

Ciclo de maduración y su relación con la fructificación en progenies de *Coffea arabica* L.: comprendiendo la dinámica de la producción del café en Colombia

Carlos Andres Unigarro Muñoz
Fisiología Vegetal - Cenicafé.
Manizales - Caldas.

Organizan



Apoyan



1er Simposio Colombo - Brasileño

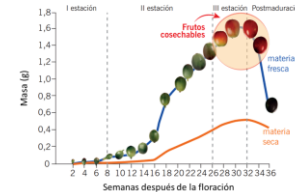
Ecofisiología del Café

Avances científicos e innovaciones para enfrentar los desafíos actuales y futuros en los agrosistemas

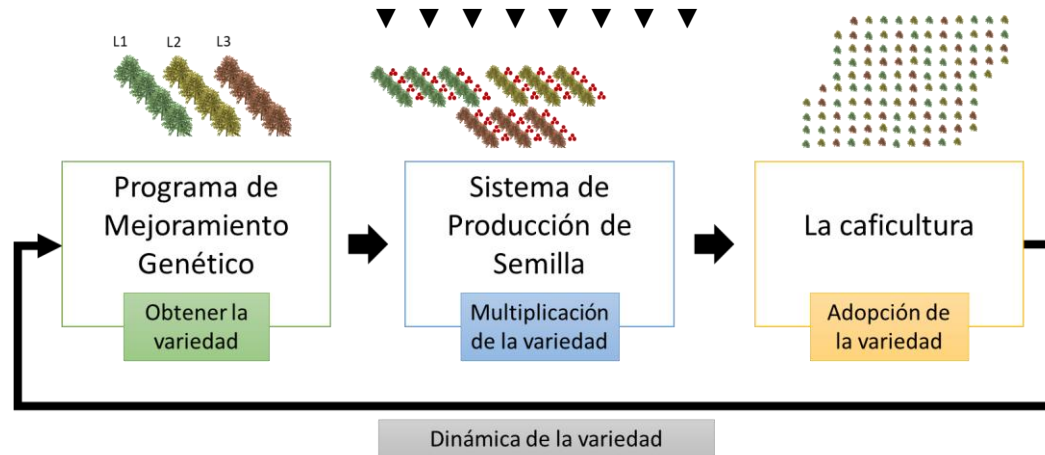
Procesos fenológicos en paralelo.

Expresión fenológica.

La floración

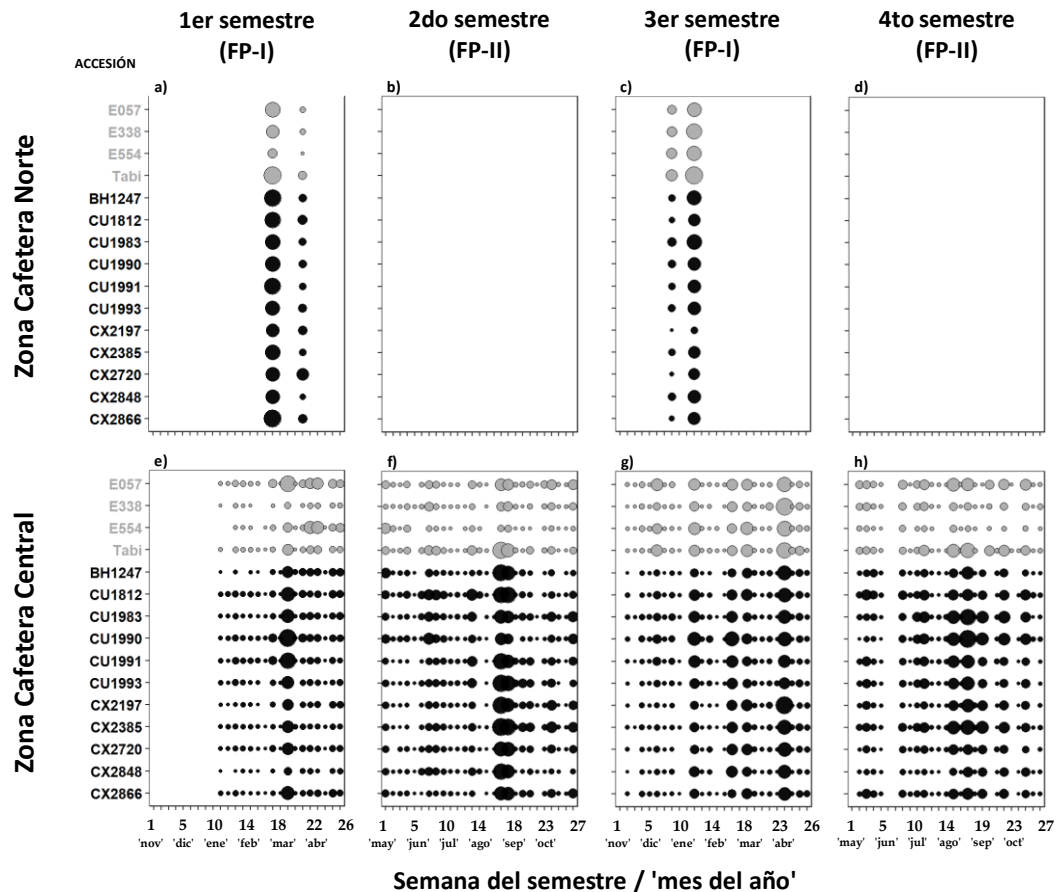


La fructificación



Floración.

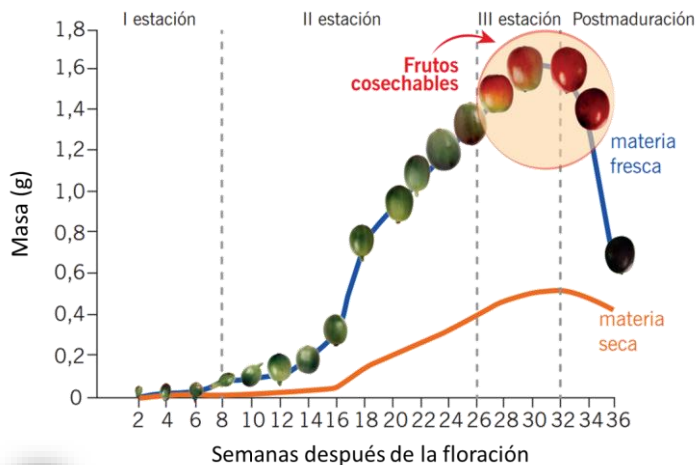
Fenología de la floración en Colombia.



Fructificación.

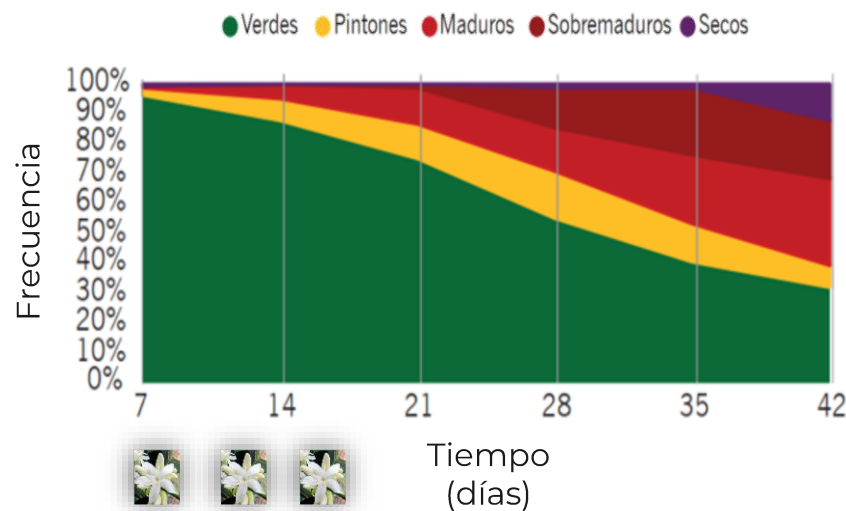
Contexto fenológico.

“Variabilidad por desarrollo de las yemas”



1

“Variabilidad por los eventos de floración”



1



2



3

Fructificación

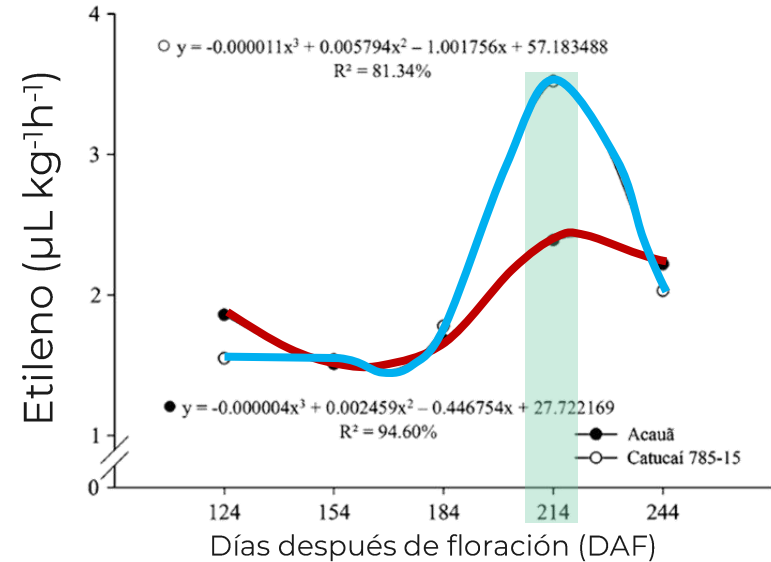
Duración del ciclo de maduración del fruto.



Fructificación

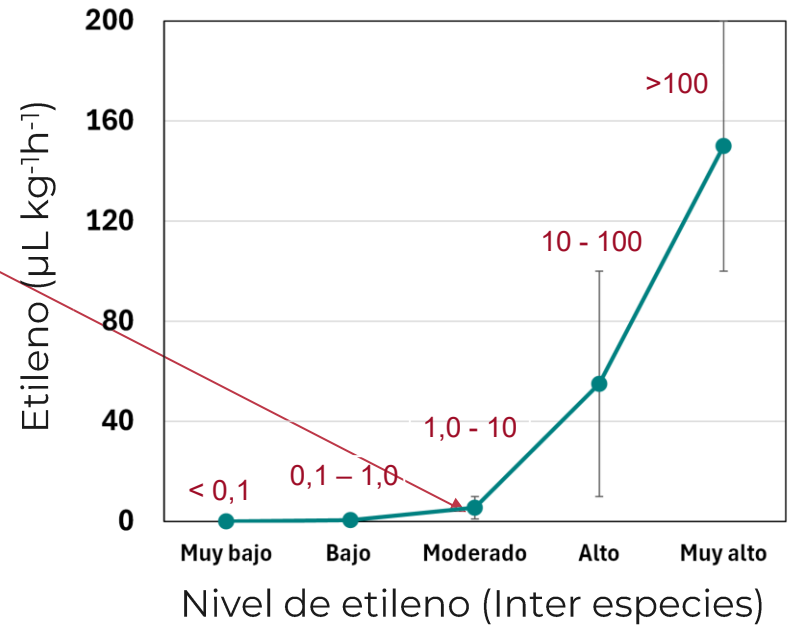
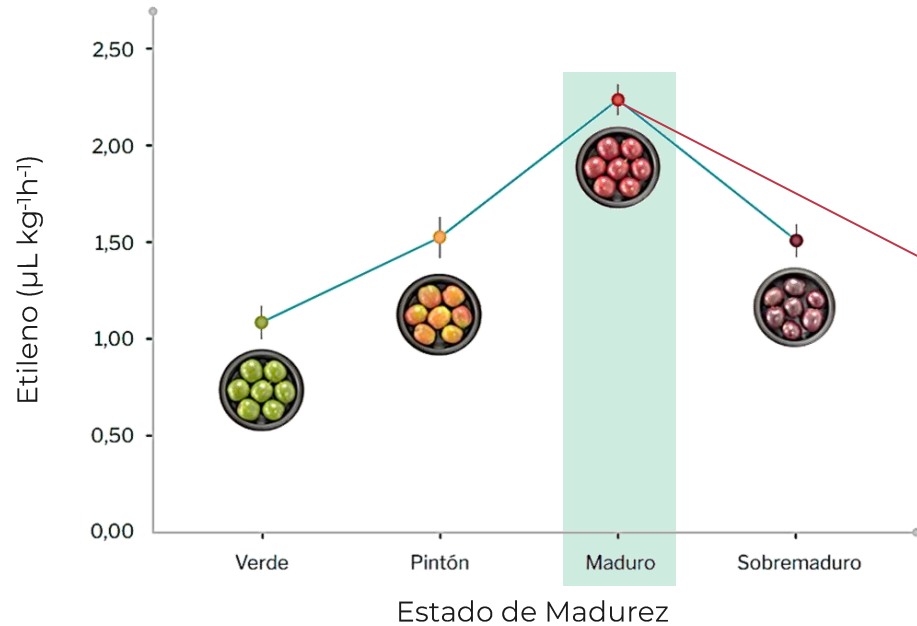
Variabilidad en el ciclo de maduración.

		Verde	Verde-Amarillo	Cereza	Pasa	Seco
						
	DAF	Percentage (%)				
Tardía	Acauã					
	124	95	5.0	-	-	-
	154	72.5	-	27.5	-	-
	184	24.2	-	74.1	0.7	-
	214	6.2	-	86.5	7.3	-
	244	3.0	-	69.1	27.2	0.7
Temprana	Catuaí 785-15					
	124	92.3	5.0	2.7	-	-
	154	58	-	42	-	-
	184	13.1	-	84	1.7	1.2
	214	3.3	-	89	7.0	0.7
	244	1.5	-	70.2	26.3	2.0



Fructificación

Maduración y climaterio.



Fructificación

Variabilidad en el ciclo de maduración.

Temprana



Acaiá Cerrado MG-1474
(DDF= 174-193 días)
(-) Calidad



La diferencia
reportada es
de 31-33 días.



Tardía



Catuaí Amarelo IAC-62
(DDF= 205-226 días)
(+) Calidad



Fructificación

Relación Maduración - Carga en variedades compuestas.

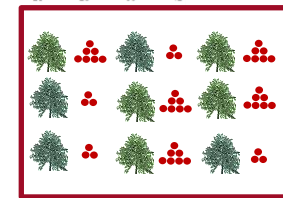
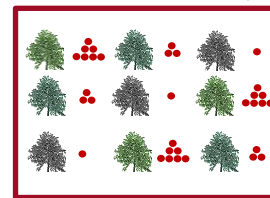
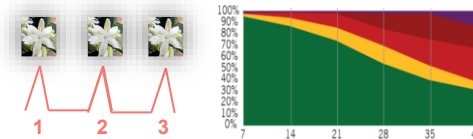
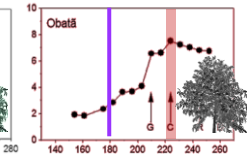
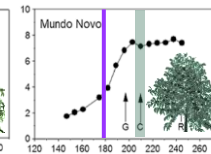
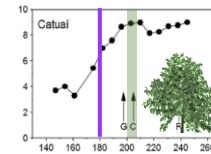
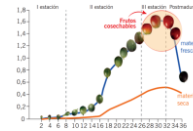
Relación Maduración - Carga

Variabilidad por desarrollo de las yemas

Variabilidad por ciclo de maduración

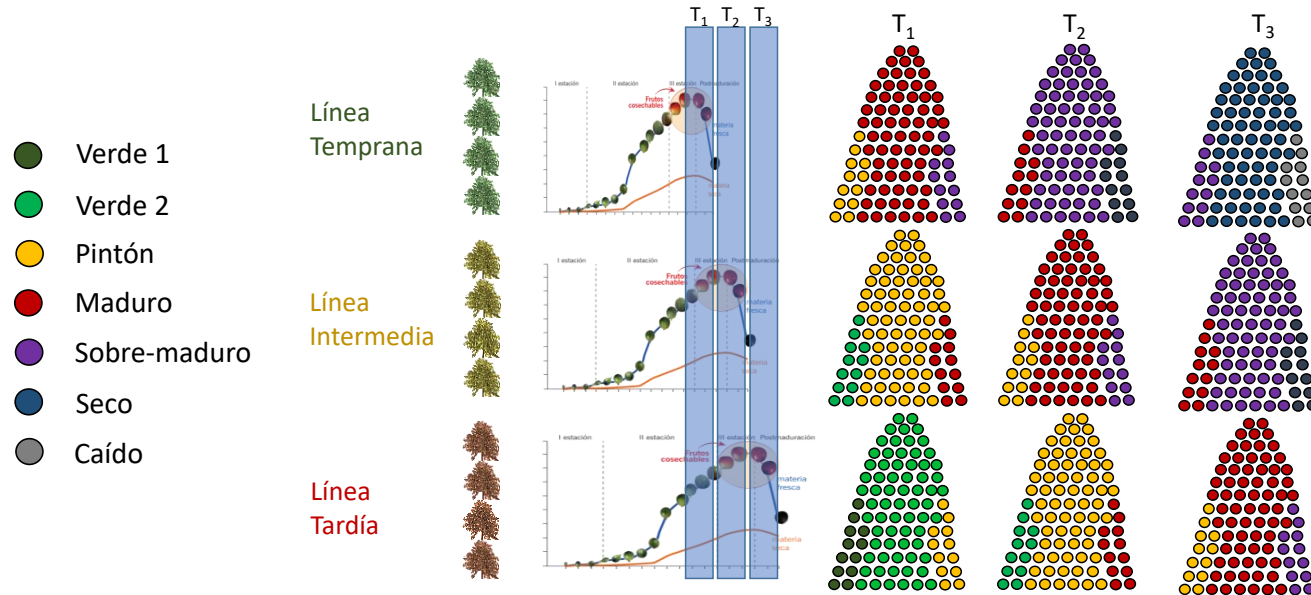
Variabilidad por los eventos de floración

Variabilidad en frecuencia y densidad



Objetivo

Clasificar el ciclo de maduración del fruto de las progenies desarrolladas para la caficultura colombiana, y su efecto en la dinámica de la carga de frutos.



Materiales y métodos

Ubicación y material vegetal

Localización:

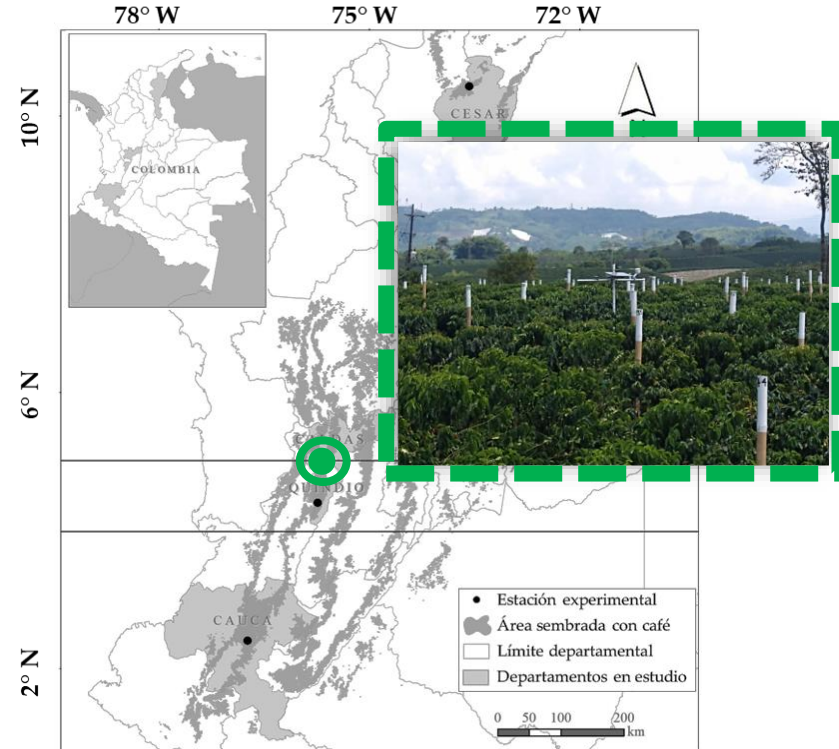
Estación experimental Naranjal
(4°58'19.1"N, 75°39'8.2"W; 1407 m), Caldas,
Colombia.

Material vegetal:

- 36 progenies de seis cruzamientos de *C. arabica*. [7 Intra-específicos, 29 Inter-específicos].

Periodo:

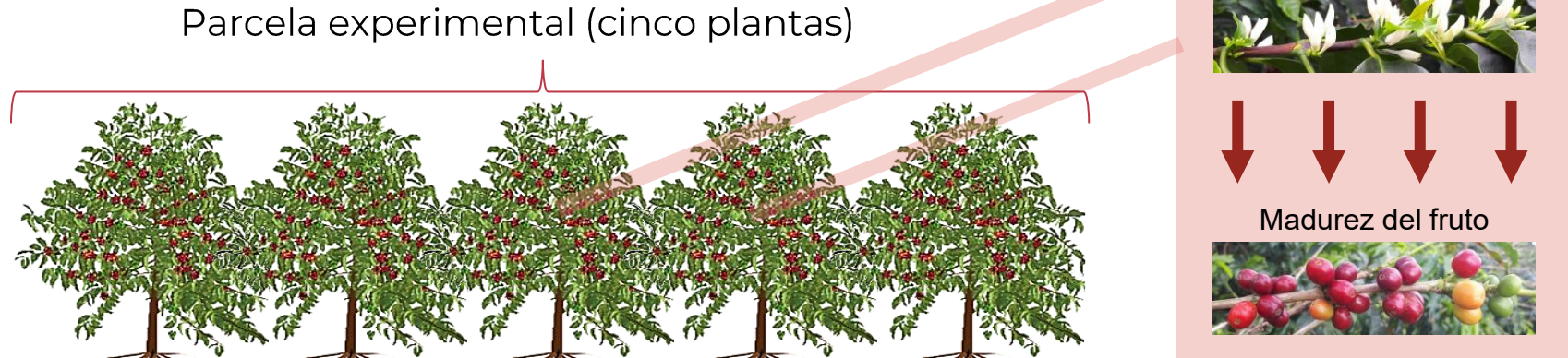
Cosecha de “mitaca” (abril 2024).
Cosecha principal (septiembre 2024).



Materiales y métodos

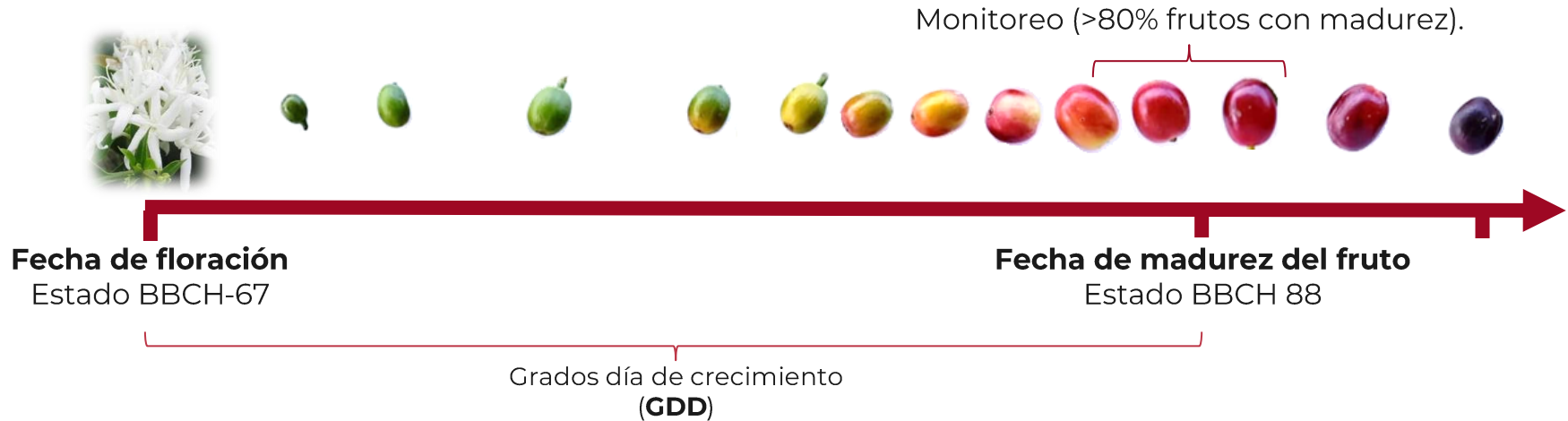
Unidad medida (Parcela experimental)

En la parcela experimental se marcaron dos ramas de diferentes plantas. En cada rama, cinco nudos fueron monitoreados desde la floración hasta la fecha cuando el 80% de los frutos lograron la madurez.



Materiales y métodos

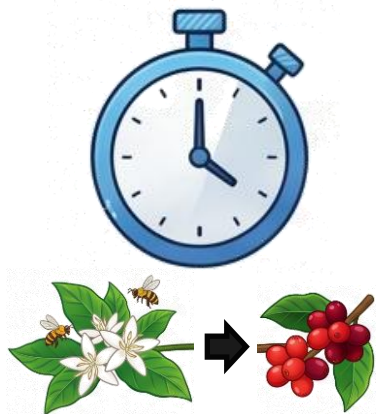
Ciclo de maduración del fruto (variable de respuesta):



Materiales y métodos

Variables complementarias:

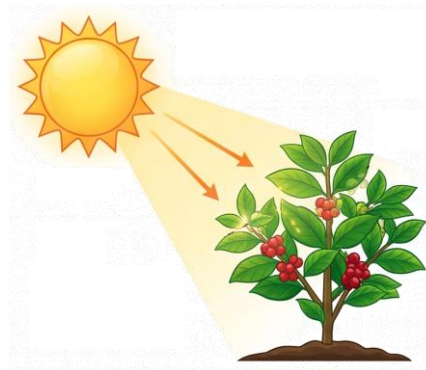
Tiempo cronológico
(**CTFR**: días después
de floración)



Lluvia (**R**: mm)



Radiación
fotosintéticamente activa
(**PAR**: 10^6 mol m^{-2})



Producción por pase
de cosecha (kg)



Materiales y métodos

Análisis de los datos

Clasificación de líneas por Ciclo de maduración (GDD):

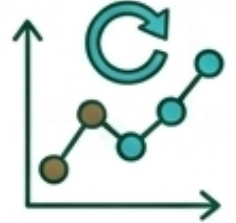
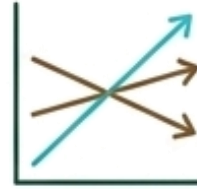
- Método de k-means → CLÚSTERES DE MADUREZ.

Comparación de los clústeres (conjuntos de variables):

- Análisis de varianza multivariable semi-paramétrico tipo-ANOVA modificado con medidas repetidas.

Comparación clústeres (Dinámica producción):

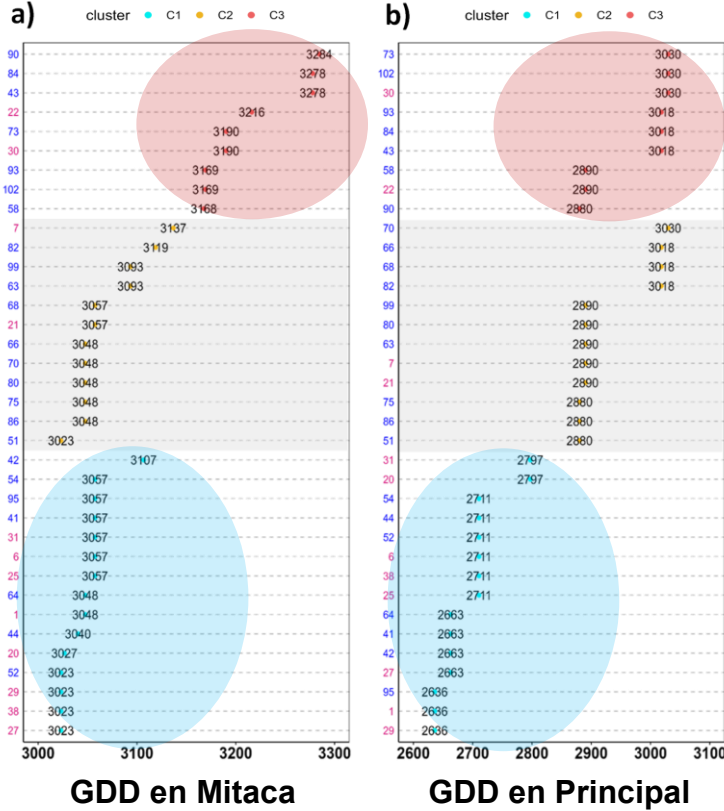
ANOVA no-paramétrico para datos longitudinales usando una estructura de diseño F1-LD-F1.



Resultados

Ciclos de maduración

Hibridación [Intra.H. & Inter.H.] | Progenie [#]



C3: Madurez tardía (25%)

8.6 meses (mitaca)

8.2 meses (principal)

C2: Madurez estable (33%)

8.2 meses (mitaca)

8.0 meses (principal)

C1: Madurez temprana (42%)

8.2 meses (mitaca)

7.3 meses (principal)

Tiempo cronológico

Diferencia máxima entre progenies:

21 días (mitaca)
35 días (principal)

De maduro a seco (14 días) (Marín et al. 2003)

Criterio 10 días de diferencia

13 días
Progenies que pueden sincronizarse:

25 días

1

2

3

Ciclos de maduración

El análisis de varianza multivariado mostró que el efecto de los clústeres de madurez también depende de la cosecha (interacción).

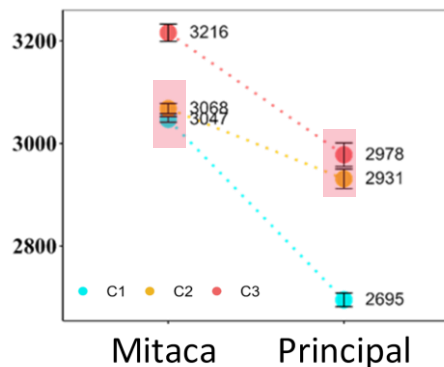
Factor	Prueba estadística	PBS p-valor
Clúster	941.11	<0.001
Cosecha	1023.537	<0.001
Clúster x Cosecha	309.309	<0.001

Estimación del p-valor usando la aproximación de Bootstrap Paramétrico (PBS) para GDD, CTFR, PAR, R.

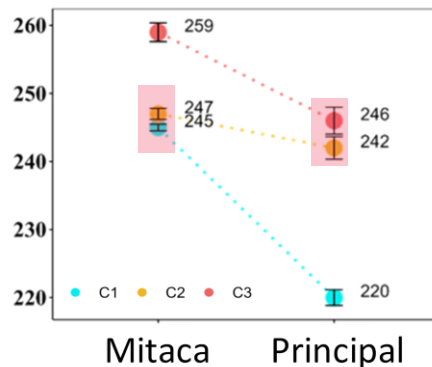
Ciclos de maduración

Diferentes estrategias en el proceso de maduración de las progenies.

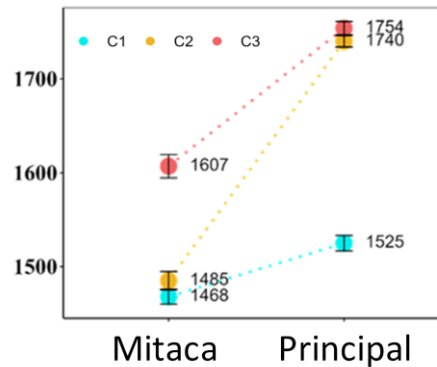
Grados-día de crecimiento (GDD)



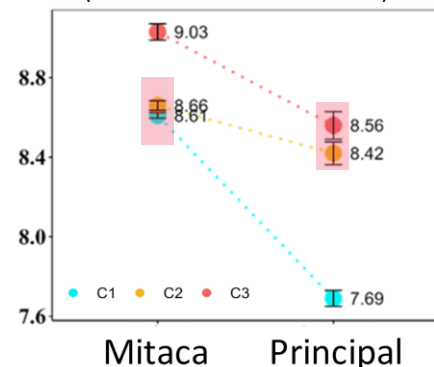
Tiempo (CTFR: días después de floración)



Lluvia (R: mm)



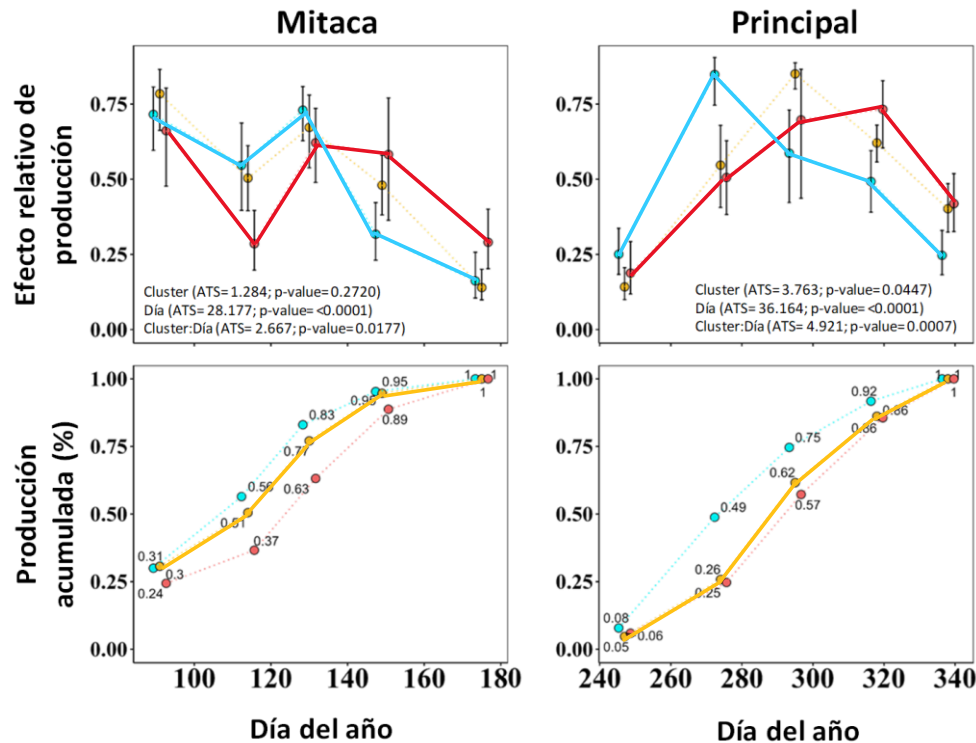
Radiación fotosintéticamente activa (PAR: 10^6 mol m^{-2})



● Madurez temprana ● Madurez estable ● Madurez tardía

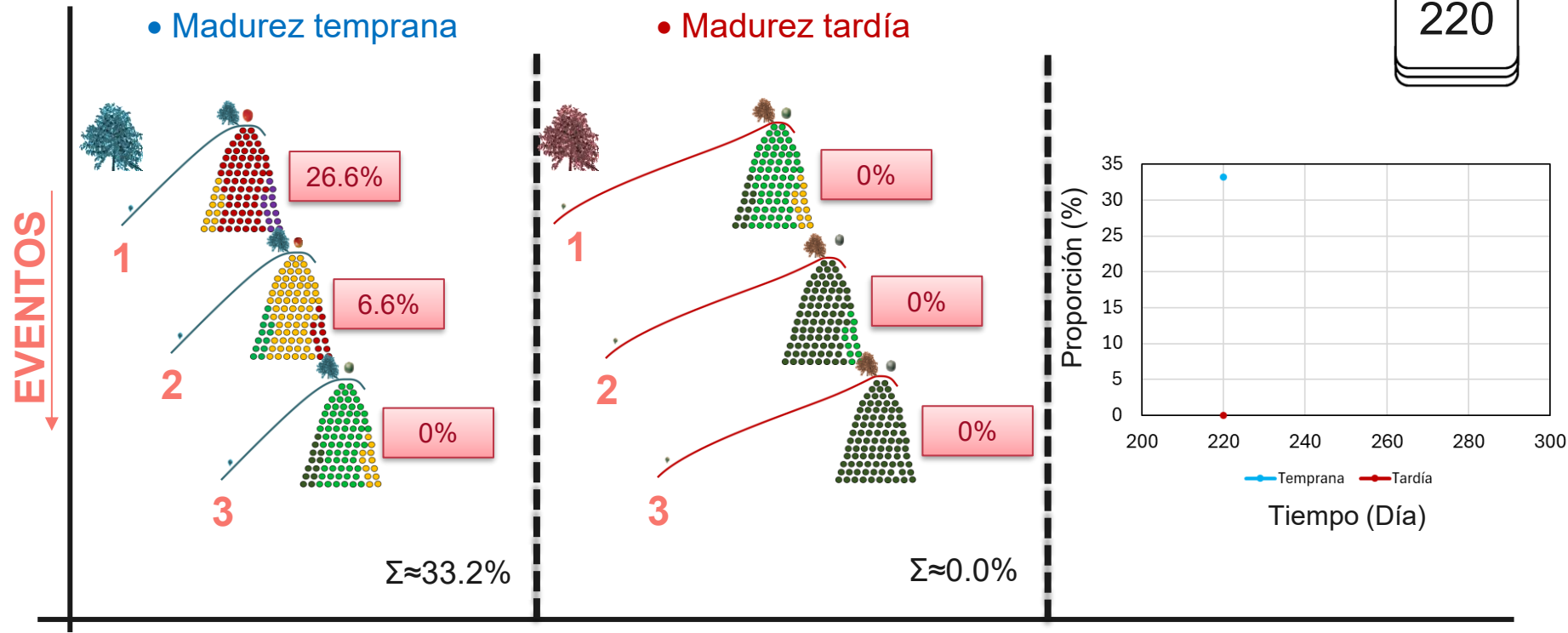
Ciclos de maduración y carga de frutos

Efecto del ciclo de maduración en la dinámica de la carga de frutos.

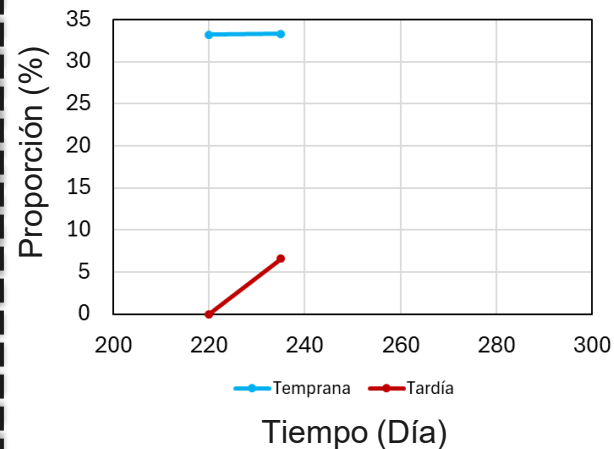
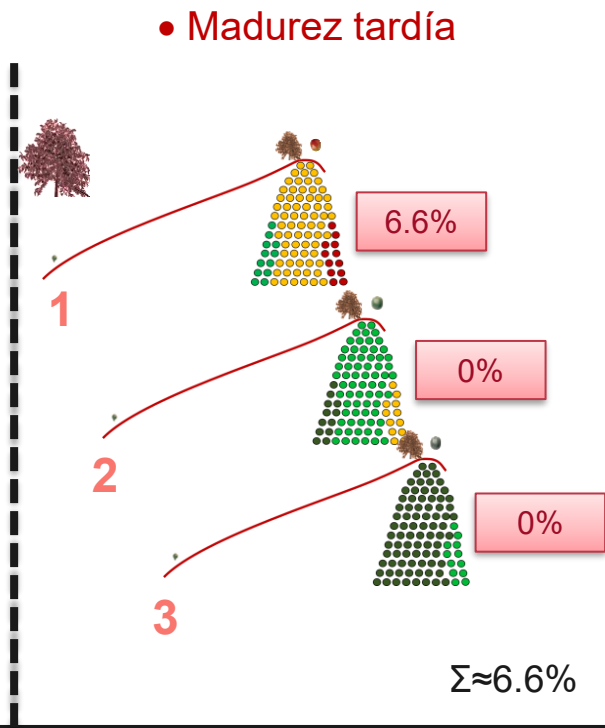
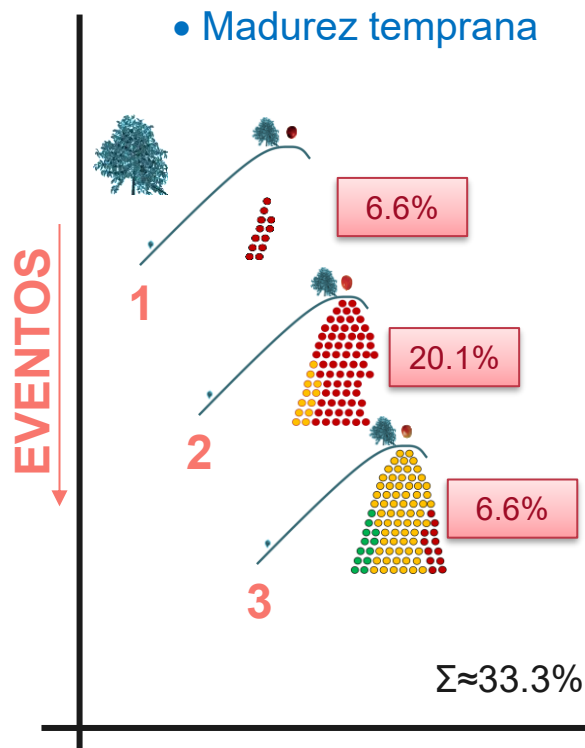


- Madurez temprana
- Madurez estable
- Madurez tardía

Relación carga – maduración: Teoría



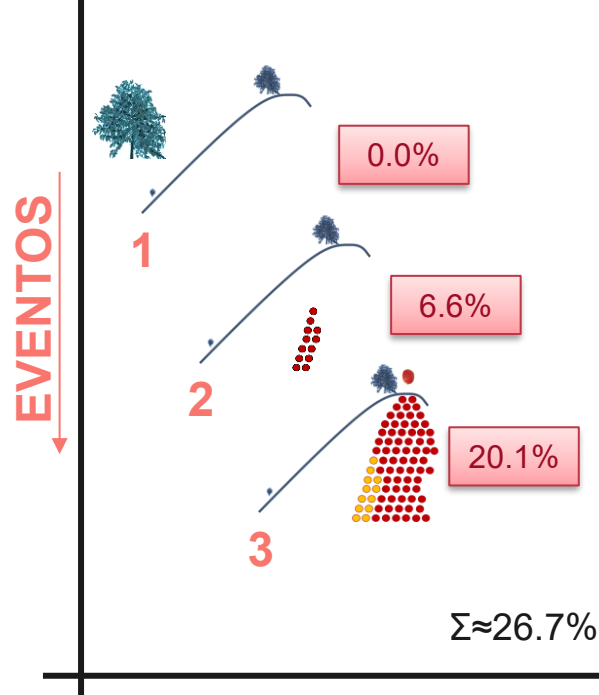
Relación carga – maduración: Teoría



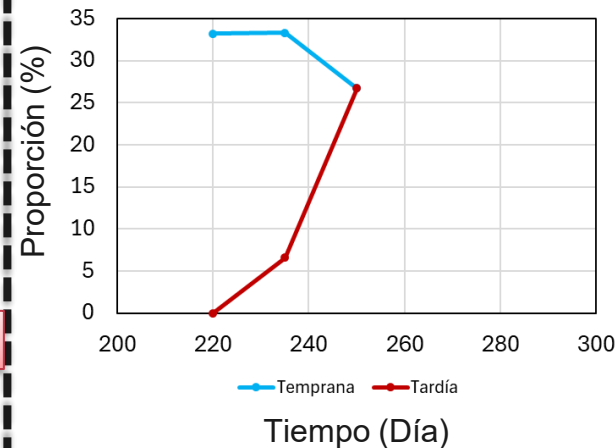
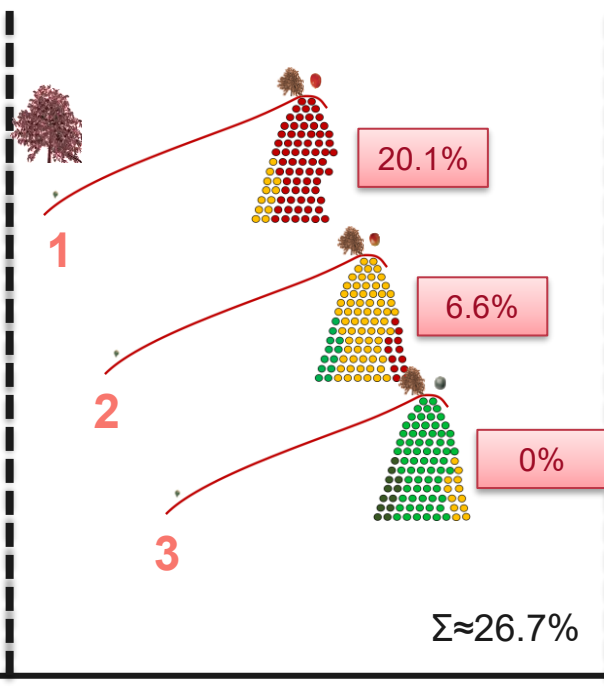
Relación carga – maduración: Teoría



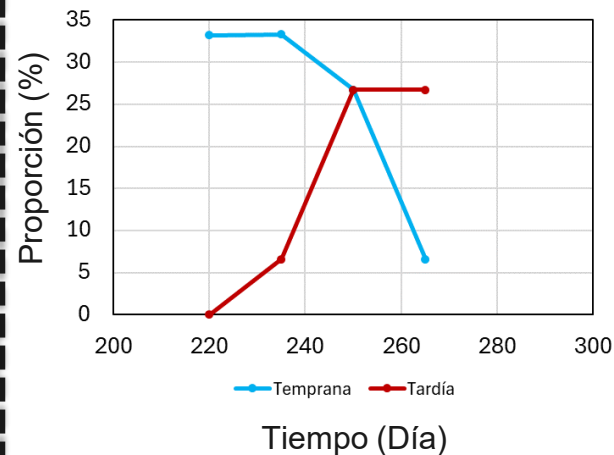
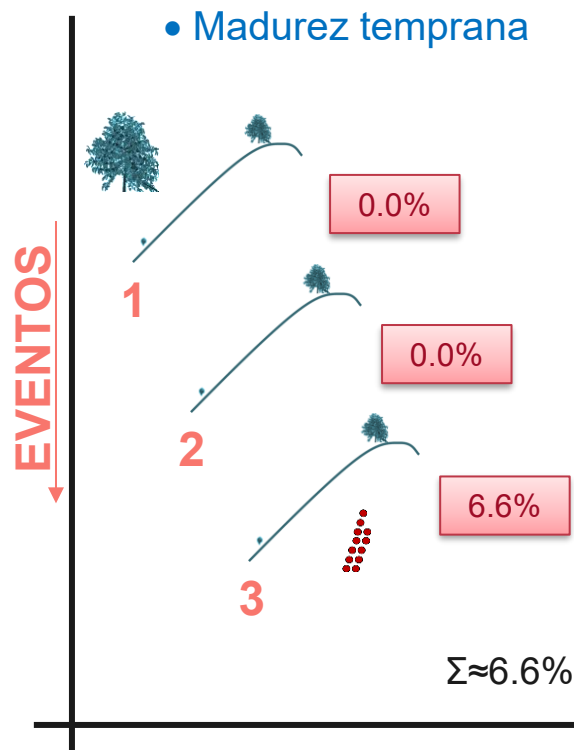
• Madurez temprana



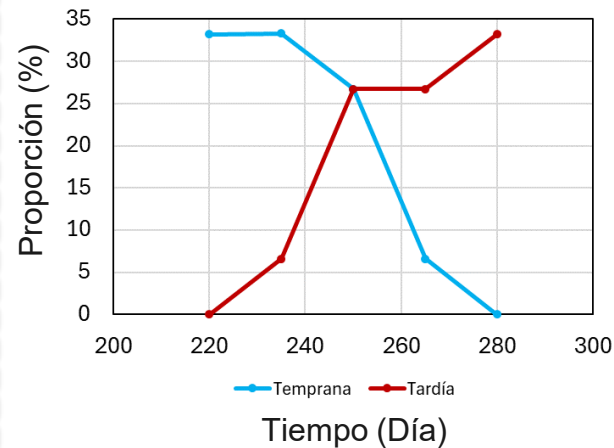
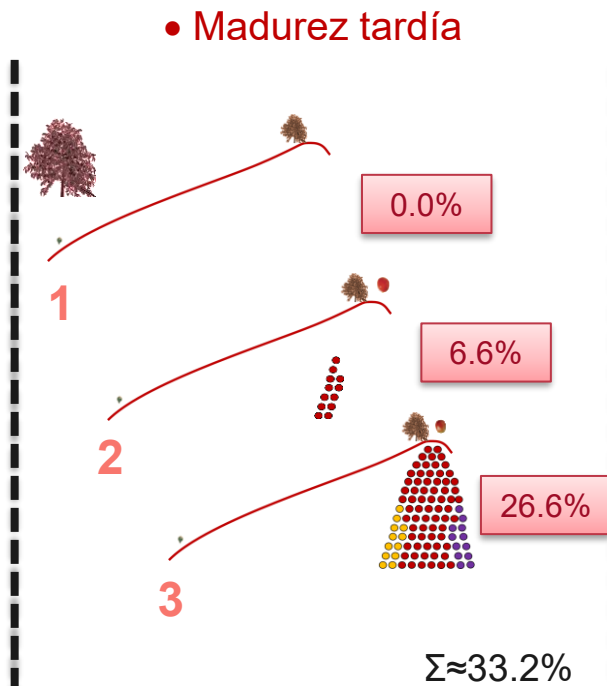
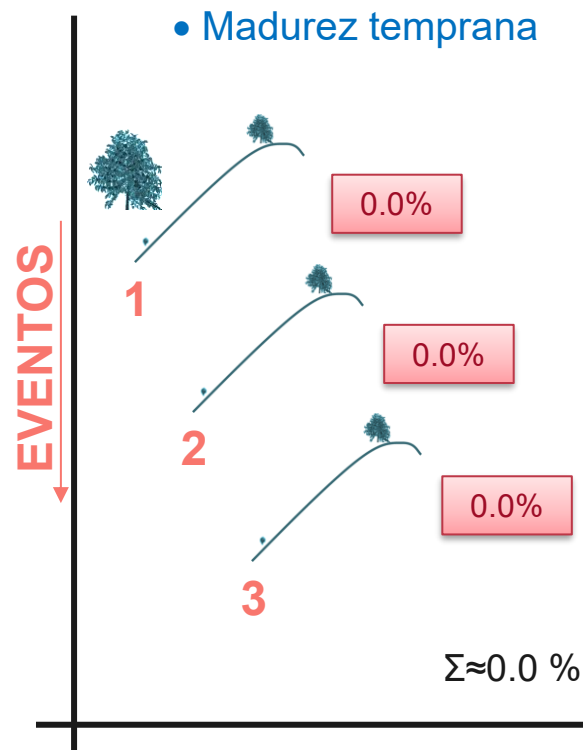
• Madurez tardía



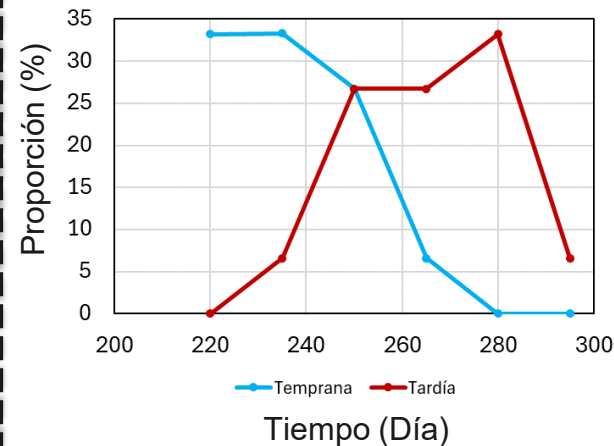
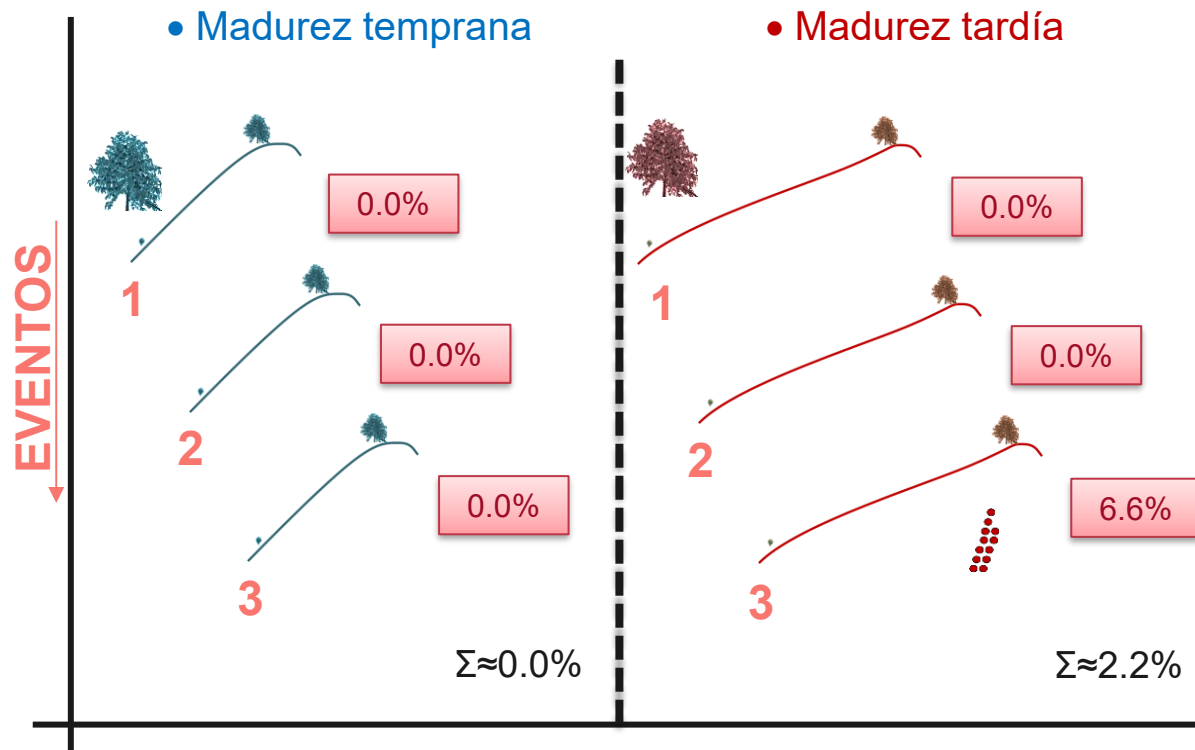
Relación carga – maduración: Teoría



Relación carga – maduración: Teoría

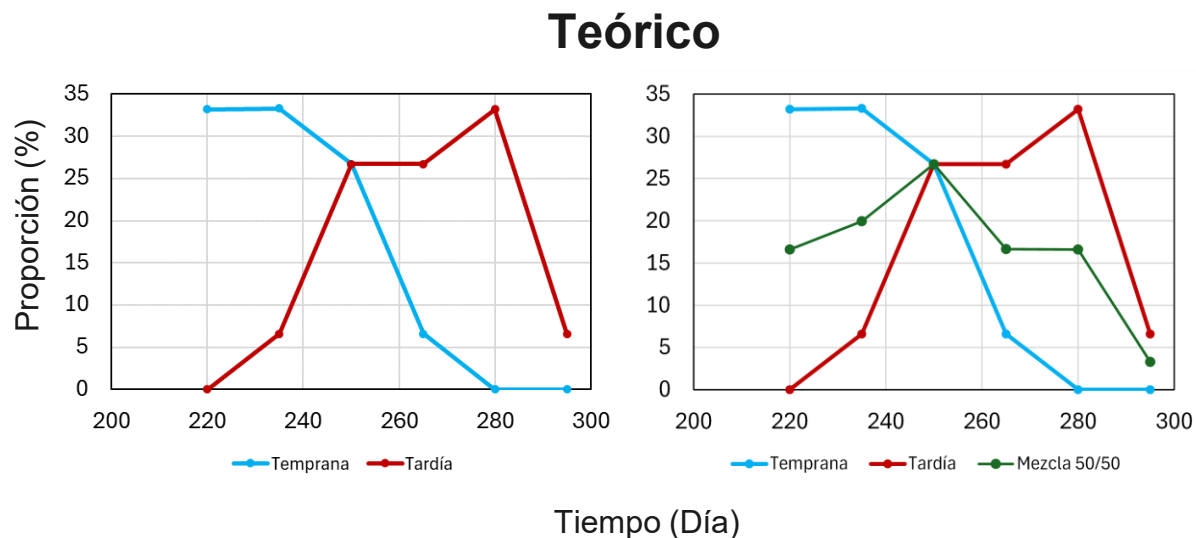
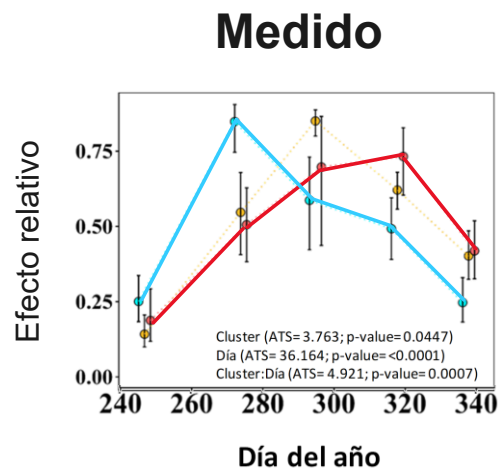


Relación carga – maduración: Teoría



Relación carga – maduración: Teoría

Efecto del ciclo de maduración en la dinámica de la carga de frutos.



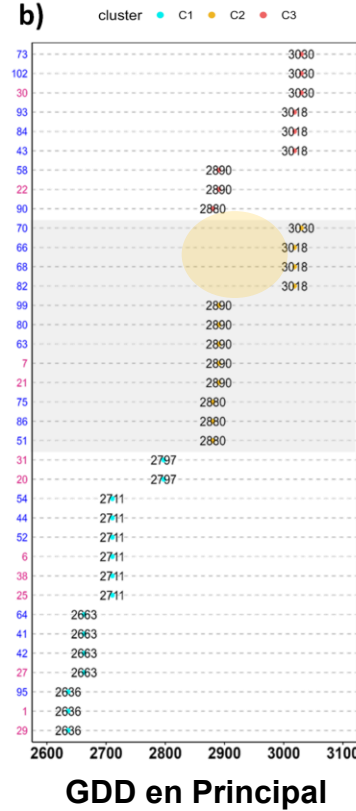
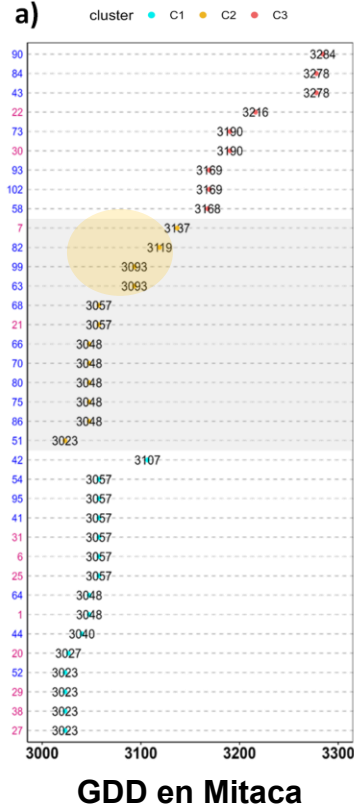
Ciclos de maduración – Progenies actuales

Hibridación [Intra.H. & Inter.H.] | Progenie [#]

C3: Madurez tardía (25%)

C2: Madurez estable (33%)

C1: Madurez temprana (42%)



Líneas de Cenicafé 1

CU1819
CU1825
CU1953
CU2021
CU2034

Tiempo cronológico

8.2 meses
(mitaca)

8.0 meses
(principal)

Conclusión

En variedades compuestas, la clasificación de las progenies de café por la duración del ciclo de maduración es un criterio para optimizar la concentración de frutos maduros durante los picos recolección bajo las condiciones de la caficultura colombiana.

Esto tiene implicaciones en:

- La retención de pases de recolección.
- La eficiencia de la mano de obra.
- Implementación de sistemas de cosecha asistida.

Publicaciones



Flowering and Fruiting of *Coffea arabica* L.: A Comprehensive Perspective from Phenology.

Carlos Andres Unigarro, Daniel Gerardo Cayón, Andrés Felipe León-Burgos, Claudia Florez.

<https://doi.org/10.3390/plants14213396>



Ripening cycle and its relationship with fruiting in advanced *Coffea arabica* L. progenies derived from intra- and interspecific crosses.

Carlos Andres Unigarro, Aquiles Darghan, Daniel Gerardo Cayón, Claudia Florez.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2026.1860074>

Agradecimientos

Fisiología vegetal

Claudia Valencia Vera.
Marta Escobar Pulgarín.
Tatiana Saldaña Villota.
Aristófeles Ortiz.
Jhon Ladino Quintero.

Biometría

Luis Imbachi.

Experimentación

Jhon Trejos Pinzón.

Fitotecnia

Andrés León, Raúl Rendon.

Mejoramiento Genético

Claudia Flórez Ramos.

Gerencia Técnica

Álvaro Gaitán Bustamante.

Dirección de Cenicafé

Santiago Jaramillo Cardona.

Planeación financiera y presupuesto

Leidy Tatiana Rincón.
Valentina Sepúlveda Cardona.

Gestión de Bienes y Servicios – Mantenimiento

Personal de People Company

Universidad Nacional de Colombia

Aquiles Enrique Darghan.

A quienes aportaron con su tiempo y conocimiento.

Gracias por su tiempo.



Cenicafé®
Centro Nacional de Investigaciones de Café



cenicafe.org



Cenicafé FNC



@cenicafe



cenicafé



CenicaféFNC



@cenicafefnc