



CONFERENCIA NACIONAL SOBRE PALMA DE ACEITE

Un encuentro para vivir el
conocimiento e impulsar
la agroindustria



EPIDEMIOLOGÍA CUANTITATIVA ALTILLANURA COLOMBIANA

**Dinámica temporal y espacial de la
Pudrición del Cogollo (*Phytophthora
palmivora*), en palma de aceite en la
altillanura colombiana: modelado
temporal y espacial**



José Elkin Ruiz · Andrés Castro · Dalila Serrato · Juliana Leiva
Dirección Agronómica · Palmeras Metalteco · Puerto Gaitán, Meta · 2026



Villavicencio, Parque Las Malocas

22 al 24
de septiembre

2026

La plantación: Palmeras Metalteco

Puerto Gaitán, Meta · Altillanura colombiana

999,73 ha

área sembrada

3 siembras

2011 · 2012 · 2023

26,9 t/ha

RFF últimos 12 m

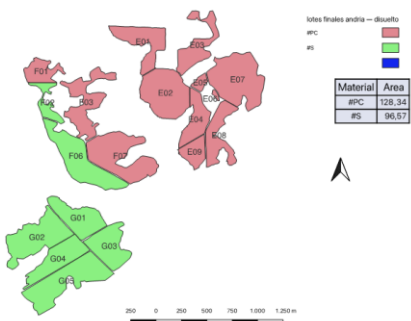
7 materiales

genéticos

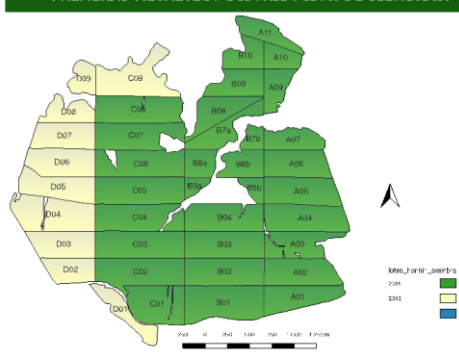
142.672

palmas

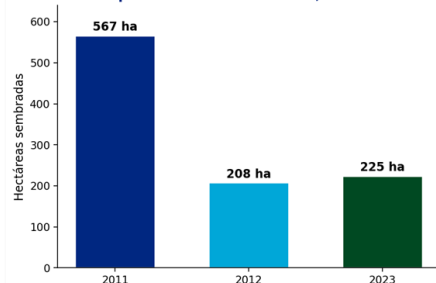
PALMERAS METALTECO SIEMBRA 2023



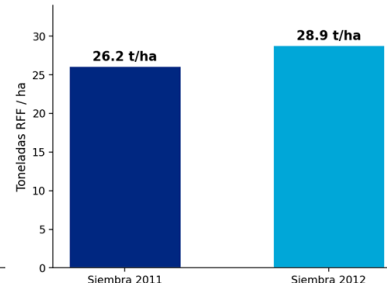
PALMERAS METALTECO DISTRIBUCIÓN DE SIEMBRAS.



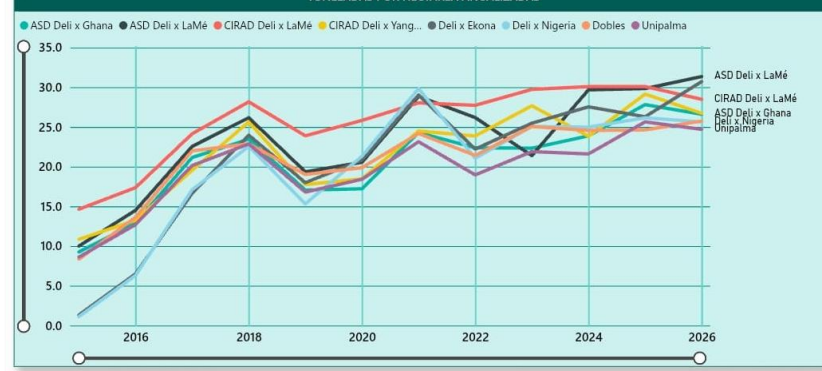
Área por año de siembra · 999,73 ha totales



Producción últimos 12 meses



TONELADAS POR HECTÁREA ANUALIZADAS



Materiales sembrados

- Deli×LaMé · Deli×Yangambi · Cirad
- Deli×Ghana · Deli×Nigeria
- Unipalma · Deli×Ekona

Situación fitosanitaria de la PC

- **19.030** casos acumulados (2016–2026)
- **13,3 %** incidencia acumulada global
- **11,6 %** incidencia mediana por lote
- **57 de 61** lotes con focos agregados

¿Por qué este trabajo?

Introducción · de los datos a las decisiones

El problema

- La PC (*Phytophthora palmivora*) es la enfermedad más devastadora de la palma en Colombia
- Ha destruido más de 70.000 ha en el país
- En la Altillanura la palma PUEDE recuperarse: hay ventana de manejo

Información subutilizada

- 10 años de censos: un activo de enorme valor
- Con promedios simples, ese dato OCULTA la dinámica real
- Se decide 'a ojo', sin medir velocidad ni riesgo

La meta: convertir diez años de censos en ELEMENTOS DE DECISIÓN CUANTITATIVOS

Números concretos —velocidad, techo, riesgo, radio de manejo— para decidir mejor sobre el manejo de la enfermedad, no impresiones.

Qué resuelve y qué se espera

- Elementos de decisión cuantitativa para el manejo de la enfermedad y decisiones estratégicas del cultivo.
- Cada lote recibe variables medibles: con qué rapidez avanza, hasta dónde llegará, qué tan agregada está y qué prioridad tiene.
- Esas variables alimentan decisiones: de manejo fitosanitario, valoración del cultivo y planeación de inversiones
- Y quedan como referencia regional para epidemias similares en la Altillanura

OBJETIVOS

GENERAL

Cuantificar la dinámica temporal y espacial de la PC en una plantación de la Altillanura, a partir de una década de censos, para derivar variables de decisión que orienten el manejo y la planeación de inversiones, y establecer valores de referencia regionales.

1

Caracterizar el progreso temporal

6 modelos por AICc + forma de Richards

2

Estimar R_0 y calibrar el SEIR

2 vías + cirugía real → umbrales operativos

3

Cuantificar el patrón espacial

SADIE + radio crítico → manejo por foco

4

Integrar en clasificación de riesgo

tabla maestra para priorizar recursos

5

Proyectar la incidencia

6 meses → insumo de valoración e inversión

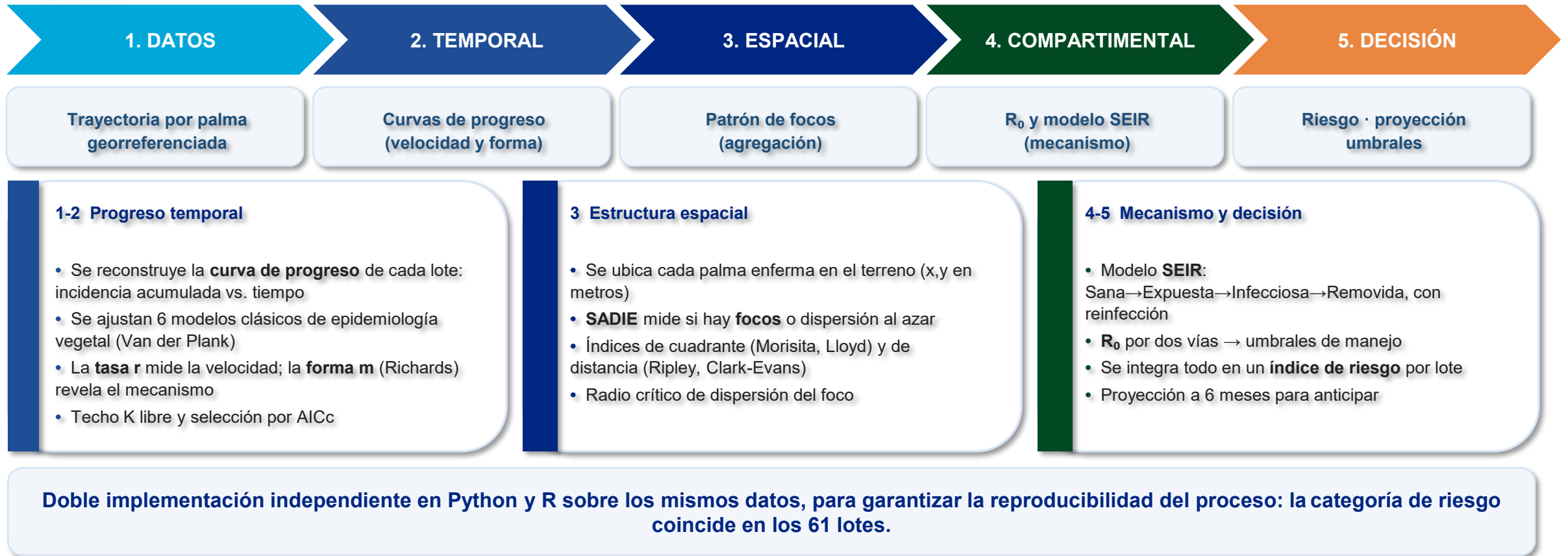
6

Marco reproducible

Python + R + referencias regionales

Metodología: el proceso de análisis epidemiológico

Cómo analizamos nuestra epidemia, paso a paso



Los modelos de progreso: cómo y por qué

Fundamento del eje temporal

¿Por qué Richards? (no reemplaza a los otros)

- Richards se usa **ADEMÁS** de los otros cinco, no en su lugar
- En cada lote compiten los seis; gana el que mejor equilibra ajuste y sencillez
- Richards aporta, además, el **diagnóstico de forma** para todos los lotes, gane o no

¿Qué es el AICc?

- Criterio de Información de Akaike **corregido**
- Evita elegir modelos complejos que ajustan ruido en vez de señal
- La 'corrección' endurece el peaje cuando hay **pocos datos** (series cortas)
- **Gana el AICc más bajo**

Qué significa cada ajuste (momento / mecanismo de la epidemia)

Exponencial. Fase temprana explosiva: sin freno, epidemia joven. Sin techo.

Lineal. Avance constante: misma cantidad de casos cada mes. Sin techo.

Monomolecular. Desacelera desde el inicio: firma del INÓCULO PRIMARIO (fuente ambiental).

Gompertz. 'S' asimétrica: acelera temprano, despegue corto. Común en plantas.

Logístico. 'S' simétrica: máxima velocidad a la mitad. CONTAGIO SECUNDARIO.

Richards. El 'comodín': toma cualquier forma según m y diagnostica la epidemia.

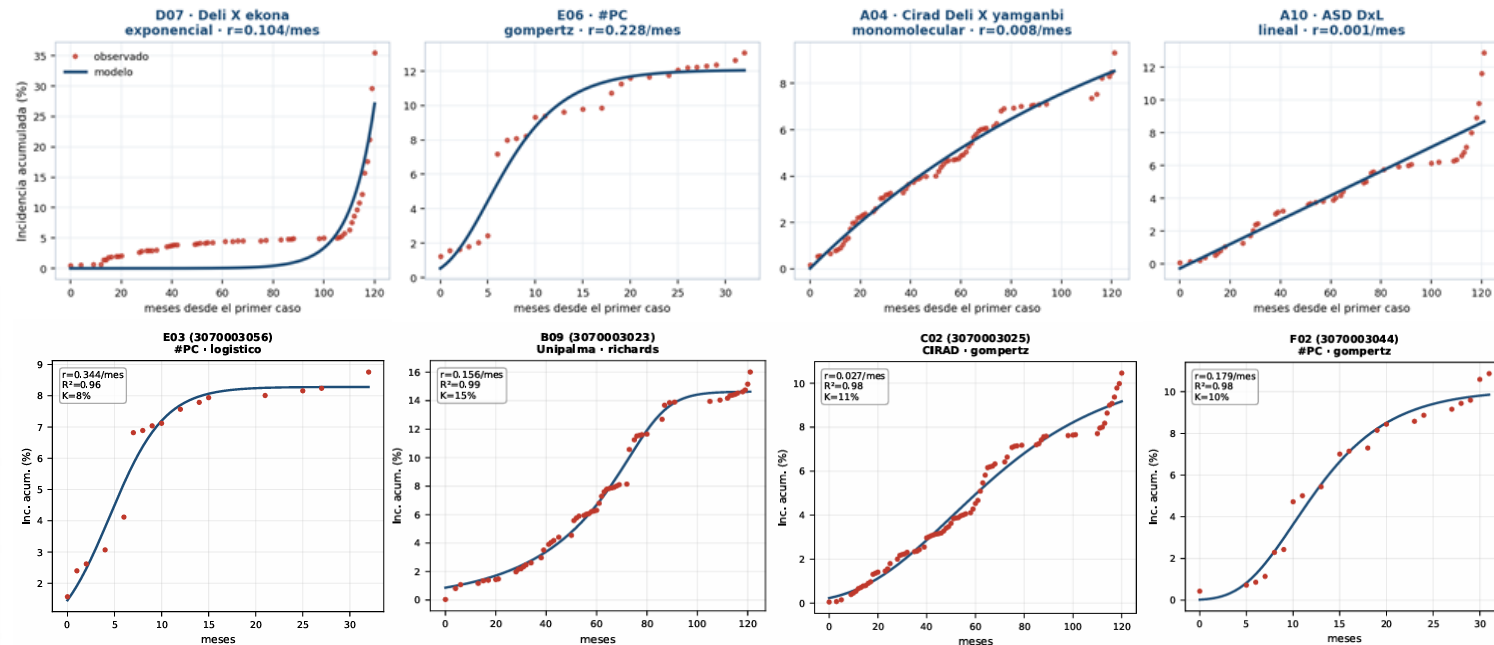
Resultado 1 · Cada lote tiene su propia dinámica

Progreso temporal · la tasa de infección r

Cada lote tiene su propia dinámica: un solo modelo no describe la plantación

La velocidad r : tiempo de duplicación

r (1/mes)	Se duplica cada	Lectura	Ejemplo en Metalteco
0,001	≈700–1.200 m	Detenida	A10, F03 (plana)
0,008	87 m (7,2 a)	Muy lenta	A04 (Cirad D×Yamg.)
0,020	35 m (2,9 a)	Lenta	mediana de la finca
0,098	7 meses	Rápida	B09 (Unipalma)
0,228	3 meses	Muy rápida	E06 (#PC)
0,344	2 meses	Explosiva	E03 (#PC)



¿Qué es la tasa r ?

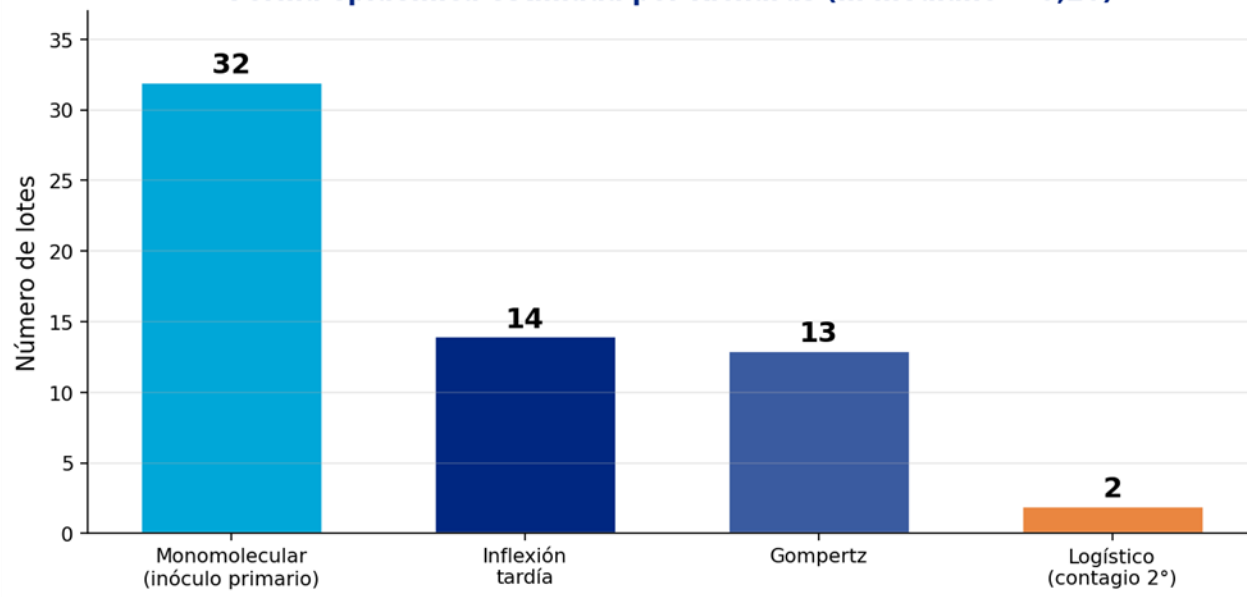
- Mide qué tan rápido crece la enfermedad en el tiempo
- Se lee como tiempo de duplicación = $\ln(2)/r$
- La velocidad varía $\times 300$ entre lotes: la mayoría lenta, unos pocos explosivos

Resultado 2 · El mecanismo dominante es el inóculo primario

La forma de la curva (Richards) revela el origen

El parámetro de forma m y el punto de inflexión

Forma epidémica estimada por Richards (m mediano = 0,26)



0,26

m mediano de Metalteco

≈ 60 %

lotes con $m < 0,5$ (inóculo primario)

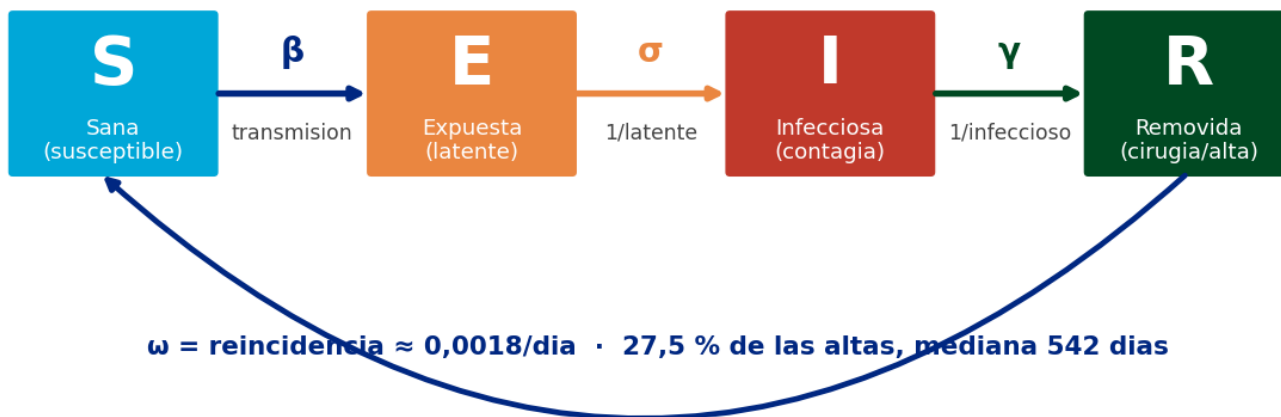
m	Inflexión al llegar a	Interpretación
0,05	4 % de K	Sin aceleración (inóculo primario puro)
0,26	16 % de K	Inóculo primario dominante
0,78	32 % de K	Transición hacia Gompertz
1,00	37 % de K	Gompertz exacto
2,00	50 % de K	Logístico (contagio secundario)
3,65	61 % de K	Arranque lento, aceleración tardía

Lectura: la PC no avanza sobre todo de palma a palma; se infecta desde el foco ambiental.

Resultado 3 · Modelo compartimental SEIR

Cómo se mueve la epidemia entre estados

Modelo SEIR con reinfeccion para la Pudricion del Cogollo



Parámetros de transición

- σ = 1/latente $\approx 0,048/\text{día}$
- γ = 1/infeccioso $\approx 0,048/\text{día}$
- β = transmisión (calibrada)
- Cada uno = 1 / duración de la etapa.

ω : la reincidencia importa

- **27,5 %** de las palmas de alta vuelve a enfermar
- Mediana: 542 días hasta el 2º episodio
- $\omega \approx 1/542 \approx 0,0018/\text{día}$
- Flujo lento pero no nulo → SEIR 'con reinfección', no simple.

El periodo infeccioso = ventana crítica (≈ 14 d) + tiempo real de cirugía por lote. Operar más rápido sube γ y reduce el contagio.

Resultado 4 · R_0 N° reproductivo Básico.

De la epidemia a reglas operativas de sanidad

"El periodo latente no es estimable con datos de censo, por lo que se adoptó un valor de trabajo (21 días, con banda 14–28) y se verificó por análisis de sensibilidad que las conclusiones no dependen de él."

1,06

R_0 mediano

61 / 61

lotes con $R_0 > 1$

7 días

respuesta cirugía

14–28 d

periodo latente

R_0	Qué ocurre	Remoción ($1 - 1/R_0$)
< 1	Se extingue sola	0 %
= 1	Endémica estable	0 %
1,06	Crece lento (Metalteco)	6 %
1,50	Crece	33 %
2,00	Infecta a dos	50 %

Por qué está contenida

- La cirugía oportuna corta el contagio antes de que la palma sea infecciosa: los vectores silenciosos son casi nulos.

Vectores silenciosos

- Palmas operadas tarde (ya contagiaron). En Metalteco ≈ 0 : se opera (7 d) antes del contagio (14–28 d)

Intervalo de censo crítico

- Censar en intervalos $\leq$ periodo latente. Si es 14 días, censar cada 14 días o menos detecta antes del contagio

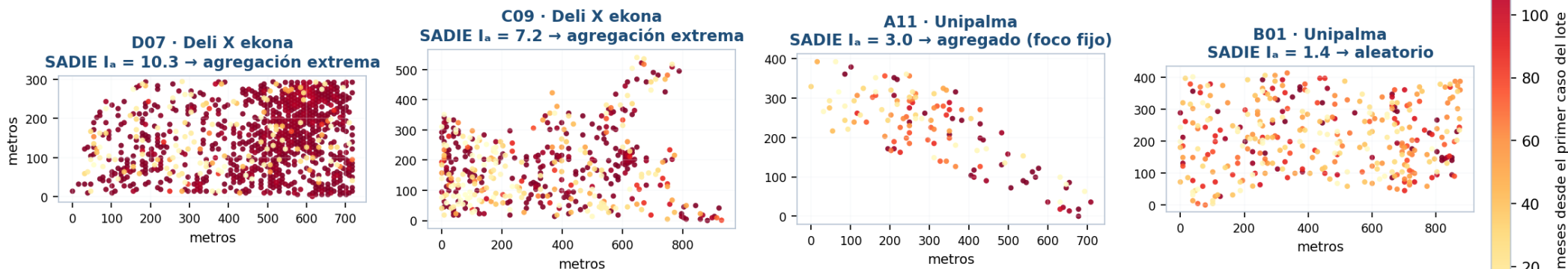
Fracción de remoción crítica

- $1 - 1/R_0$ del inóculo por generación lleva R por debajo de 1 (Van der Plank). Con $R_0=1,06 \rightarrow 6 \%$; con $R_0=2 \rightarrow 50 \%$

Resultado 5 · Los focos son reales y fijos

Análisis espacial de agregación (SADIE)

Los focos son reales y fijos: la enfermedad se expande desde núcleos, no al azar



Escala del índice I_a

I_a	Patrón espacial	Lotes
< 1	Regular / uniforme	0
1–1,5	Aleatorio	4
1,5–3	Agregado: foco fijo	25
3–6	Muy agregado	24
> 6	Agregación extrema	8

93 %

lotes agregados

72 m

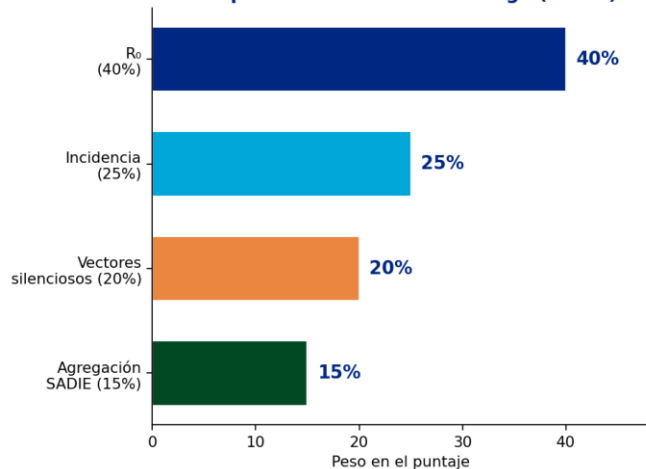
radio de manejo

- Intervenir el foco y su radio de 72 m; la aplicación masiva es ineficiente.

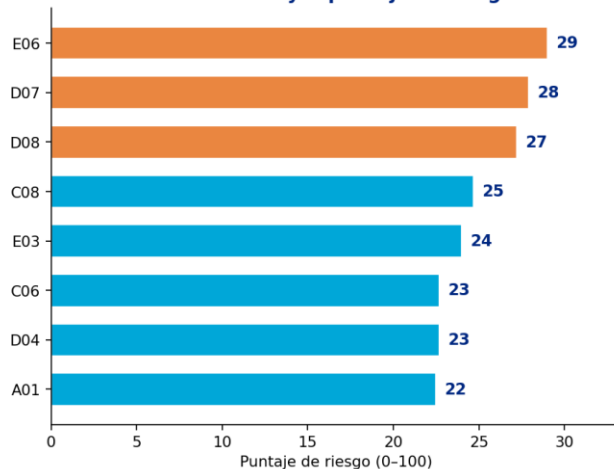
Resultado 6 · Estimación del índice de riesgo

Integración de los cuatro ejes en un puntaje por lote

Composición del índice de riesgo (0-100)



Lotes de mayor puntaje de riesgo



Cómo se construye

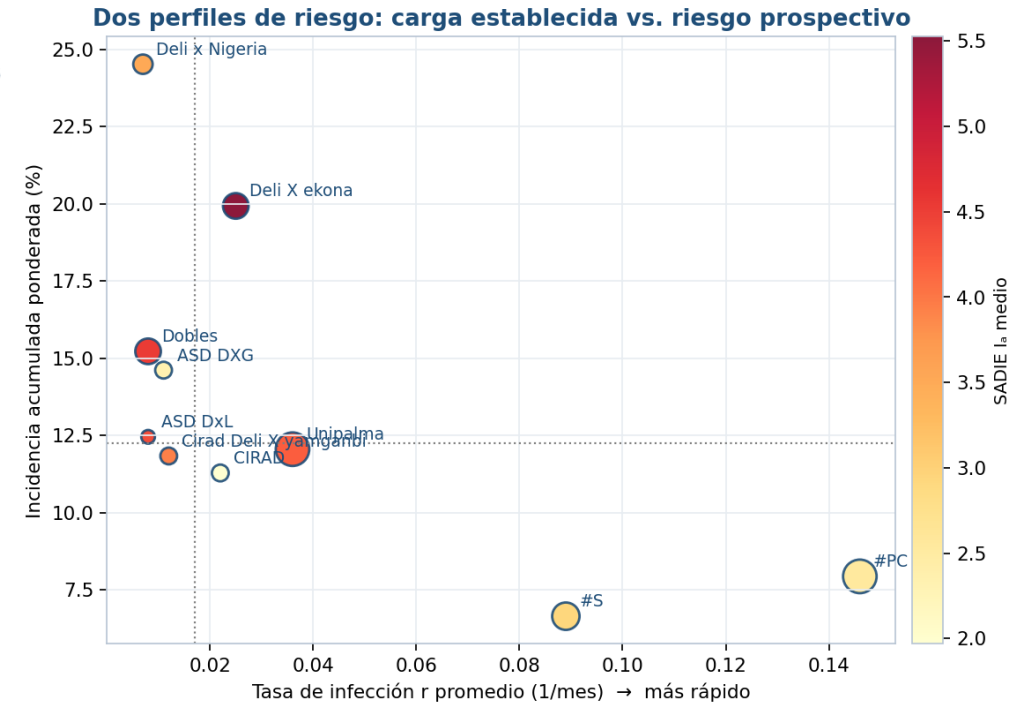
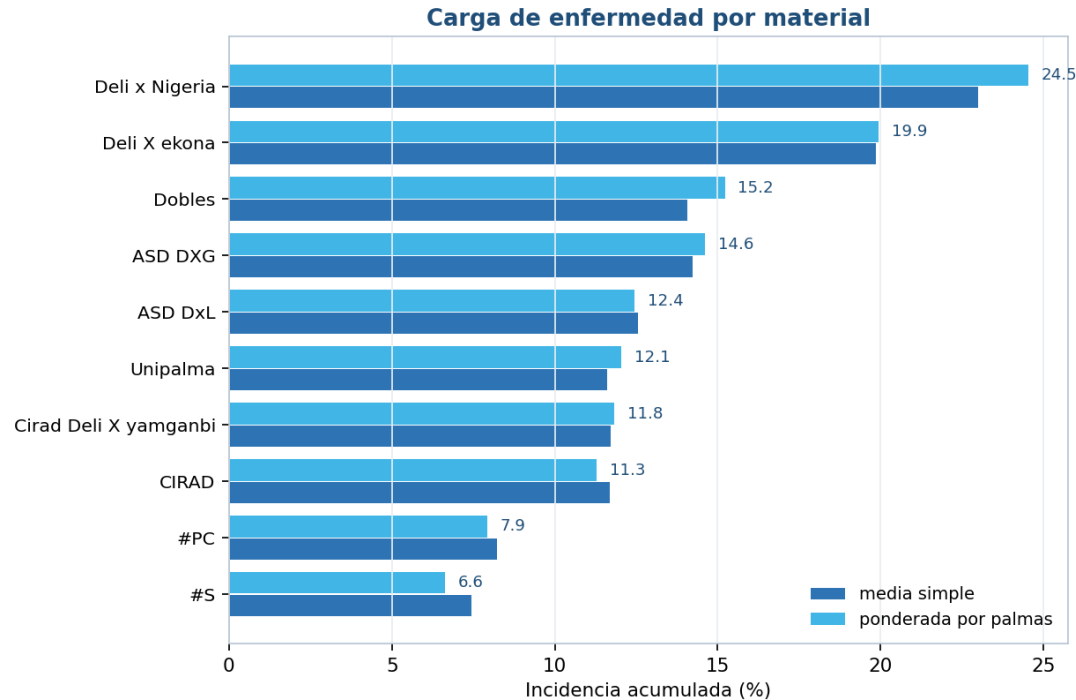
- Puntaje 0-100 = R₀ (40%) + Incidencia (25%) + Vectores silenciosos (20%) + Agregación SADIE (15%). Resultado: 58 lotes BAJO, 3 MODERADO, ninguno ALTO/CRÍTICO.

Lotes prioritarios

Lote	Material	R ₀	Inc.	r	Modelo	Pun.	Cat.
E06	#PC	1,53	13,1%	0,228	Gompertz	29,0	MOD
D07	D×Ekona	1,16	35,5%	0,104	Expon.	27,9	MOD
D08	D×Ekona	1,03	27,0%	0,021	Expon.	27,2	MOD
C08	Dobles	1,02	19,3%	0,012	Expon.	24,7	BAJO
E03	#PC	1,69	8,8%	0,344	Logíst.	23,9	BAJO
G06	#S	1,28	8,1%	0,114	Gomp.	22,5	BAJO
D04	D×Nigeria	1,03	28,4%	0,001	Lineal	22,4	BAJO
C06	ASD DXG	1,03	19,8%	0,021	Expon.	22,1	BAJO
E09	#PC	1,67	8,8%	0,110	Monom.	21,5	BAJO

Resultado 7 · Dos perfiles de riesgo por material

Comparación por material genético



Carga establecida

- Deli×Nigeria (24,5%) y Deli×Ekona (19,9%): susceptibles, epidemia madura, avance lento, alta agregación

Riesgo prospectivo

- #PC y #S: incidencia baja (7–8%) pero r muy alta → siembras jóvenes en aceleración. Foco de la alerta temprana

Comparativa por material genético

Parámetros epidemiológicos medios · lectura conjunta

Material	n	R ₀ prom.	r prom./mes	Inc. final % media	SADIE I _a media
Deli × Ekona	7	1,05	0,025	19,9	5,44
Deli × Nigeria	4	1,04	0,007	23,0	3,51
#PC	12	1,37	0,146	8,2	2,55
#S	8	1,23	0,089	7,4	3,02
Unipalma	12	1,06	0,026	11,6	4,25
Dobles	7	1,05	0,009	14,1	4,57
ASD DXG	3	1,04	0,011	14,2	2,29
CIRAD	3	1,06	0,022	11,7	1,98

Cómo leerla

- Mirar juntas incidencia y velocidad: **Deli×Nigeria/Ekona** tienen carga alta pero lenta; **#PC y #S** tienen carga baja pero R₀ y r altísimos → ahí la enfermedad está ganando terreno (alerta temprana).

Utilidad: qué se puede hacer con esto

De las variables de decisión a las acciones concretas

Sanidad operativa

- Censo en intervalos ≤ 14 días (antes del contagio)
- Cuadrillas de cirugía dirigidas al foco y su radio de 72 m
- Donde $m < 0,5$: corregir o buscar variables de sitio conducentes a PC para establecer medidas de control.

Alerta temprana

- #PC y #S: R_0 y r altos con incidencia aún baja
- Intervenir ANTES del brote, no después
- Pasar de manejo reactivo a preventivo

Valoración del cultivo

- Prima de riesgo por lote y material para el avalúo
- Traducir incidencia proyectada en pérdida de RFF
- Insumo cuantitativo para el flujo de caja descontado

Inversión y resiembra

- Priorizar renovación por carga y agregación del foco
- Elegir material según su perfil de riesgo
- Presupuestar 'corregir sitio' vs 'intensificar cirugía'

Conclusiones

Elementos de decisión cuantitativos y referencia regional

1

Epidemia contenida, no resuelta R_0 mediano 1,06 (los 61 lotes > 1), controlada por cirugía a 7 días.

2

El inóculo primario domina Richards ($m=0,26$) y SADIE (93% agregados) convergen: la infección viene del sitio.

3

Manejo diferenciado por lote Seis modelos ganan en distintos lotes y la tasa r varía $\times 300$: no sirve el promedio.

4

Dos perfiles de material Deli×Ekona/Nigeria concentran la carga; #PC y #S son el riesgo prospectivo.

5

Base cuantitativa para decidir Índice de riesgo, SEIR, proyección a 6 meses y tabla maestra por lote para valoración e inversión.

Gracias

