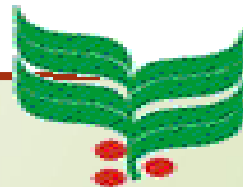


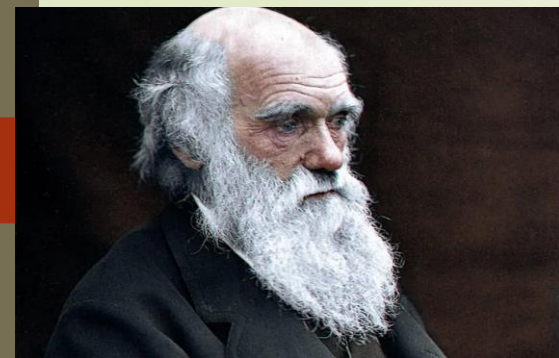
Cuarta Cumbre para la sostenibilidad de la caficultura de la región
PROMECAFE

“Evolución de la Roya en la caficultura
mesoamericana y alternativas para un manejo
integrado sostenible del cultivo”

Prof. Dr. Laércio Zambolim, PhD
Bioagro – Biocafé – UFV, BRASIL
laerciozambolim@gmail.com

San Pedro Sula, Honduras – noviembre 2022





Concepto de evolución – selección natural
Mecanismo evolutivo
El biólogo británico Charles Darwin (1809 – 1882)

Evolución

Alteración del perfil genético de una población de individuos, que puede resultar en la aparición de nuevas especies o biotipos y razas, en la adaptación a diferentes ambientes o en la aparición de novedades evolutivas.

¿Cómo se produce la evolución de las especies?

Mediante mutaciones lentas o rápidas. Pero hay otros métodos

Variabilidad en hongos (*Hemileia vastratrix*)

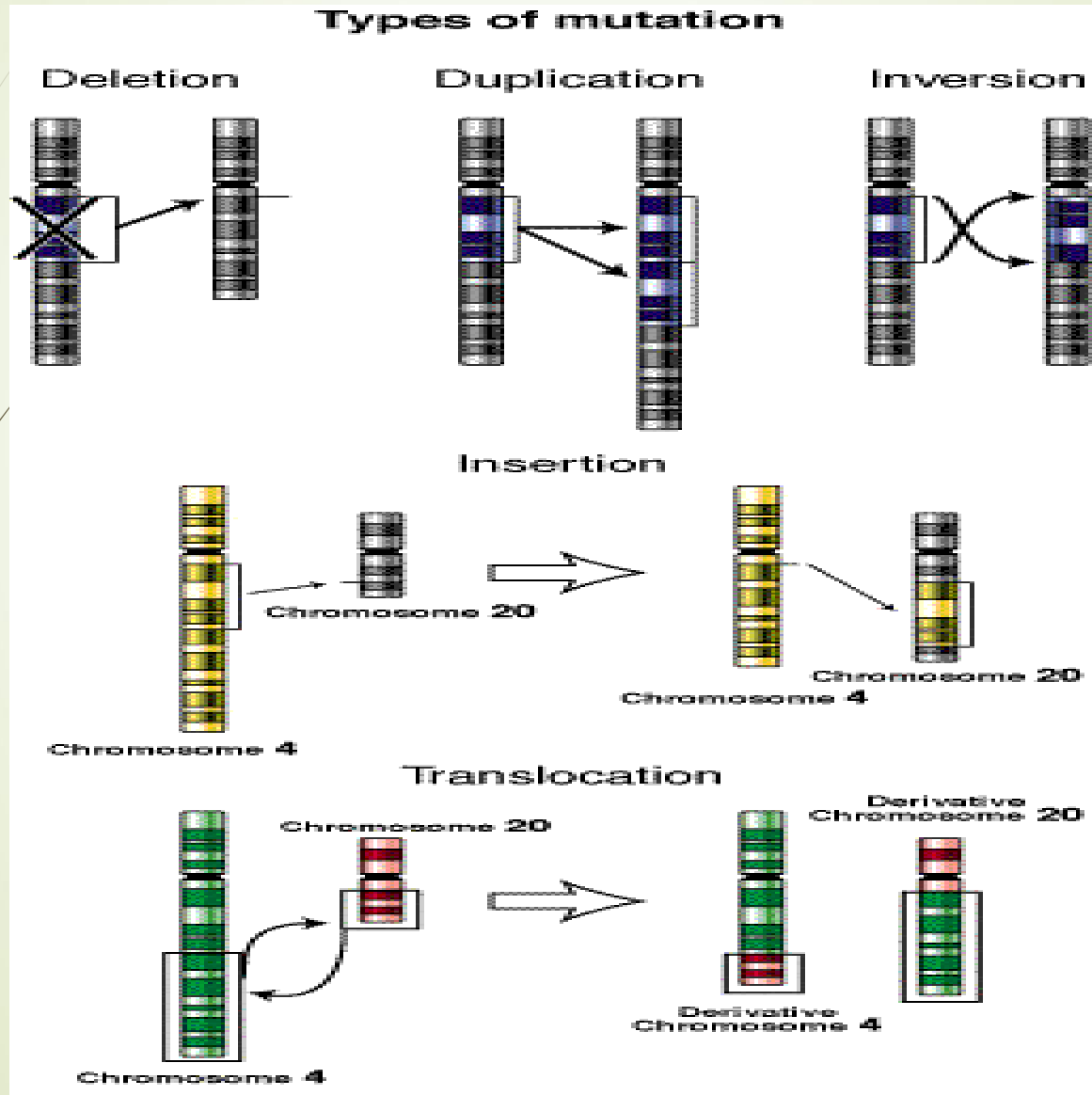
Mutación, Heterocariosis, Parasexualismo, Criptogamia,
Transposones
Ciclo sexual (más eficiente)

MUTACIÓN - es un cambio natural o inducido en el material genético por algún agente mutagénico que ocurre en el genoma cambiando el material genético

Espontáneo: ocurre en *Hemileia vastatrix* según el CIFC

Mutaciones estructurales

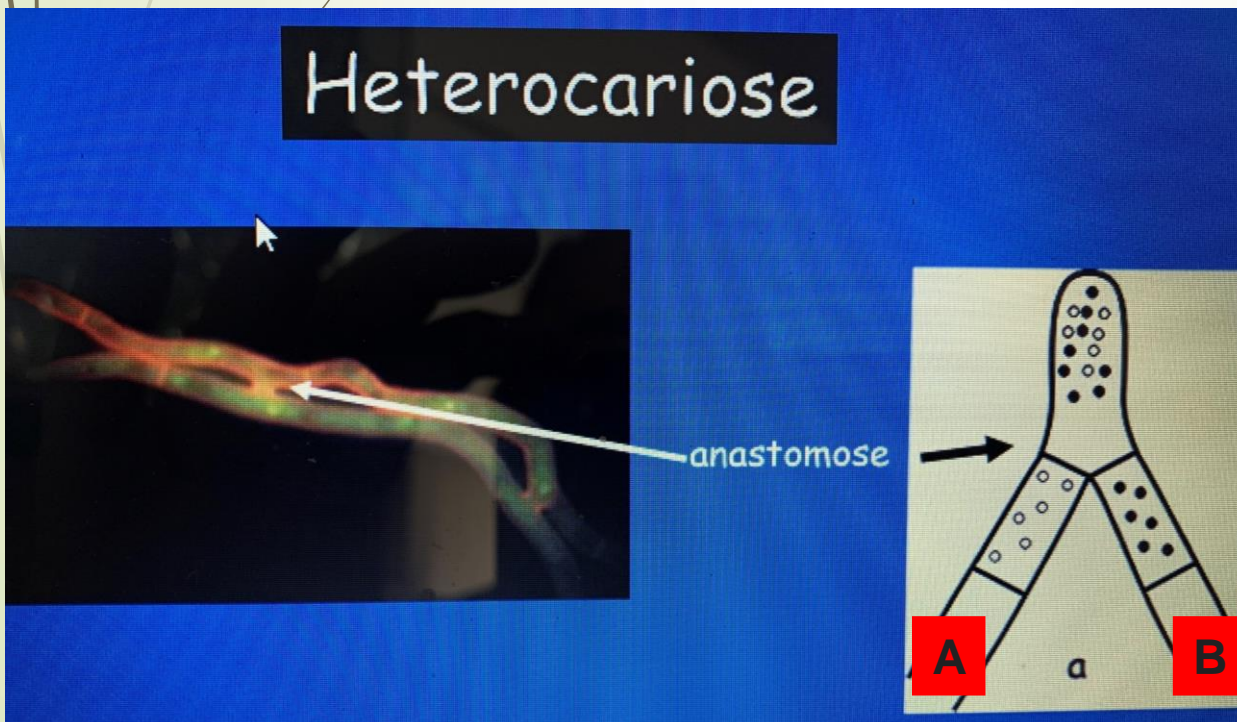
Afecta el número o la disposición de los genes en los cromosomas.



Heterocariosis : función para producir variabilidad en hongos imperfectos paso hacia el ciclo sexual

Heterocariosis la aparición, en la misma célula, de múltiples núcleos genéticamente diferentes.

Cómo se produce: de forma natural, como en el micelio de un hongo (dicariosis) durante la reproducción sexual, o de forma artificial mediante la fusión experimental de dos células genéticamente diferentes.



**Uredia - uredosporos
($n + n'$)**

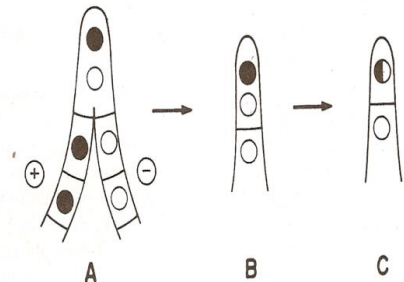
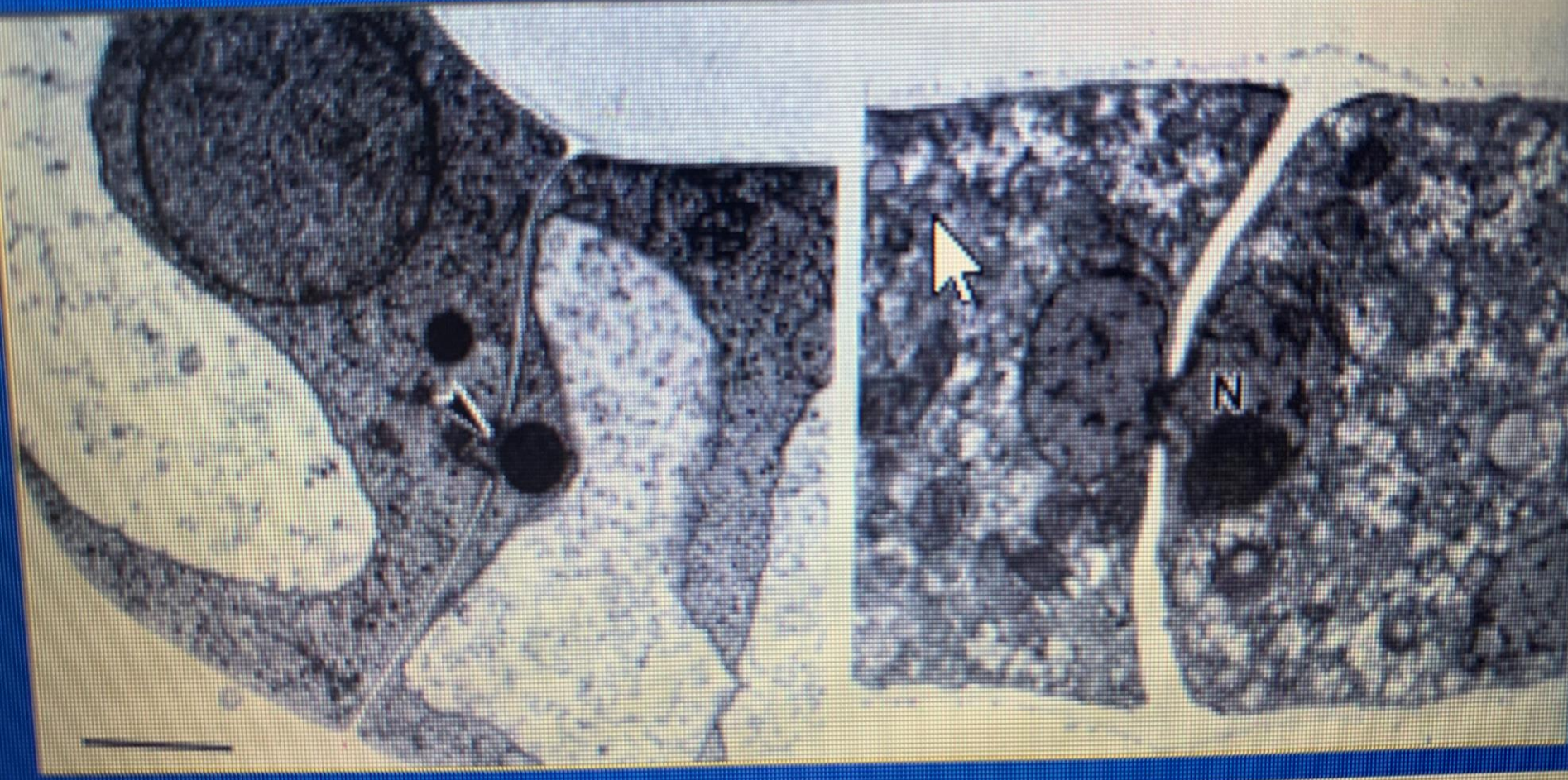


Figura 23.3 - Anastomose (A), heterocariosis (B) e cariogamia (C) presentes no ciclo parasexual

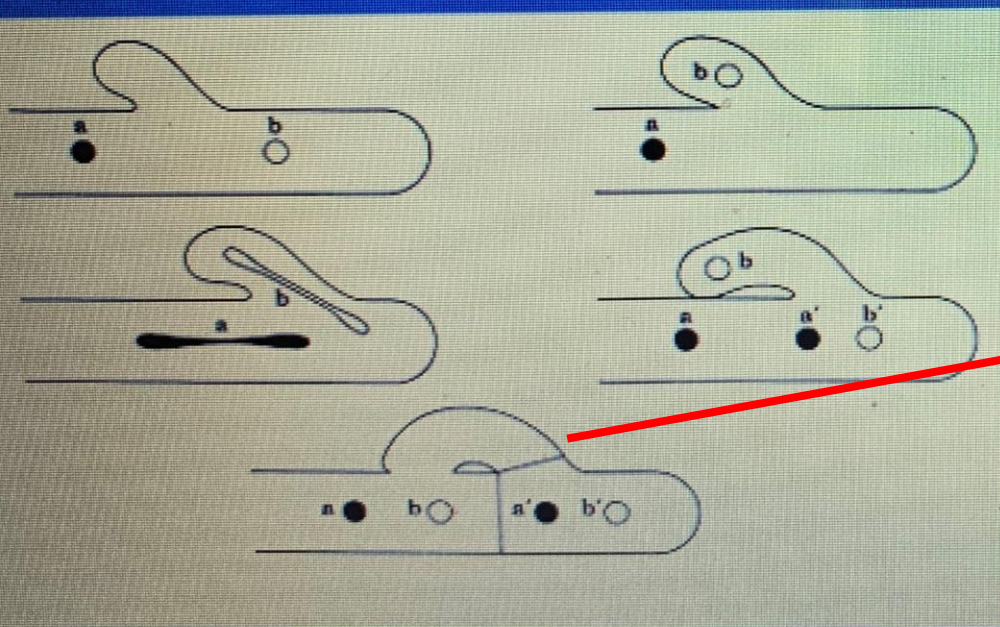
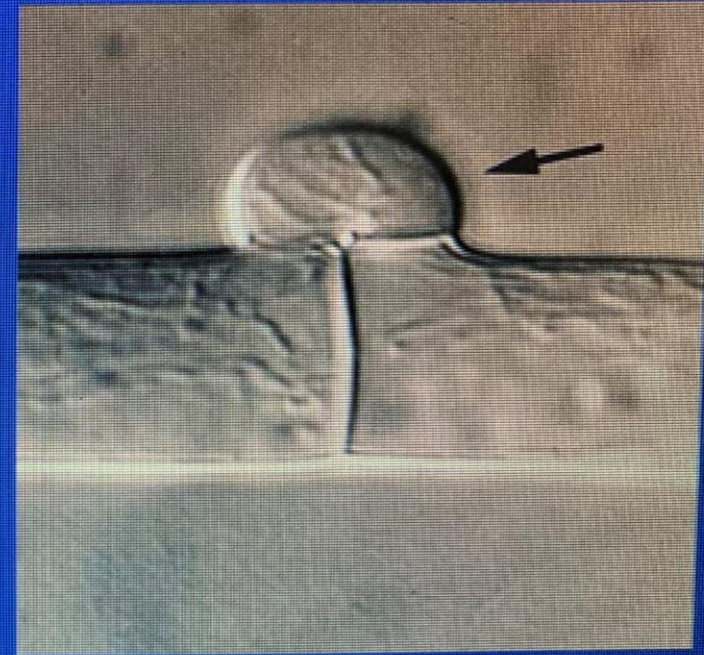
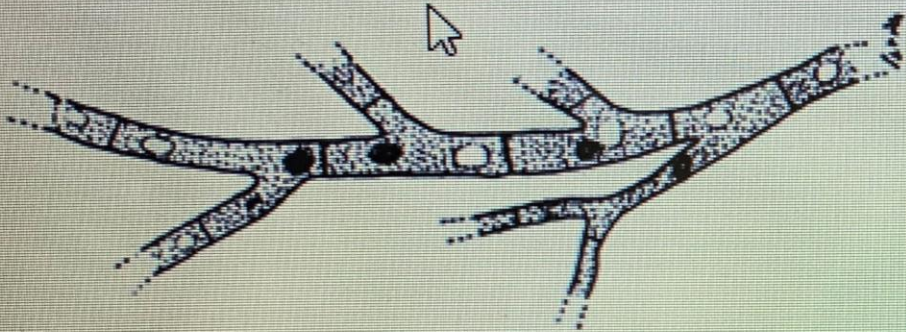
Paso del núcleo a través de las hifas del hongo ascomiceto

Septo e poro



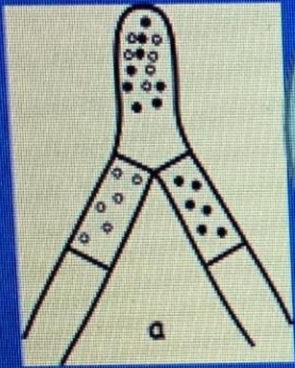
Clip de conexión

Para hongos basidiomicetos - roya



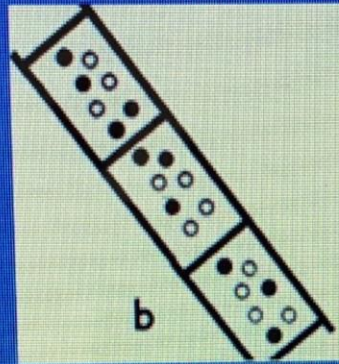
Estructuras de hifas formadas para asegurar el estado dicariótico del micelio.

Parasexualismo



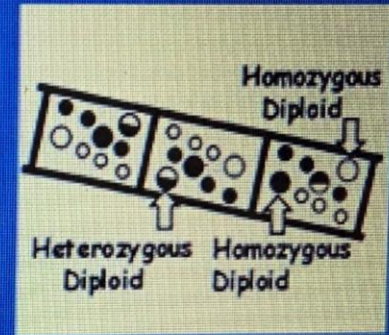
1

plasmogamia



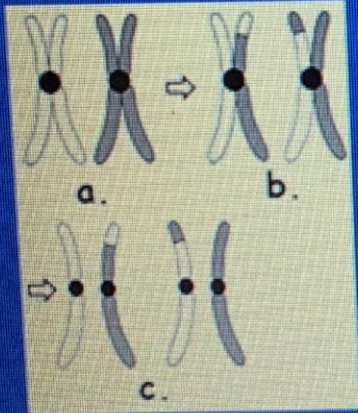
2

heterocariose



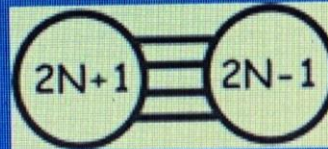
3

cariogamia fortuita



4

crossing-over mitótico



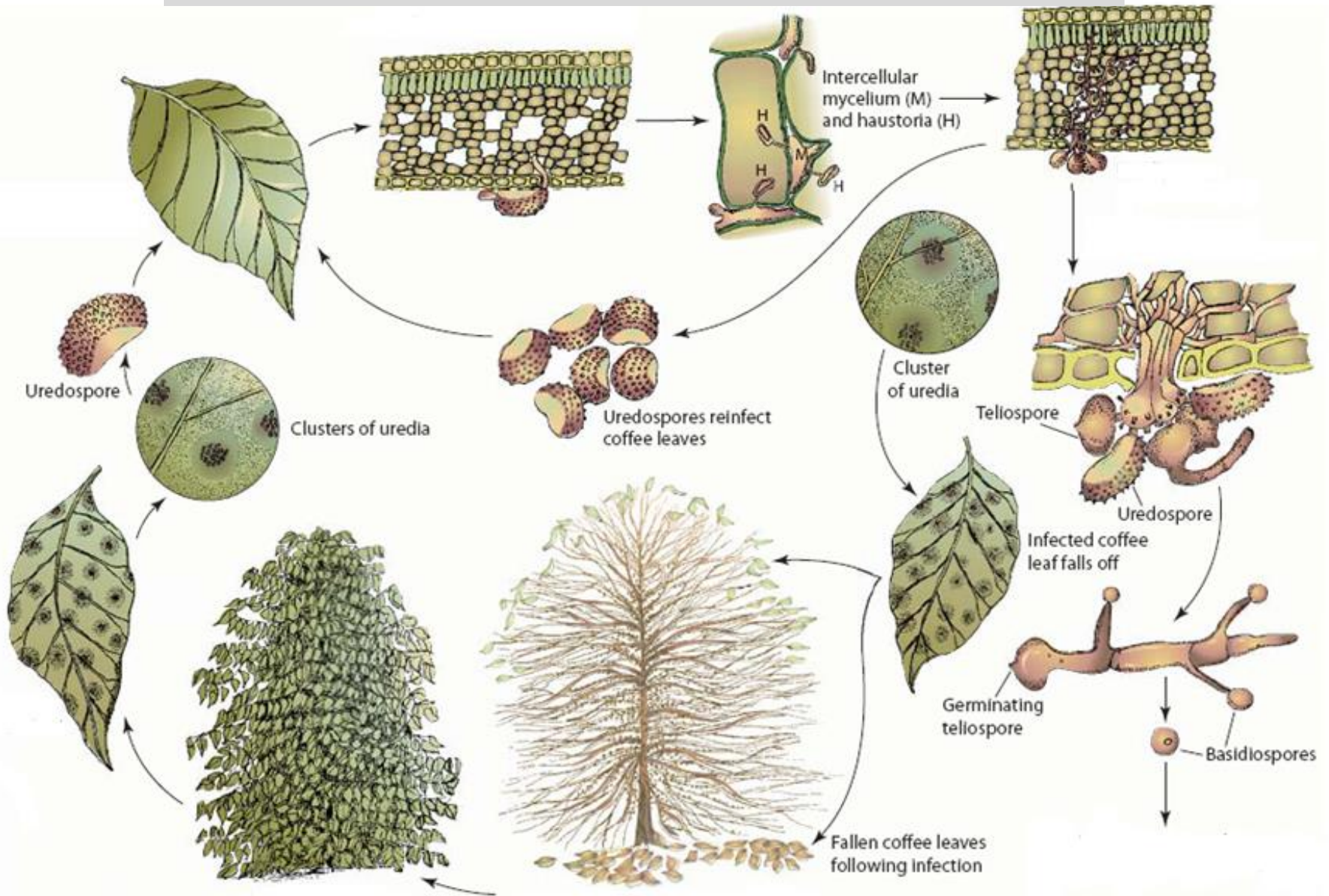
5

reversão ao estado
haplóide se dá por
aneuploidia*

Haploidización: pérdida/adición de cromosomas

Una célula aneuploide es aquella que tiene alterado su material genético, portando un número cromosómico diferente al normal para la especie.

Ciclo de la roya del café - asexuado

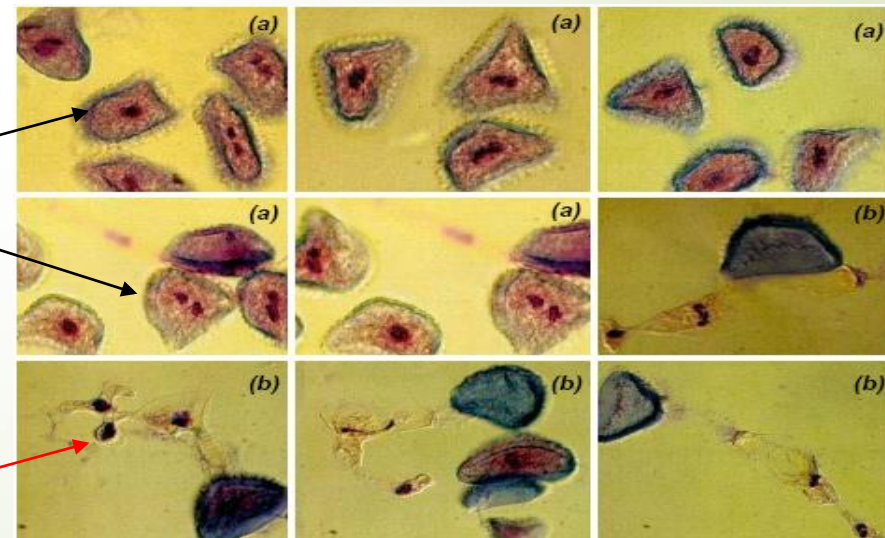


Criptogamia

Criptogamia: Uredospora se comporta como si fuese teliospora

Criptogamia - *Hemileia vastatrix*

Uredosporas no germinadas
con 1 a 2 núcleos
Cariogamia y Meiosis



Cuatro núcleos en tubo germinativo de uredósporas germinados

Elementos transposones

Elementos de transposición (ET): son secuencias de ADN móviles que pueden autorreplicarse en un genoma determinado.

(ET) juegan un papel importante en la regulación génica, aparición de razas, patotipos y factores que gobiernan la coevolución de patógenos (Razaci et al., 2019).

(ET) – son el grupo más diverso y abundante en el genoma de *H. vastatrix*.

Insertion de los elementos transposons

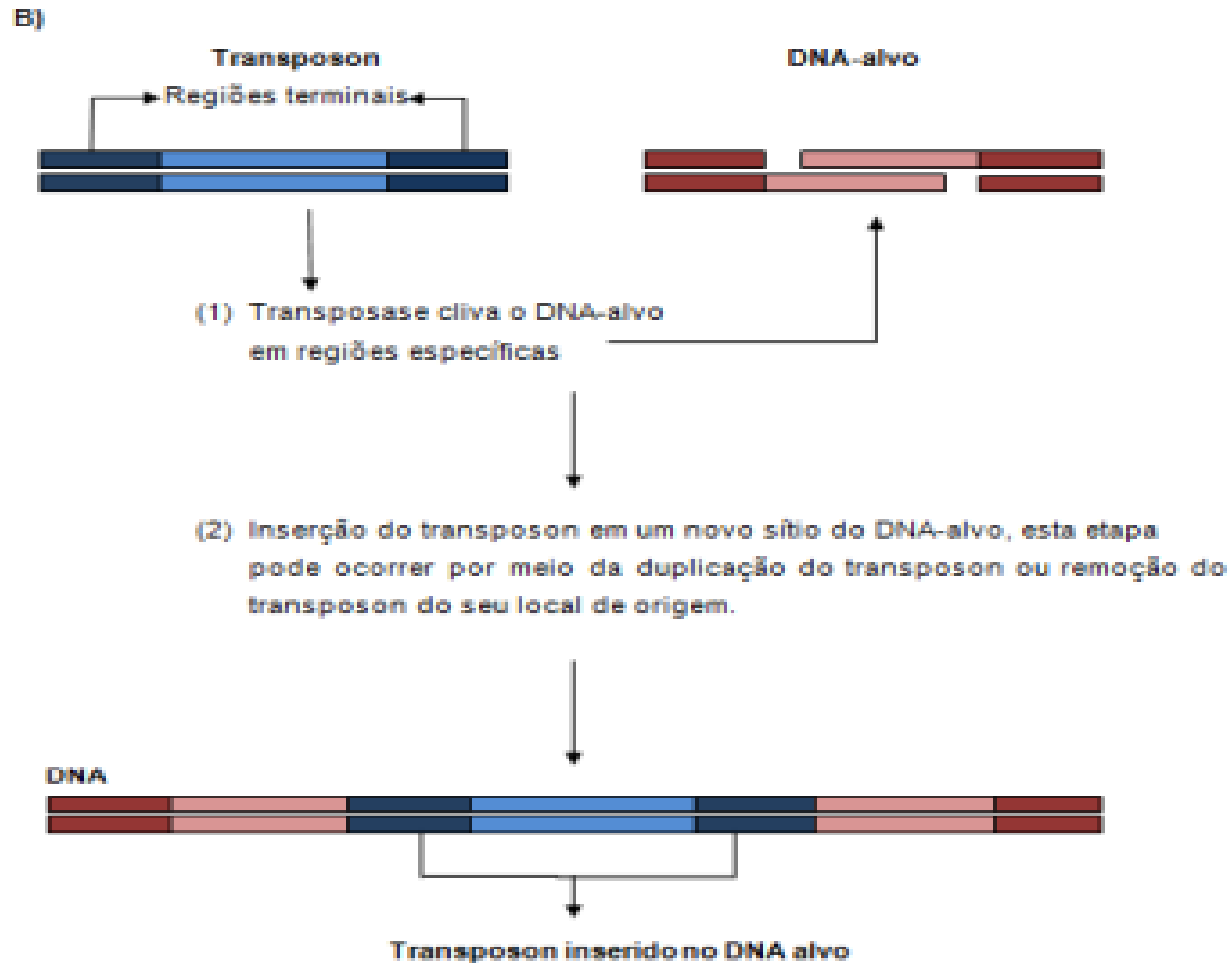


Figura 5. Esquema representando os mecanismos de transposição dos transposons no DNA: A) elementos transponíveis da classe I, os retrotransposons e B) elementos transponíveis da classe II, os transposons.

Elementos transposones

1º. Identificar; 2º. Clasificar; 3º. Utilizarlos como marcadores moleculares de las secuencias de ADN

Las secuencias de ADN a lo largo del genoma de *H. vastatrix* puede sufrir: **Supresión, Inversión, Contracción, Expansión**

Clasificación de los transposones

Clase I: retrotransposones: se replican a través del ARN intermedio, se transcriben inversamente en una copia de ADN y se integran en el genoma.

Clase II – transposones de ADN - la movilización ocurre por un mecanismo de cortar y pegar por medio de una enzima.

Factores de riesgo para la aparición de nuevas razas y patotipos en la población de *Hemileia vastatrix*

- 1. Base genética de la resistencia muy estrecha del germoplasma de café en el campo.**
- 2. Largo período de exposición de las plantas a *H. vastatrix* (el café es una planta semiperenne)**
- 3. Extensas áreas cultivadas con variedades de café con resistencia vertical o monogénica.**
- 4. Preferencia de los cultivadores por variedades con resistencia vertical.**
- 5. *Hemileia vastatrix* es un patógeno con alta mutabilidad vertical.**
- 6. Actuación de diferentes mecanismos de evolución de razas o patotipos de *H. vastatrix*.**

Elementos transposones – tipo de marcador molecular

Importante fuente de variabilidad genética

2 a 20% del genoma de la mayoría de las especies

80% de las mutaciones espontáneas en *Drosophila*
acción de los transposones.

Herramientas ET útiles para perfilar poblaciones, identificar razas específicas de patógenos, transferencia genética.

La actividad de ET genera alta variabilidad en hongos fitopatógenos

Se puede utilizar para el desarrollo de nuevos marcadores moleculares. MURATA et al. (2008) .

Evolución de la variabilidad de *Hemileia vastatrix*

Presión de selección

Población
inicial de
plantas
resistentes
RV

Población
Después **x**
años

Población
después **x + y**
años

Población
después
x+y+z
años

R R R R R R
R R R R R R
R R R R R R

↑
Aumiento da
pression de
selección

R R R R **S** R
S R R R R R
R R **S** R R R

16% **S**

S R **S** **S** R R
R **S** R **S** **S** **S**
S R R **S** R **S**

50 % **S**

R* **S** **S** **S** **S** **S**
S **S** **S** **S** **S** **S**
R **S** **S** **S** **S** **S**

*Escape ???
80 % **S**

Aparición de nuevas razas

Híbrido de Timor 832/2



Nueva raza compleja ha suplantado a la
resistencia ¿Porque?

Por qué *Coffea canephora* tiene mayor durabilidad a la roya en comparación con *Coffea arabica*

Coffea arabica



Coffea canephora



Año de constatación y epidemia de la roya

País	Año constatación	Epidemia (Año)	Razas	Pierdas (%)
Brasil	1970	1973 Hasta hoy	16	35 – 50 %
Colombia	1983	1997 /88 2008 /11	8	31 % (2008-11) comparación con 2007
Guatemala	1980	2012 /13	5	16 % (2012 – 13) comparación con 2011-12 10 % (2013 – 14) comparación con 2012-13 El impacto de la roya duro 3 – 4 años
El Salvador	1995 - 89	2013/14	3	54 % (2013-14) comparación con 2012-13
Honduras	1995/96	2012/13	7	8 % - La pérdida fue baja debido a la gran área de cultivo de variedades resistentes.

Razas constatadas en Kenya y Tanzania en diferentes épocas

País	Razas	Author
Kenya 1	I, II, VII, XV, XX, XXIV = 6 razas	Thitai & Okioga, (1977)
Kenya 2	III, XVII, XXIII, XXXVI, XLI, XLII = 6 razas TOTAL= 12 razas	Gichuru et al., (2012)
Tanzania	I, II, III, XVII, XXIV, XI, XX = 7 razas	Rodrigues et al., 1975
Tanzania	XXII, XXXIV = 2 razas	CIFC, (2007)
Tanzania	XXIII, XXIV, XXV, XXVI, XXVIII = 5 razas	TaCRI, (2009)
Tanzania	XV, XXX, XXXIII, XXXIV, XXXIX, XLI, XLII = 7 razas TOTAL = 19 Razas	Kilambo et al., (2013)
	XXXIV= v2,4,5,6,7,8,9 XXXIII=v 5,7,9	XLI=v 2,5,8 XLII= v 2,5,7,8

Evolución de virulencia de las razas en Kenya

Razas 1977	Genes de virulencia	Razas 2013	Genes de virulencia
I	V 2, 5	XXXIII	V 5, 7, 9
II	v5	XXXIV	V 2, 5, 7, 9
VII	V 3, 5	XXXIX	V 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9
XX	V?	XLI	V 2, 5, 8
XXIV	V 2, 4, 5	XLII	V 2, 5, 7, 8, 9

Evolución de virulencia de las razas en Tanzania

Razas 1975	Genes de virulencia	Razas 2013	Genes de virulencia
I	V 2, 5	XV	V 4, 5
II	v5	XXX	V 5, 8
III	V 1, 5	XXXIII	V 5,7,9
XVII	V 1, 2, 5	XXXIV	V 2, 5, 7, 9
XXIV	V 1, 2, 4,5	XXXIX	V 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9
		XLI	V 2,5,8
		XLII	V 2,5,7,8,9

Evolución de virulencia de las razas en Brasil

Razas 1970	Razas 1974/77	Razas 1979/80	Razas 1981/16	Razas 2017/18
II (V 5)	I (v 2, 5)	X (v 1,4,5)	I (v 2, 5)	XVI – (v 1, 2, 3, 4, 5)
	II (v 5)	XVII (v 1,2,5)	II (v 5)	XXIII (v 1,2,4,5)
	III (v 1, 5)	XXIV (v 2,4,5)	III (v 1,5)	XXV (v 2,5,6)
	XV (v 4, 5)		X (v	XXXIII (V 5,7,9)
			XV (v 4,5)	
			XVII (v 1,2,5)	
			XXIV (v 1,2,4,5)	

Razas de *Hemileia vastatrix* en el Brasil

1970 - Raza - II (Catuai, M. Novo, Bourbon)

1974 – 1977- Razas - I (v 2,5), II (v5), III (v 1,5) y XV (v 4,5)
(Cvs. Catuai, Mundo Novo, Bourbon, Iarana)

1979 – 1980 – Razas - Identificadas, razas más complejas
X (v 1,4,5), XVII (v 1,2,5), XXIV (v 2,4,5) – (Catimor, Sarchimor)


1981 – 2016 – Razas - Confirmación de las razas
I, II, III, X, XV, XVII, XXIV – (Catimor, Sarchimor)

2017 – 2018 – Razas – Identificación de razas con muchos genes de virulencia
I, II, III, X, XIII, XV, XVI, XXII, XXIII, XXVII, XXIV, XXV, XXIX, XXX, XXXIII, XXXVII
(Catimor, Sarchimor)

2019-2022 – Más de 15 patotipos identificados con muchos genes de virulencia
Hv 10 - (v1, v2, v5, v6, v7, v8, v9, ?),



El problema



Variedades de café resistentes a la ROYA (RV) pierden la resistencia en 3 a 5 años en el campo.

razones:

Presión de selección

1. Variedades son lanzadas en campo sin conocer si son resistentes las razas de la región donde es liberada.
2. Los cruces para incorporar la resistencia genética a las variedades comerciales no se controlan.
3. Surgimiento de nuevas razas en campo debido a la mutación y otros procesos de variabilidad.

Evolución de razas de H. vastatrix en 33 variedades resistentes de café arabia

2009 - RV
19 en 33 variedades

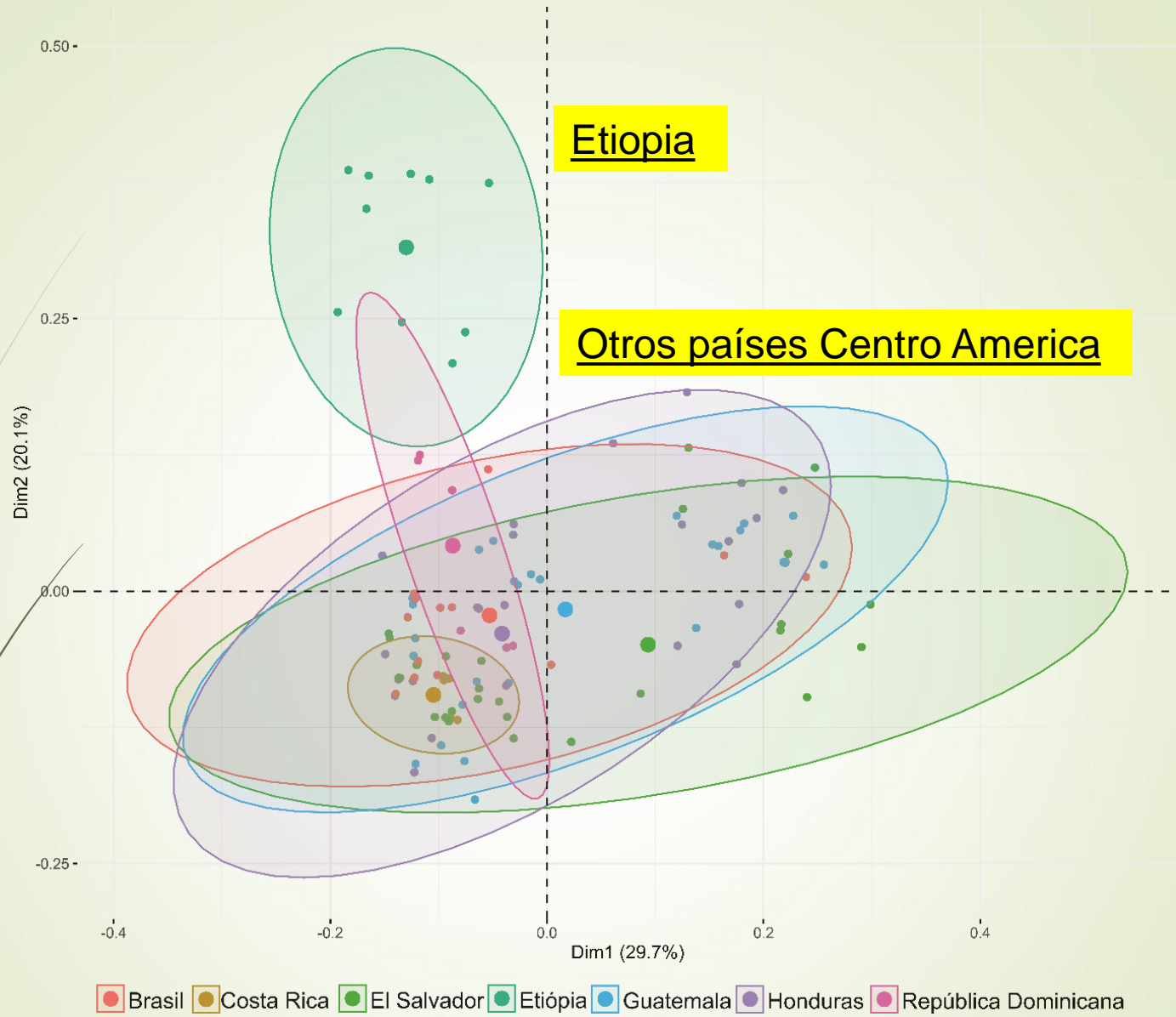
2009 - RH
14 en 33 variedades

2011 - RV
14 en 33 variedades

2011 - RH
19 en 33 variedades

2013 - RV
2 en 33 variedades

2013 - RH
25 en 33 variedades



Analises de PCoA (Coordenadas Principais) para los 208 individuos evaluado con los 16 marcadores microsatélites.



Flor Teoria gen-a-gen Roya

Arbol de café

("Agaro")

(S 4,5)

Raza v 5 no virulento

Raza v1, v5 no virulento

Raza v3, v5 no virulento

Raza v4, v5 **virulento**

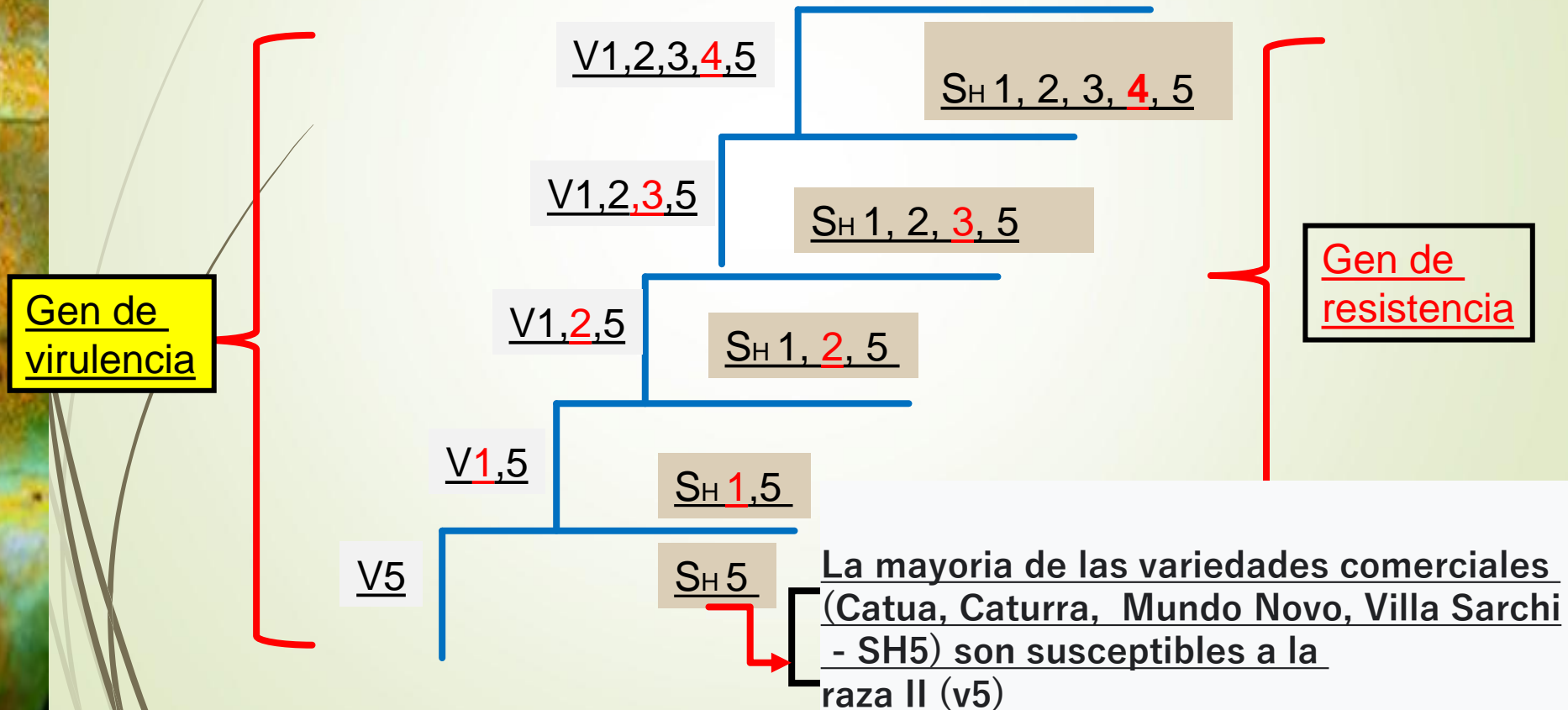
Raza v1, v2, v3, **v4**, v6, v7, v8, v9 **nv**

Raza v1, v2, v3, **v4, v5**, v6, v7, v8, v9 **vi**

Como razas de Hv ganan a los genes de virulencia ?

Como se forman nuevas razas? Efecto paso a paso

“passo a passo” H. vastatrix gana nuevos genes de virulência



Raza de Hv pierden la virulencia

Los genes que no son necesarios para la virulencia tienden a no sobrevivir en la población de patógenos

Isol. 178 c (v1,2,3,4,5)

Caturra SH5



v 5



Hojas sueltas de la var. Caturra inoculada con 4 aislamientos de Hv raza II (v5), de la colección CIFIC



SRI LANKA

BRASIL

BRASIL

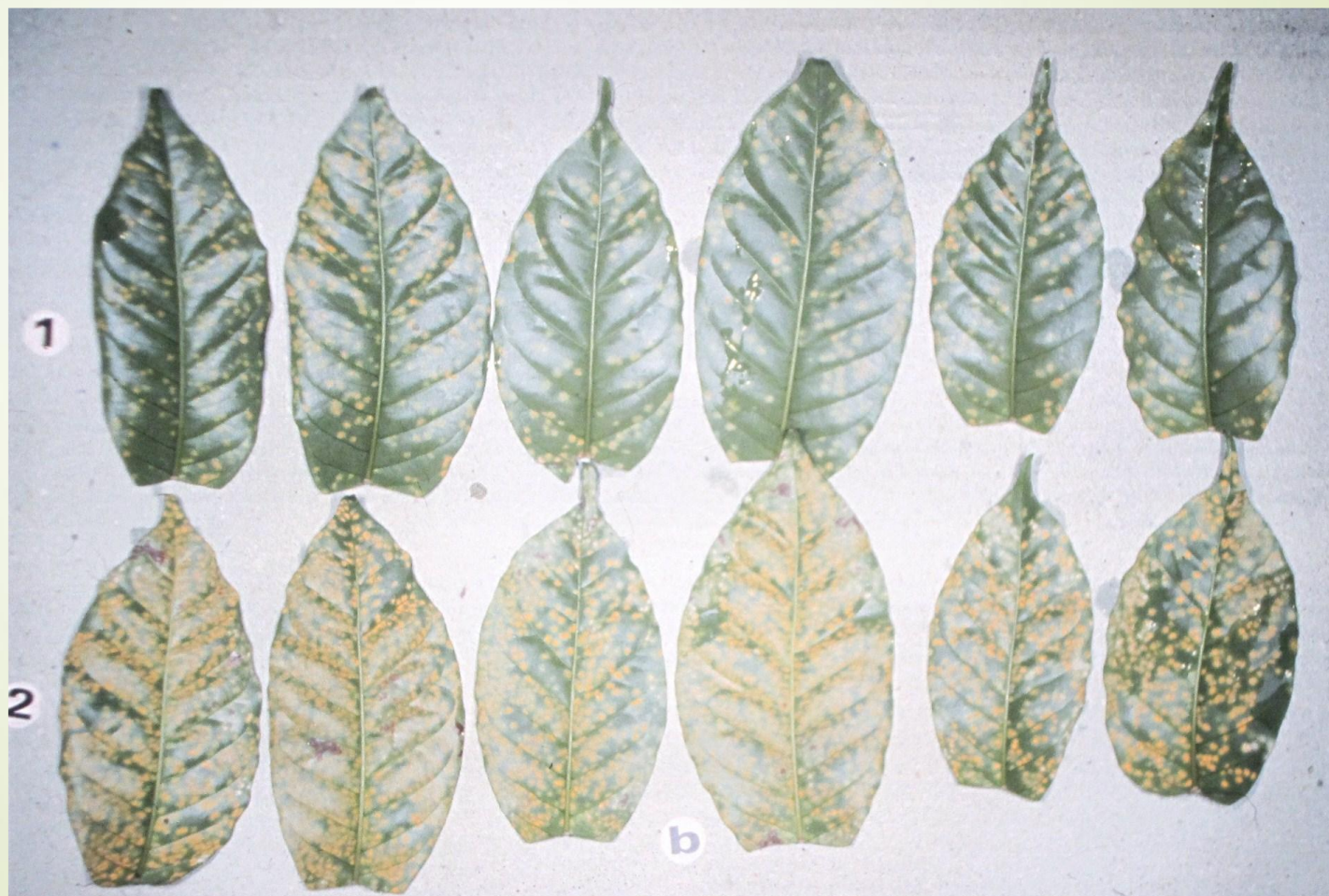
QUENIA

Aislados

Huejas sueltas da la var. Caturra inoculadas con 2 aislados de Hv raza I (v2,5) de la colección CIFIC.

Aislado
Tanzânia →

Aislado
Angola →



Conclusiones

En el mundo non hay variedades con resistencia vertical a la roya.

¿Por qué no hay epidemias de roya en Coffea canephora var. conilon o robusta?

Vivir con roya requerirá el uso de variedades con resistencia horizontal como pasa en conilon.

Pero puede necesitar fumigación

Conclusiones

Creo que los caficultores de Centroamérica y el Caribe poco a poco están aprendiendo a vivir con la roya.

Hace cinco años, la roya era considerada una enfermedad que acabaría con los cafetales de Centroamérica y el Caribe.

Pero ahora siento una gran evolución de todos los países con la adopción de medidas para convivir con la enfermedad.

Felicidades a todos los cafetaleros



Muchas gracias

laerciozambolim@gmail.com