



Un ejemplo de aditividad genética  
entre la madre y el padre en  
resistencia a la pudrición del cogollo

Arthur Cornet, Sandrine Le Squin, Jorge  
Zambrano, Laura Murillo, Tristan Duran Gasselin

# Introducción – enfermedad de la pudrición del cogollo (PC)

- Mayor problema de la palma de aceite en América Latina
- No existe control agronómico eficiente
- Solución: sembrar material resistente
  - Híbridos OxG (resistencia alta)
  - Guineensis (resistencia media)

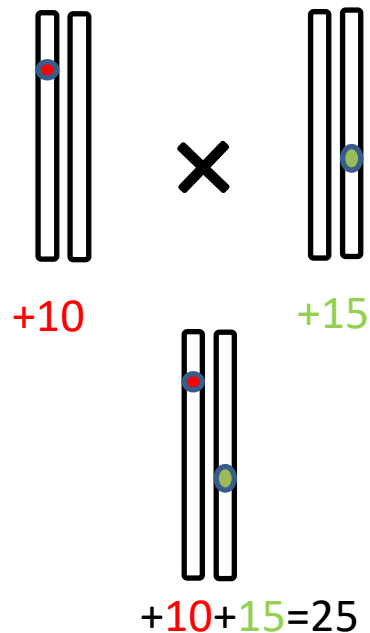


## Introducción – Noción de aditividad

- En genética cuantitativa, se habla de aditividad cuando
  - Varios genes impactan sobre un carácter cuantitativo
  - Los efectos de dos alelos de un mismo gen se suman
  - Los diferentes genes ejercen una influencia lineal (o aditiva)
- No siempre hay aditividad
  - Por comprobar

## Introducción – Noción de aditividad

- Un ejemplo de aditividad entre el padre y la madre



# Introducción – modelo aditivo

- Modelo considerando la habilidad de los padres a transmitir un efecto genético :  
“*breeding value*” o valor genético
- Modelo aditivo básico:
  - cada uno de los padres transmiten por mitad su valor genético
  - Existe una desviación al azar (sorteo de los genes durante la gametogénesis)

$$u_i = \frac{1}{2}u_m + \frac{1}{2}u_p + \phi_i$$

$u_i$ : valor genético del individuo

$u_m$ : valor genético de la madre

$u_p$ : valor genético del padre

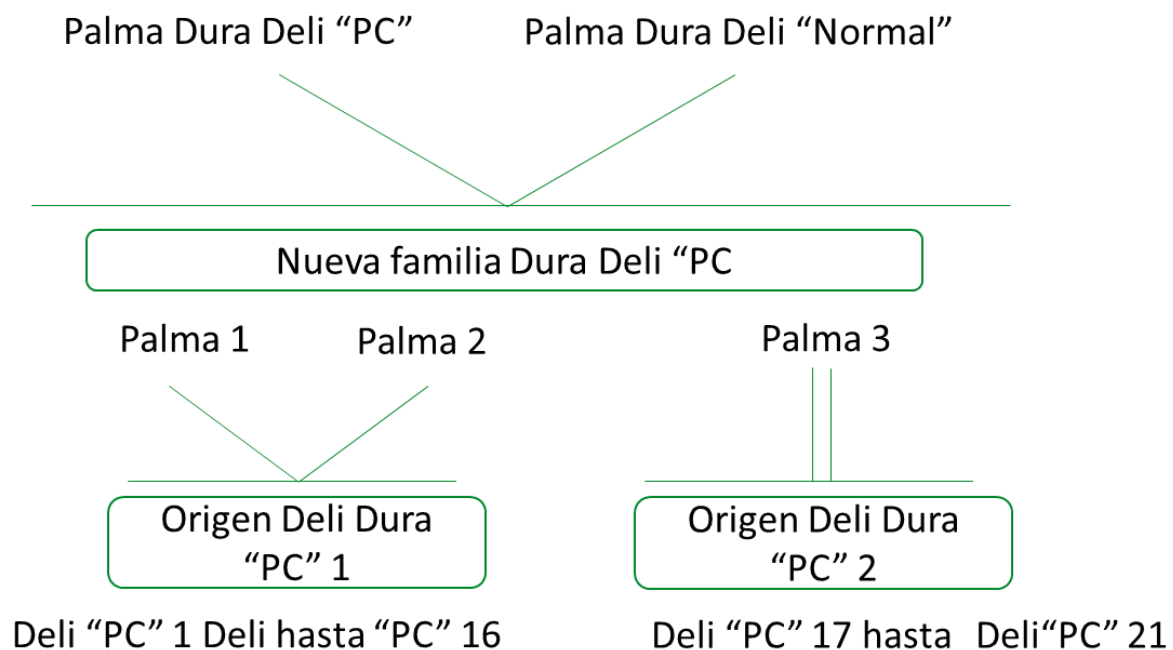
$\phi_i$ : efecto del sorteo de alelos (aleatorio)

# I. Material y metodología – CA GP13

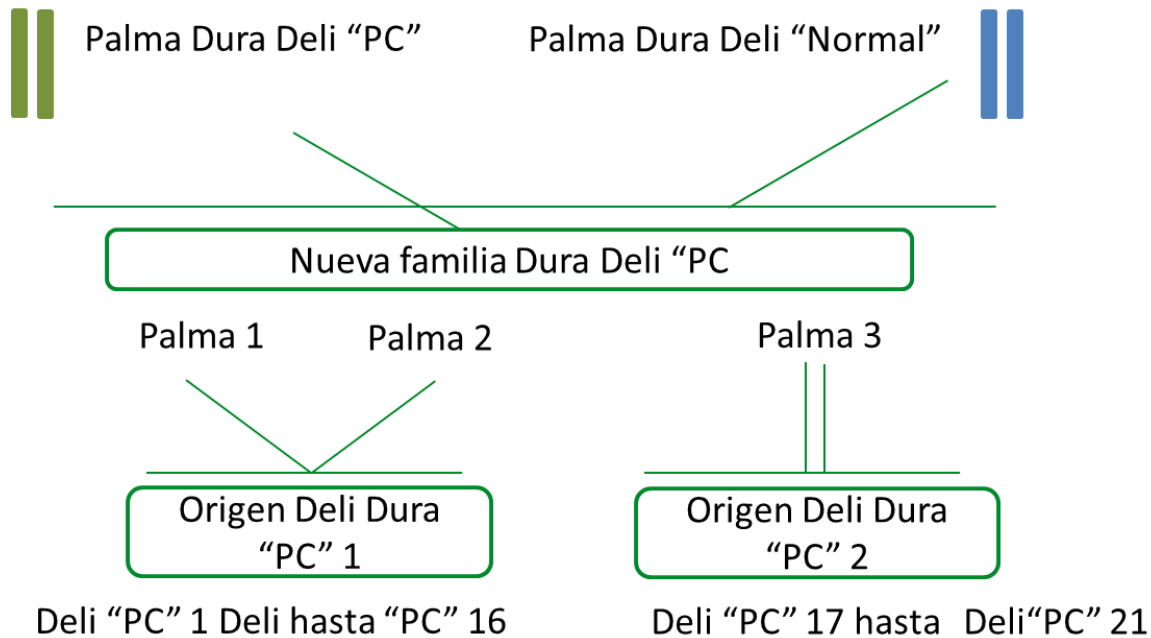
- Ensayo CA GP 13
  - Siembra 2012
  - Llanos Orientales (Colombia)
  - 56 cruces
    - 21 Deli Deli
    - 12 pisífera
    - 150 palmas/cruces
  - Dispositivo incompleto...
  - ...Pero bastante balanceado
    - Objetivo: seleccionar los mejores Deli “PC”

	Familia Padre	Familia 1 (Nigeria)	Familia 2 (La Mé)				Familia 3 (Yangambi)						
Origen Madre	Madre / Padre	Psifera 1	Psifera 2	Psifera 3	Psifera 4	Psifera 5	Psifera 6	Psifera 7	Psifera 8	Psifera 9	Psifera 10	Psifera 11	Psifera 12
Origen Deli "PC" 1	Deli "PC" 1			Cruce 1					Cruce 2				
	Deli "PC" 2						Cruce 3				Cruce 4		Cruce 5
	Deli "PC" 3	Cruce 6					Cruce 7			Cruce 8			
	Deli "PC" 4		Cruce 9	Cruce 10									
	Deli "PC" 5		Cruce 11							Cruce 12	Cruce 13		
	Deli "PC" 6		Cruce 14								Cruce 15	Cruce 16	
	Deli "PC" 7			Cruce 17							Cruce 18		
	Deli "PC" 8			Cruce 19					Cruce 20			Cruce 21	
	Deli "PC" 9					Cruce 22		Cruce 23	Cruce 24				
	Deli "PC" 10			Cruce 25				Cruce 26		Cruce 27			
	Deli "PC" 11							Cruce 28	Cruce 29				Cruce 30
	Deli "PC" 12						Cruce 31			Cruce 32	Cruce 33		
	Deli "PC" 13	Cruce 36							Cruce 34				Cruce 35
	Deli "PC" 14				Cruce 37				Cruce 38			Cruce 39	
	Deli "PC" 15	Cruce 40	Cruce 41										
	Deli "PC" 16						Cruce 42				Cruce 43		
Deli "PC" 17										Cruce 44			
Origen Deli "PC" 2	Deli "PC" 18	Cruce 45			Cruce 46			Cruce 47					
	Deli "PC" 19	Cruce 48						Cruce 49	Cruce 50				
	Deli "PC" 20				Cruce 51			Cruce 52	Cruce 53				
	Deli "PC" 21							Cruce 54		Cruce 55			Cruce 56

# I. Material y metodología – Material vegetal

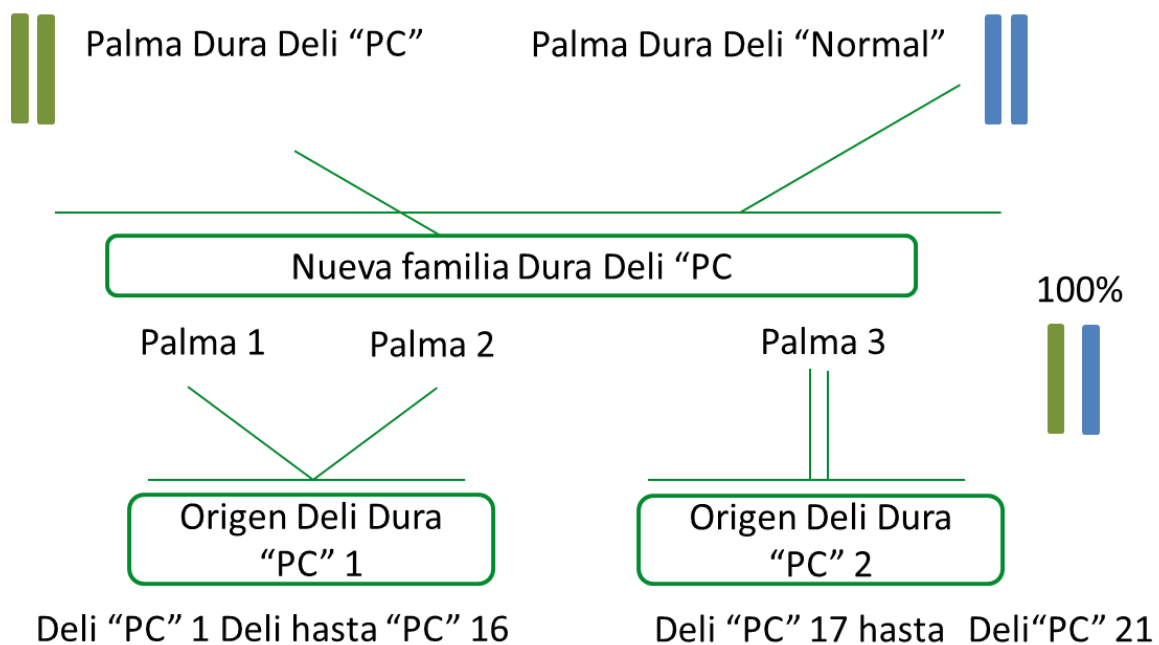


- Material Deli “PC”
  - Recombinación palma resistente x palma normal
- Se espera una segregación de la resistencia
  - Unos recibieron (casi) todas las resistencias de la Palma Deli “PC
  - Unos recibieron (casi) ninguna de las resistencia de Palma Deli “PC
  - La mayoría con una resistencia intermedia

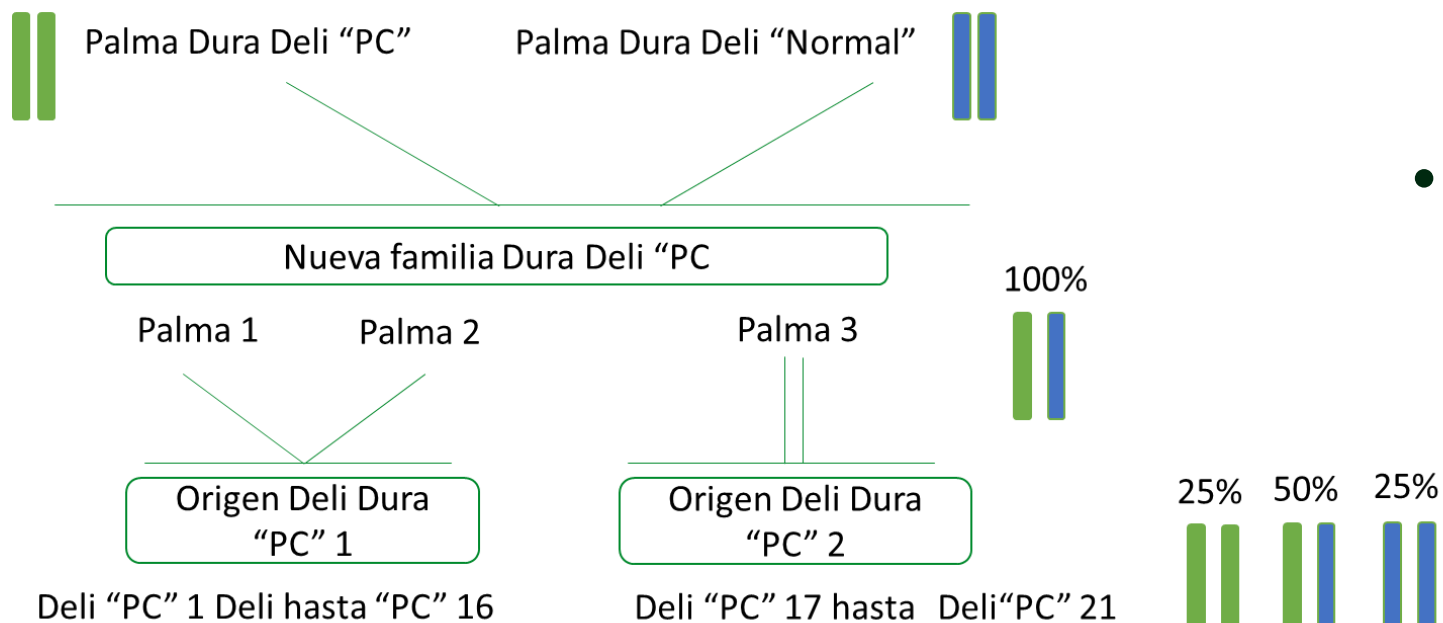


- Material Deli "PC"
  - Recombinación palma resistente x palma normal
- Se espera una segregación de la resistencia
  - Unos recibieron (casi) todas las resistencias de la Palma Deli "PC"
  - Unos recibieron (casi) ninguna de las resistencias de Palma Deli "PC"
  - La mayoría con una resistencia intermedia





- Material Deli "PC"
  - Recombinación palma resistente x palma normal
- Se espera una segregación de la resistencia
  - Unos recibieron (casi) todas las resistencias de la Palma Deli "PC"
  - Unos recibieron (casi) ninguna de las resistencias de Palma Deli "PC"
  - La mayoría con una resistencia intermedia



- Material Deli "PC"
  - Recombinación palma resistente x palma normal
- Se espera una segregación de la resistencia
  - Unos recibieron (casi) todas las resistencias de la Palma Deli "PC"
  - Unos recibieron (casi) ninguna de las resistencias de Palma Deli "PC"
  - La mayoría con una resistencia intermedia



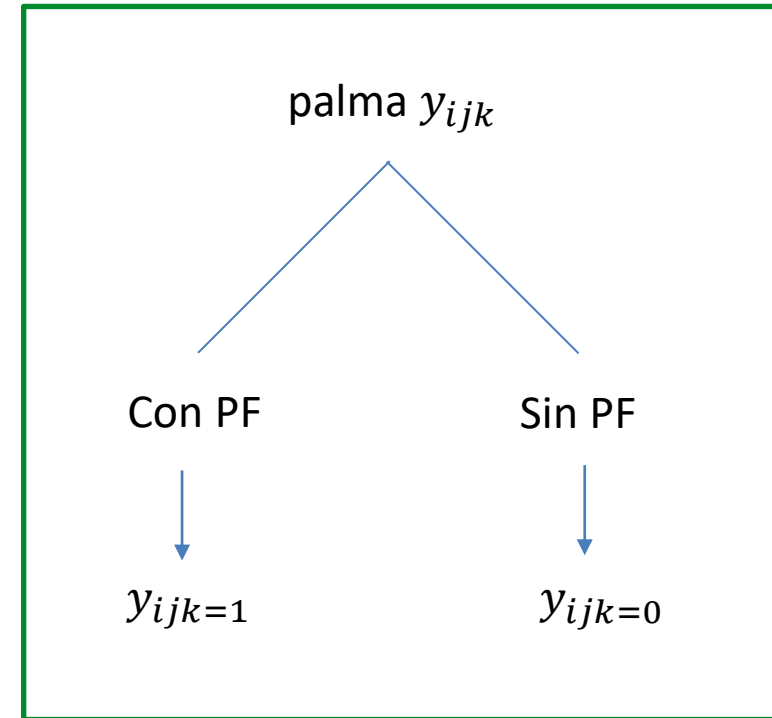
# I. Material y metodología – Observaciones



- Fenotipaje: censo sanitario cada mes.
  - Pudrición de la Flecha (PF)
    - Censo de la aparición a la recuperación de las palmas
      - PF inicial
      - PF mala
      - PF regular
      - PF buena
      - Palma sana

# I. Material y metodología – modelo estadístico

- Regresión logística (Bernoulli)
  - Consideramos la palma  $y_{ijk}$ 
    - Palma  $i$  de padres  $A_i$  y  $B_i$
    - Siembra en el lote  $P_j$
    - Repetición  $R_k$
  - Si tuvo/tiene la PF:  $y_{ijk} = 1$
  - Si nunca tuvo la pF:  $y_{ijk} = 0$



Ensayo de Bernoulli

# I. Material y metodología – modelo estadístico

- $y_{ijk} \sim B(\pi_{ijk})$

- $\eta_{ijk} \sim \log \left( \frac{\pi_{ijk}}{1-\pi_{ijk}} \right)$

$$\eta_{ijk} = \mu + R_k + (A_i) + (B_i) + (SCA_i) + (P_j)$$

$R_k$ : efecto fijo de la repetición  $k$

$A_i$  efecto aleatorio de la madre  $A$  de la palma  $i$

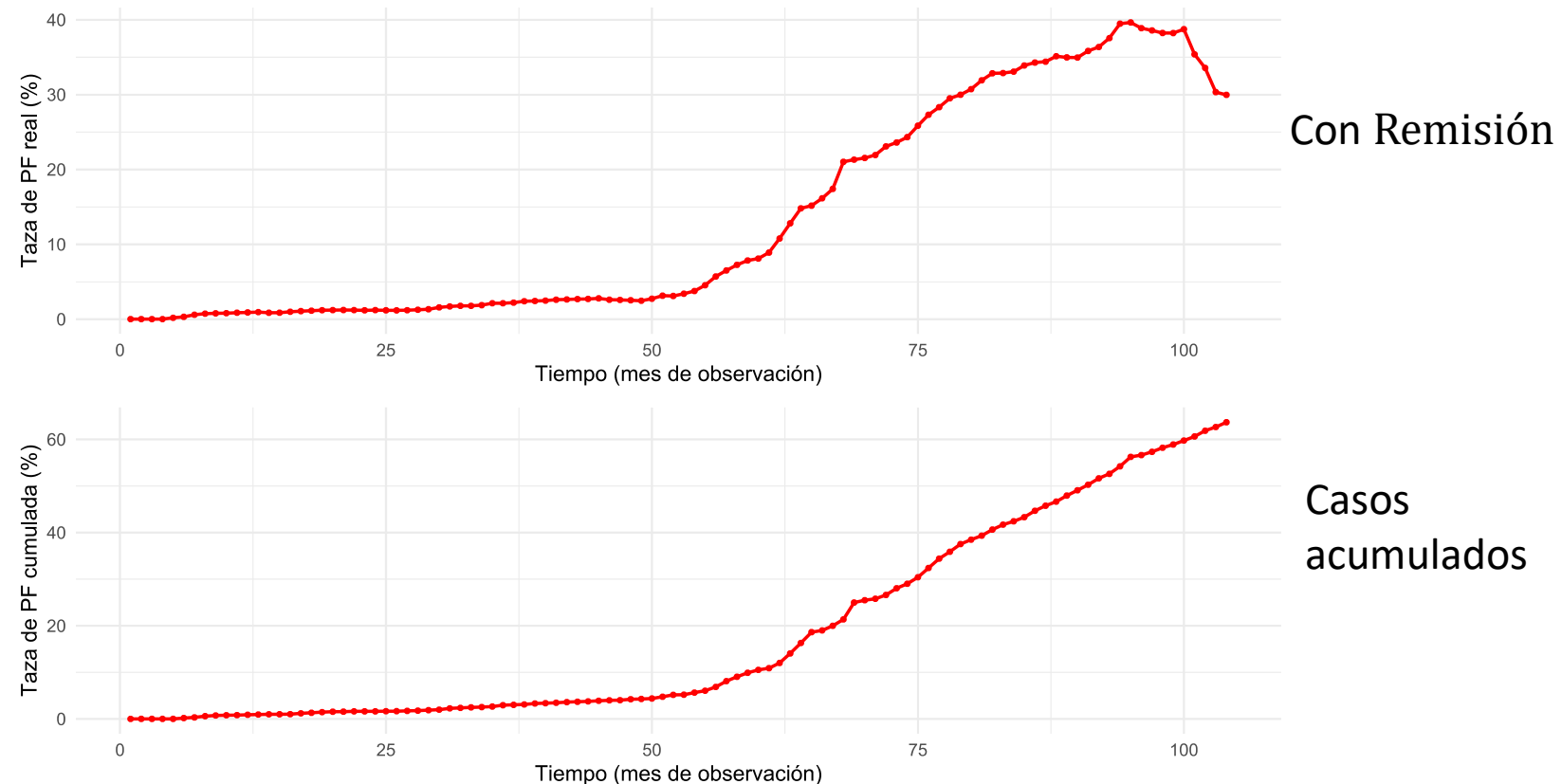
$B_i$  efecto aleatorio del padre  $B$  de la palma  $i$

$SCA_i$  efecto aleatorio de la interacción entre la madre  $A$  y el padre  $B$

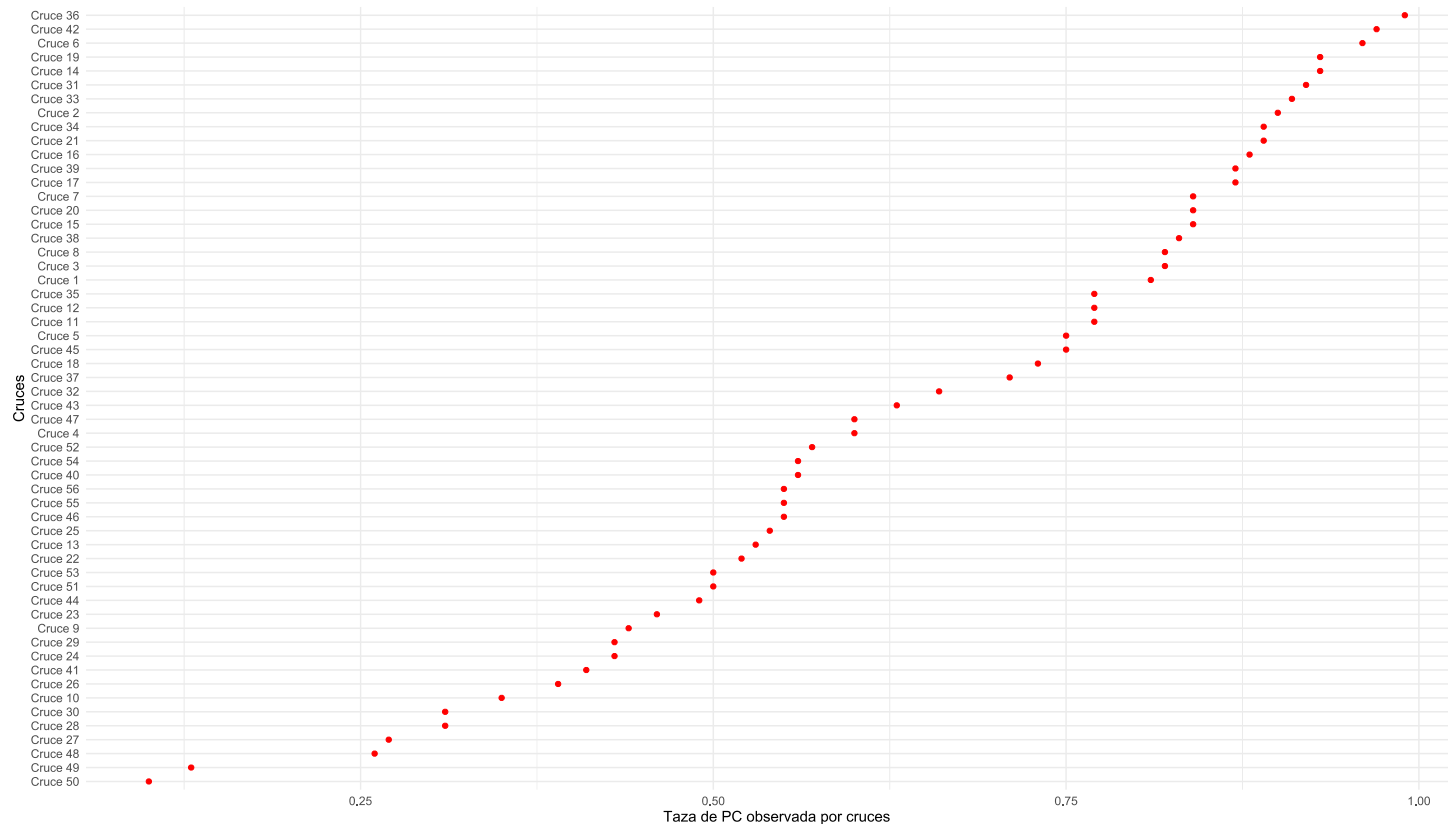
$P_j$  efecto aleatorio de efecto del cruce dentro de la repetición  $j$

## II. Resultados - Fenotipo

- Un tasa de PC bastante alta
  - 63% en acumulado
  - Hasta 40% en real
- Todavía progresando
- Pero ya nos encontramos después del pico de casos



- Un taza de PC bastante alta
  - 63% en acumulado
  - Hasta 40% en real
- Pero detrás de eso, mucha varibilidad !
  - Mínimo de 10 %
  - Máximo de 98%
- De acuerdo con nuestras expectativas





## II. Resultados – modelo estadístico

Efecto	Varianza	%
Madre	9,47	85,2
Padre	1,42	12,8
Madre x Padre	0,05	0,4
Plot	0,18	1,6

- Participación de cada uno de los efectos sobre la tasa de PF:
    - Muy alto por el efecto de la madre
    - Regular por el efecto del padre
    - Muy bajo por la interacción madre x padre
- Mayor explicación de la resistencia con el efecto de los dos padres

## II. Resultados – predicciones

- Predicción de todos los cruces con el modelo completo
  - Clasificación de los genitores (desde el más resistente hasta el menos resistente)
  - Gradiente de color (resistente en verde, sensible en rojo)

Madre/Padre	Pisifera 10	Pisifera 12	Pisifera 8	Pisifera 4	Pisifera 9	Pisifera 7	Pisifera 11	Pisifera 3	Pisifera 2	Pisifera 6	Pisifera 5	Pisifera 1	Promedio
Dura "PC" 19	0.11	0.22	0.28	0.29	0.30	0.32	0.34	0.34	0.36	0.36	0.41	0.47	0.32
Dura "PC" 15	0.18	0.29	0.35	0.36	0.37	0.39	0.40	0.41	0.43	0.43	0.48	0.54	0.39
Dura "PC" 4	0.19	0.31	0.36	0.37	0.38	0.40	0.42	0.42	0.44	0.44	0.49	0.55	0.40
Dura "PC" 11	0.21	0.33	0.38	0.39	0.40	0.42	0.44	0.44	0.46	0.46	0.51	0.57	0.42
Dura "PC" 9	0.25	0.37	0.43	0.44	0.45	0.47	0.48	0.48	0.51	0.51	0.55	0.62	0.46
Dura "PC" 10	0.27	0.39	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50	0.50	0.53	0.53	0.57	0.64	0.48
Dura "PC" 20	0.33	0.45	0.51	0.52	0.52	0.55	0.56	0.56	0.59	0.59	0.63	0.70	0.54
Dura "PC" 18	0.35	0.47	0.52	0.53	0.54	0.56	0.58	0.58	0.60	0.61	0.65	0.71	0.56
Dura "PC" 21	0.37	0.49	0.55	0.55	0.56	0.59	0.60	0.60	0.63	0.63	0.67	0.74	0.58
Dura "PC" 17	0.48	0.60	0.66	0.66	0.67	0.69	0.71	0.71	0.73	0.74	0.78	0.84	0.69
Dura "PC" 5	0.53	0.65	0.70	0.71	0.72	0.74	0.76	0.76	0.78	0.78	0.83	0.89	0.74
Dura "PC" 2	0.55	0.67	0.73	0.74	0.74	0.77	0.78	0.78	0.81	0.81	0.85	0.92	0.76
Dura "PC" 14	0.57	0.69	0.75	0.75	0.76	0.78	0.80	0.80	0.83	0.83	0.87	0.94	0.78
Dura "PC" 3	0.57	0.69	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.80	0.83	0.83	0.87	0.94	0.78
Dura "PC" 1	0.58	0.70	0.76	0.76	0.77	0.79	0.81	0.81	0.83	0.84	0.88	0.94	0.79
Dura "PC" 16	0.58	0.70	0.76	0.76	0.77	0.79	0.81	0.81	0.84	0.84	0.88	0.95	0.79
Dura "PC" 7	0.58	0.70	0.76	0.76	0.77	0.80	0.81	0.81	0.84	0.84	0.88	0.95	0.79
Dura "PC" 12	0.58	0.70	0.76	0.76	0.77	0.80	0.81	0.81	0.84	0.84	0.88	0.95	0.79
Dura "PC" 13	0.59	0.70	0.76	0.77	0.78	0.80	0.82	0.82	0.84	0.84	0.89	0.95	0.80
Dura "PC" 8	0.59	0.71	0.76	0.77	0.78	0.80	0.82	0.82	0.84	0.84	0.89	0.95	0.80
Dura "PC" 6	0.59	0.71	0.77	0.77	0.78	0.80	0.82	0.82	0.85	0.85	0.89	0.96	0.80
Promedio	0.43	0.55	0.61	0.61	0.62	0.64	0.66	0.66	0.69	0.69	0.73	0.80	0.64

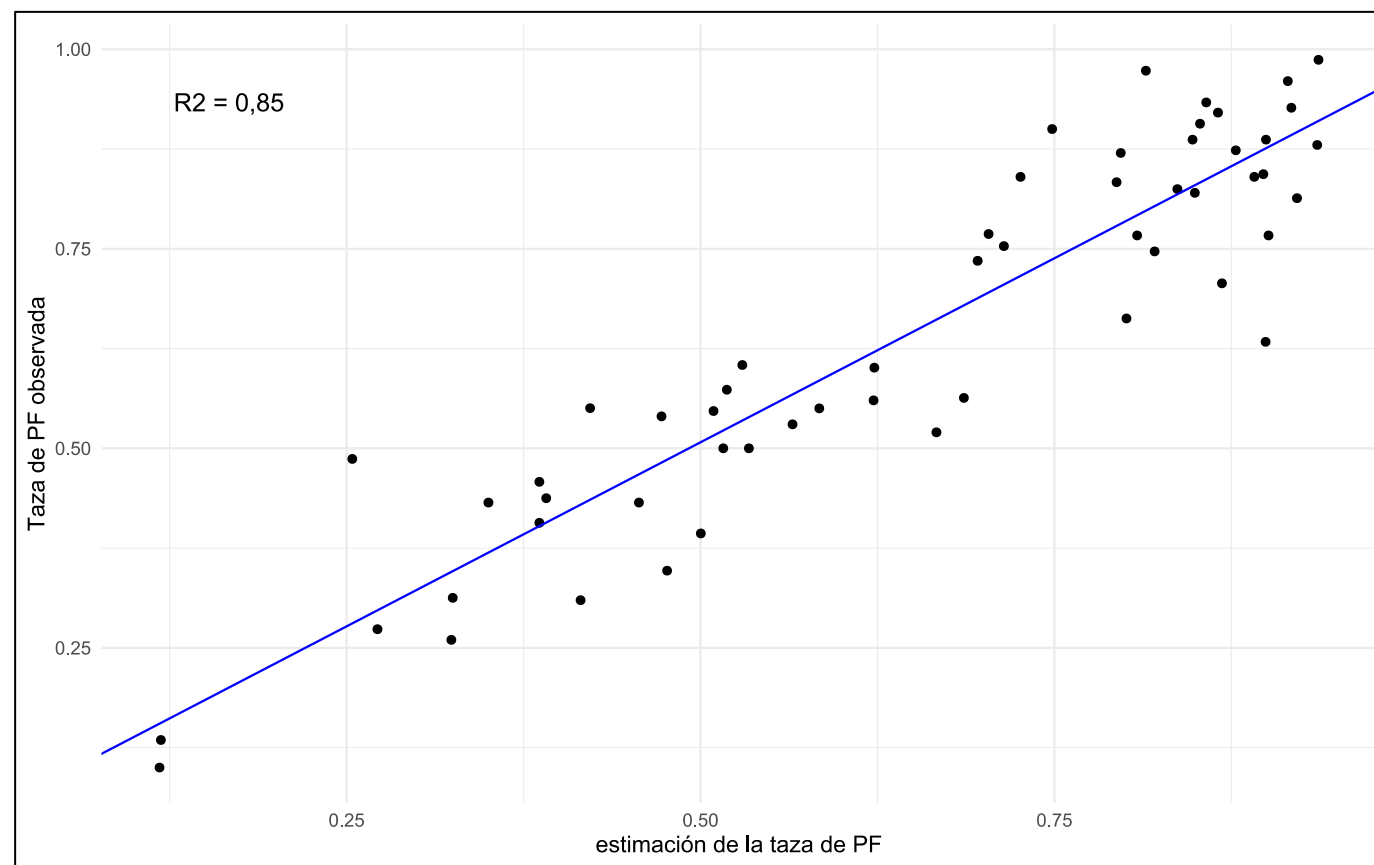
## II. Resultados – Validación cruzada

- Validación cruzada: probar la veracidad del modelo
  - Realización de 56 modelos estadísticos con *training data set* diferentes
  - A cada uno de esos modelos le faltan uno de los 56 cruces
  - Se estima con el modelo “incompleto”
- Comparación “Estimación” y “Observación”

	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	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	Modelo 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	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	Modelo 2
Cruces	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	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	Modelo 3
	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	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	Modelo 4
	...																																																								
	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	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	Modelo 56

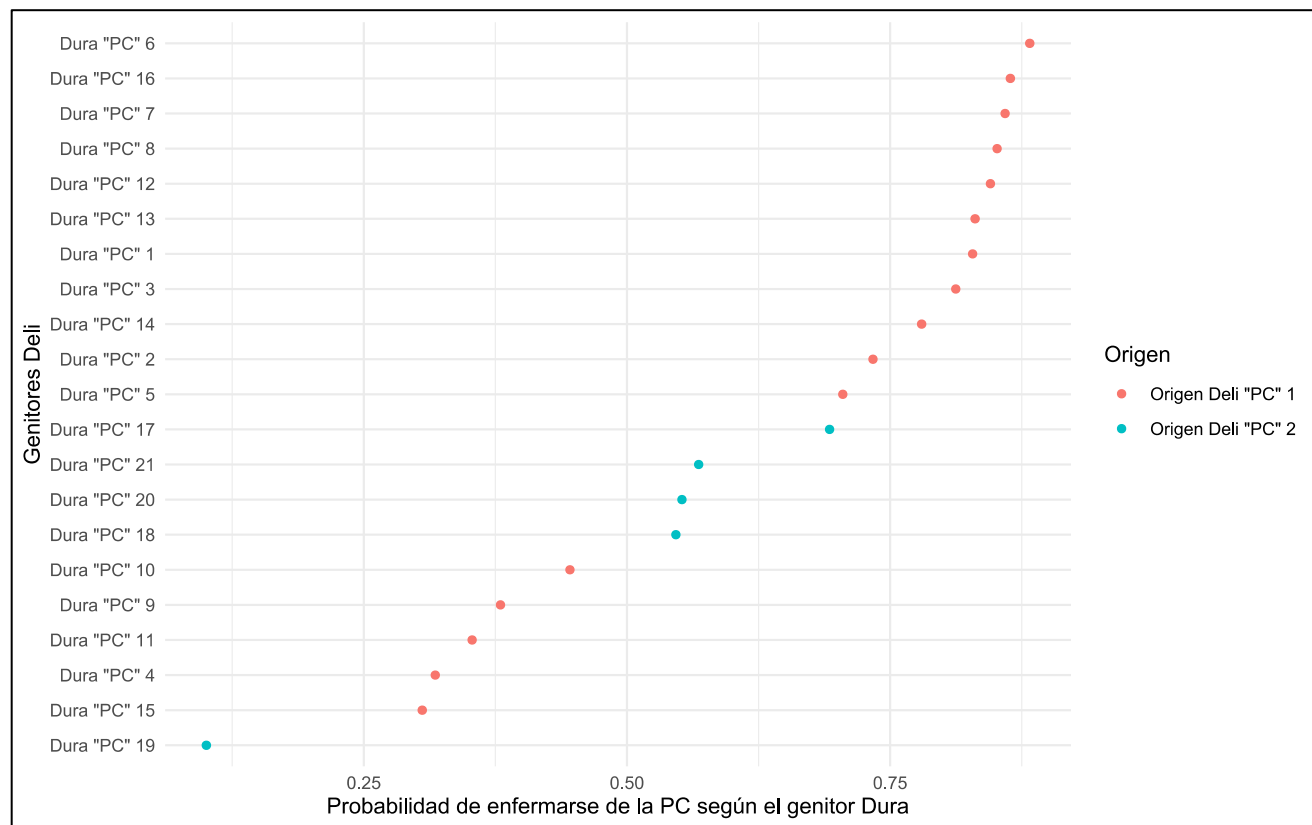
## II. Resultados – Validación cruzada

- Tenemos :
  - Datos de campo (PF observada)
  - Datos estimados según el modelo estadístico)
- Realización de una regresión
- $R^2=0,85$
- El modelo aditivo estima bien los resultados



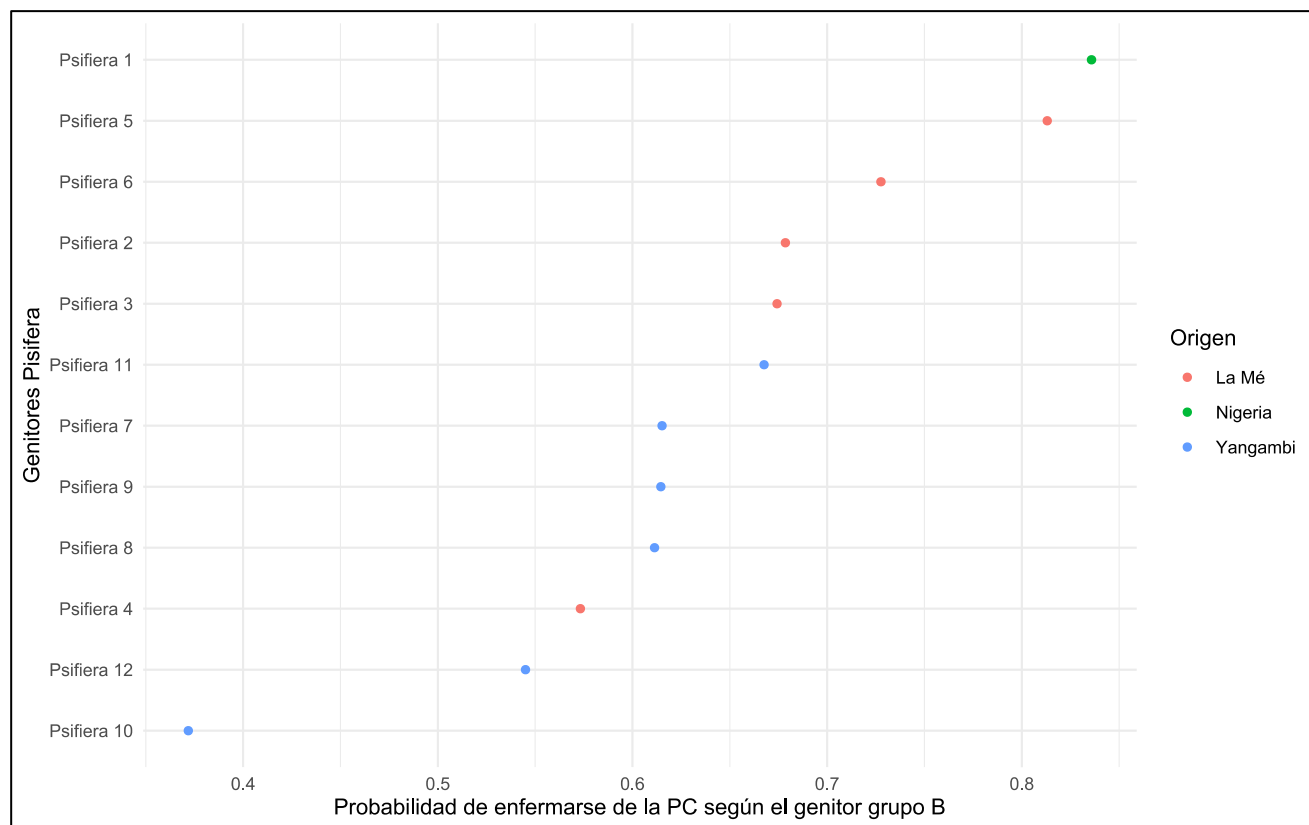
## II. Resultados – Grupo A

- Se observa una alta diversidad dentro de los Deli “PC”
  - De 10% a 85%
  - Corresponde a la segregación prevista
- Permite la selección de los mejores genitores
  - Deli “PC” 19
  - Deli “PC” 15
  - Mejoramiento de la resistencia



## II. Resultados – Grupo B

- Se evidencia también una diversidad en el grupo B
  - Pero menos que en el grupo A
  - De 35% a 85 %
- Pisífera 10 bastante resistente
- Familia 3 de origen Yangambi se destaca



## III. Discusión

- Existen fuentes de resistencia tanto en el grupo A como en el grupo B
- Mejoramiento con selección de los mejores genitores grupo A
  - El modelo permite obtener el valor genético de cada genitor con menos sesgos:
    - “Borra” el efecto del ambiente
    - Toma en cuenta el valor de las parejas en su estimación
  - Permite seleccionar dos genitores Deli “PC”
    - Deli “PC” 19 (altamente resistente)
    - Deli “PC” 15
    - Sembrado en el jardín granero
    - Producción de semillas para 2023-2024

## III. Discusión

- Existen fuentes de resistencia tanto en grupo A como en grupo B
- Mejoramiento con selección de los mejores genitores grupo B
  - Fuente de resistencia en el origen Yangambi
    - Más débil que la del grupo A
    - No fue seleccionado para la renovación del jardín granero
    - Existe fuente de resistencia en el origen La Mé que parece más fuerte



## III. Discusión

- Implicación de la aditividad de un punto de vista de mejoramiento:
  - Posibilidad de combinar las fuentes de resistencia grupo A y Grupo B
    - Deli “PC” x Pisífera “PC” > Deli “PC” x Pisífera “normal”
    - Deli “PC” x Pisífera “PC” > Deli “normal” x Pisífera “PC”
    - Prueba en proceso para comprobar un nuevo material Deli “PC” x La Mé “PC”
  - Facilidad de la selección de los genitores/cruces
    - Teóricamente, un buen genitor se comporta bien con cualquier pareja
    - No hay (tantos) problemas de mal emparejamiento

## Conclusión

- Resalta del ensayo CA GP13:
  - Resistencia en el grupo A como en el grupo B
  - Existe aditividad entre esas dos fuentes de resistencia
  - Esperanza de producir un material guineensis altamente resistente a la PC
- Perspectivas: se conoce otra fuente de resistencia dentro de un sub-origen La Mé (no probado en el CA GP13)
  - Más fuerte que Yangambi
  - Unos genitores con alta productividad
  - Investigación en proceso
- Un ensayo en proceso para confirmar esos resultados



**XX OIL PALM**  
International Conference

**THE TRANSFORMATIVE  
POWER OF OIL PALM**

# Thanks

- Resistencia – susceptibilidad:
  - Basándonos sobre la definición de la “*International seed Federation*”, se usa el término resistencia en concreto a lo biótico, y tolerancia en concreto a lo abiótico.
  - Susceptibilidad: incapacidad de una variedad vegetal para limitar el desarrollo de una plaga o de una enfermedad
  - Resistencia: variedades resistentes pueden presentar algunos síntomas o daños en caso de alta presión patógena
    - Alta resistencia (AR): variedades vegetales que restringen fuertemente el desarrollo de la enfermedad especificada.
    - Resistencia intermedia (RI): variedades de plantas que restringen el crecimiento y/o el desarrollo de la enfermedad especificada. Síntomas o daños menos graves que las variedades de plantas susceptibles.

# Resistencias efectivas en diferentes lugares

- Ecuador
  - Amazonía (Shushufindi - ensayos)
  - Pacífica (San Lorenzo - ensayos)
  - Pacífica (Colé/Quinindé - ensayos)
- Colombia
  - Llanos (ensayos)
  - Magdalena Medio (semicomercial, en progreso)
- Brasil
  - Sur de Belem
- Perú
  - Maniti & Shanushi (en progreso)



