



XXIV SIMPOSIO
LATINOAMERICANO
DE CAFICULTURA

Mejoramiento genético del café con selección asistida por marcadores y genómica

Eveline T. Caixeta

eveline.caixeta@embrapa.br



Mejoramiento del café en Brasil

➤ Impacto significativo en la producción agrícola



Typica - 1720

1930 - mejoramiento

producción – 300% mayor

Mejoramiento Genético



Variabilidad

El objetivo de la selección artificial es la combinación apropiada de alelos en los loci que controlan las características de interés.



Marcadores Genéticos

Selección visual

Marcadores Morfológicos

*Origen reciente:
C. eugenioides x C.
canephora*

Autogamia

**Base genética estrecha
Café - baixa diversidade**

Distribución de café en el mundo

Cultivares derivados de dos formas botánicas

121 cultivares lançadas 1939 a 2009 – originadas de 12 ancestrais, sendo 97,55% de apenas 7 ancestrais

Mejoramiento de café



Marcadores Morfológicos

- ✗ Basado en fenotipos
- ✗ Número limitado
- ✗ Influencia del medio ambiente ...



Marcadores moleculares

Detectan variaciones naturales en las secuencias de ADN del individuo

Análisis genético

Mejoramiento genético



Mejoramiento Molecular

Marcadores Moleculares

Pre-mejoramiento

Conservación de
germoplasma

Selección de
progenitores

Mejoramiento

Método de
mejoramiento

Confirmación
de híbridos

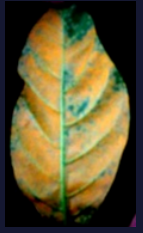
Selección-
SAM

Post-mejoramiento

Identidad de
cultivares

Pureza
genética

Colección de Germoplasma



- ✘ En 1970/71 - La roya llegó a Brasil
 - Germoplasma de café fue creado en la UFV
 - Incorporación de fuentes de resistencia

Híbrido de Timor

**Catimor, Cavimor, Sarchimor,
Cachimor, Blumor, outros**

CIFC (Portugal); CENICAFÉ (Colombia);
IICA (Costa Rica); IIAA (Angola); ERU
(Angola); IAC (Brasil)

Catiafa (Caturra x Kaffa)

Catindu e outros SH3

Colección de Germoplasma

Híbrido de Timor

- ✗ 152 accesiones
- ✗ Caracterización de la resistencia a la roya
- ✗ Caracterización molecular
- ✗ Verificación de redundancia
- ✗ Estudio de diversidad genética



Prof. Laércio Zambolim

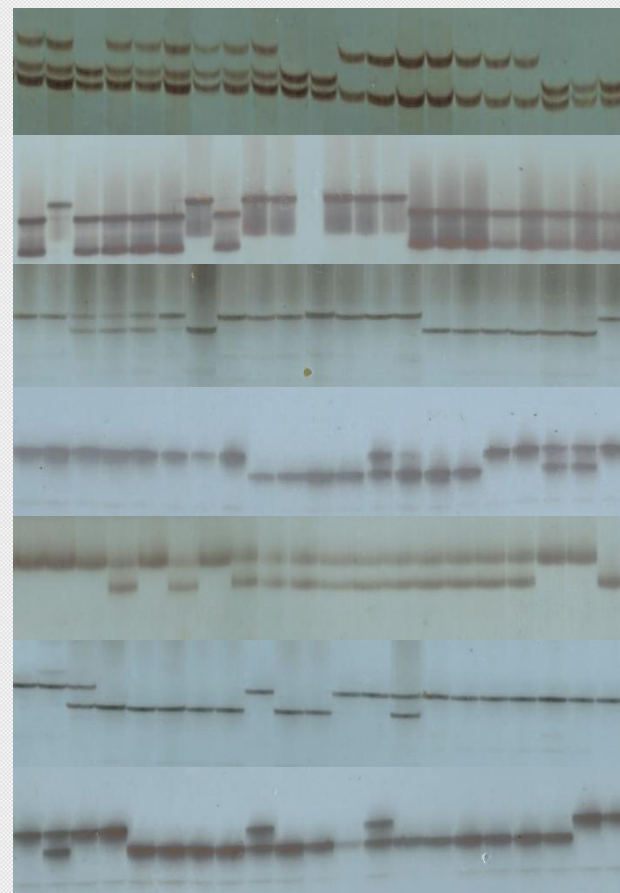
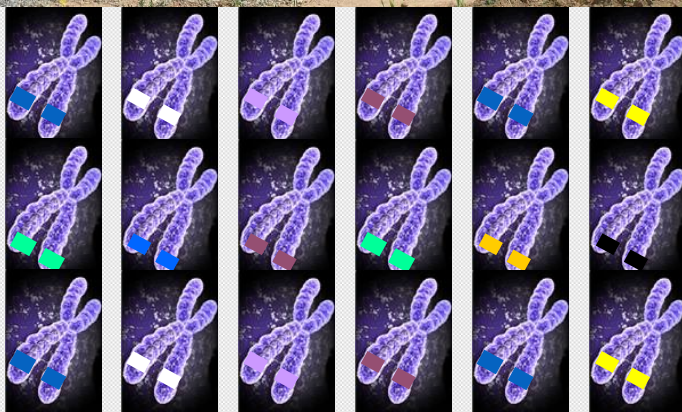
Colección de Germoplasma

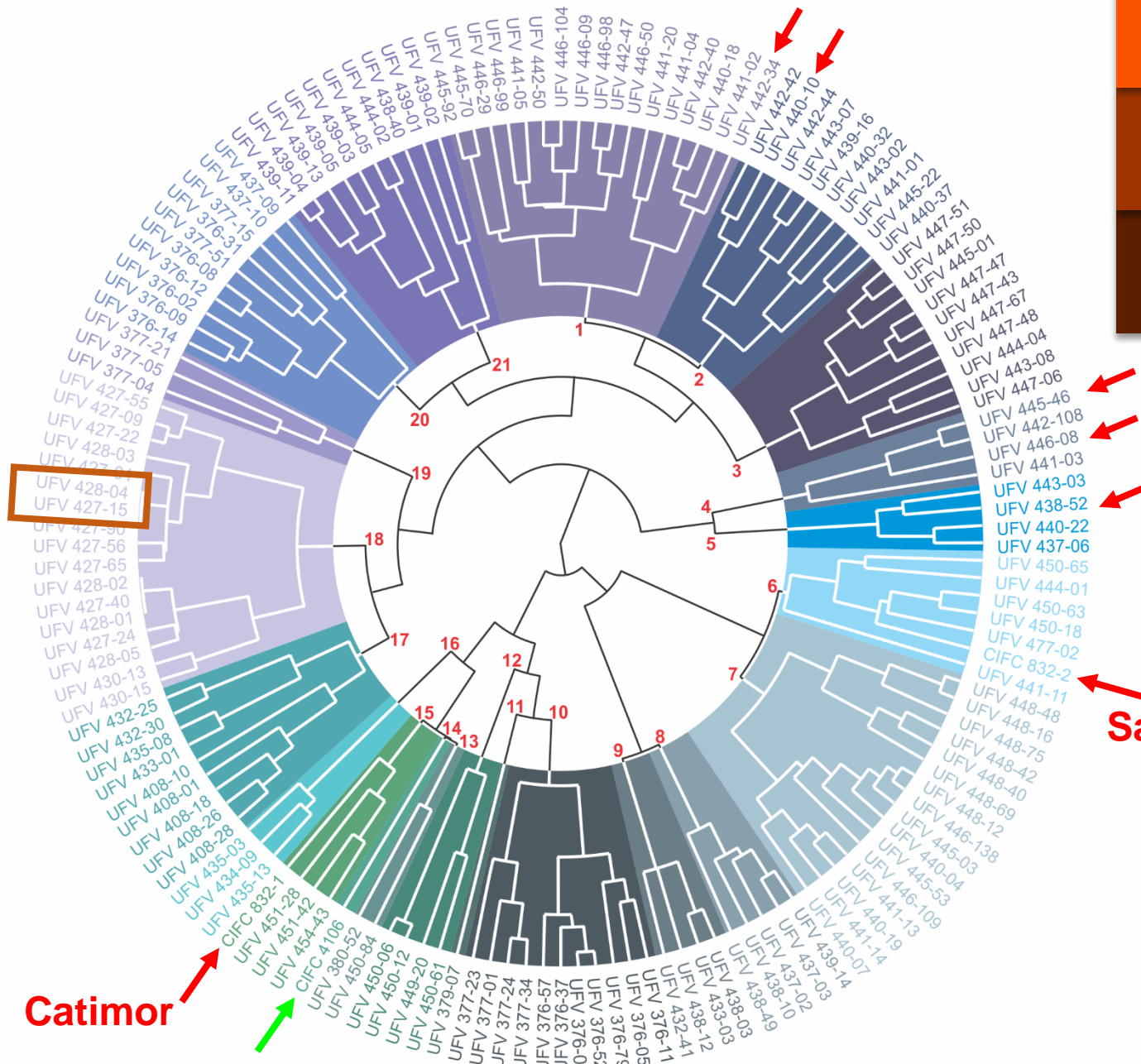
Híbrido de Timor



Accesiones	Raza II	Raza XXXIII	Accesiones	Raza II	Raza XXXIII	Accesiones	Raza II	Raza XXXIII
HT 376-01	R	S	HT 432-41	R	R	HT 442-50	R	R
HT 376-02	R	S	HT 433-01	R	R	HT 442-108	R	R
HT 376-05	R	R	HT 433-03	R	R	HT 443-02	R	R
HT 376-08	R	S	HT 434-09	R	R	HT 443-03	R	R
HT 376-09	R	S	HT 435-03	R	R	HT 443-07	R	R
HT 376-11	R	R	HT 435-08	R	R	HT 443-08	R	R
HT 376-12	R	R	HT 435-13	R	R	HT 444-01	R	R
HT 376-14	R	S	HT 437-02	R	R	HT 444-02	R	R

Colección de Germoplasma





Diversidad genética

Identificación de réplicas

Selección de progenitores

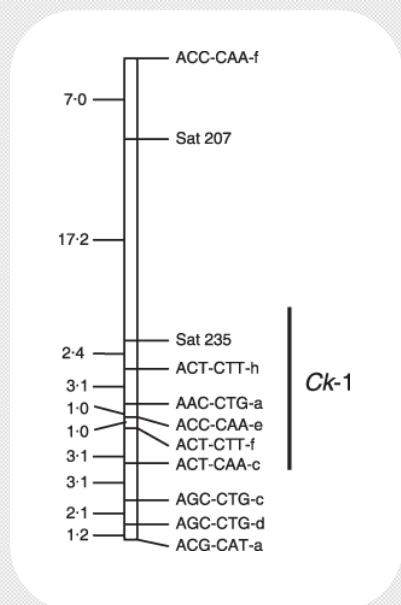
Sachimor

Catimor

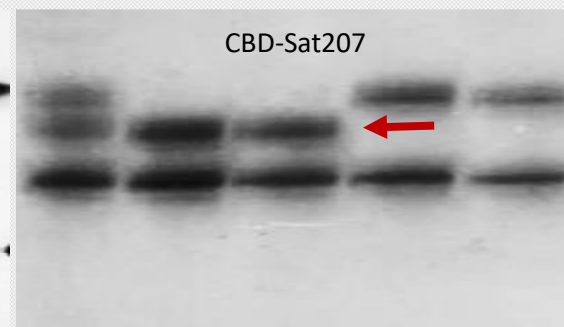
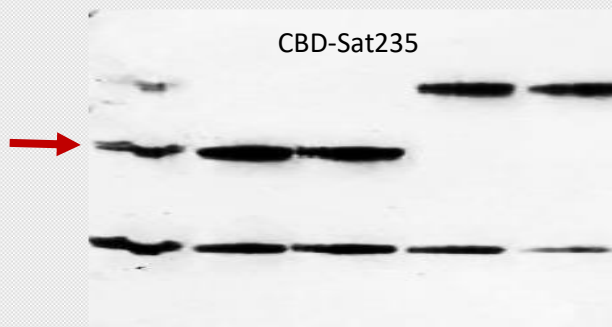


Colección de Germoplasma

Híbrido de Timor



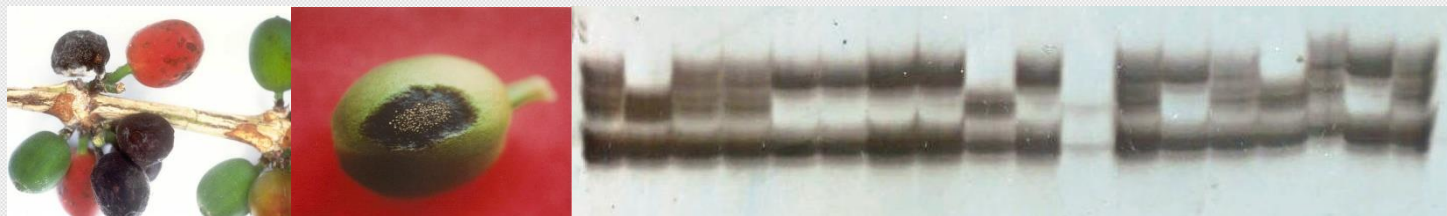
Gichuru et al., 2008



Colección de Germoplasma

Híbrido de Timor

106 HdT



HT 450-06	HT 376-52	HT 433-03	HT 437-02	HT 437-03	HT 437-06	HT 438-03
HT 438-10	HT 438-12	HT 438-40	HT 438-49	HT 438-52	HT 439-01	HT 439-02
HT 439-03	HT 439-04	HT 439-05	HT 439-11	HT439-13	HT 439-14	HT 439-16
HT 440-04	HT 440-07	HT 440-10	HT 440-19	HT 440-22	HT 440-32	HT 440-37
HT 441-01	HT 441-02	HT 441-03	HT 441-04	HT 441-05	HT 441-11	HT 441-13
HT 441-14	HT 441-20	HT 442-40	HT 442-42	HT 442-44	HT 442-47	HT 442-50
HT442-108	HT 443-07	HT 443-08	HT 444-05	HT 445-01	HT 445-03	HT 445-46
HT 445-53	HT 445-92	HT 446-08	HT 446-09	HT 446-98	HT 446-99	HT 446-104
HT446-109	HT446-138	HT 447-06	HT 447-43	HT 447-47	HT 447-48	HT 447-50
HT 447-51	HT 447-67	HT 448-12	HT 448-16	HT 448-40	HT 448-42	HT 448-48
HT 448-69						

Colección de Germoplasma

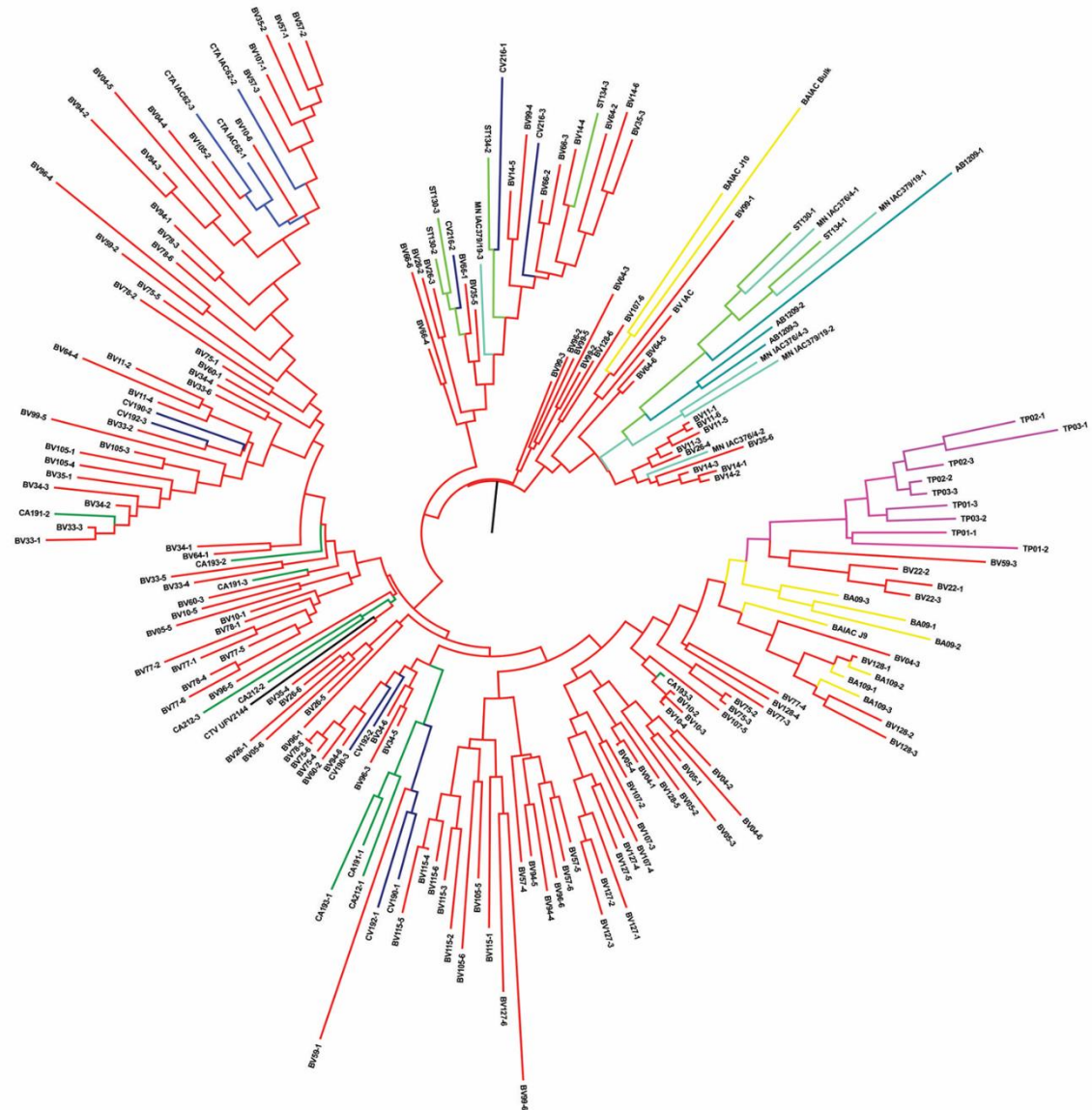
- × 2007 – Un nuevo germoplasma fue creado en Minas Gerais – Epamig/UFV/UFLA/Embrapa
- × 1596 accesiones...
- × Plantas/parcela: 8 a 10
- × Repeticiones/accesiones: 2
- × Total de plantas: ~25.000
- × Colección de semillas (instituciones públicas y privadas; MG, SP, PR y ES)
- × Variabilidad

Colección de Germoplasma

Bourbon



- Bourbon Vermelho
- Bourbon Amarelo
- Típica
- Mundo Novo
- Catuaí Amarelo
- Caturra Vermelha
- Sumatra
- Caturra Amarelo
- Amarelo de Botucatu
- Catuaí Vermelho



Colección de Germoplasma

Bourbon

Acesso	Designação do Material no Local de Coleta	Local de Coleta	Bourbon Vermelho X Bourbon Amarelo		Bourbon X Bourbon/Sumatra/Mundo Novo/Catuaí Amarelo/Amarelo Botucatu		Observação
			Vizinho médio	Redes neurais	Vizinho médio	Redes neurais	
MG 0004 R1 P2 MG 0004 R1 P4 MG 0004 R1 P6 MG 0004 R2 P6 MG 0004 R2 P5 MG 0004 R2 P3	Bourbon Vermelho	Faz. Sagrado Coração de Jesus, Ervália-MG	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Amarelo Bourbon Amarelo Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Amarelo Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Amarelo Amarelo de Botucatu Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	
MG 0005 R1 P2 MG 0005 R1 P1 MG 0005 R1 P7 MG 0005 R2 P1 MG 0005 R2 P2 MG 0005 R2 P3	Bourbon Vermelho	Faz. Santa Cruz, Ervália-MG	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Catuaí Amarelo	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	
MG 0010 R2 P3 MG 0010 R2 P4 MG 0010 R2 P8	Bourbon Vermelho	Faz. Gromongol, Ervália-MG (Lavoura de 130 anos)	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	Acesso uniforme, seguindo os dados de passaporte
MG 0011 R1 P7 MG 0011 R1 P1 MG 0011 R1 P6 MG 0011 R2 P5 MG 0011 R2 P6 MG 0011 R2 P7	Bourbon Vermelho	Faz. São João Batista, Campos Altos-MG	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	Sumatra Sumatra Sumatra Sumatra Sumatra Sumatra	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	
MG 0014 R1 P1 MG 0014 R1 P3 MG 0014 R1 P2 MG 0014 R2 P1 MG 0014 R2 P2 MG 0014 R2 P10	Bourbon Vermelho	Faz. São Domingos, Monte Santo de Minas-MG ₁	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	Sumatra Sumatra Sumatra Sumatra Sumatra Sumatra	Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho Bourbon Amarelo Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	
MG 0022 R1 P5 MG 0022 R1 P4 MG 0022 R1 P1	Bourbon Alaranjado T6 (grãos vermelhos)	Faz. Recreio, São Sebastião da Gramma-SP (Lavoura de 18 anos)	Bourbon Amarelo Bourbon Amarelo Bourbon Amarelo	Bourbon Amarelo Bourbon Amarelo Bourbon Amarelo	Bourbon Amarelo Bourbon Amarelo Bourbon Amarelo	Bourbon Amarelo Bourbon Vermelho Bourbon Vermelho	

Mejoramiento Molecular

Marcadores Moleculares

Pre-mejoramiento

Conservación de
germoplasma

Selección de
progenitores

Mejoramiento

Método de
mejoramiento

Confirmación
de híbridos

Selección-
SAM

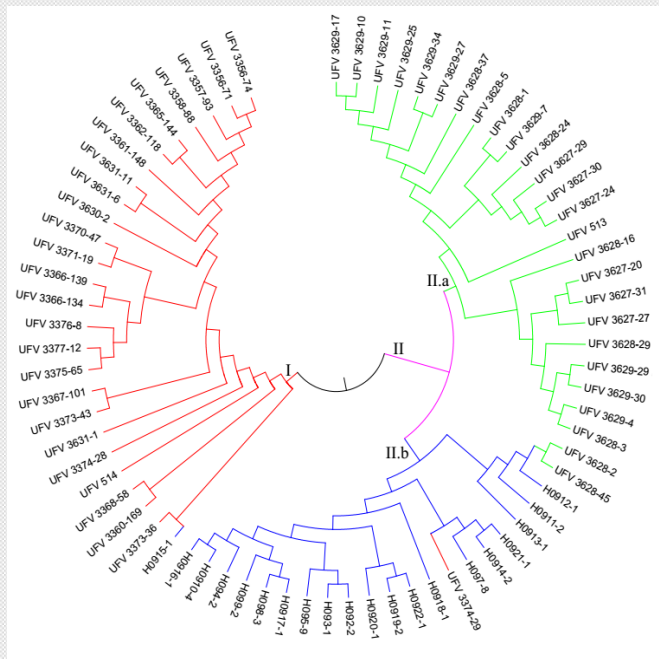
Post-mejoramiento

Identidad de
cultivares

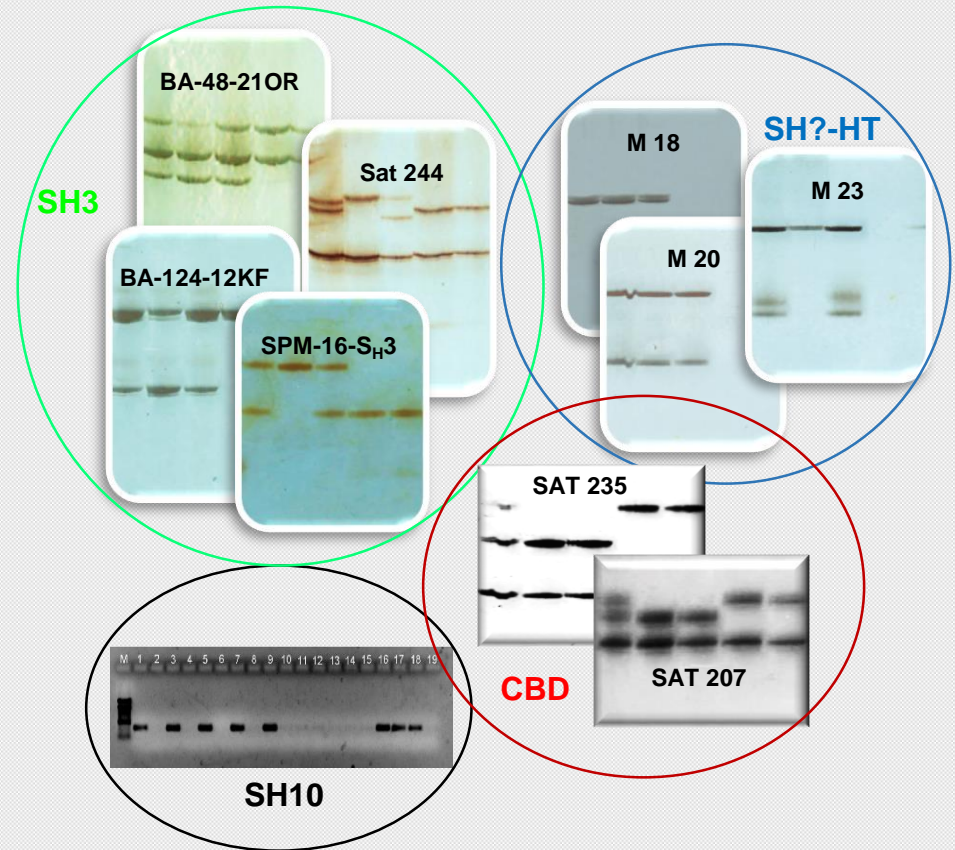
Pureza
genética

Mejoramiento Molecular

Selección asistida por marcadores



SSR, AFLP, SNP



Selección asistida por marcadores

Selección Recurrente

- × Paraíso MG H 419-1
- × Catiguá MG 2
- × Oeiras MG 6851
- × H484-2-18-12 (MN x HdT)
- × H484-2-18-12 (Caturra x S333)
- × Arara
- × Acauã Novo
- × Siriema

- × Producción
- × Vigor
- × Porte bajo, arquitectura
- × Calidad de bebida
- × Elevado tamaño y grano
- × Maduración uniforme
- × Resistencia a la Roya
- × Resistencia *M. exigua*
- × Tolerancia a sequía
- × Requerimiento nutricional

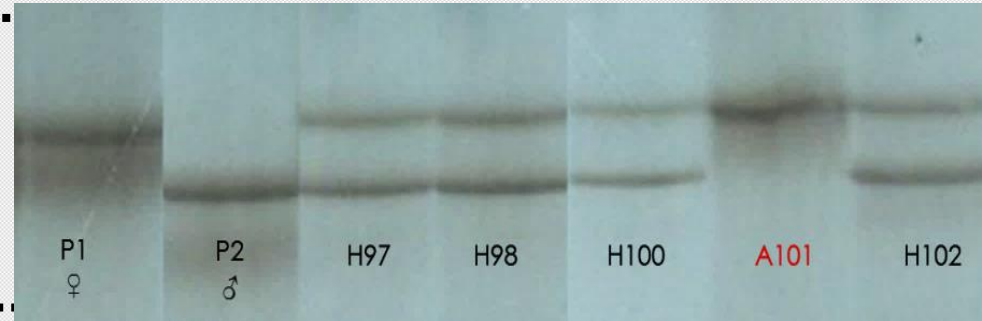
Selección asistida por marcadores

Selección Recurrente

× Prueba de Cruzamien

× 8 genitores

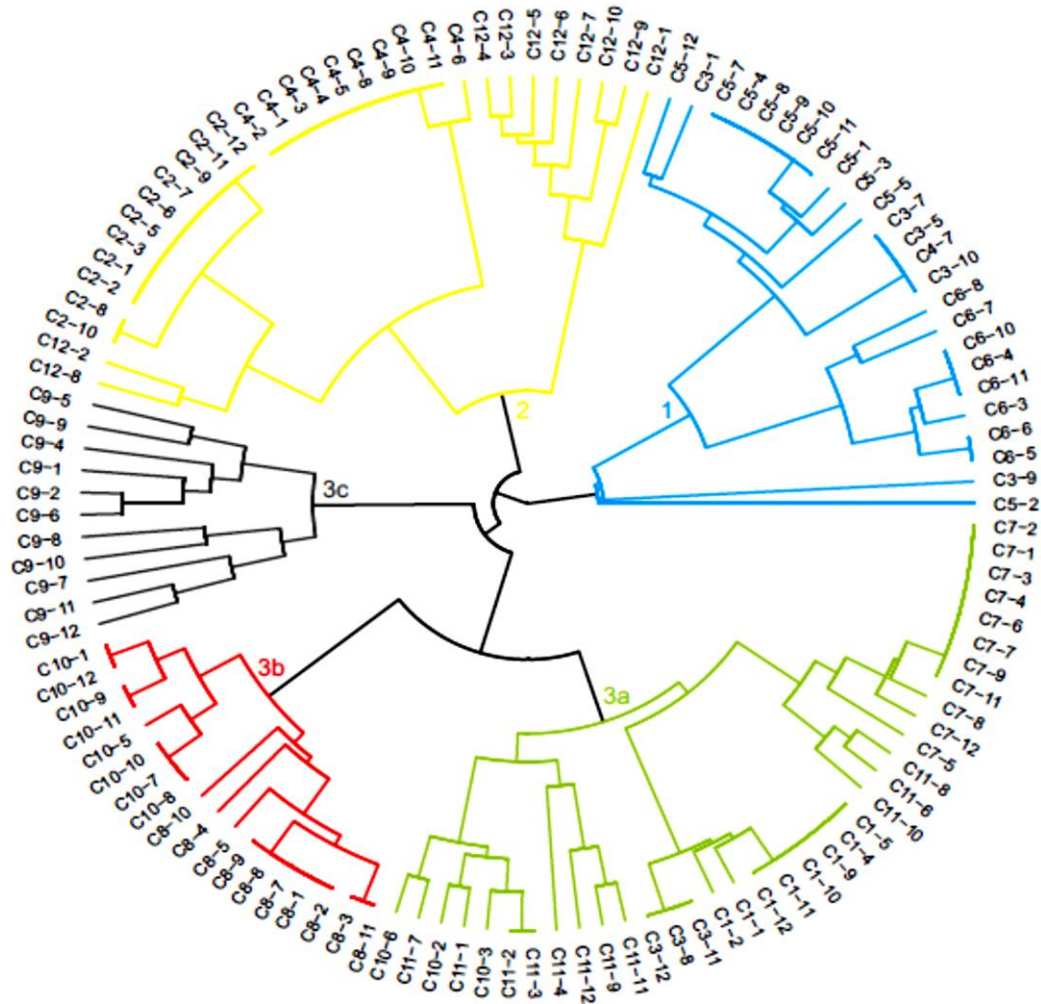
× 144 híbridos



Cruzamiento	N° Híbridos	Autofecundação	Mistura
C1T: Paraíso MG H 419-1 x H484-2-18-2	8	4	-
C2T: Paraíso MG H 419-1 x UFV 311-63	12	-	-
C3T: Paraíso MG H 419-1 x Arara	12	-	-
C4T: Catiguá MG2 x UFV 311-63 planta F3	12	-	-
C5T: Catiguá MG2 x Arara	11	-	1
C6T: Catiguá MG2 x Acauã Novo	12	-	-
C7T: Oeiras MG 6851 x Arara	12	-	-
C8T: Oeiras MG 6851 x Acauã Novo	11	-	1
C9T: Oeiras MG 6851 x Siriema	11	-	1
C10T: H484-2-18-2 x Acauã Novo	12	-	-
C11T: H484-2-18-12 x Siriema	11	-	1
C12T: UFV 311-63 x Siriema	10	-	2
Total	134	4	6
%	93%	3%	4%

Selección asistida por marcadores

Selección Recurrente



Selección asistida por marcadores

Selección Recurrente

✘ análisis fenotípico y genotípico

Características

Produção

Vigor vegetativo

Uniformidade de maturação dos frutos

Tamanho dos frutos maduros

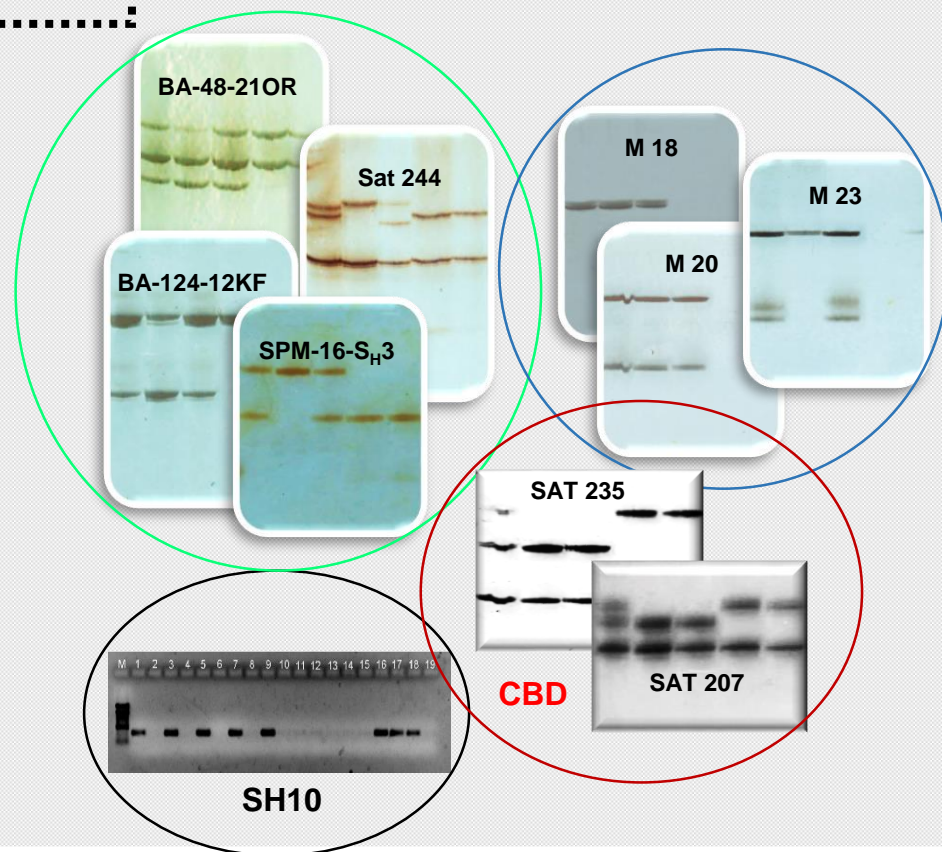
Altura de planta

Severidade ferrugem

Severidade Cercosporiose

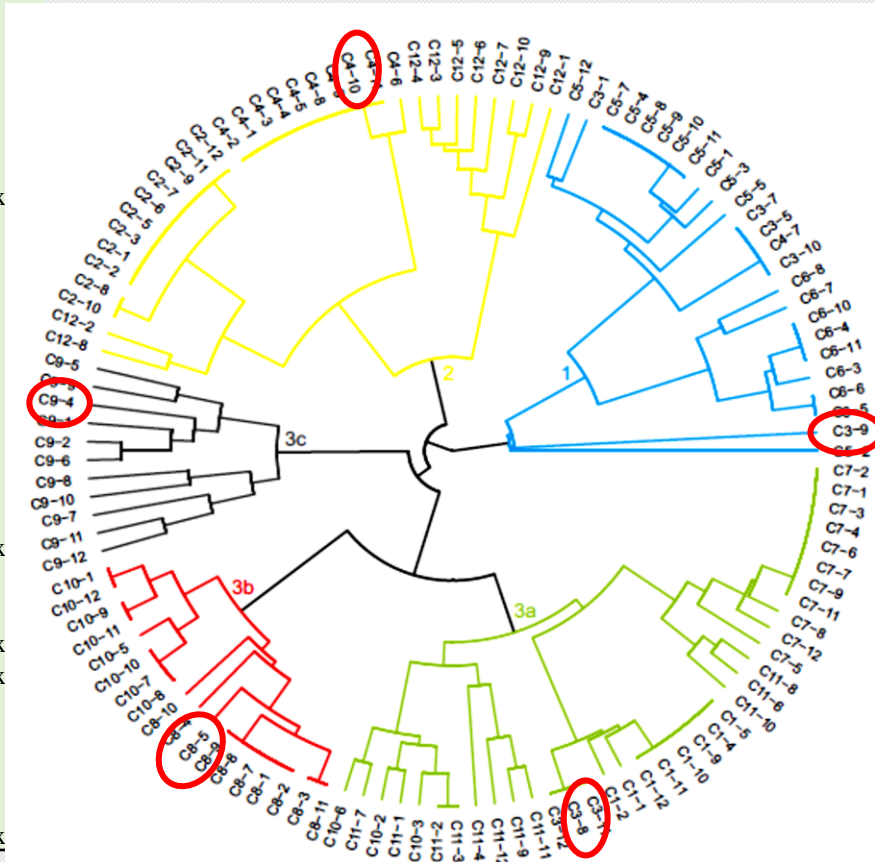
Infestação de Bicho-Mineiro

Nº de ranis plagiotrópicos



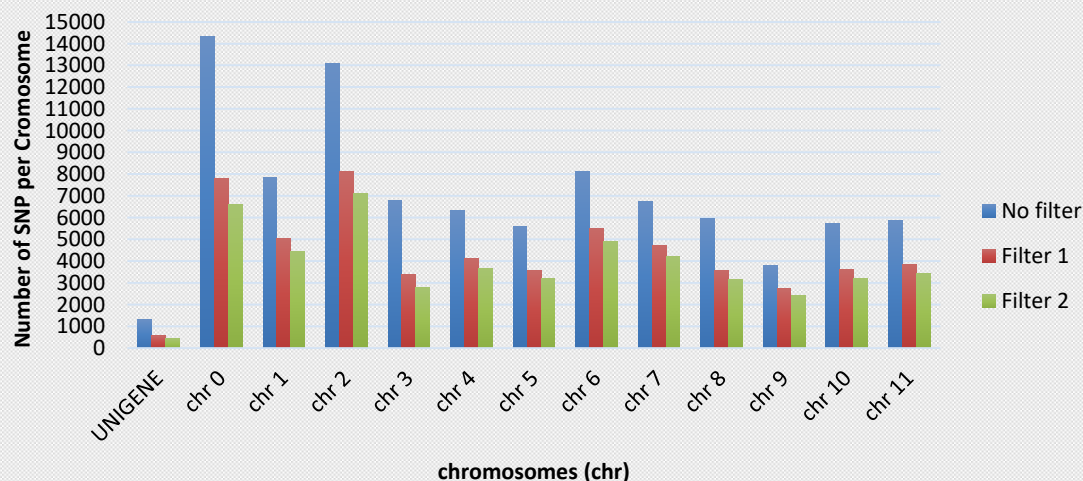
Híbrido	VIG	TF	CER	Rank-Médio	Ganho %	S_H^3	*GI2	*GL5	<i>Ck-1</i>
C4-10	2	8	3	4,3	92,8	x	x	x	x
C3-9	3	17	9	9,7	84,0	-	x	x	x
C2-12	1	24	4	9,7	84,0	x	x	-	-
C3-8	5	5	25	11,7	80,7	-	x	x	x
C9-4	7	16	21	14,7	75,8	-	xx	-	-
C3-12	28	1	26	18,3	69,7	-	x	x	x
C8-5	54	4	10	22,7	62,5	-	xx	-	-
C12-1	34	29	16	26,3	56,5	x	x	x	-
C10-10	11	29	39	26,3	56,5	-	xx	-	x
C12-6	47	33	6	28,7	52,6	x	-	-	-
C9-6	13	70	5	29,3	51,5	-	x	-	-
C4-6	25	46	18	29,7	51,0	x	-	-	-
C2-10	6	49	36	30,3	49,9	x	x	x	x
C8-7	12	49	31	30,7	49,3	-	xx	-	-
C10-9	14	56	22	30,7	49,3	-	xx	-	x
C11-7	63	7	24	31,3	48,2	-	x	-	x
C5-8	22	32	42	32,0	47,1	-	x	x	xx
C7-3	51	23	24	32,7	46,0	-	-	x	x
C6-11	60	20	18	32,7	46,0	-	xx	x	x
C12-9	9	78	15	34,0	43,8	x	x	-	-
C7-2	26	76	2	34,7	42,7	-	-	-	x
C8-2	4	30	70	34,7	42,7	-	xx	-	-
C3-10	53	14	38	35,0	42,1	-	x	x	x
C4-9	8	34	64	35,3	41,6	x	x	x	x
C9-5	31	32	44	35,7	41,0	-	xx	-	-
C2-5	68	21	21	36,7	39,4	-	x	-	-
C4-7	10	33	67	36,7	39,4	x	x	x	-
C5-5	19	36	57	37,3	38,3	-	x	x	xx
C1-2	96	9	8	37,7	37,7	-	xx	-	-
C3-5	39	31	43	37,7	37,7	-	x	x	x
C5-2	36	40	38	38,0	37,2	-	x	-	xx
C5-9	24	55	35	38,0	37,2	-	x	x	xx
C8-9	27	35	54	38,7	36,1	-	xx	-	-
C1-11	80	37	7	41,3	31,7	-	xx	-	-
C2-9	18	94	13	41,7	31,1	x	x	x	-
C9-10	21	64	40	41,7	31,1	-	xx	-	-
C5-7	48	38	40	42,0	30,6	-	x	x	xx

Selección Recurrente



Mejoramiento Molecular

- Selección genómica amplia – GWS (~200 pls cada especie)
- Asociación Genómica - GWAS
- 162.026 SNPs em 27.651 sondas (proyecto piloto)



- 49.567 (21.211) SNPs *C. arabica*;
- 33.485 (18.111) SNPs *C. canephora*

Mejoramiento Molecular

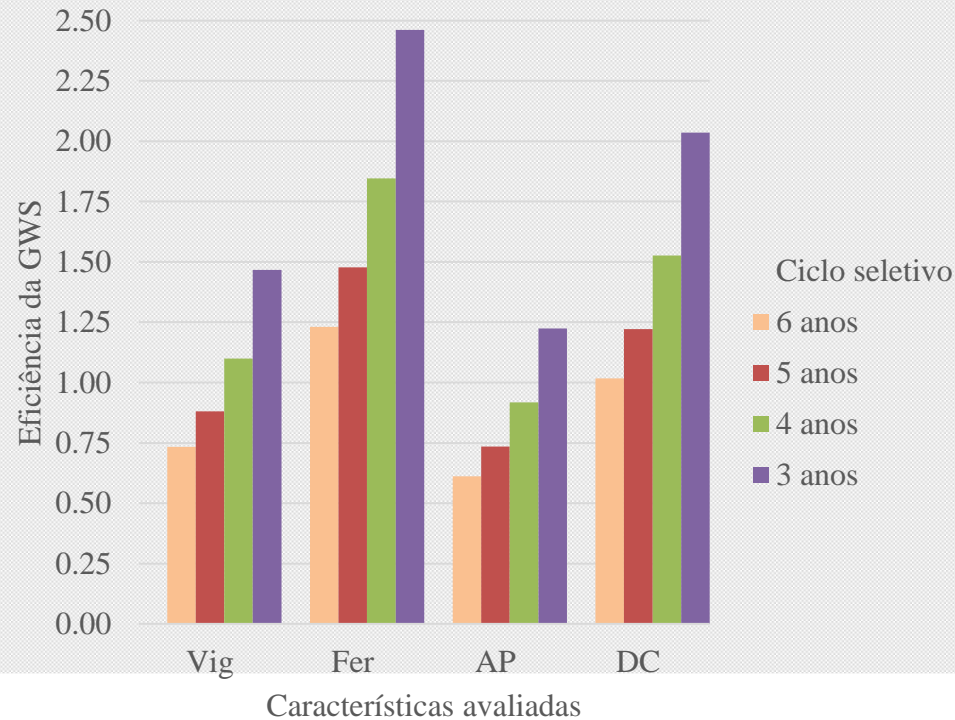
Selección genómica GWS - GWAS

- Genotipado - 195 cafetos arábica (21.211 SNP) e 165 canephora (18.111 SNP)
- Fenotipado de arábica – 18 características (producción, longitud de la hoja, ancho de la hoja, longitud de la rama, N° de nudos reproductivos, N° de nudos vegetativos, N° de frutos, volumen de frutos, altura de planta, diámetro de copa, diámetro del tallo, tamaño del fruto, uniformidad de maduración, ciclo de maduración, incidencia a roya, incidencia a cercosporiosis)
- Fenotipado canephora – 8 características (vigor vegetativo, incidencia a Roya, incidencia a cercosporiosis, ciclo de maduración, tamaño de fruto, altura de planta, diámetro de copa, producción)

Mejoramiento Molecular

Selección genómica GWS

- Ajuste de modelos estadísticos
- Selección de café por GWS

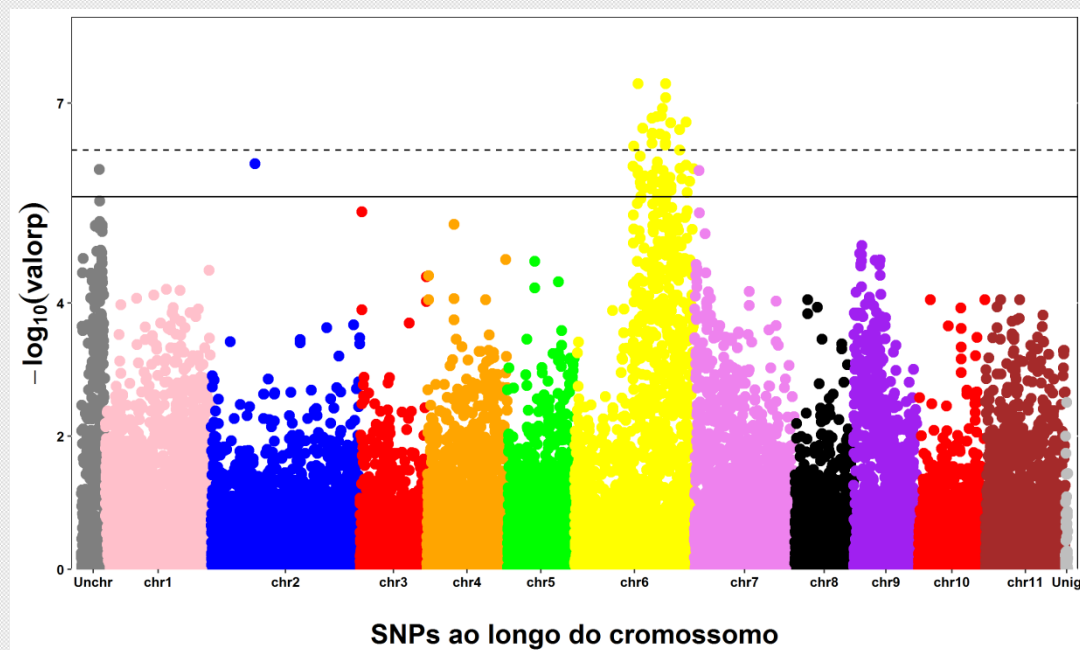


Mejoramiento Molecular

Selección genómica GWAS

Altura de planta

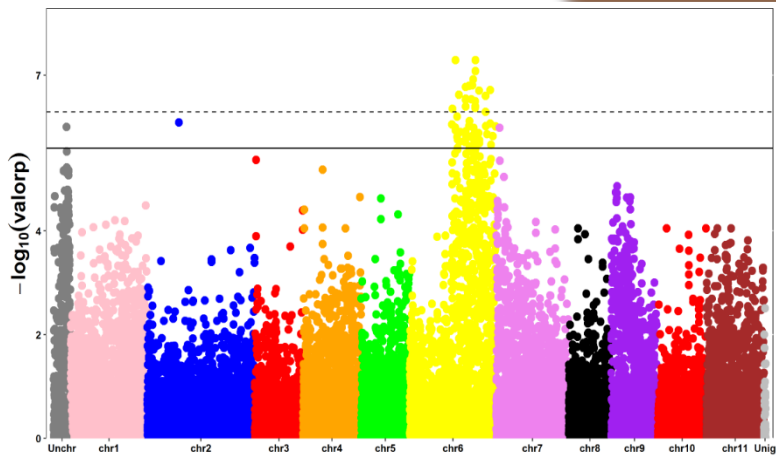
- 56 SNP significativo
- chr2, chr6 e chr7



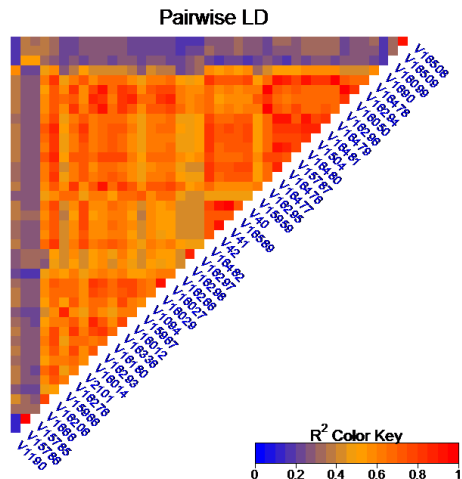
Mejoramiento Molecular

32858769

Selección genómica GWAS



SNPs ao longo do cromossomo

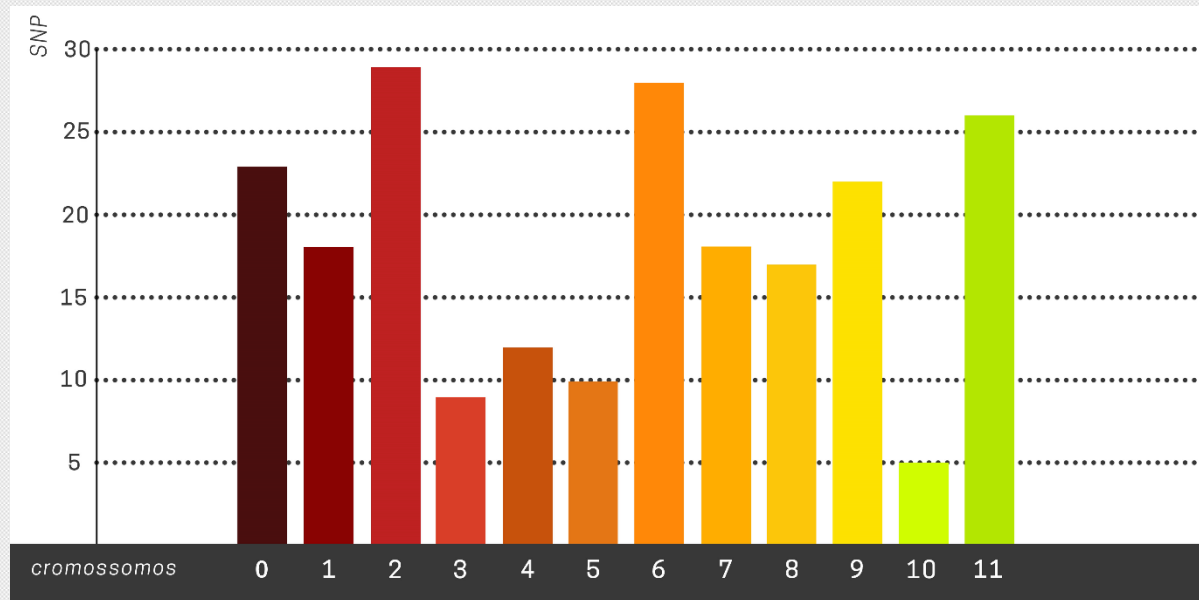


SNP	Posição	Chr	Alelo	Alelo favorável	Efeito
V17031	677592	chr7_c	C/T	T	1,7071
V15914	17010018	chr6_e	A/G	A/G	1,0618
V15966	18683698	chr6_c	G/A	A	1,0975
V15967	18683725	chr6_c	C/T	T	1,0931
V16012	19668205	chr6_c	G/T	G	1,1055
V16014	19668268	chr6_c	G/C	G	1,0980
V16027	19711172	chr6_c	A/G	G	1,0926
V16029	19711182	chr6_c	A/T	T	1,0951
V16293	26937789	chr6_c	C/T	C	1,1125
V16276	27545120	chr6_c	A/G	A	1,1043
V16266	27673403	chr6_c	A/G	G	1,0772
V15785	30136750	chr6_c	T/C	T/C	1,0717
V15786	30136754	chr6_c	A/C	A/C	1,0760
V1190	30457537	chr6_c	G/C	G	1,1028
V1094	31352169	chr6_c	C/T	T	1,1041
V16180	32858769	chr6_c	G/A	A	1,0951
V16206	33299570	chr6_c	A/G	G	1,1101
V1666	33759015	chr6_e	T/G	T	1,1670
V2101	37696025	chr6_c	A/C	C	1,1102
V16391	43620472	chr6_e	T/A	A	1,1053
V16392	43620494	chr6_e	G/A	G	1,1078
V16395	43620540	chr6_e	C/T	C	1,0993
V16418	47341413	chr6_e	T/C	C	1,3918
V16762	51038354	chr6_e	C/A	A	1,0565
V16744	51085545	chr6_e	G/A	A	1,1034
V16709	51312825	chr6_e	T/C	T	1,2009

Mejoramiento Molecular

32858769
CC

Selección genómica GWAS



- SNP em genes
- Conoce los genes

Mejoramiento Molecular

Marcadores Moleculares

Pre-mejoramiento

Conservación de
germoplasma

Selección de
progenitores

mejoramiento

Método de
mejoramiento

Confirmación
de híbridos

Selección-
SAM

Post-mejoramiento

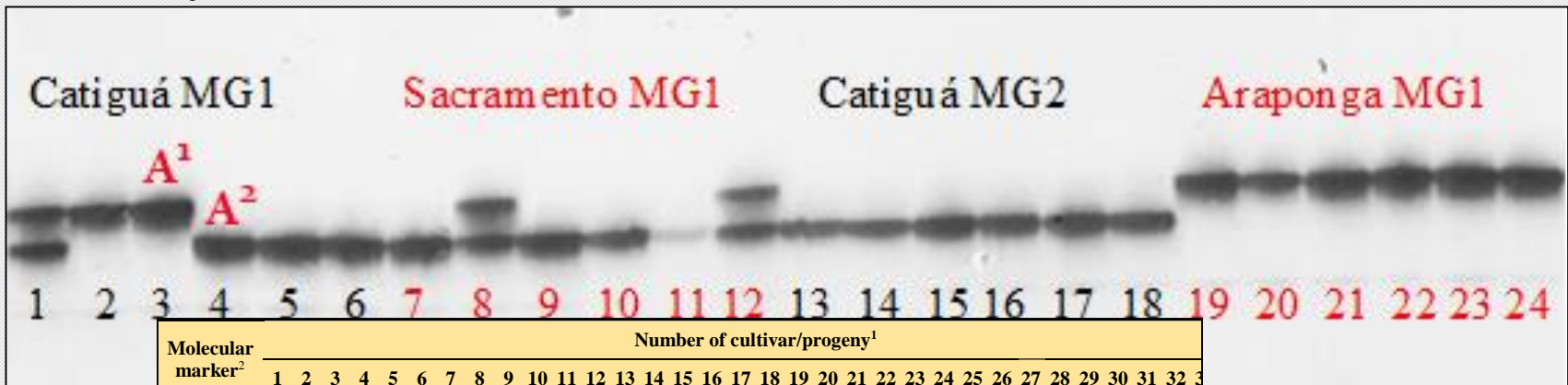
Identidad de
cultivares

Pureza
genética

Mejoramiento Molecular

Pós-mejoramiento

- Caracterización molecular de cultivares
- Análisis de más de una planta por cultivar
- Conjunto de 16 marcadores SSR



Molecular marker ²	Number of cultivar/progeny ¹																																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32			
CaEST-001	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	12	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1			
CaEST-002	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	1	2	2	3	2	13	2	2	2	3	3	3	3	1	3	3	1	2	2	3	3	1			
CaEST-022	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
CaEST-024	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	1	1	1	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12				
CaEST-028	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2				
CaEST-029	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2				
CaEST-030	12	12	12	12	12	12	12	12	12	2	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12				
CaEST-031	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	1	1	13	1	1	2	2	3	1	1	3	3	13	1	1	1	1	13				
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	12	1	2	1

Muchas Gracias!!

Eveline Teixeira Caixeta
eveline.caixeta@embrapa.br

