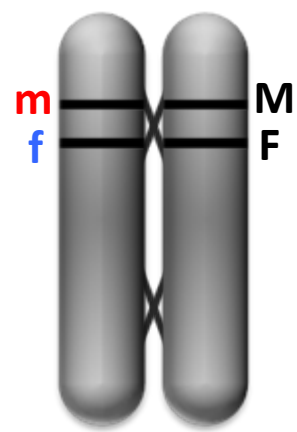
AUTOSOMAS  
(Ginodioecia)

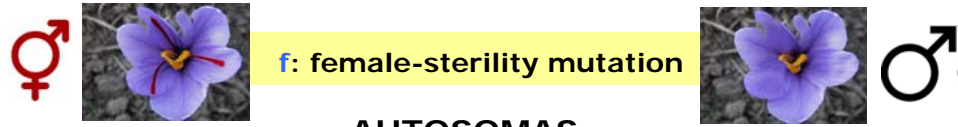


m/f: male and female-sterility mutation

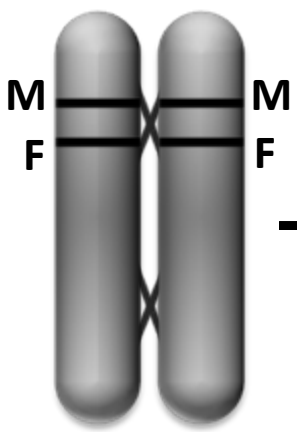


PROTO XY  
(Subdioecia)



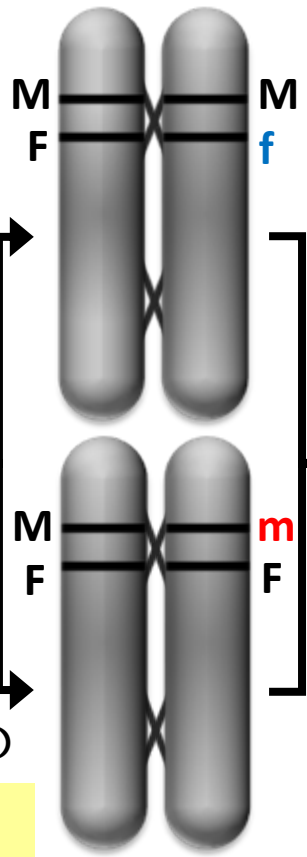


**AUTOSOMAS (Androdioecia)**



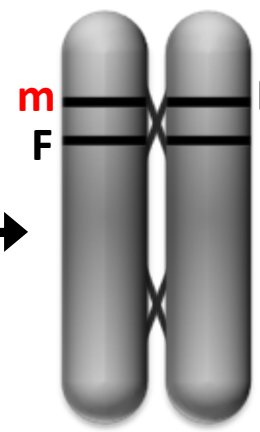
**AUTOSOMAS (Hermafroditismo)**

**M: male activator**  
**F: female fertility**

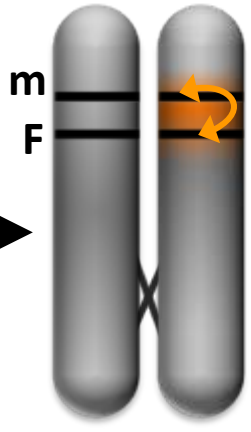


**AUTOSOMAS (Ginodioecia)**

**m/f: male and female-sterility mutation**

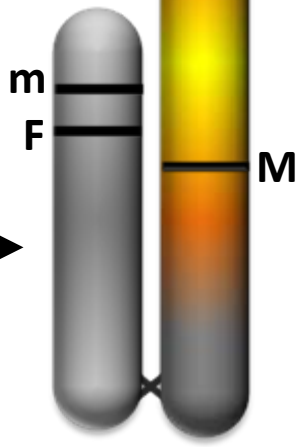


**PROTO XY (Subdioecia)**



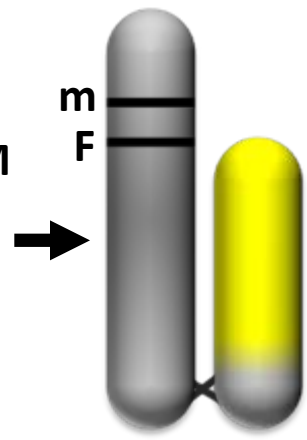
**Reordenaciones Cromosómicas**

**PROTO XY (Dioecia)**



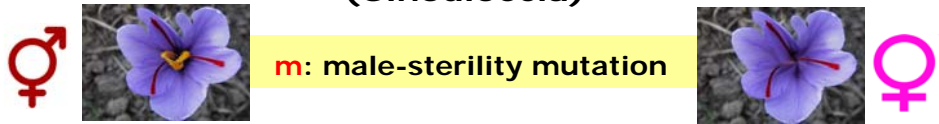
**Acumulación de Secuencias Repetidas**

**XY (Dioecia)**



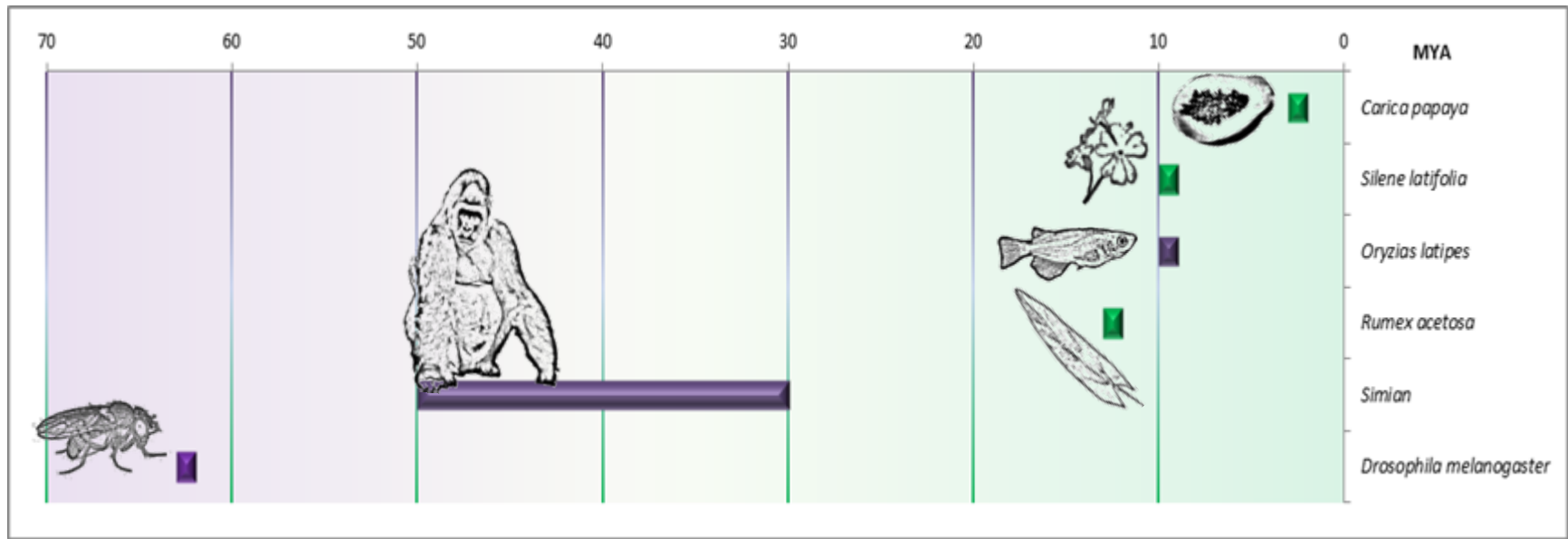
**Cromosoma Y Degenerado**

**XY (Dioecia)**





# EVOLUCIÓN DE LOS CROMOSOMAS SEXUALES



Sola-Campoy et al., 2012



200-300 m.a.



las fresas



la papaya



las collejas



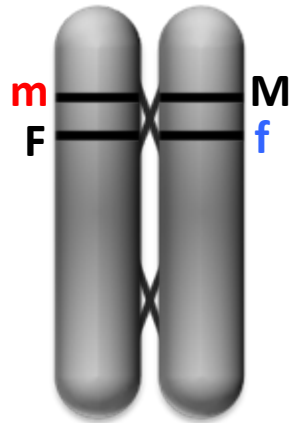
las acederas

Hasta 20 m.a.

# PRIMERA ETAPA: LAS FRESAS (*Fragaria virginiana*)



m/f: male and female-sterility mutation



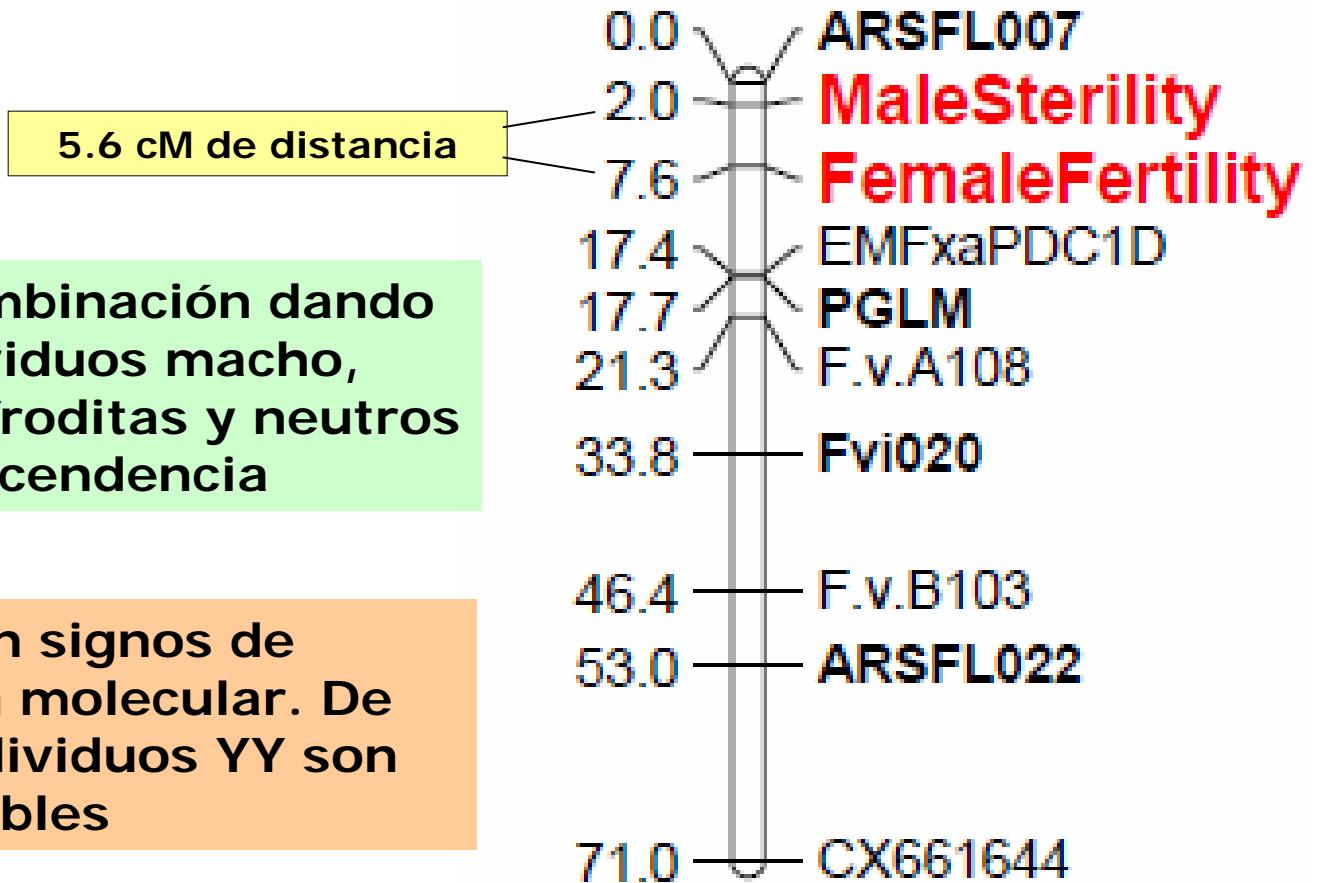
PROTO XY  
(Subdioecia)



# PRIMERA ETAPA: LAS FRESAS (*Fragaria virginiana*)

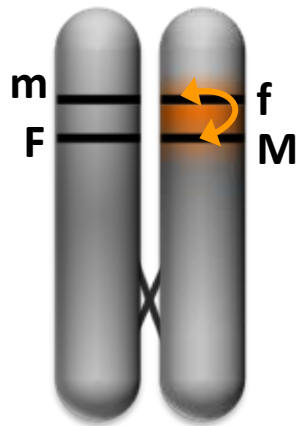
Ocurre la recombinación dando lugar a individuos macho, hembra, hermafroditas y neutros en la descendencia

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



Ashman et al., 2012

# SEGUNDA ETAPA: LA PAPAYA (*Carica papaya*)



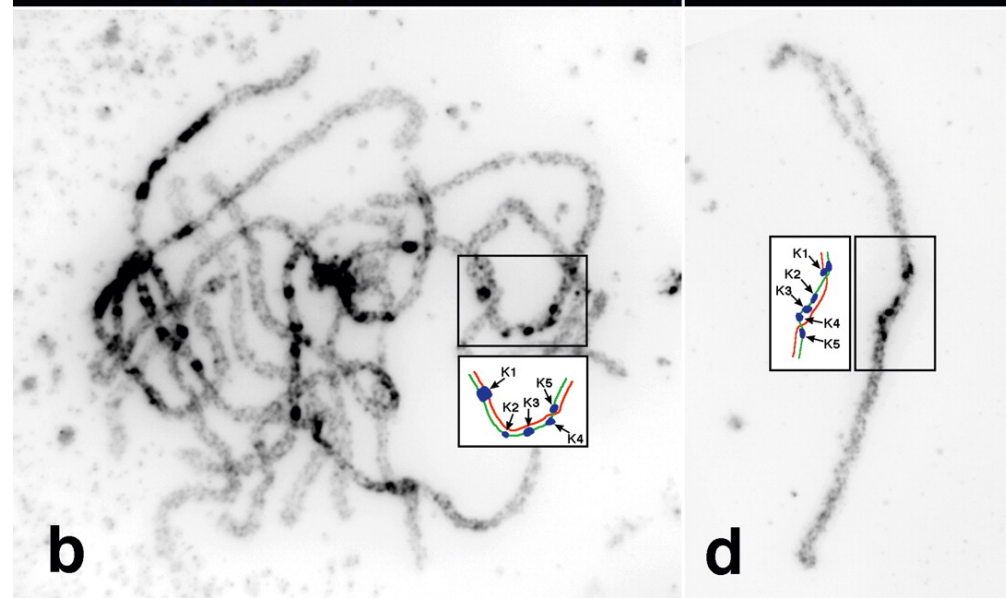
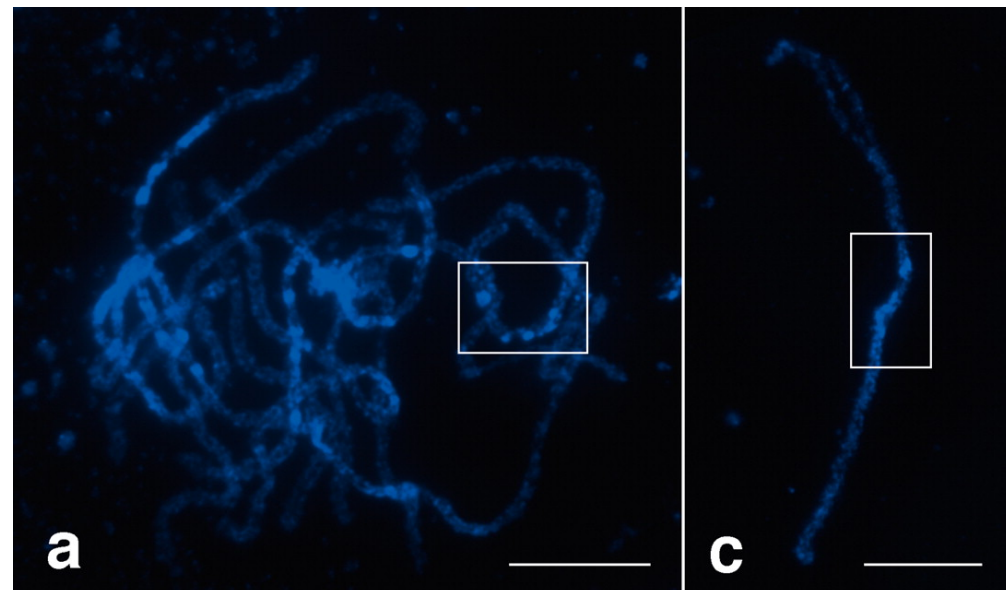
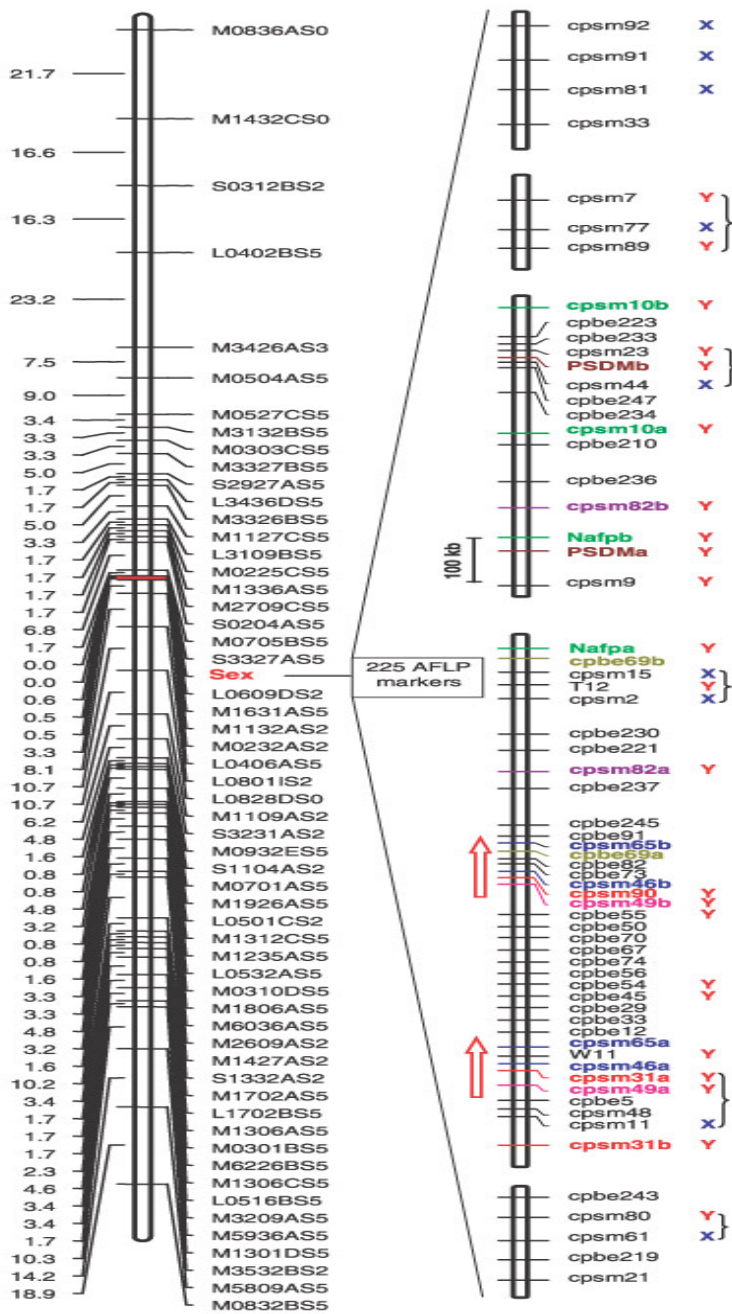
PROTO XY  
(Dioecia)

Reordenaciones  
Cromosómicas





# SEGUNDA ETAPA: LA PAPAYA (*Carica papaya*)



Liu et al., 2004

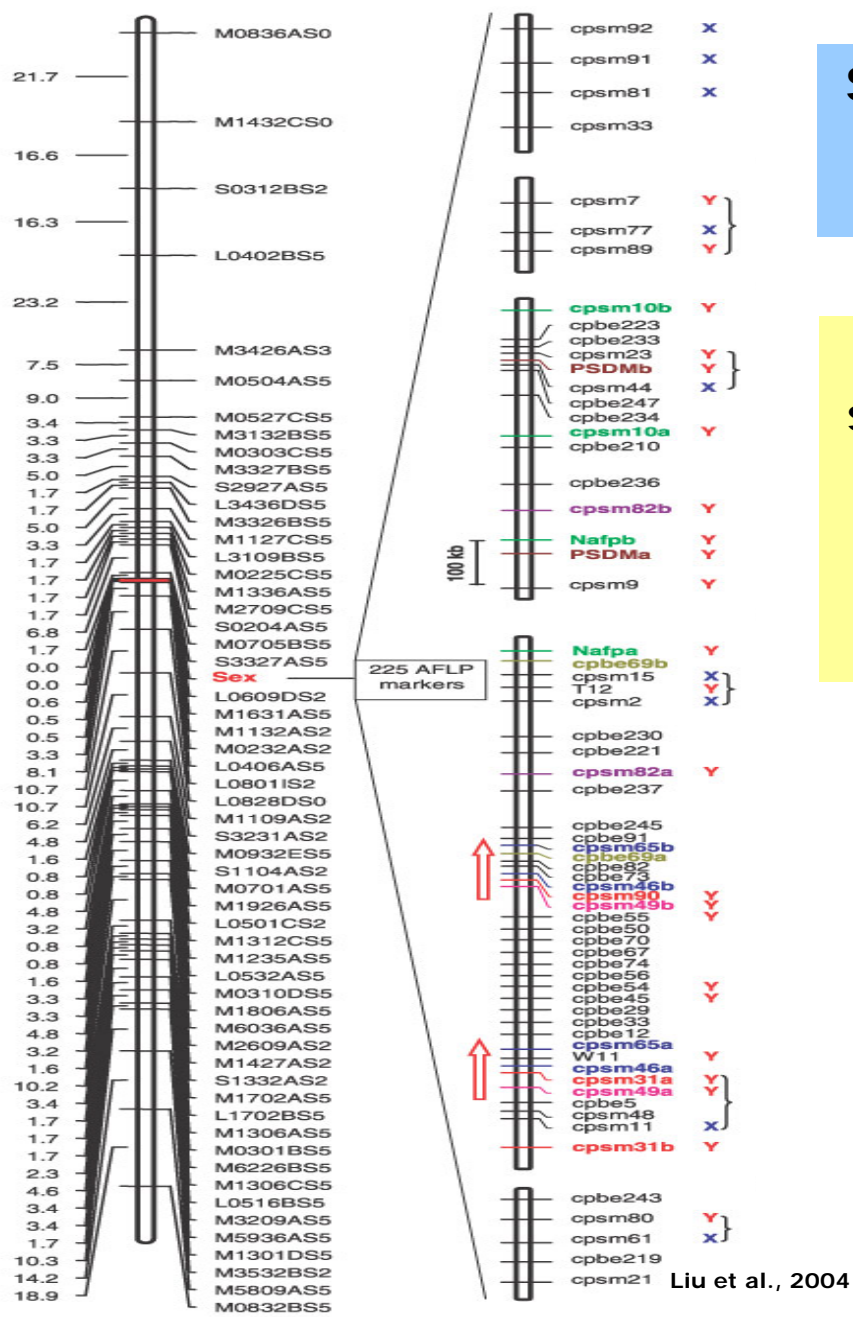
Zhang et al., 2008



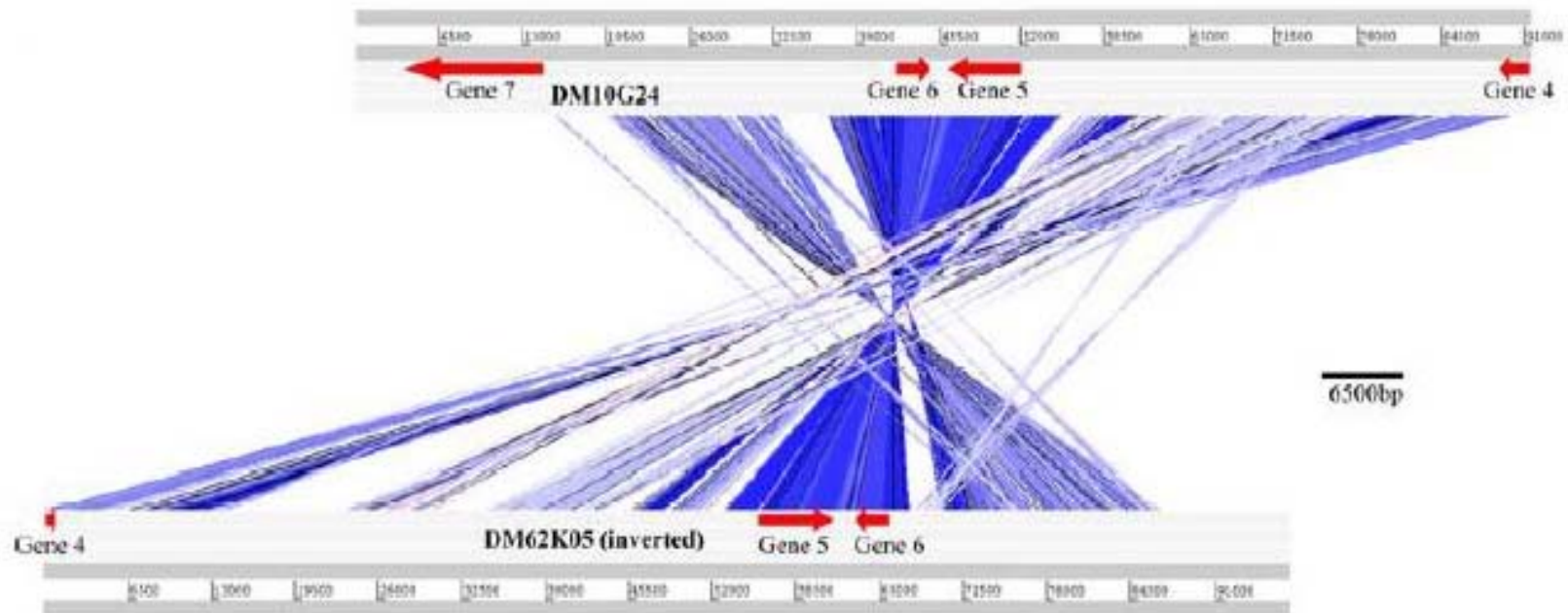
# SEGUNDA ETAPA: LA PAPAYA (*Carica papaya*)

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*)

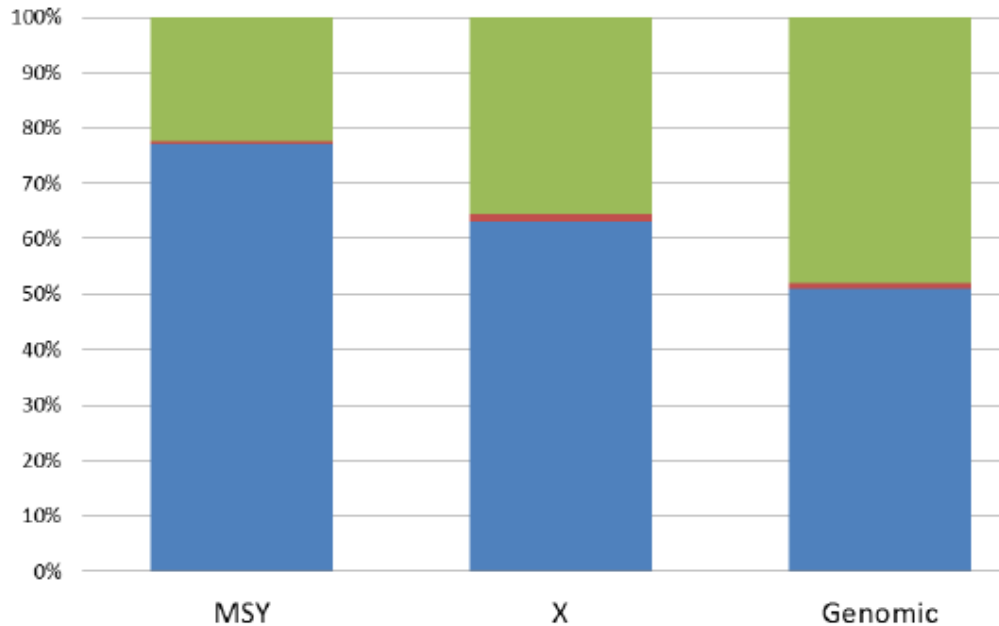


Yu et al., 2008

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



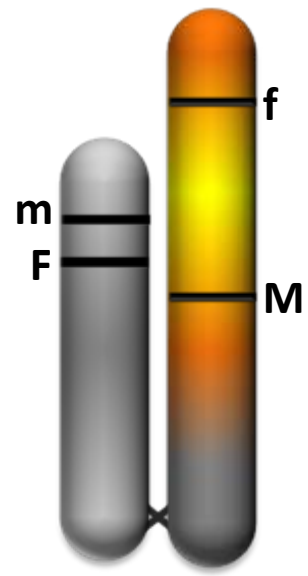
Existe una expansión de la cromatina del cromosoma Y (8,2 Mb), con respecto a la del X (3,4 Mb) (134%)

Wang et al., 2012

**ACUMULACIÓN DE SECUENCIAS REPETIDAS (retrotransposones)**

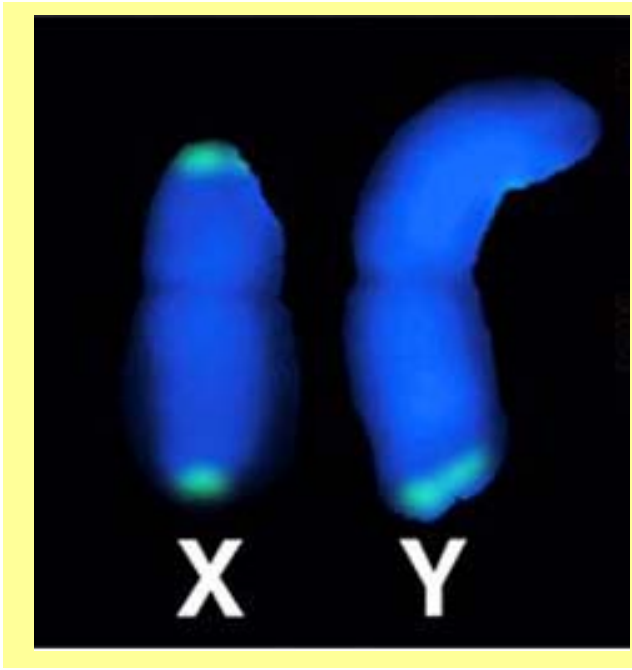
**YY no viables**

# TERCERA ETAPA: LAS COLLEJAS (*Silene latifolia*)

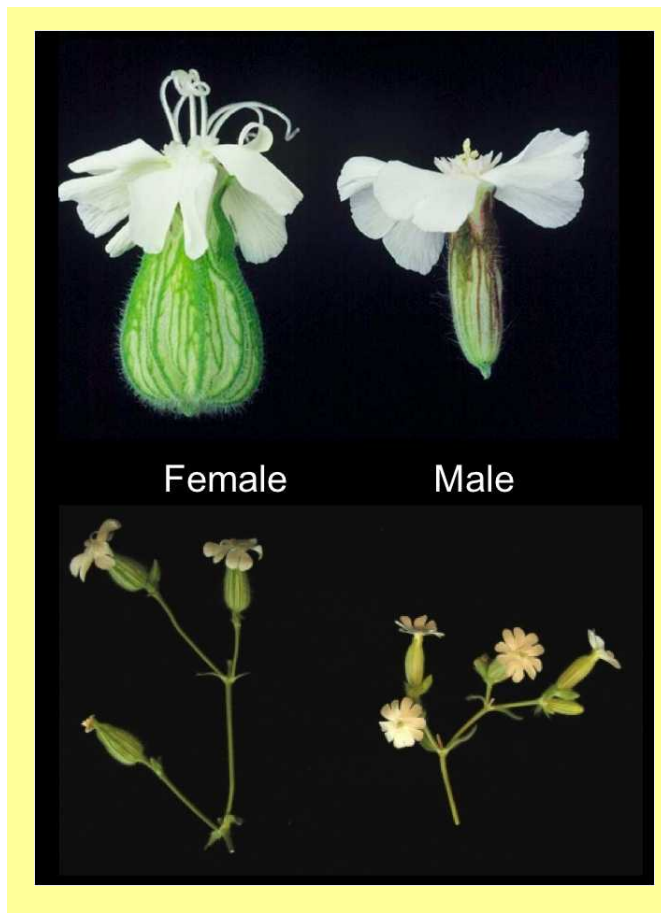


XY  
(Dioecia)

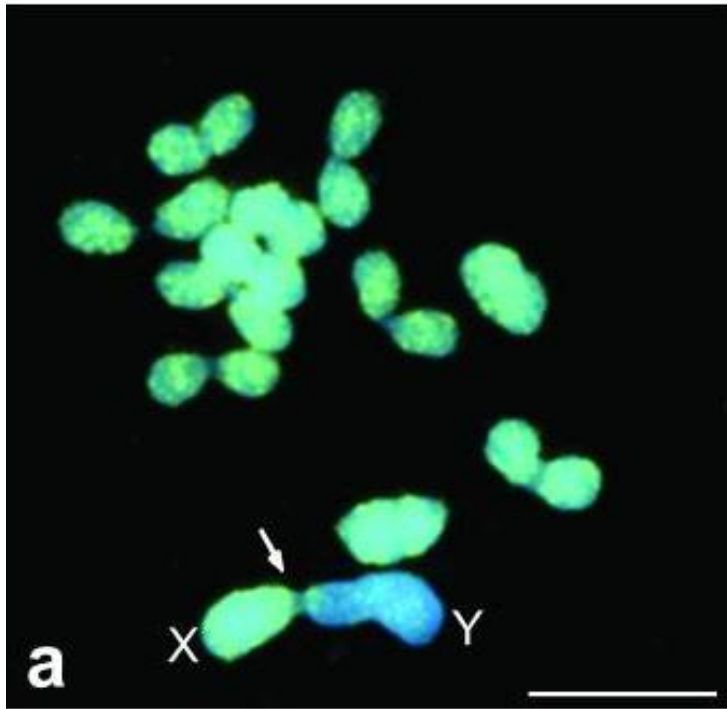
Acumulación de  
Secuencias  
Repetidas



Matsunaga, 2009



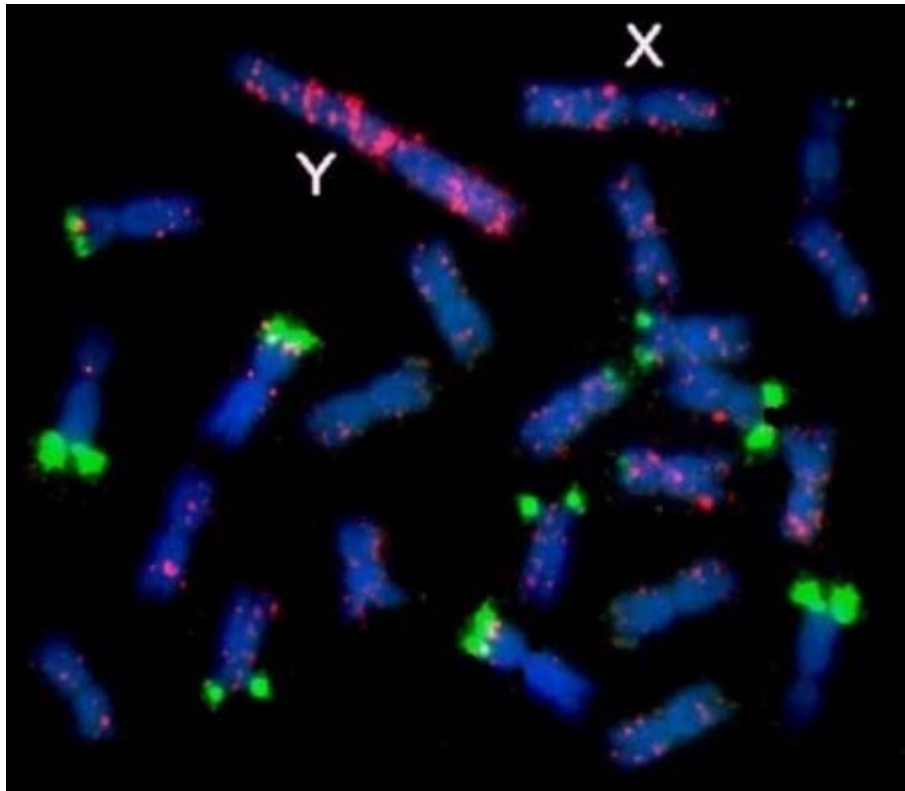
## TERCERA ETAPA: LAS COLLEJAS (*Silene latifolia*)



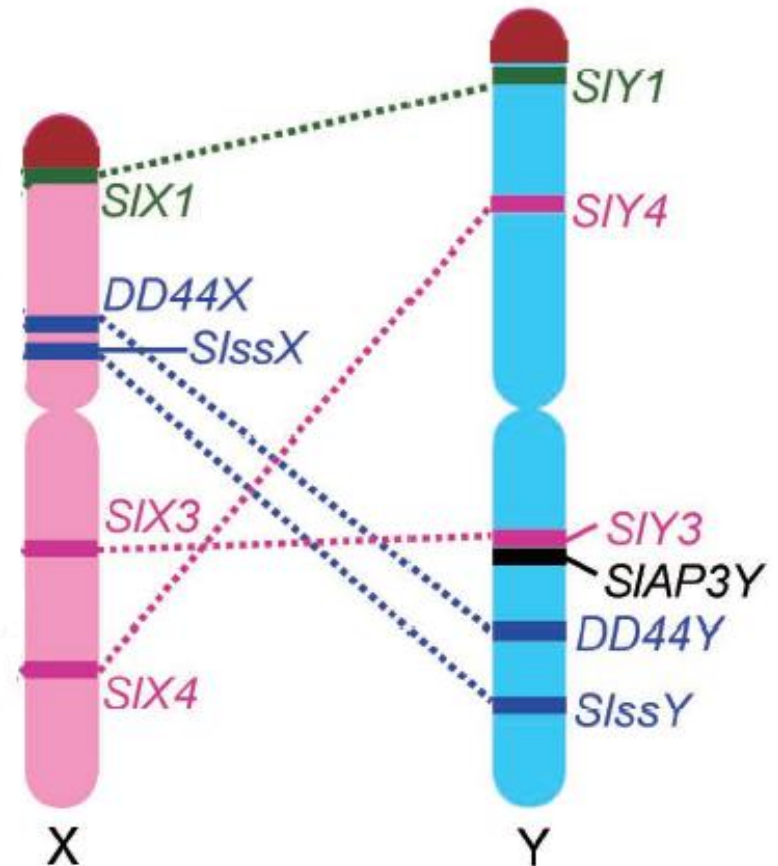
Existe diferenciación a nivel morfológico (**Cromosomas Heteromórficos**)



# TERCERA ETAPA: LAS COLLEJAS (*Silene latifolia*)



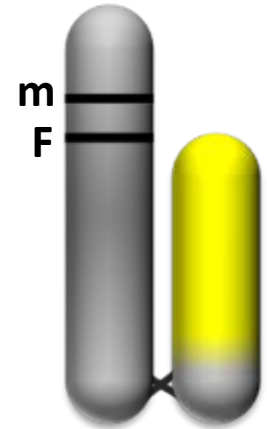
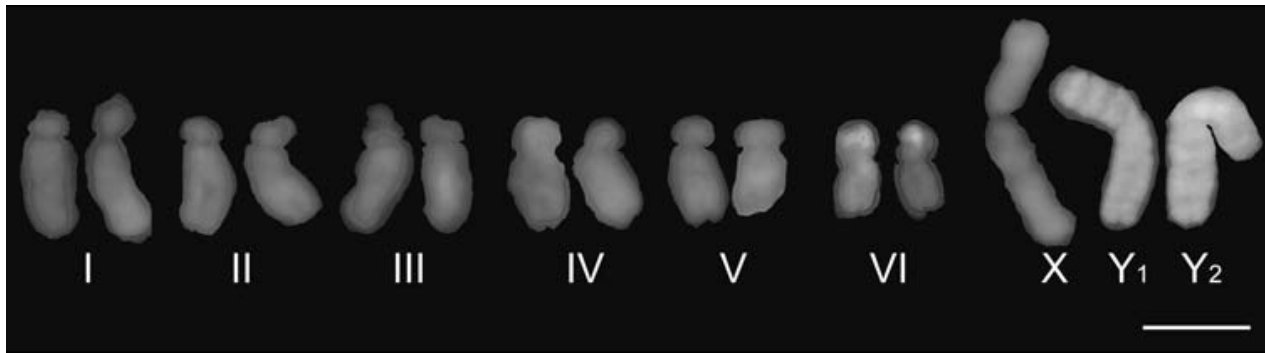
Vyskot et al.



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

YY no viables

# CUARTA ETAPA: LAS ACEDERAS (*Rumex acetosa*)



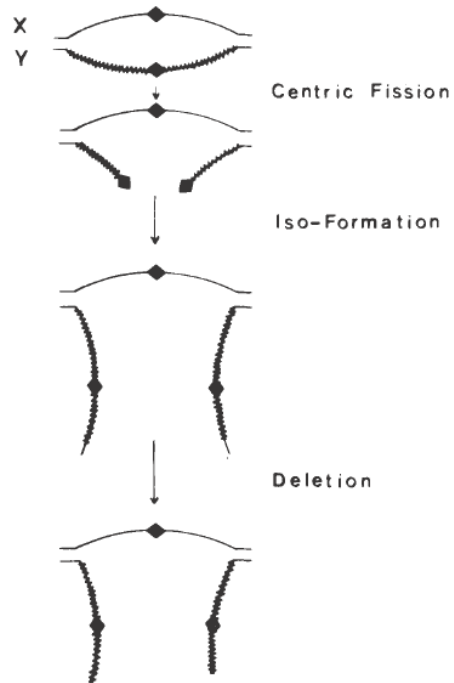
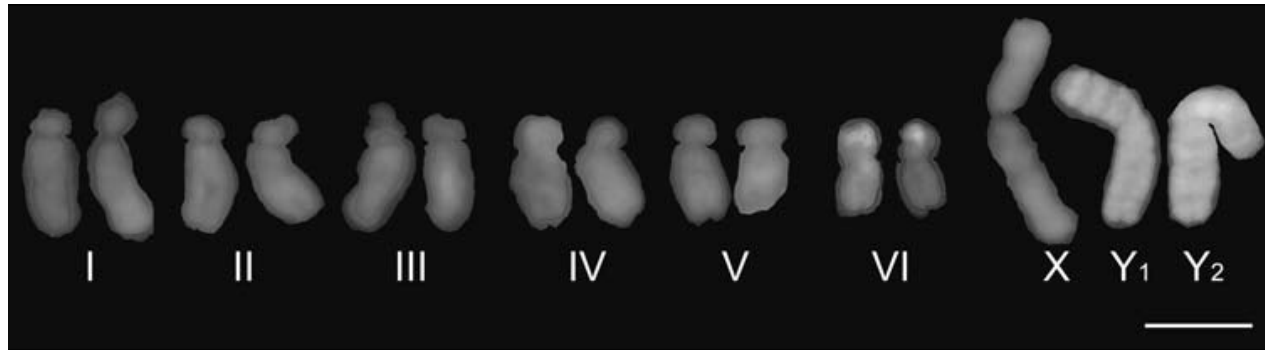
XY  
(Dioecia)

Cromosoma Y  
Degenerado

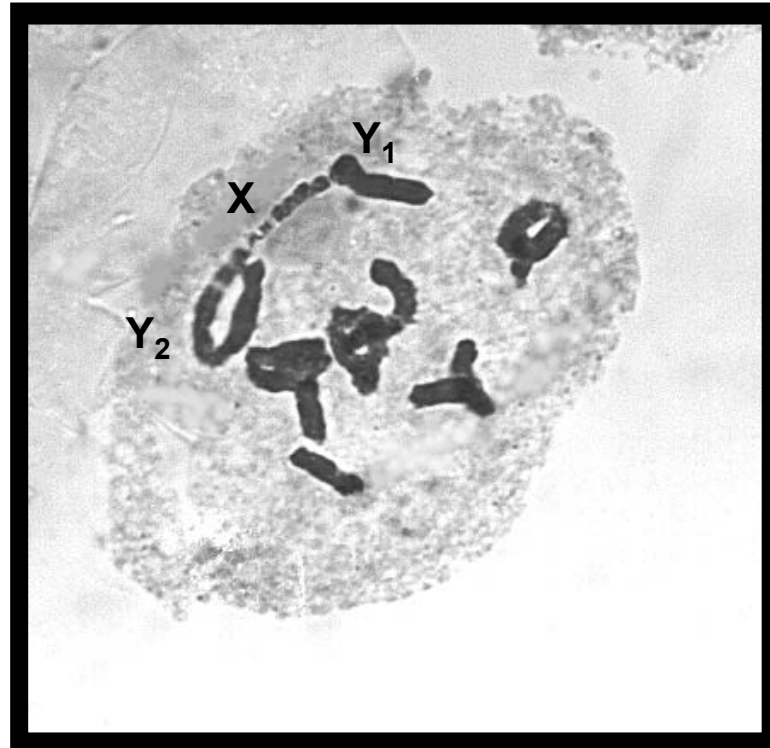


# LOS SUPER-MACHOS DE *Rumex acetosa*

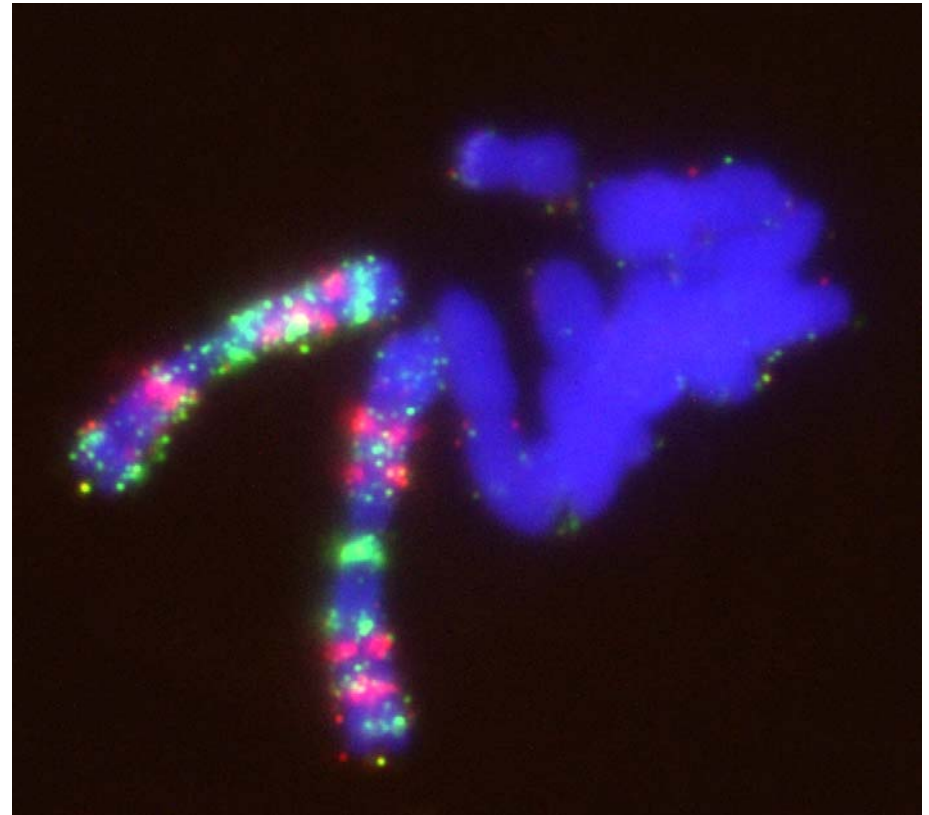
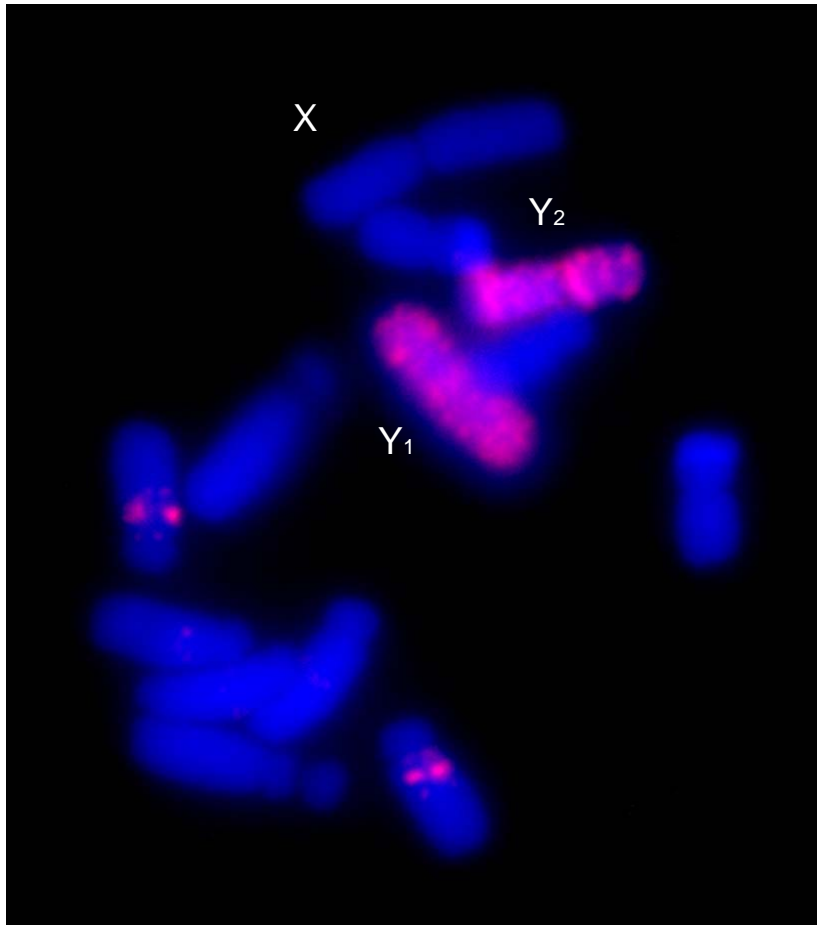
Navajas-Pérez et al., 2009



Ruiz Rejón et al., 1994



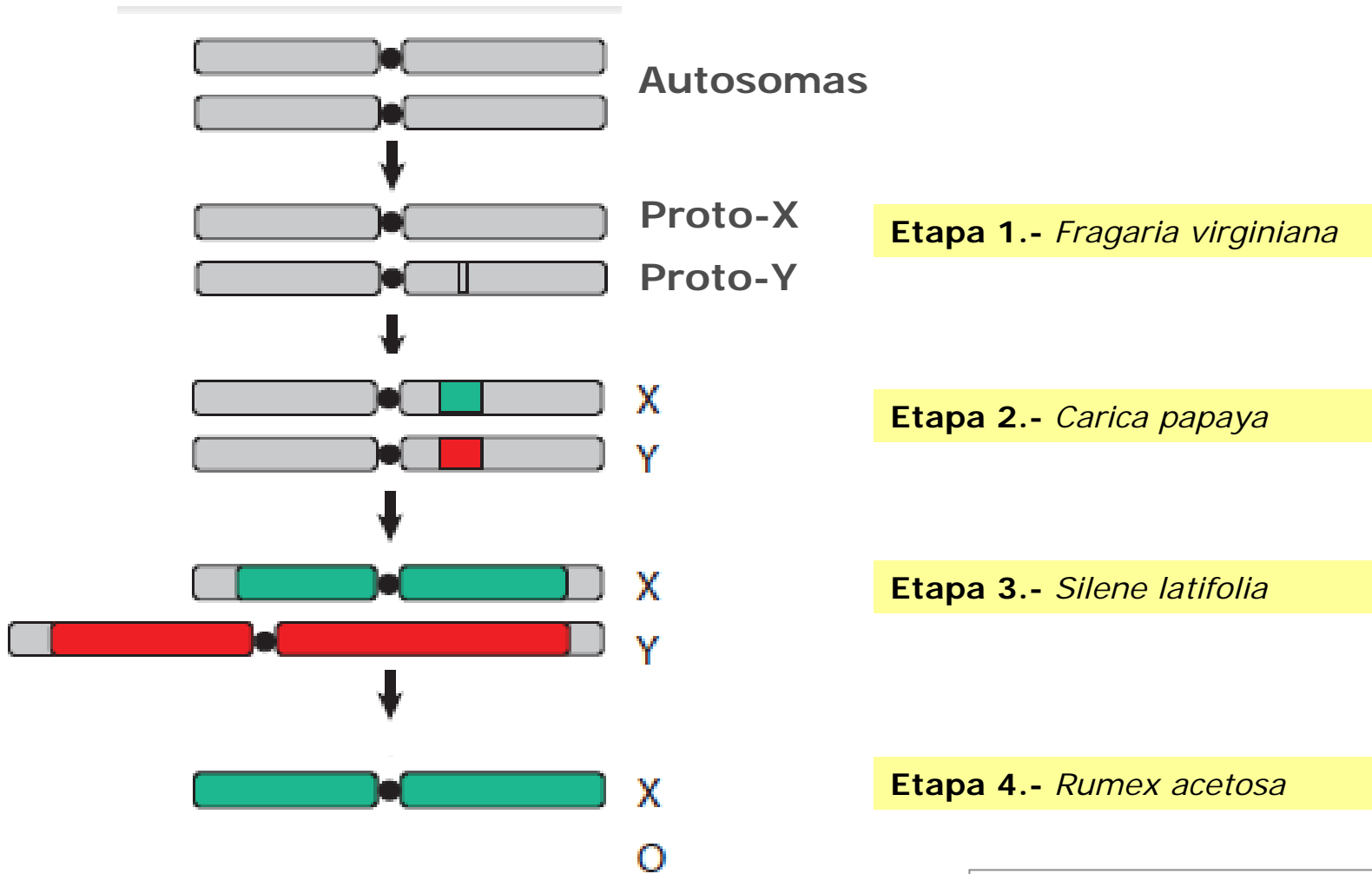
Los cromosomas Y de *Rumex acetosa* se encuentran completamente **degenerados por la acumulación de secuencias repetidas**, especialmente **ADN satélite**



*Navajas-Pérez et al., 2006*

**X:Autosomas**



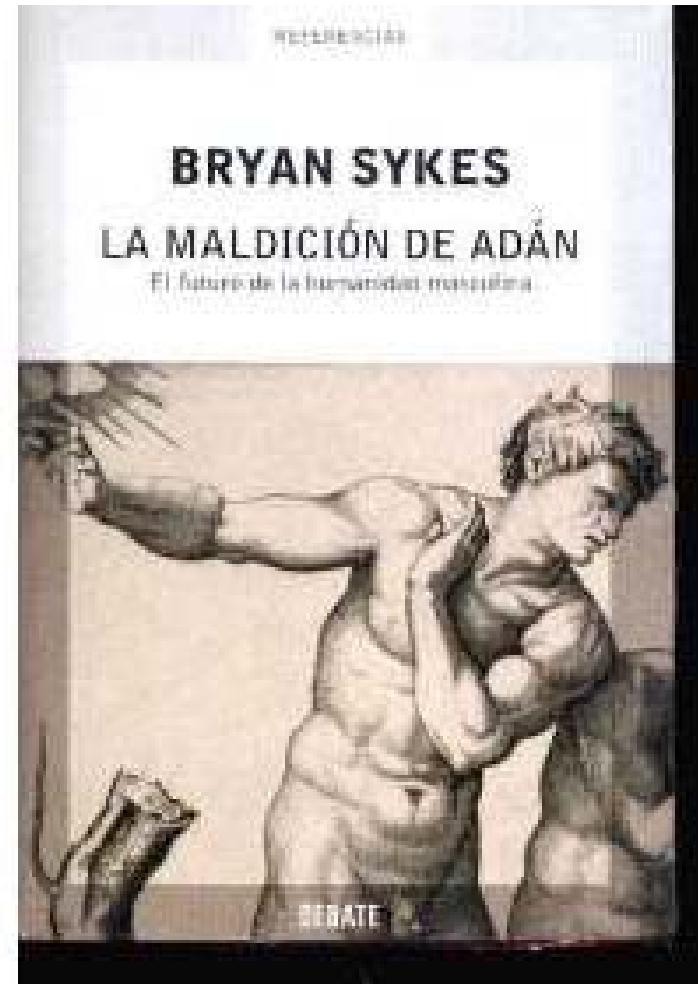


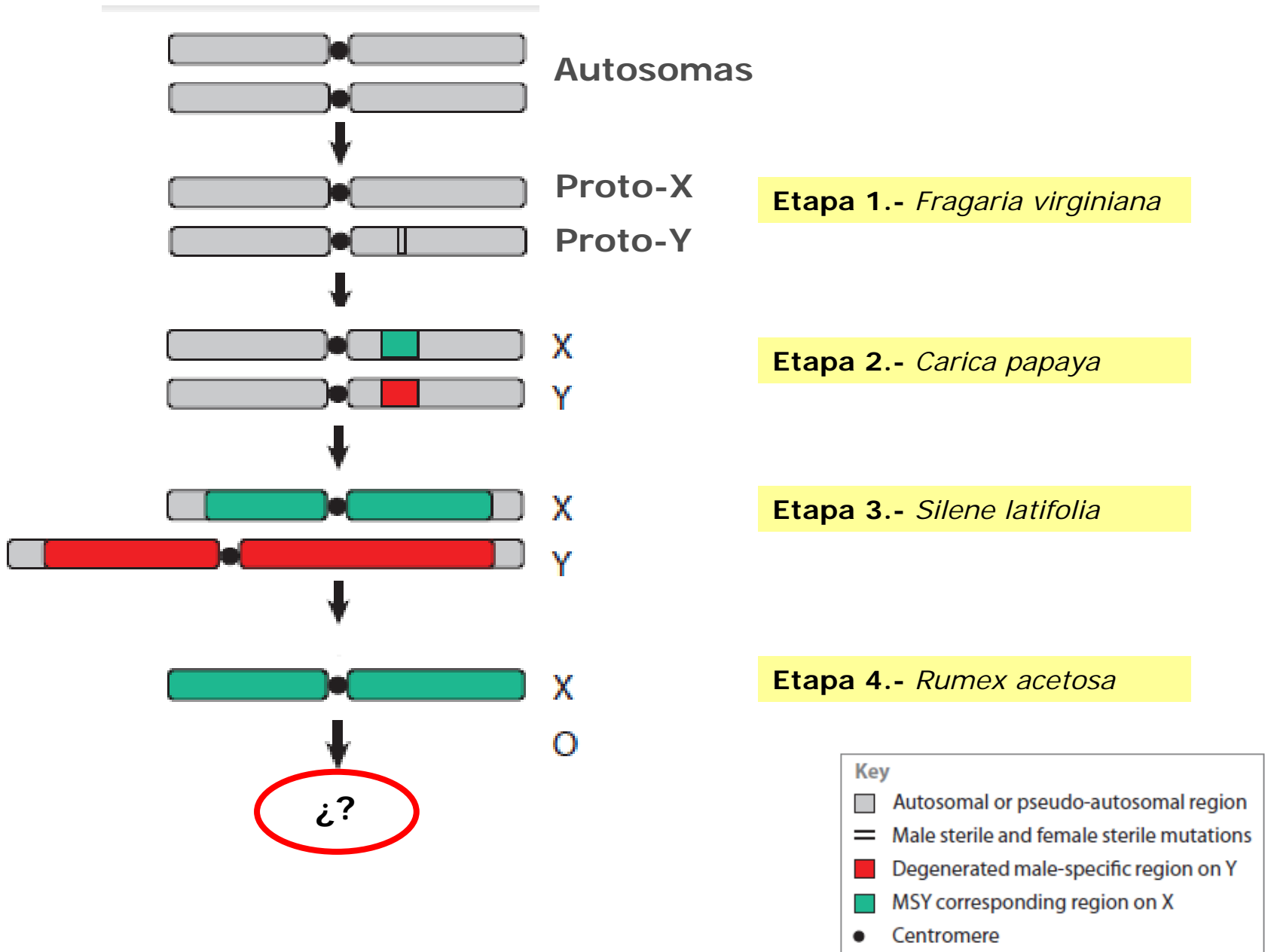
**Key**

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



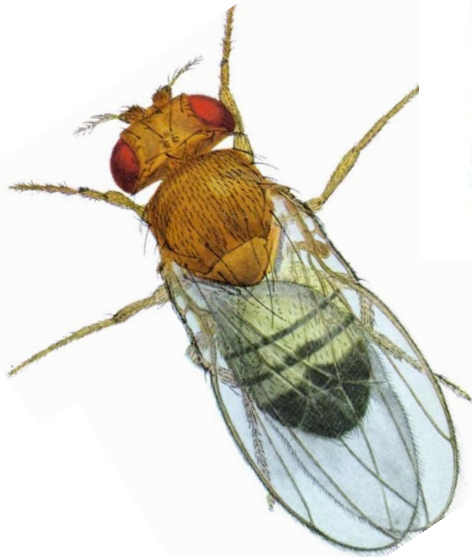
Los cromosomas sexuales de plantas sirven para demostrar que los Y humanos cometieron un **pecado original de tipo genético** cuando asumieron la función de determinar el sexo masculino, y este pecado según algunos conlleva la **desaparición del cromosoma Y**





## Especies con el sistema X:Autosomas

A pesar de tener un cromosoma Y “inservible”, sigue habiendo machos



Mosca de la Fruta (*Drosophila melanogaster*)

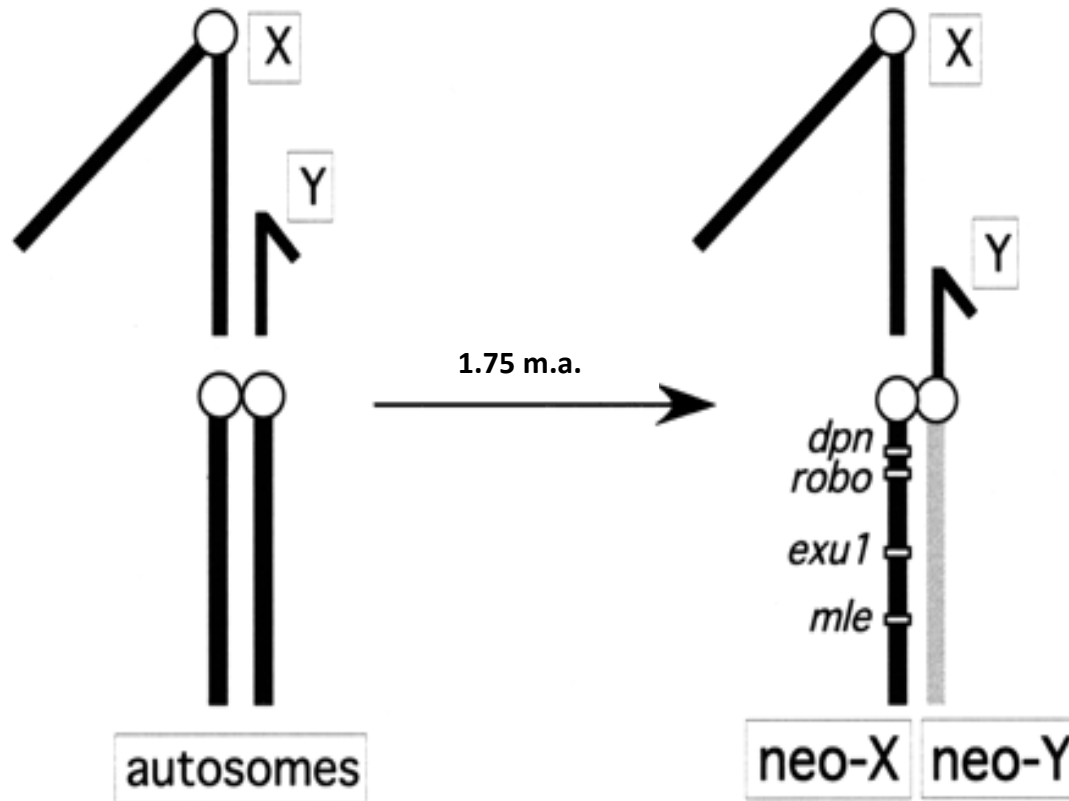
Ratilla topo (*Ellobius lutescens*)



Acedera (*Rumex acetosa*)

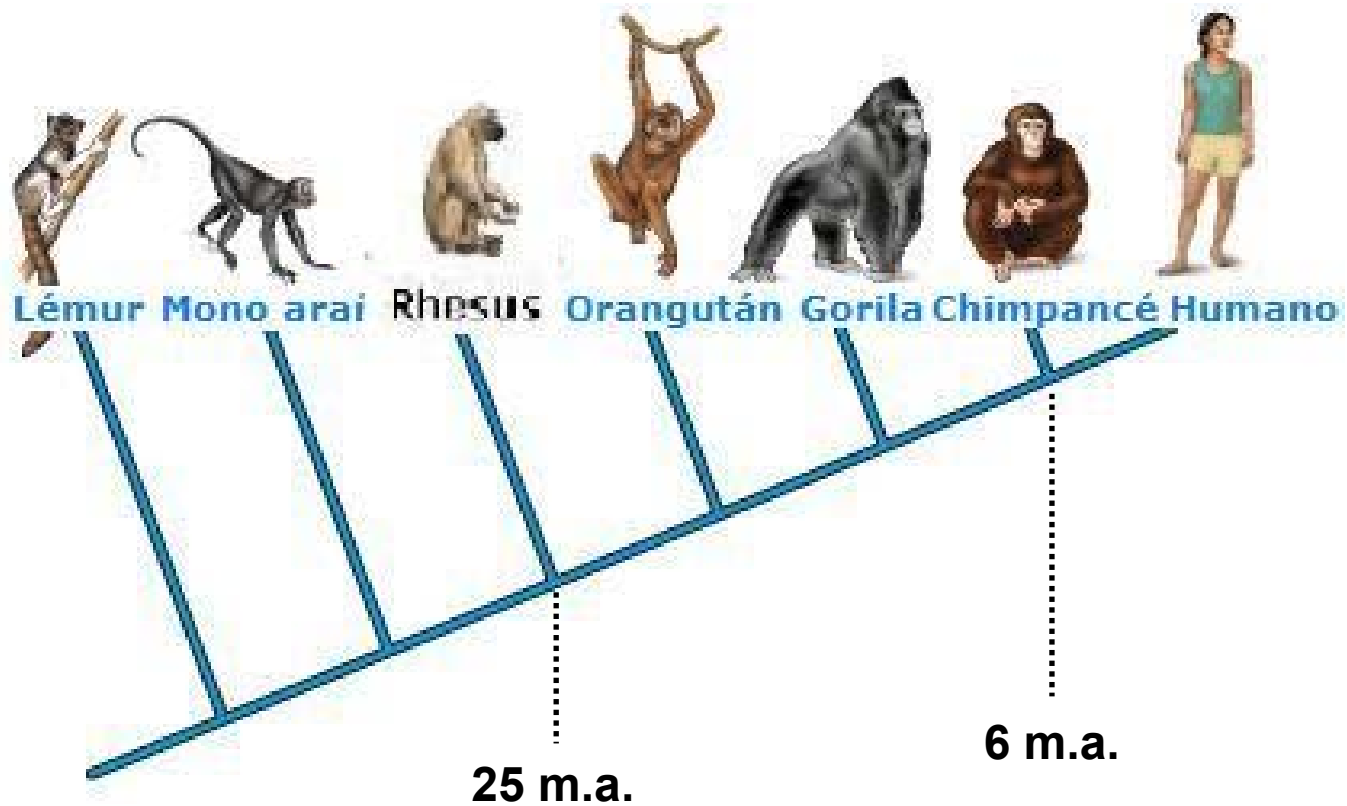


## Volviendo a nacer... Neo-Y de *Drosophila miranda*



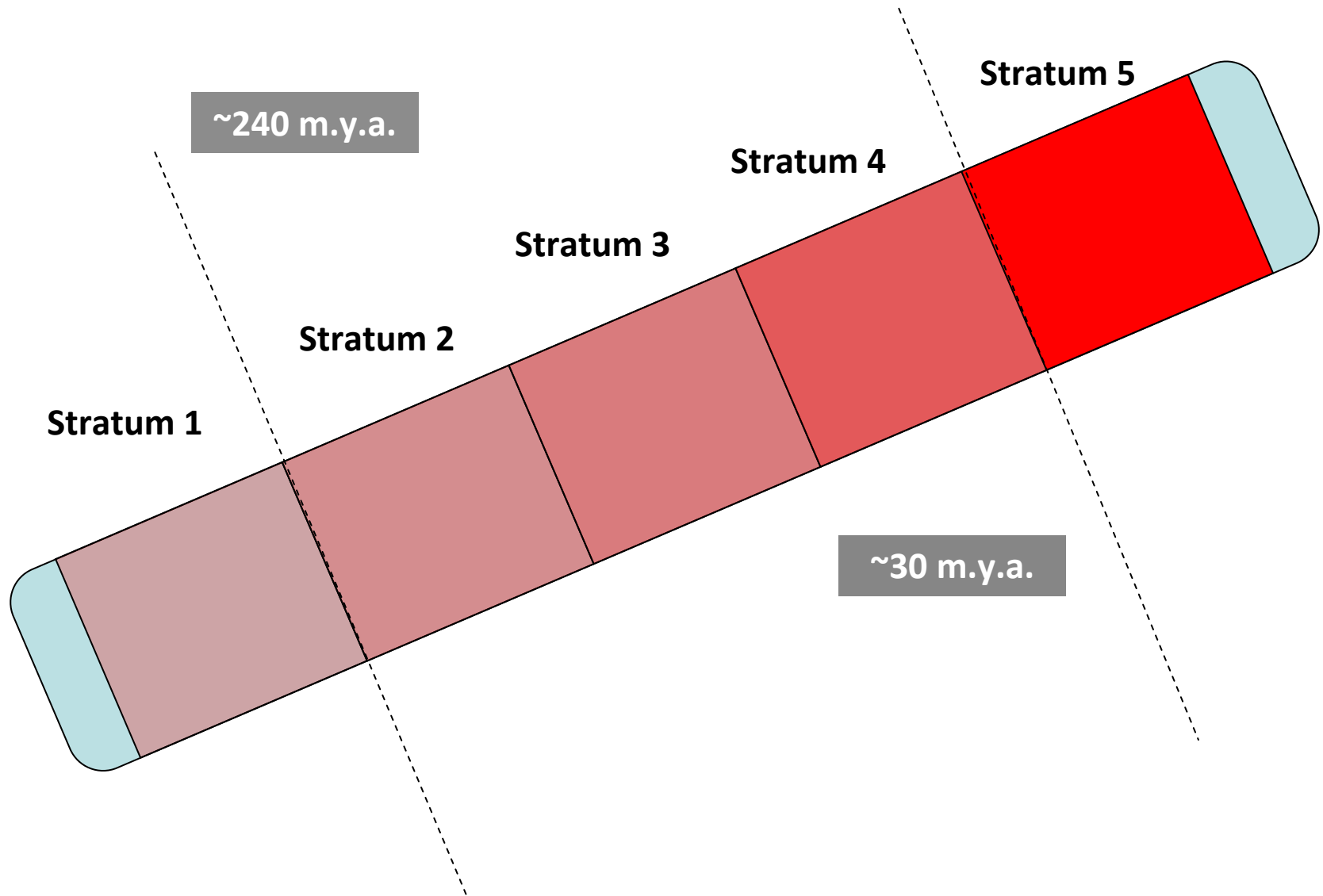
*El número de genes se ha reducido a la mitad*

Y sin embargo se degrada, pero... ¿Cómo de rápido?

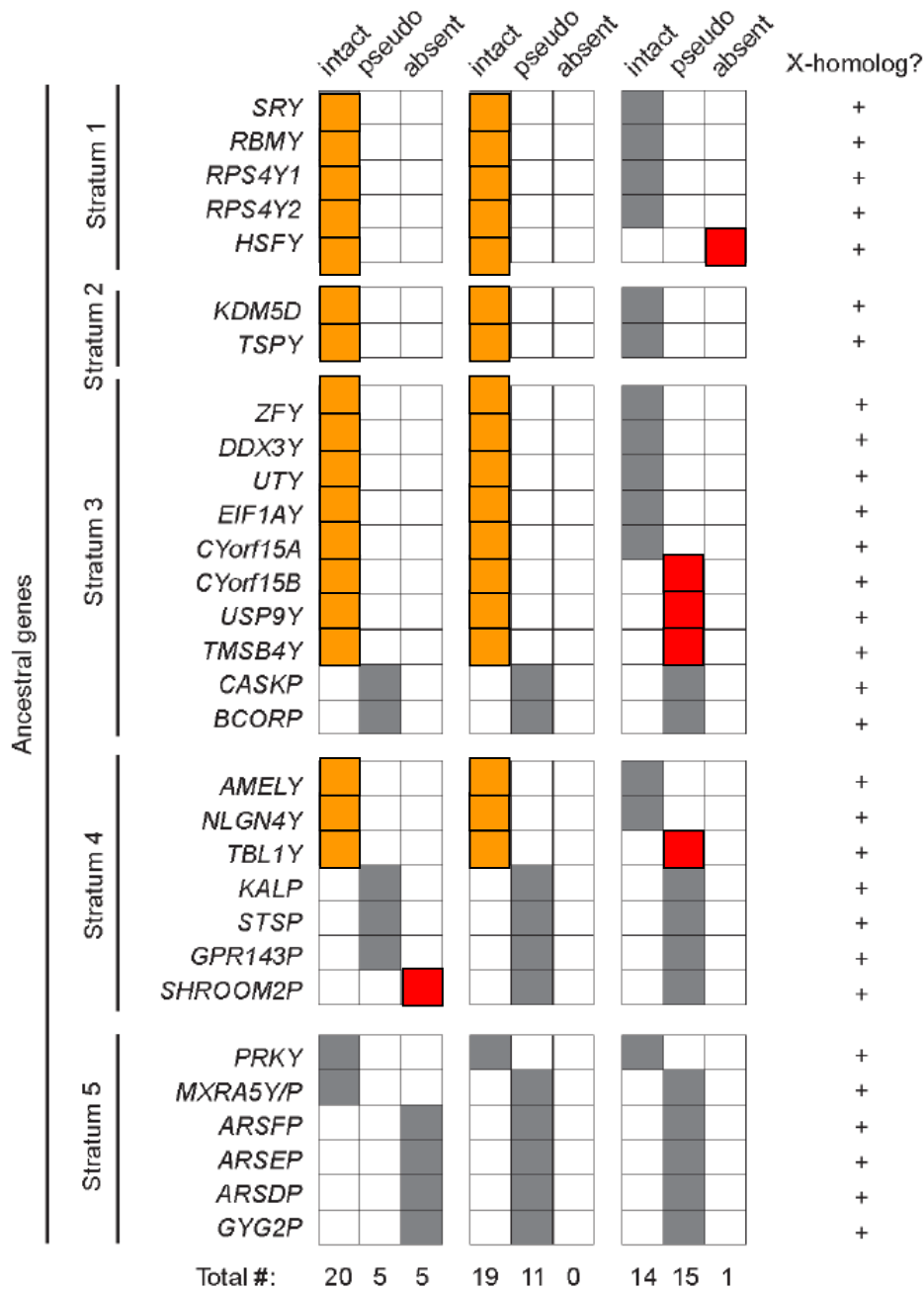




Y sin embargo se degrada, pero... ¿Cómo de rápido?

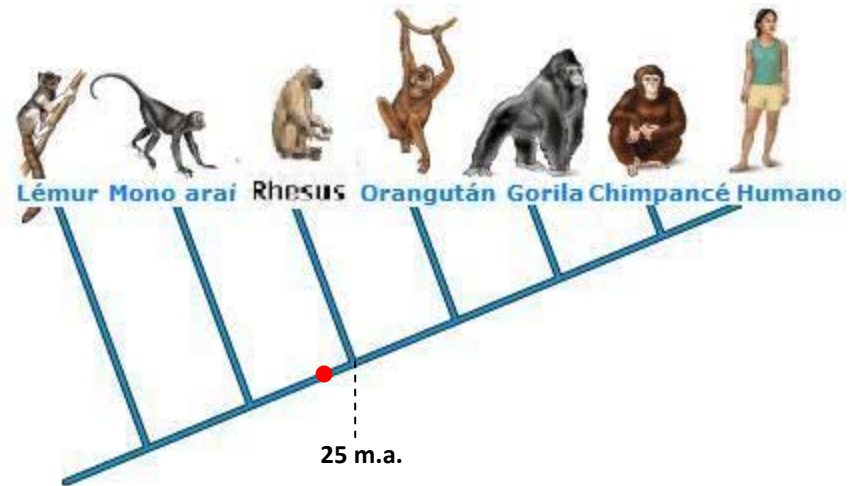


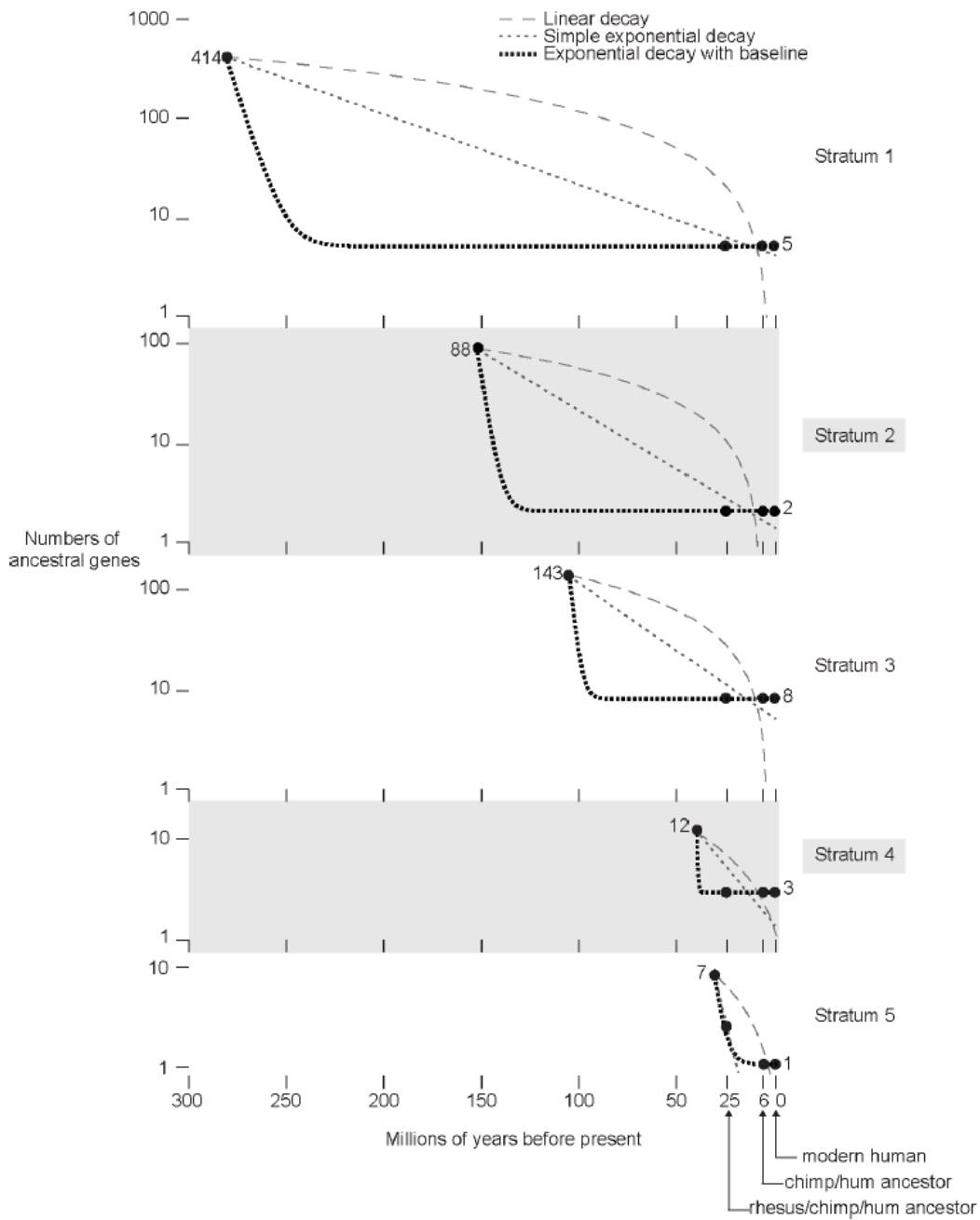
# Reshus Human Chimp



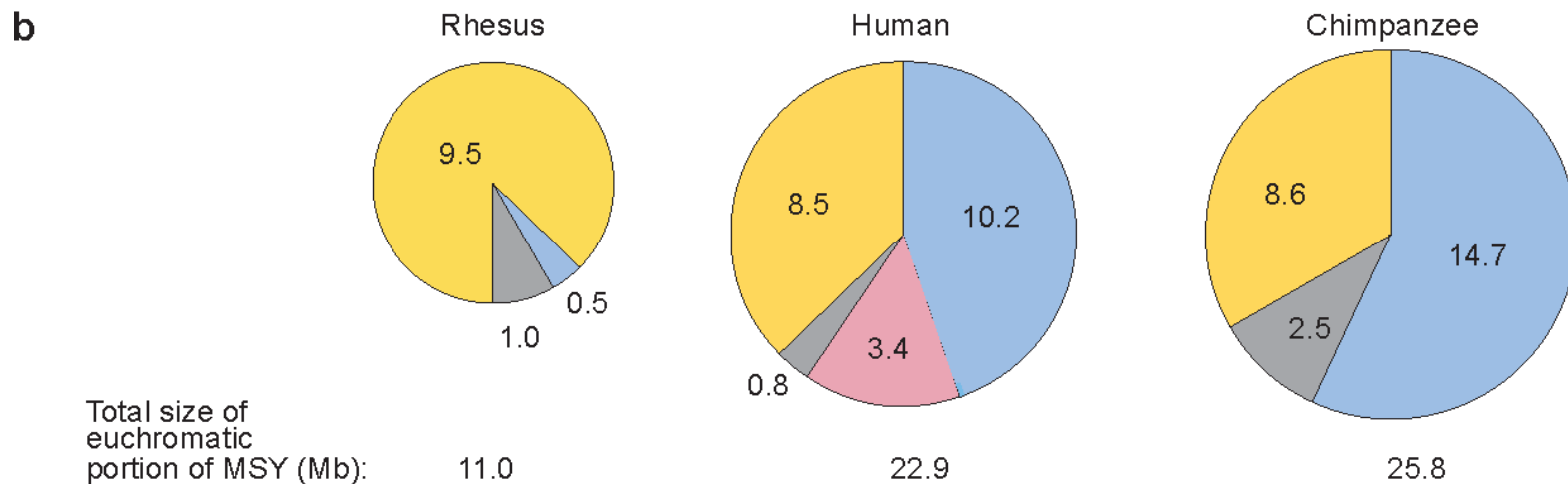
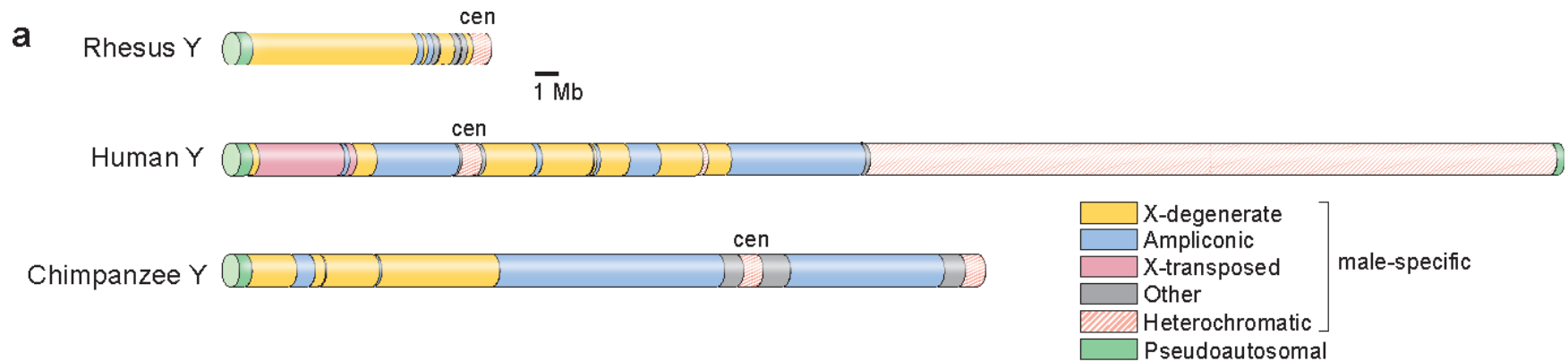
Aproximadamente un 28% de los genes ancestrales de humanos se ha perdido o inactivado en chimpancé.

En cambio el 100% de los genes ancestrales de humanos se conserva en el macaco.





*“Modelo de la pérdida de genes ancestrales en la región MSY”*



# Y para terminar, ¡Una SORPRESA! ¡Los Cromosomas X también están sufriendo degeneración!



August 21, 2012 | vol. 109 | no. 34 | 13467–13878

# PNAS

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America

www.pnas.org



**Cover image:** Pictured are male flowers of papaya, *Carica papaya* L., which are controlled by XY chromosomes. Y chromosomes are thought to change drastically over time, whereas X chromosomes conserve the structure and gene content of the ancestral autosome from which sex chromosomes evolved. To better understand early X chromosome evolution, Andrea R. Gschwend et al. compared the sequence of the papaya X chromosome with the corresponding ancestral autosome in *Vasconcellea monoica*, a close relative of papaya. The authors found that, relative to *V. monoica*, the papaya X chromosome has expanded in size and diversified, suggesting it is not a simple, unaltered descendant of the ancestral autosome. See the article by Gschwend et al. on pp. 13716–13721. Image courtesy of Jason Fujii (Fujii Digital, Honokaa, HI).

## From the Cover

- 13716 Sex chromosome evolution in papaya
- 13482 Reactivation of silenced transgenes
- 13532 Early human colonization of Europe
- 13829 Chronic reduction of cortical inhibition
- 13847 An aggression-specific brain cell type

E2244 Inconsistent redefining of the "impact" proxy



## Contents



# Lecturas recomendadas

- ***“Unisexual reproduction among vertebrates”***. Neaves & Baumann (2011), *Trends in Genetics* (27), 3:81-88.
- ***“Strict evolutionary conservation followed rapid gene loss on human and rhesus Y chromosomes”***. Hughes et al. (2012), *Nature* 483(7387):82-86.
- ***“Sequencing papaya X and Yh chromosomes reveals molecular basis of incipient sex chromosome evolution”***. Wang et al. (2012) , *PNAS*, 34:13710-13715.
- ***“Rapid divergence and expansion of the X chromosome in papaya”***. Gschwend et al. (2012), *PNAS*, 34:13716-13721.
- ***“Sex chromosomes in land plants”***. Ming et al. (2011), *Annu. Rev. Plant Biol.*, 62:485–514.
- ***“La maldición de Adán: el futuro de la humanidad masculina”***. Bryan Sykes (2005), Editorial Debate.

# “La Degeneración del Cromosoma Y, ¿el fin del Género Masculino?”



Rafael Navajas Pérez  
Universidad de Granada  
26 Octubre 2012