



Foro Latinoamericano-
Caribeño de Cacao

Desafíos y pautas para una cacaocultura moderna y sostenible en la región

Riesgo Competitivo y sobrevivencia de mazorcas de cacao para mejorar la estimación de cosecha a nivel de finca

Luis A. Barboza (UCR), Luis Orozco-Aguilar, Arlene López-Sampson, Mariela Leandro-Muñoz, María José Borda, Rolando H. Cerda, Melanie Bordeaux, Eusebio Ayestas, Eduardo Somarriba

*luisalberto.barboza@ucr.ac.cr

Fecha: 30 de agosto 2023



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

CIMPA

Centro de Investigación en
Matemática Pura y Aplicada



Introducción



Ciclo de vida de la mazorca de cacao:

- El ciclo de vida de las mazorcas tarda de 5 a 6 meses, involucra varias etapas de crecimiento y está influenciado por la genética, el clima y manejo.
- Los riesgos (plagas y enfermedades) interrumpen el crecimiento, afectando los rendimientos.
- Factores como el clon, la edad, la posición en el árbol y el microclima impactan la susceptibilidad de las mazorcas.

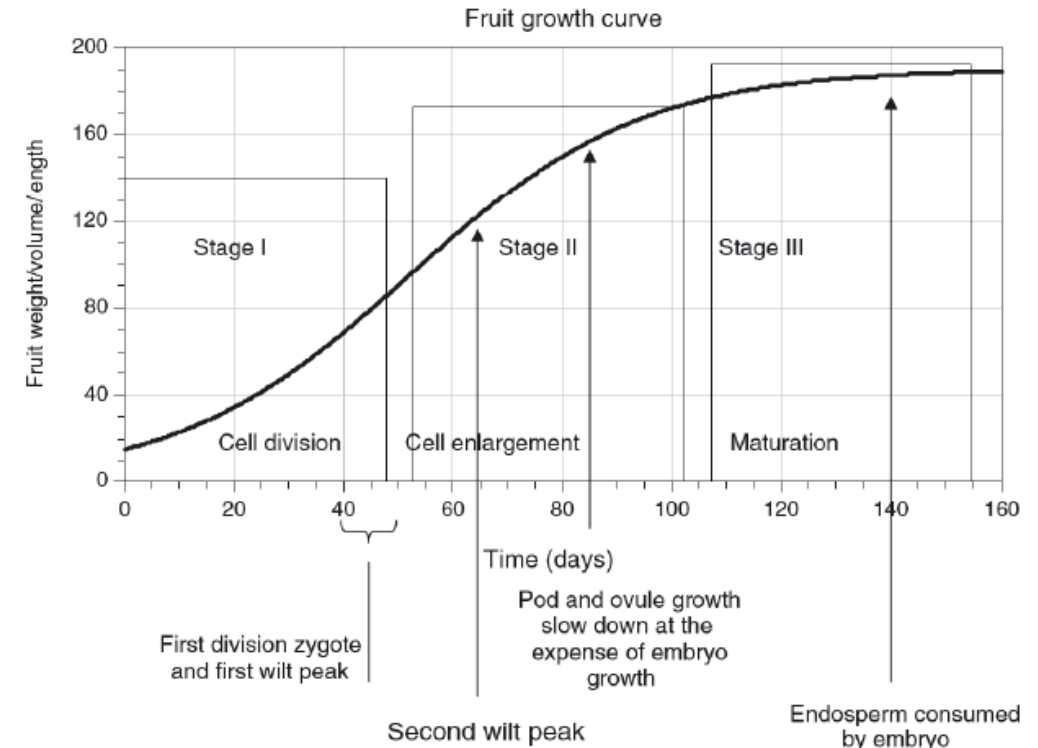


Figure 1 Sigmoid growth curve with specific cacao pod development periods as described by McKelvie (1956)

Introducción



Importancia de la Predicción de la Cosecha

- La predicción de cosecha de cacao es de **suma importancia** para los agricultores, equipos técnicos y los administradores de fincas.
 - Estimación de ingresos, la proyección de fondos, negocios con terceros.
 - Planificación de mano de obra y la evaluación de ganancias.
 - Influye en el costo de la certificación y gestión de créditos.
- Comprender los **riesgos en un agro-ambiente particular** es fundamental para una **estimación confiable** de la cosecha y para apoyar la **planificación agrícola**.

Preguntas de Investigación



¿Hasta qué punto la base genética de los clones de cacao influye en el comportamiento de sobrevivencia de las mazorcas?



¿Influye la posición de la mazorca a lo largo del tronco del árbol sobre la capacidad de las mazorcas para evitar riesgos múltiples?



¿Es el comportamiento de sobrevivencia de las diferentes generaciones de mazorcas distinto a lo largo del tiempo?

Justificación



Métodos para Estimar la Cosecha:

- La estimación de cosecha se basa en el conteo de mazorcas (*Pod counting*): # mazorcas de cierta clase de tamaño/edad, dividido por el índice de mazorca (# mazorcas para 1 kg de cacao seco) del cultivar/clon.
- Otro método consiste en la evaluación de la carga de mazorcas/árbol x factores de conversión (UTZ, 2016).

Completado por el
productor/personal técnico

Completado por el
productor/personal técnico

Árboles	Número de vainas por árbol/año	Número de árboles en el área de muestra ⁵	Cantidad de cacao seco por árbol (kg)/año ⁶	Cantidad de cacao seco (kg/año) para el área de muestra
Alto rendimiento	≥20	5	±1	5 x 1 = 5
Rendimiento medio	11-20	25	±0,6	25 x 0,6 = 15
Bajo rendimiento	≤10	9	±0,20	9 x 0,2 = 1,8
Total		39 árboles		21.8 kg

"Sin un control de PyE efectivo, se espera que se pierda hasta un 20 % del cultivo, y, por lo tanto tiene que deducirse del cálculo general de rendimiento anual".

Descripción de sitio y datos



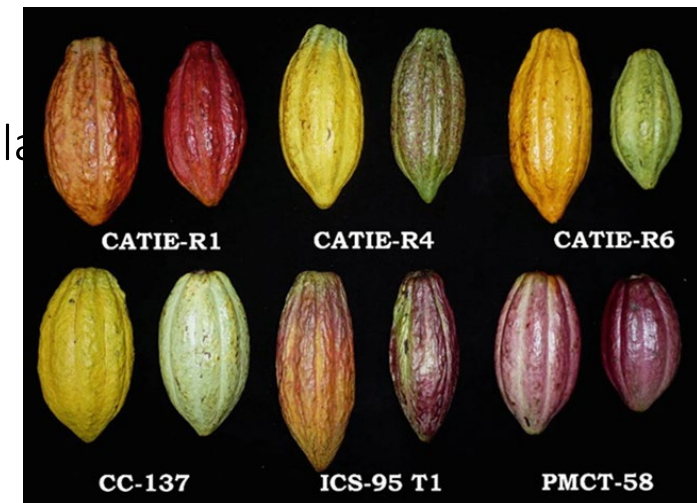
- SAF- 12 años, 1350 plantas/ha (2.5 x 3.0 m).
- Altitud: 610 m, unas 4.5 horas de luz/día.
- Lluvia: 2000-2500 mm/year, Temp: 25-30 °C
- Humedad Relativa (80%), Desyerba manual.
- Suelo: pH: 5.6, Materia Orgánica: 2.75%.
- Fertilización: 4 eventos/year, 250 g/planta.
- Cobertura: 50-70% (120 individuos/ha).
- *Swietenia macrophylla* + *Cordia alliodora* (60:40).



Descripción de sitio y datos



- Seis clones (PMCT-58, CC-137, CATIE-R1, CATIE-R4, ICS-95 y CCN-51).
- 5 a 12 árboles/clon (un total de 120 árboles).
- Entre 120 y 250 mazorcas/clon (+1000 mazorcas).
- Mediciones: diámetro del tronco, la altura del árbol, # de ramas principales y la longitud del tejido productivo.
- Toma de datos por 15 meses (Junio-2020-Diciembre-2021).
- Mazorcas de tres estaciones: lluviosa, transición y semi-seca.
- Estado de sanitario: sano, cherelle wilt, enfermedad (monilia + mazorca negra), dañada por plagas o cosechada, Cada 15 días.



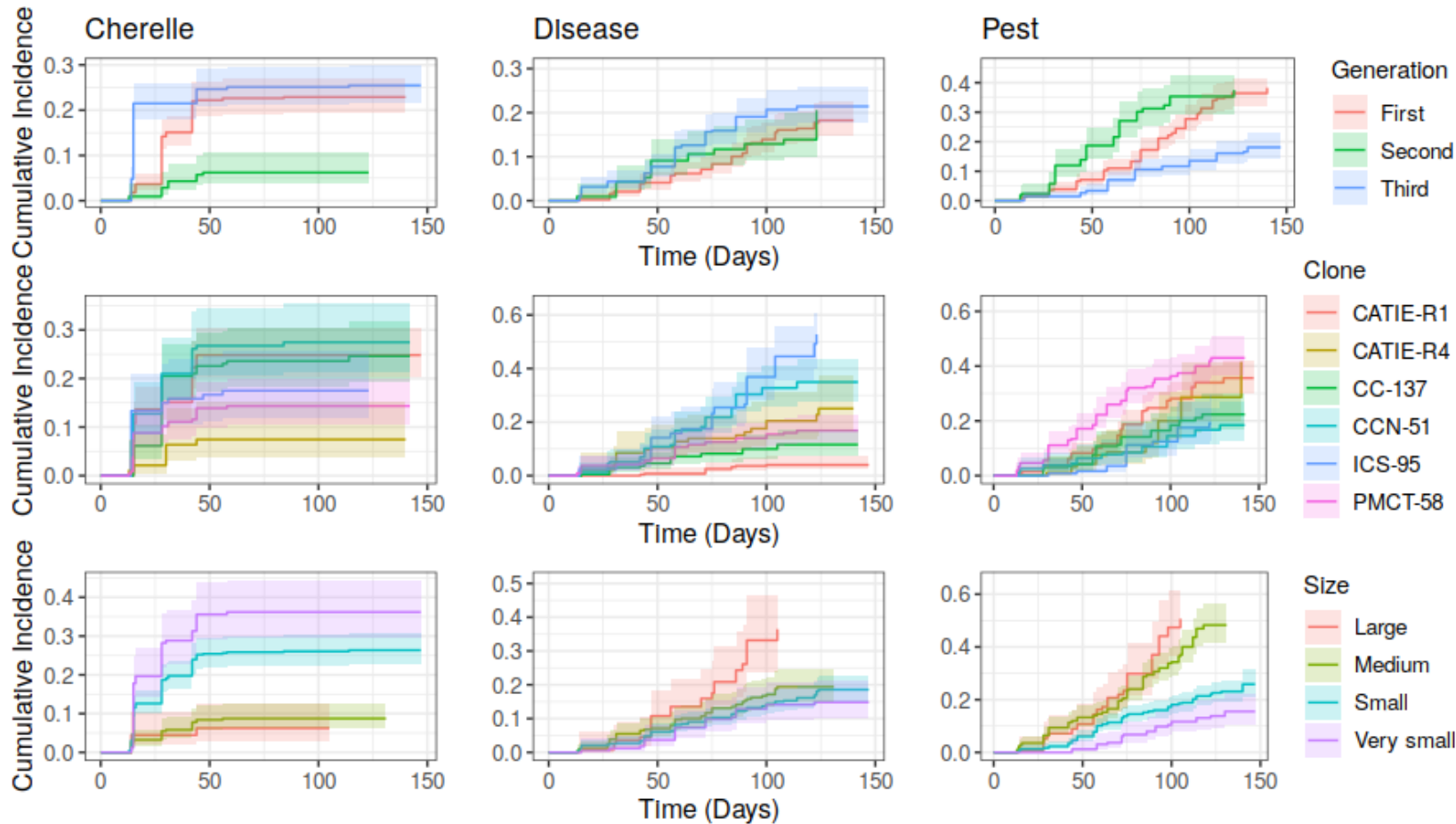
Análisis de Datos y métodos estadísticos



- Variables utilizadas:
 - Riesgos: Cherelle, Plagas, Enfermedad (monilia y mazorca negra) (mazorca/variable censurada)
 - Clon.
 - Generación:
 - Tamaño de mazorca (muy pequeña, pequeña, mediana, grande:
- Curvas de Incidencia Acumulada (Kaplan-Meier)
- Modelo de Cox.
- Tablas de sobrevivencia



Resultados: Incidencia Acumulada



- El riesgo de cherelles fue distinto entre clones y tamaños de mazorcas.
- El riesgo de enfermedades fue similar entre generaciones pero distinto entre clones.
- El riesgo de plagas fue distinto entre generaciones y entre tamaños de mazorcas.

Resultados: Modelo de Cox



- Proceso de Selección de Variables Explicativas
 - Se descarta la variable Posición y Tamaño de mazorca del análisis.
- Modelo de Cox:
- Relación entre tasas: $h(t|X) = h_0(t) \exp(b_1X_1 + b_2X_2)$
- b_1 y b_2 son los coeficientes de regresión asociados con las covariables Generación (X_1) y Clon (X_2).

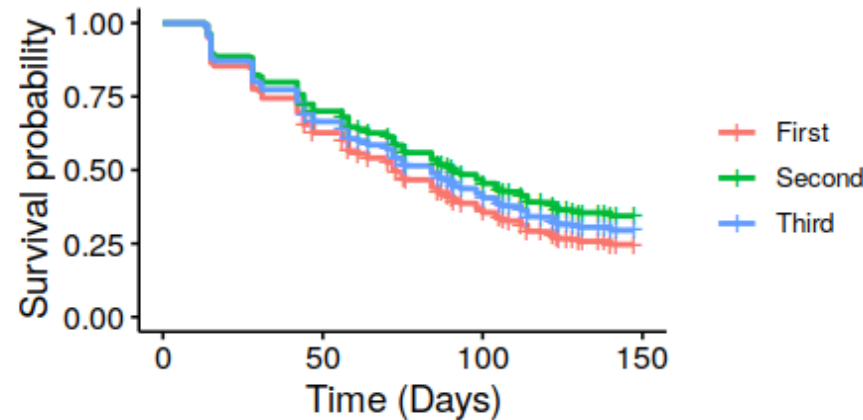
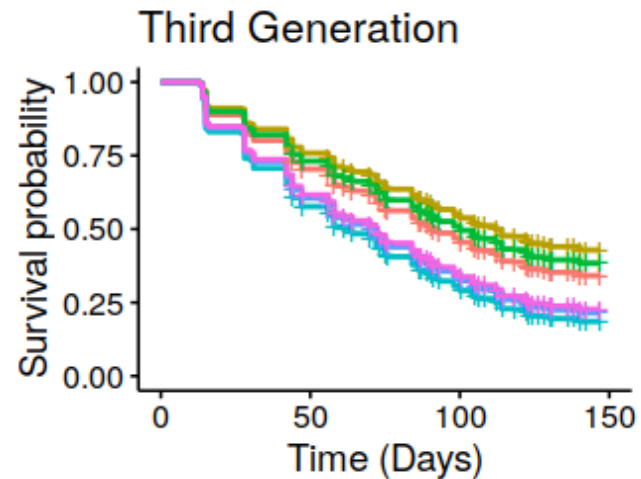
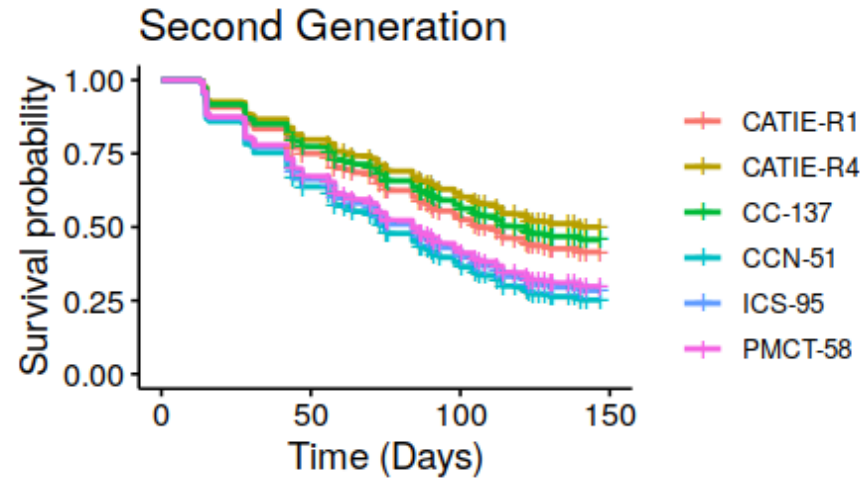
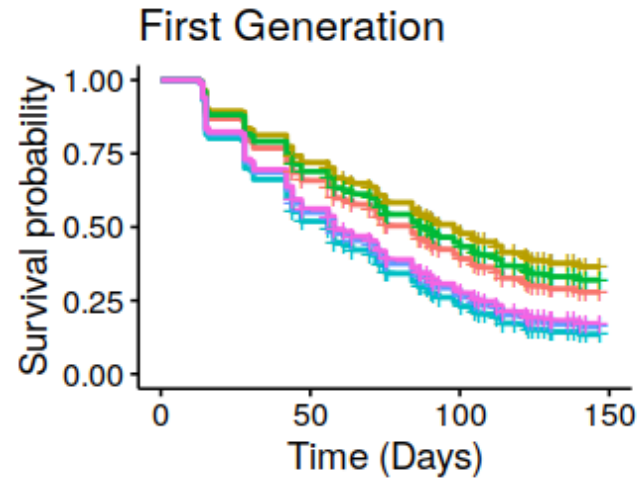
Resultados: Riesgos Relativos



Covariate	Level	Baseline	Relative Risk	Lower 95%	Upper 95%	p-value
Generation	Second	First	0.688	0.551	0.858	6.18 X 10 ⁻⁷
	Third		0.841	0.710	0.995	
Clone	CATIE-R4	CATIE-R1	0.788	0.576	1.077	0.0023
	CC-137		0.892	0.697	1.140	
	CCN-51		1.568	1.238	1.985	
	ICS-95		1.431	1.104	1.855	
	PMCT-		1.379	1.105	1.721	

Valores de riesgos relativos en comparación con los datos de línea de base del modelo de Cox ajustado con sus intervalos de confianza del 95%. Los valores p corresponden a una prueba de chi-cuadrado para cada covariable.

Resultados: Curvas de sobrevivencia



Curvas estimadas de sobrevivencia por clon y generación, para los riesgos combinados.

Cálculo de la sobrevivencia condicional



Table 4. Lifetable showing the proportion of CATIE-R1 pods surviving at each event time point and the corresponding lower and upper confidence intervals.

Time Interval (days)		CATIE-R1 (1 st -generation)			CATIE-R1 (2 nd -generation)			CATIE-R1 (3 rd -generation)		
		estimate	Lower 95%	Upper 95%	estimate	Lower 95%	Upper 95%	estimate	Lower 95%	Upper 95%
0	13	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	14	0.993	0.987	0.998	0.995	0.991	0.999	0.994	0.989	0.998
14	15	0.956	0.943	0.970	0.970	0.959	0.981	0.963	0.951	0.975
15	16	0.878	0.852	0.905	0.914	0.892	0.937	0.896	0.873	0.920
89	90	0.452	0.393	0.520	0.580	0.511	0.657	0.513	0.452	0.583
90	91	0.445	0.386	0.513	0.573	0.504	0.651	0.506	0.445	0.576
91	93	0.432	0.373	0.501	0.562	0.492	0.642	0.494	0.432	0.565
142	147	0.278	0.222	0.350	0.415	0.338	0.510	0.341	0.279	0.418
147	Inf	0.278	0.222	0.350	0.415	0.338	0.510	0.341	0.279	0.418

Dos usos:

- Probabilidad de sobrevivencia de frutos pequeños (menor a 15 días).
- Probabilidad condicional:

$$0.415/0.58=0.715$$

Probabilidad de que una mazorca de 90 días sobreviva a cualquier riesgo y llegue a los 150 días y sea cosechada.

Impacto de un ambiente distinto sobre la sobrevivencia de las mazorcas

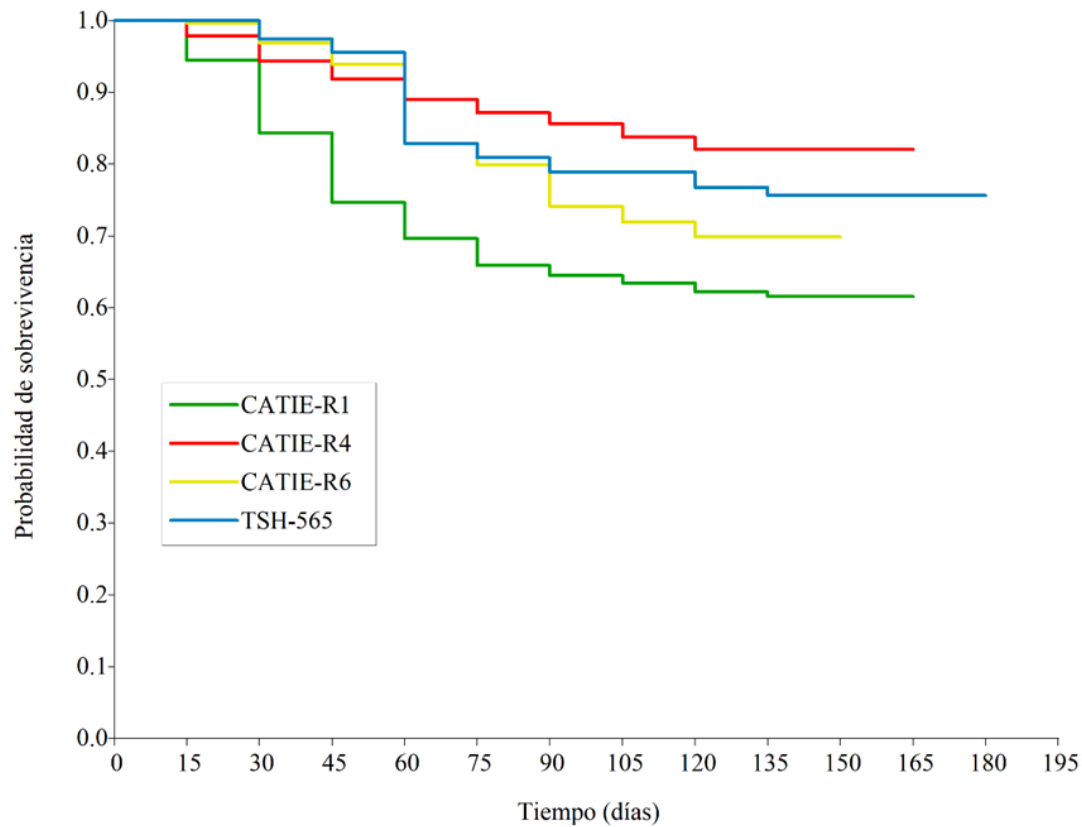
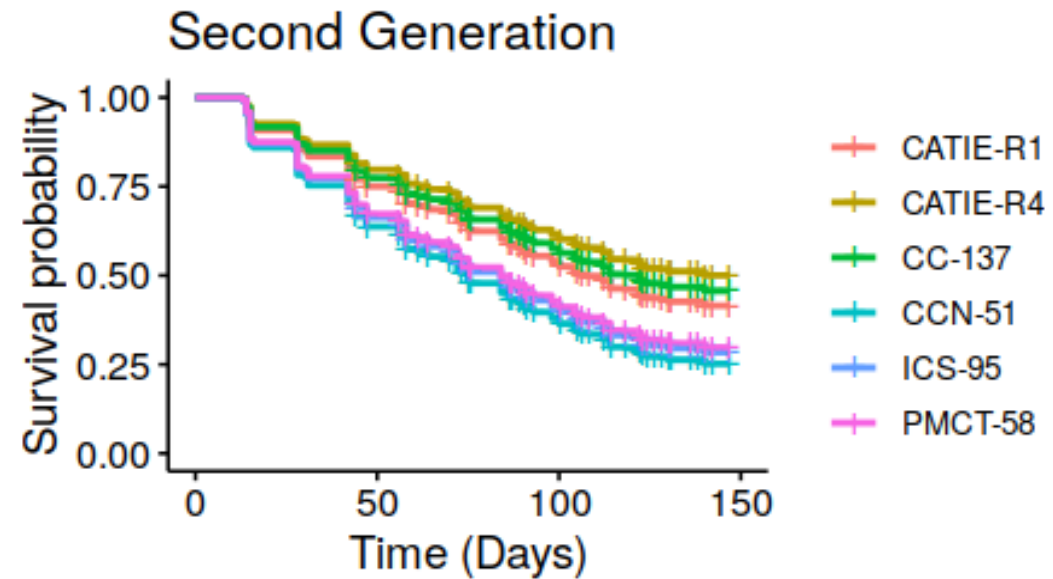


Figura 10. Representación gráfica de las curvas de sobrevida de los clones CATIE-R1, CATIE-R4, CATIE-R6 Y TSH-565 utilizando el análisis de Kaplan-Meier.



Villatoro-Canales, A. Generación de curvas de crecimiento y sobrevivencia de mazorcas de cacao (*Theobroma cacao* L) de cuatro clones, para mejorar la estimación de cosecha en finca en la zona húmeda de Costa Rica. Tesis de grado-CATIE. 2023.

Conclusiones/Implicaciones



- El clon influye en la prevención de riesgos y en el comportamiento de sobrevivencia de las mazorcas.
- La posición en el tronco del árbol no es un factor contribuyente al comportamiento de sobrevivencia de las mazorcas.
- Las mazorcas de diferentes generaciones (distintas condiciones micro-climáticas) enfrentan diferentes riesgos que influyen en la sobrevivencia a lo largo del tiempo.
- Cuestionamos la confiabilidad de aplicar un solo factor de descuento por PyE y sugerimos la generación de factores de descuento (Sobrevivencia) por clon/finca.



Foro Latinoamericano- Caribeño de Cacao

Desafíos y pautas para una cacaocultura moderna y sostenible en la región

GRACIAS

Orozco-Aguilar, L, et al. 2023. Risk Analysis and Cocoa Pod Survivorship Curves to Improve Yield Forecasting Methods. To be submitted to Frontiers.

