


UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA)
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
Escuela Académico Profesional de Medicina Veterinaria

**INTERACCIÓN GÉNICA:
EFECTOS COMPLEMENTARIOS Y
EFECTOS EPISTÁSICOS**



Luis Ramiro Luna Espinoza
Profesor Auxiliar DE
Laboratorio de Zootecnia y Producción Agropecuaria
Laboratorio de Biología y Genética Molecular

INTERACCIÓN GÉNICA
La interacción génica se puede definir como la influencia mutua entre alelos del mismo locus o alelos de diferentes loci.



FENOTIPO

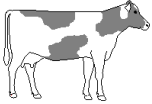
GENOTIPO — **MEDIO AMBIENTE**

EXPRESIÓN GÉNICA Y MEDIO AMBIENTE

- La expresión del genotipo es el resultado de su interacción con el medio ambiente

RENDIMIENTO = GENÉTICA + interacción entre la genética y el medio ambiente + MEDIO AMBIENTE
LECHERO

Resistencia a estrés
Características reproductivas
Reacciones inmunológicas
Reservas corporales
Resistencia a enfermedades
Síntesis de leche



Edad al parto
Estación de parto
Número de ordeños
Nutrición
Temperatura
Luz
Humedad
Bacterias infecciosas

EXPRESIÓN GÉNICA Y MEDIO AMBIENTE

Los gatos siameses tienen sus extremidades oscuras debido al efecto de la temperatura en el producto de la expresión génica (una enzima) que actúa produciendo un pigmento sólo a bajas temperaturas



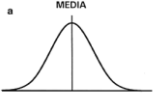
Herencia poligénica

- Es el conjunto responsable de muchos caracteres como el peso, forma, altura, color y metabolismo. Son gobernados por el efecto acumulativo de muchos genes.
- No se expresa en absoluto como caracteres discretos, como en el caso de los caracteres mendelianos.

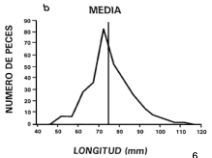
Herencia poligénica

- Los caracteres poligénicos se reconocen por expresarse como graduaciones de pequeñas diferencias (una variación continua). El resultado forma una curva con un valor medio en el pico y valores extremos en ambas direcciones.

a



b



- Cuando la herencia muestra variaciones continuas es porque esta controlada por el **efecto aditivo de dos o más pares de genes separados**. La herencia de cada gen sigue las reglas de Mendel.

La herencia poligénica se distingue por:

- Cuantificarse midiendo más que contando
- Dos o más pares de genes contribuyen al fenotipo
- La expresión fenotípica abarca un gran rango

En humanos se observa en:

- Altura
- Peso
- Color de ojos
- **Inteligencia**
- Color de la piel
- Muchas formas de comportamiento

7

INTERACCION DE GENES

- **Interacción con Efectos Complementarios:**
Las dos series alélicas actúan sobre un mismo carácter y sus genes interaccionan entre sí para determinar los diferentes fenotipos.
- **Interacción con Efectos Epistáticos:**
Los genes de una serie actúan enmascarando o inhibiendo la acción o expresión de los genes de la otra serie alélica.

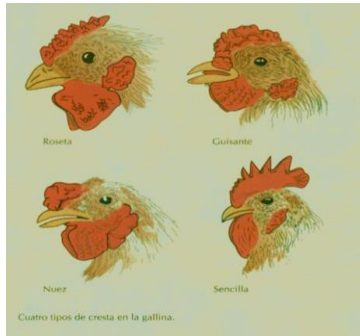
8

Interacción con Efectos Complementarios

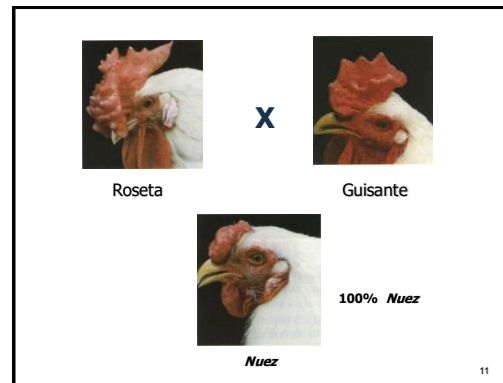
- **Con dominancia dentro de cada serie alélica**
- ✓ 9:3:3:1 Aves: Raza Wyandotte (cresta rosa) y Brahmans (cresta guisante).
- ✓ 9:6:1 Porcinos: Duroc Jersey (color blanco sucio o arenoso).

9

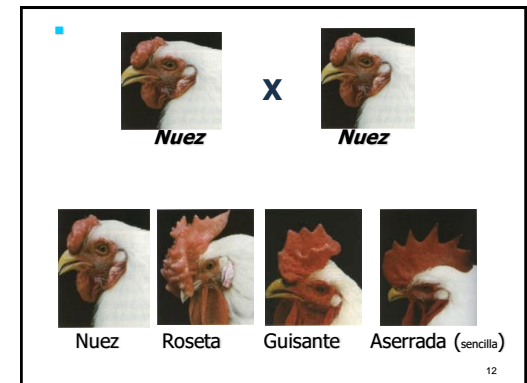
Caracteres determinados por mas de un gen



10



11



12

Raza Wyandotte
Cresta roseta
RR pp

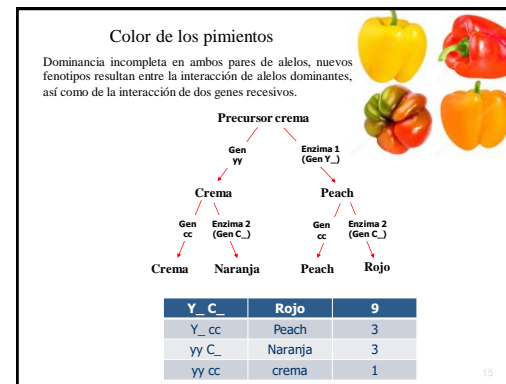
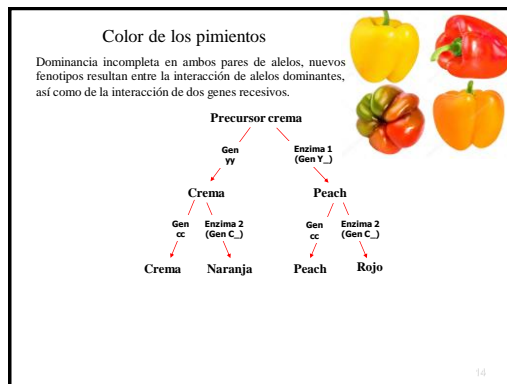
X

Raza Brahmans
Cresta guisante
rr PP

Rr Pp
Cresta Nuez

	RP	Rp	rP	rp
RP	RRPP nuez	RRPp nuez	RrPP nuez	RrPp nuez
Rp	RRPp nuez	RRpp rosa	RrPp nuez	Rrpp rosa
rP	RrPP nuez	RrPp nuez	rrPP guisante	rrPp guisante
rp	RrPp nuez	Rrpp rosa	rrPp guisante	rrpp simple

9 cresta nuez; 3 cresta rosa; 3 cresta guisante; 1 cresta simple.



Interacción con Efectos Complementarios

- Con dominancia incompleta dentro de las dos series alélicas

9 Fenotipos y 16 combinaciones.

- ✓ Crianza de zorros (pigmentación del pelo).
Rojos: dominantes a ambas series.
Plateados: dominantes en solo una serie.
Negros: homocigosis recesiva en ambas series.

P Zorro Rojo AABB X Zorro Negro Doble aabb

F1 AbBb

AB	AABB	AaBb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AaBb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

ROJOS Por tener genes dominantes en las 2 series alélicas	1 rojo puro AaBB	1
	2 rojos humo AaBb	2
	2 rojos cruzado AaBB	2
	4 rojos dorsal y negro ventral AaBb	4
PLATEADOS Por tener gene dominantes en sólo una serie alélica	1 plateado standard AaBb	1
	2 plateados substandard AaBb	2
	1 plateado alaska aaBB	1
	2 subplateados alaska aaBb	2
NEGRO Recesivo doble	1 negro doble aabb	1

9 FENOTIPOS; 16 COMBINACIONES

INTERACCION CON EFECTOS EPISTASICOS

EPISTASIS

- Interacción entre alelos presentes en distintos locus. Ocurre cuando dos pares de genes afectan a la misma característica, pero uno de ellos en una determinada condición enmascara el efecto del otro par.
- Cuando la epistasis opera entre dos loci genéticos, el número de fenotipos que aparecen en la descendencia de dihíbridos no será cuatro, como lo predice la Segunda Ley de Mendel, sino un número menor

19

Tipos de Epistasia

- E. Dominante simple
- E. Recesiva Simple
- E. Dominante Doble
- E. Recesiva Doble
- E. Dominante y Recesiva

20

Epistasia Dominante Simple (12:3:1)

- Cuando el alelo dominante de un locus, por ejemplo, el alelo A produce un fenotipo independientemente de la condición alélica del otro locus, entonces se dice que el locus A es epistático para el locus B.
- Como el alelo dominante A es capaz de expresarse aún en presencia de B o b, se trata de un caso de epistasia dominante. Sólo cuando el genotipo de un individuo es homocigoto recesivo para el locus epistático aa, los alelos del locus hipostático podrán expresarse (B o b). Así los genotipos A-B- y A-bb producen el mismo fenotipo; aabb y aaB- producen dos fenotipos adicionales, cambiando el número de clases de fenotipos de 4 a 3 y la proporción 9:3:3:1 por 12:3:1.

21

P	AABB				X	aabb			
F1	AbBb								
F2	AbBb				X	AbBb			
	AB	Ab	aB	ab	9 A_B_	12 (A_B_ ; A_bb)			
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb	3 A_bb	3 aaB_			
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb	3 aaB_	1 aabb			
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb					
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb					

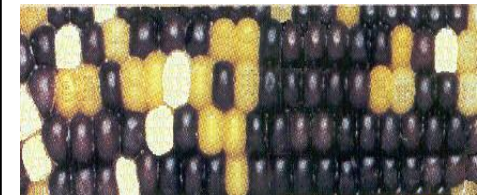
Epistasia Dominante Simple (12:3:1)

22

P	Blanco AABB				X	Café aabb			
F1	Blanco AbBb								
F2	Blancos AbBb				X	Blancos AbBb			
	AB	Ab	aB	ab	9 A_B_	12 (A_B_ ; aaB_)			
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb	3 A_bb	3 A_bb			
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb	3 aaB_	1 aabb			
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb					
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb					

Epistasia Dominante Simple (12 blancos:3 negros:1 café)

23



Mazorca de F2 con segregación
12 Púrpura : 3 Amarillo : 1 Blanco
 9 A_B_, 3 A_bb : 3 aaB_ : 1 aabb

24

En la coloración de calabazas

Una sola copia del alelo dominante W es suficiente para inhibir la producción de pigmentos

Color precursor blanco $\xrightarrow{\text{Enzima I}}$ Color verde $\xrightarrow{\text{Enzima II}}$ Color amarillo

ww: activo Y_: activo
W_: inactivo yy: inactivo

W_: Inhibe la conversión de Blanco a Verde
Y_: Produce enzima II (Verde a amarillo)

26

En la coloración de calabazas

Una sola copia del alelo dominante W es suficiente para inhibir la producción de pigmentos

Color precursor blanco $\xrightarrow{\text{Enzima I}}$ Color verde $\xrightarrow{\text{Enzima II}}$ Color amarillo

ww: activo Y_: activo
W_: inactivo yy: inactivo

W_: Inhibe la conversión de Blanco a Verde
Y_: Produce enzima II (Verde a amarillo)

W_Y_	Blancas	9	12
W_yy	Blancas	3	
wwY_	Amarillas	3	3
wwyy	Verdes	1	1

26

Epistasis Recesiva Simple (9:3:4)

- Si el **genotipo recesivo** en un **locus** (por ejemplo aa) suprime la expresión de los alelos en el locus B, se dice que el locus A muestra **epistasis recesiva** sobre el locus B. Solo si está presente el alelo dominante en el locus A, los alelos del locus B pueden expresarse.
- Los **genotipos** aaBb y aabb presentan un mismo fenotipo. A-B- y A-bb producen dos fenotipos adicionales, cambiando el número de clases de fenotipos de 4 a 3 y la proporción 9:3:3:1 en 9:3:4.

27

En las ratas, un gen dominante completo produce color negro, y su alelo recesivo el color crema. En otro par, un gen dominante completo determina la producción de una enzima, que al oxidar a los cromógenos, produce la pigmentación de la piel y de las mucosas. En ausencia de éste último gen la enzima no se presenta, y por más factores para la coloración que existan, el individuo siempre será albino. En otras palabras, la homocigosis recesiva en este último par enmascara la acción de cualquier otro que se relacione con la pigmentación. Si se cruza un animal homocigote a negro, de una familia en la que nunca ha existido albinismo con un animal albino, potencialmente crema se tendrá:

28

P negro RRCC X Albino rrcc

F1 Negro RrCc

F2 RrCc X RrCc

	RC	Rc	rC	rc	9 R_C_	9 (R_C_) Negro
RC	RRCC	RRCc	RrCC	RrCc	3 R_cc	3 R_cc crema
	negro	negro	negro	negro	3 rr C_	3 rr C_ crema
Rc	RcCc	RRcc	RrCc	Rrcc	1 rr cc	4 rrcc; rrC_ albino
	negro	crema	negro	crema		
rC	RrCC	RrCc	rrCC	rrCc		
	negro	negro	albino	albino		
rc	RrCc	Rrcc	rrCc	rrcc		
	negro	crema	albino	albino		

Epistasis Recesiva Simple (9:3:4)

29

P1 Negro P2 Oro




AABB aabb

1ª Generación Filial F1




Negro (AaBb) Negro (AaBb)

30

1ª Generación Filial F1

Negro (AaBb) X Negro (AaBb)

Negro 9 A-B- Marrón 3 A-bb Oro 3 aaB- Oro 1 aabb

2ª Generación Filial F2 :
9 Negro : 3 Marrón : 4 Oro

En la coloración del perro labrador

Dominancia incompleta en ambos pares de genes, sin embargo cuando un gen es homocigoto recesivo esconde el efecto del otro gen

El genotipo recesivo de un locus (ww) suprime la expresión de los alelos del otro locus

B₂: activo
 E₂: activo

Precursor $\xrightarrow{\text{Enzima I}}$ Negro $\xrightarrow{\text{Enzima II}}$ Negro

bb: inactivo \rightarrow Marrón $\xrightarrow{\text{Enzima II}}$ Marrón

ee: inactivo \rightarrow Amarillo

Gen B: Síntesis de Eumelanina
 Gen E: Deposición de eumelanina

En la coloración del perro labrador

Dominancia incompleta en ambos pares de genes, sin embargo cuando un gen es homocigoto recesivo esconde el efecto del otro gen

El genotipo recesivo de un locus (ww) suprime la expresión de los alelos del otro locus

B₂: activo
 E₂: activo

Precursor $\xrightarrow{\text{Enzima I}}$ Negro $\xrightarrow{\text{Enzima II}}$ Negro

bb: inactivo \rightarrow Marrón $\xrightarrow{\text{Enzima II}}$ Marrón

ee: inactivo \rightarrow Amarillo

Gen B: Síntesis de Eumelanina
 Gen E: Deposición de eumelanina

B ₂ E ₂	Negro	9	9
bbE ₂	Marrón	3	3
B ₂ ee	Amarillo	3	4
bb ee	amarillo	1	

- Un ejemplo de epistasis recesiva se da en el color del pelaje de los roedores.
- Se observa un patrón conocido como Agouti, (mayoría de pelos negros con una banda amarilla cerca de la punta).
- El patrón negro resulta por ausencia del pigmento amarillo encontrado en el patrón Agouti.
- El pelaje albino resulta por ausencia total de pigmento.
- Cuando una variedad pura de Agouti es cruzada con albinos, toda la F1 será Agouti. Cuando los ratones de la F1 se cruzan entre sí, la progenie F2 consiste en aproximadamente en 9/16 Agouti, 3/16 negros y 4/16 albino (ver Figura).

P AACC Agouti X aacc Albino

F1 X F1 AaCc Agouti X AaCc Agouti

Proporciones Genotípicas F2

3/4 A- $\left\{ \begin{array}{l} 3/4 C- \rightarrow 9/16 A-C- \text{ Agouti} \\ 1/4 cc \rightarrow 3/16 A-cc \end{array} \right.$

1/4 aa $\left\{ \begin{array}{l} 3/4 C- \rightarrow 3/16 aaC- \text{ Negro} \\ 1/4 cc \rightarrow 1/16 aacc \text{ Albino} \end{array} \right.$

Proporciones Fenotípicas F2: 9/16 Agouti, 3/16 Negro, 4/16 Albino

- Este patrón se produce porque los parentales difieren en un **gen** que es necesario para el desarrollo del color. La presencia de al menos un alelo C en condición normal es fundamental para la expresión de la pigmentación. El padre albino posee ambos alelos de manera recesiva [aacc], por lo que al realizar el cruce con un Agouti [AACC], se produce una F1 [AaCc] heterocigota para el **locus** C.
- Luego en la F2 aparecen 4/16 ratones albinos [A-cc y aacc] que son recesivos para el locus C, 9/16 [A-C-] Agouti que son, ya sea **homocigoto dominante** o **heterocigoto** para el locus C y 3/16 [aaC-] negros que son homocigoto dominante o heterocigoto para el locus C, pero recesivos para el locus A, lo cual da un **fenotipo** distinto que Agouti (que necesita al menos un alelo A en condición normal para que sea expresado).
- Si A está en condición **homocigota recesiva** (aa) entonces el fenotipo será negro, por falta del pigmento amarillo que es codificado por el alelo A.

Epistasis dominante Doble (15: 1)

- La proporción 9 : 3 : 3 : 1 se modifica a 15 : 1 si los alelos dominantes de ambos **loci** producen cada uno el mismo fenotipo **sin efecto acumulativo**.
- Por ejemplo, si consideramos la producción de cantidades de pigmentos, los **genotipos dominantes** de cada locus producirán una unidad de pigmento A₁ y B₁, así como también el genotipo A₁B₁ producirá una unidad. El **genotipo** aabb será el único que tendrá un fenotipo distinto que será ausencia de pigmento

37

P **Con plumas AABB** x **Sin plumas aabb**

F1 **AbBb Con plumas**

F2 **Con plumas AbBb** x **Con plumas AbBb**

	AB	Ab	aB	ab	9 A ₁ B ₁	15 (A ₁ B ₁ ; aaB ₁ ; A ₁ bb)
AB	AABB con plumas	AABb con plumas	AaBB con plumas	AaBb con plumas	3 A ₁ bb	1 aabb
Ab	AABb con plumas	AAbb con plumas	AaBb con plumas	Aabb con plumas	3 aaB ₁	
aB	AaBB con plumas	AaBb con plumas	aaBB con plumas	aaBb con plumas	1 aabb	
ab	AaBb con plumas	Aabb con plumas	aaBb con plumas	aaab sin plumas		

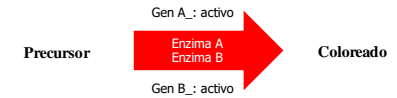
Epistasis Dominante Doble (15 con plumas: 1 sin plumas)

38

Color del núcleo de las semillas de trigo

Completa dominancia en ambos genes, cuando el gen es dominante, esconde el efecto del otro gen.

Los genes en un sistema redundante tienen una acción duplicada, ellos codifican el mismo producto o productos muy semejantes



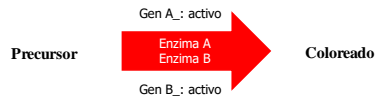
Solo un alelo dominante es capaz de producir la característica

39

Color del núcleo de las semillas de trigo

Completa dominancia en ambos genes, cuando el gen es dominante, esconde el efecto del otro gen.

Los genes en un sistema redundante tienen una acción duplicada, ellos codifican el mismo producto o productos muy semejantes



Solo un alelo dominante es capaz de producir la característica

A ₁ B ₁	Coloreado	9	15
A ₁ bb	Coloreado	3	
aaB ₁	Coloreado	3	
aa bb	Sin color	1	

40

Epistasis Recesiva Doble (9:7)

- Es el caso en que ambos genotipos **homocigotos recesivos** producen **fenotipos** idénticos, la proporción se modifica a 9: 7. Los genotipos aaB₁, A₁bb y aabb producen un solo **fenotipo**. Cuando ambos alelos son dominantes, se complementan uno con otro, y se produce un **fenotipo** diferente.
- Por ejemplo, una relación de 9:7 aparece en el caso del color del grano del maíz, donde es posible que se presenten dos rutas metabólicas

41



Mazorca de F₂ con segregación 9 Rojo : 7 Blanco

42

P **color AABB** X **color aabb**

F1 **Color AbBb** Gen A= color
Gen a= epistasia
Gen B= color
Gen b= epistasia

F2 **color AbBb** X **color AbBb**

	AB	Ab	aB	ab	9 A_B_	9 (A_B_)
AB	AABB color	AABb color	AaBB color	AaBb color	3 A_bb	7 A_bb; aaB_ ; aabb
Ab	AABb color	AAbb blanco	AaBb color	Aabb blanco	3 aaB_	
aB	AaBB color	AaBb color	aaBB blanco	aaBb blanco	1 aabb	
ab	AaBb color	Aabb blanco	aaBb blanco	aabb blanco		

Epistasis Recesiva doble (9 color:7 blancos)

El color de la flor de la alverja dulce

Dominancia incompleta en ambos pares de genes, sin embargo, cuando el gen es homocigoto recesivo esconde el efecto del otro gen

Gen A_ : Activo Gen B_ : Activo
Gen aa: inactivo Gen bb: inactivo

Precursor → **Enzima A** → **Precursor II** → **Enzima B** → **Anthocyanin**

Alelos recesivos en cualquiera de los 2 loci son capaces de suprimir la producción de pigmento

El color de la flor de la alverja dulce

Dominancia incompleta en ambos pares de genes, sin embargo, cuando el gen es homocigoto recesivo esconde el efecto del otro gen

Gen A_ : Activo Gen B_ : Activo
Gen aa: inactivo Gen bb: inactivo

Precursor → **Enzima A** → **Precursor II** → **Enzima B** → **Anthocyanin**

Alelos recesivos en cualquiera de los 2 loci son capaces de suprimir la producción de pigmento

A_B_	Púrpura	9	9
A_bb	Blanco	3	7
aaB_	Blanco	3	
aa bb	Blanco	1	

Epistasis doble dominante y recesiva (13:3)

Dominancia completa en ambos pares de genes, sin embargo cuando el gen es dominante esconde el efecto del otro gen.
El alelo dominante en un locus suprime completamente la expresión fenotípica de los alelos en un segundo locus.

Color de la plumas de los pollos

Precursor sin color → **Enzima C_** → **Coloreado**
Gen ii

Precursor sin color → **Enzima C_** → **Blanco**
Gen I_ / Enzima cc

Gen I_ / Gen ii

Gen C: Responsable por las plumas coloreadas
Gen I: Suprime el gen C

Color de la plumas de los pollos

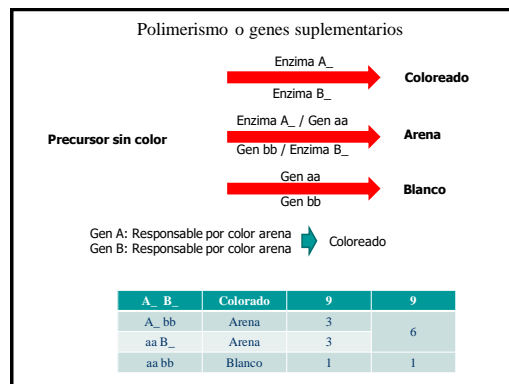
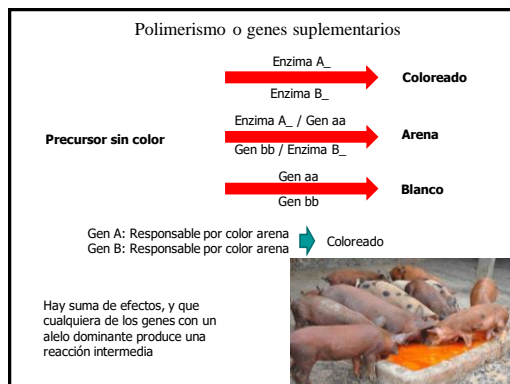
Precursor sin color → **Enzima C_** → **Coloreado**
Gen ii

Precursor sin color → **Enzima C_** → **Blanco**
Gen I_ / Enzima cc

Gen I_ / Gen ii

Gen C: Responsable por las plumas coloreadas
Gen I: Suprime el gen C

C_I_	Blanco	9	13 : 3
C_ ii	Coloreado	3	
cc I_	Blanco	3	
cc ii	Blanco	1	



CAMBIOS EN LA FRECUENCIAS DE LOS DESCENDIENTES SEGÚN EL TIPO DE EPISTASIA

Tipo de interacción	Genotipos			
	A-B-	A-bb	aaB-	aabb
Sin modificación de la segregación (9:3:3:1)	9	3	3	1
Epistasia Simple Dominante	12		3	1
Epistasia Simple Recesiva	9	3	4	
Epistasia Doble Dominante	15			1
Epistasia Doble Recesiva	9	7		
Epistasia Doble Dominante-Recesiva	13		3	0