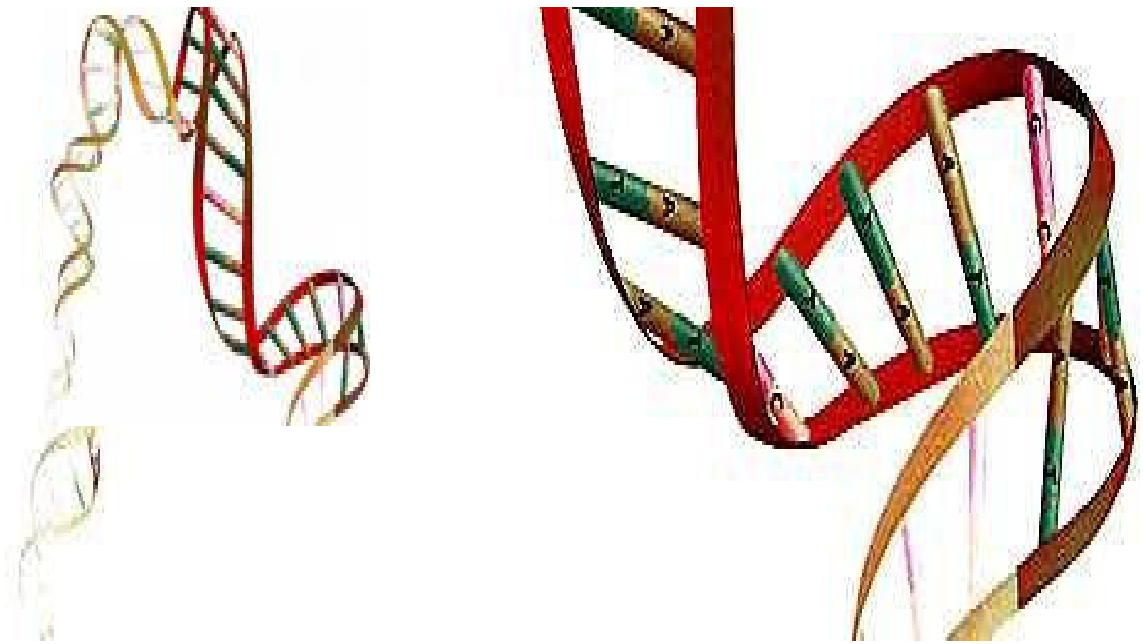




**GENETICA BÁSICA
APLICADA A LA
CANARICULTURA DE
COLOR**

Manual para Aspirantes a Juez de Color



ANTONIO PLA MARTÍNEZ
Juez de Color CJA-FOA
2007

Es propiedad, 2007

Antonio Pla Martínez

Expte. GR-00426-2007

PREFACIO

Durante mi preparación como aspirante a Juez de Color, fui consciente de la dificultad que puede entrañar para muchos aspirantes la preparación de las preguntas de Genética con vistas al examen teórico. Aunque el estándar del Colegio de Jueces contiene un apartado de Genética, resulta insuficiente para preparar adecuadamente todas las preguntas de Genética y especialmente en el apartado de los cruzamientos. De hecho, con la documentación que se les proporciona a los aspirantes se puede encontrar la respuesta a todas las preguntas incluidas en el “Cuestionario para aspirantes” excepto en el caso de las referidas a Genética y cruzamientos de canarios de color. Eso obliga a tener que consultar bibliografía especializada que no siempre está al alcance de todos y que normalmente utiliza un lenguaje poco comprensible para personas neófitas en el tema.

De ahí surgió la idea de preparar un manual que, conteniendo los conceptos básicos de Genética, sirviese de base para la preparación de todas las preguntas de Genética que el aspirante debe saber responder y especialmente las de cruzamientos. Hubiera sido muy fácil transcribir las preguntas con sus respuestas ya elaboradas. Sin embargo, aunque en este manual se incluyen las respuestas a todas las preguntas de Genética del “Cuestionario para aspirantes” la materia se ha desarrollado por capítulos procurando seguir un orden lógico en la adquisición de los conocimientos, con el objetivo último de poder afrontar con éxito cualquier cruzamiento de canarios de color que se nos pueda plantear. Por ello se insiste, en la segunda parte del manual, en la metodología básica para resolver los cruzamientos, con ejemplos desarrollados de las distintas situaciones que se pueden presentar.

Finalmente, en anexo aparte, se incluyen las soluciones a todas las preguntas de cruzamientos recogidas en el “Cuestionario para aspirantes” y otros muchos supuestos de cruzamientos.

Espero que este modesto trabajo sirva para que los aspirantes, a los que va especialmente dirigido, lleguen a comprender los principios básicos de Genética y sepan aplicarlos para la resolución de los cruzamientos de canarios de color.

Antonio Pla Martínez, 2007

CONTENIDO

PARTE I PRINCIPIOS BÁSICOS

Capítulo 1. Genética y herencia

Capítulo 2. La célula

Tipos de células
¿Cómo se dividen las células?

Capítulo 3. Los cromosomas

Tipos de cromosomas
Número de cromosomas
Diferencias macho/hembra
Determinación del sexo en los canarios

Capítulo 4. El gen

Tipos de genes
Un par de genes determina un carácter
Genotipo y fenotipo
Alelos
Homocigosis y heterocigosis
Interacciones entre alelos
Tipos de herencia
Interacciones entre genes
Formulación y símbolos genéticos en canaricultura de color
Genes conocidos en el canario de color
Fórmula genética del canario verde ancestral y de las distintas variedades de canarios

Capítulo 5. Las “Leyes de Mendel”

Capítulo 6. Reproducción celular: Mitosis y Meiosis

Capítulo 7. El “crossing-over” o entrecruzamiento.

Utilidad práctica del crossing-over: el canario “passe-partout”

Capítulo 8. Mutaciones

Interés de las mutaciones en canaricultura de color
¿Cómo fijar una mutación?

PARTE II

CRUZAMIENTOS DE CANARIOS DE COLOR

Capítulo 9. Generalidades

Metodología

Comportamiento genético de los distintos caracteres en el canario de color

Deducción del fenotipo a partir del genotipo

Canarios melánicos con apariencia de lipocrómicos

Capítulo 10. Herencia de un solo gen

Un gen autosómico recesivo

Un gen autosómico dominante

Un gen ligado al sexo

Capítulo 11. Herencia de dos o más genes

Sistemas para resolver cruzamientos de dos o más genes

Dos genes autosómicos recesivos

Dos genes autosómicos dominantes

Dos genes autosómicos (uno dominante + uno recesivo)

Un gen autosómico + un gen ligado al sexo

Dos genes ligados al sexo

Capítulo 12. Herencia del factor rojo

Capítulo 13. Herencia del factor mosaico

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO I. Preguntas de Genética

ANEXO II. Ejercicios de cruzamientos resueltos

PARTE I

PRINCIPIOS BÁSICOS

Capítulo 1. GENÉTICA Y HERENCIA

La GENÉTICA es una rama de la Biología dedicada al estudio de la herencia biológica, es decir, de los mecanismos de transmisión de los caracteres de padres a hijos.

De otra forma es la “Ciencia dedicada al estudio de los caracteres hereditarios y su transmisión”.

Gregorio Mendel, considerado como el padre de la Genética, fue un fraile agustino que, realizando una serie de cruzamientos en guisantes, llegó a una serie de conclusiones conocidas como Leyes de Mendel, que rigen la transmisión de los caracteres hereditarios y son la base de esta ciencia.

La **herencia** podemos definirla como **“el fenómeno biológico por el cual los ascendientes transmiten a su descendencia cualidades y defectos mediante complejos mecanismos”**.

Las cualidades heredables más habituales en Ornitología son: morfología, color, salubridad, fertilidad, etc.

Las leyes de Mendel que rigen la transmisión de los caracteres hereditarios son tres:

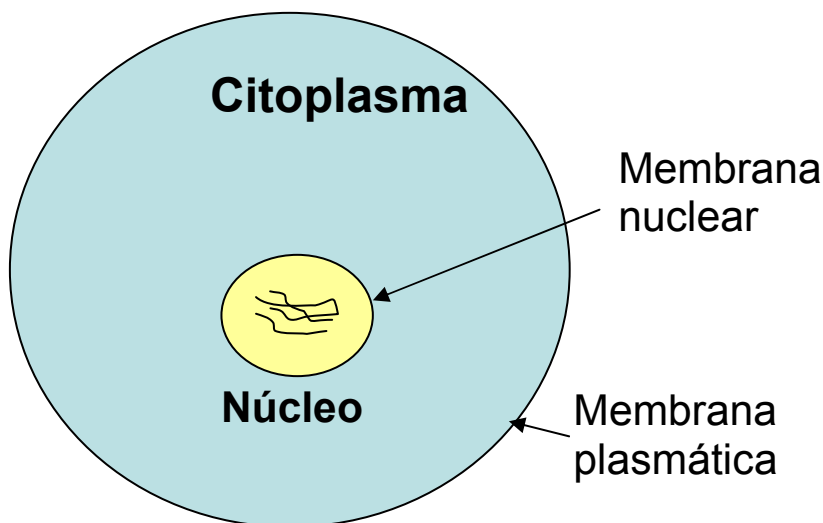
- 1ª) Ley de la uniformidad de la primera generación filial
- 2ª) Ley de la separación de los genes que forman la pareja de alelos
- 3ª) Ley de la herencia independiente de los caracteres

Más adelante, una vez estudiados los conceptos básicos de Genética, abordaremos con detalle el contenido y significado de estas leyes (ver Capítulo 5).

Capítulo 2. LA CÉLULA

Todos los seres vivos están formados por CÉLULAS. **La CÉLULA es la unidad elemental, morfológica y funcional de los seres vivos.**

En los seres unicelulares (formados por una sola célula), la célula y el organismo son una misma cosa. En los seres pluricelulares (formados por millones de células) las células se organizan en tejidos, órganos y sistemas para realizar una función determinada. En la siguiente figura se representa esquemáticamente una célula.



En el núcleo se localiza el material genético (ADN: Acido desoxirribonucleico) que en última instancia determina todas las características propias de un individuo.

TIPOS DE CÉLULAS. En un organismo se pueden distinguir dos tipos de células:

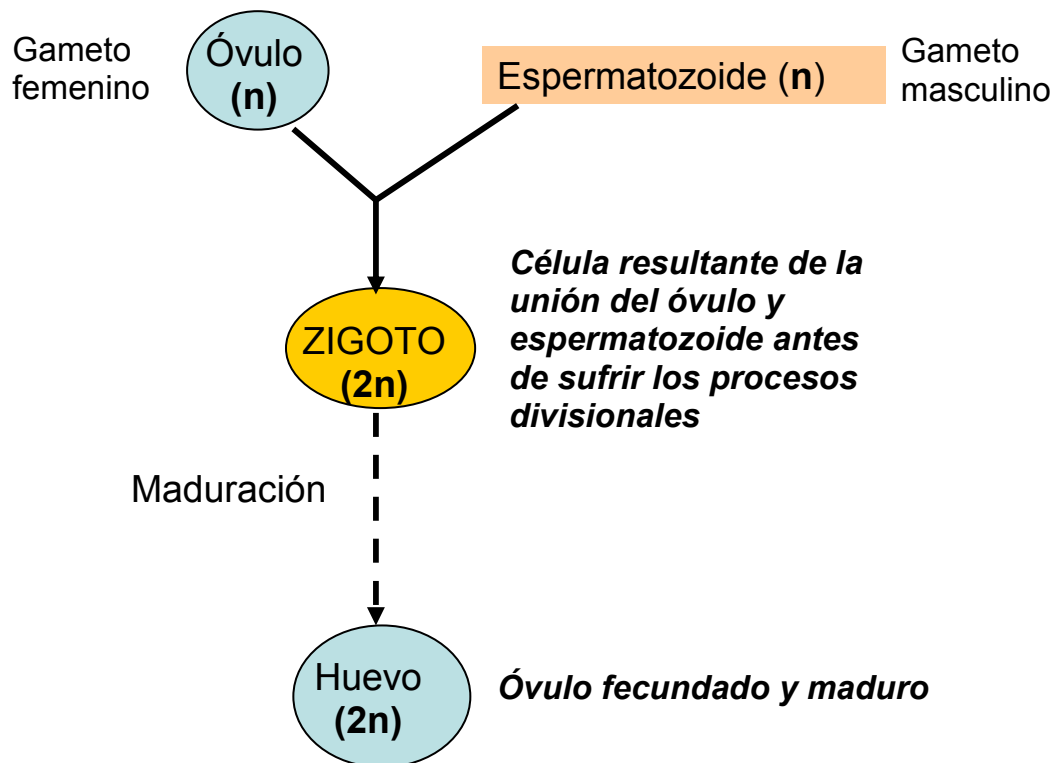
- 1) **células somáticas**, que forman los tejidos de todos los órganos
- 2) **células sexuales** (llamadas también **células germinales** o **gametos**), que intervienen en el proceso de la reproducción.

¿CÓMO SE DIVIDEN LAS CÉLULAS? Las células se pueden dividir mediante dos modalidades: **mitosis** y **meiosis** (ver Capítulo 6). En la mitosis se obtienen dos células hijas, iguales a la célula madre, con el mismo número de cromosomas ($2n$) que aquella e idénticas entre sí. Esta es la modalidad usada por las células somáticas.

Las células sexuales o gametos (espermatozoides y óvulos) se forman en las gónadas (testículos y ovarios) a partir de unas células especiales, en un proceso conocido como "**gametogénesis**". En este proceso utilizan un mecanismo especial de división (meiosis) que reduce a la mitad (n) la dotación

cromosómica (nº de cromosomas) que contiene una célula normal de la especie considerada. De esta forma la unión de los gametos (óvulo y espermatozoide) en el momento de la **fecundación** da lugar al **zigoto** que, de nuevo, posee la dotación completa de cromosomas de la especie ($2n$): la mitad procede de la madre (aportada por el óvulo) y la otra mitad procede del padre (aportada por el espermatozoide). De esta célula derivará posteriormente todo el organismo.

Esquemáticamente:



Debido al diferente proceso por el que se dividen ambos tipos de células, las células somáticas son, absolutamente todas, genéticamente iguales, mientras que las células sexuales, por la recombinación genética (o entrecruzamiento) que ocurre durante la meiosis son, genéticamente, diferentes.

La importancia de la meiosis radica en dos hechos:

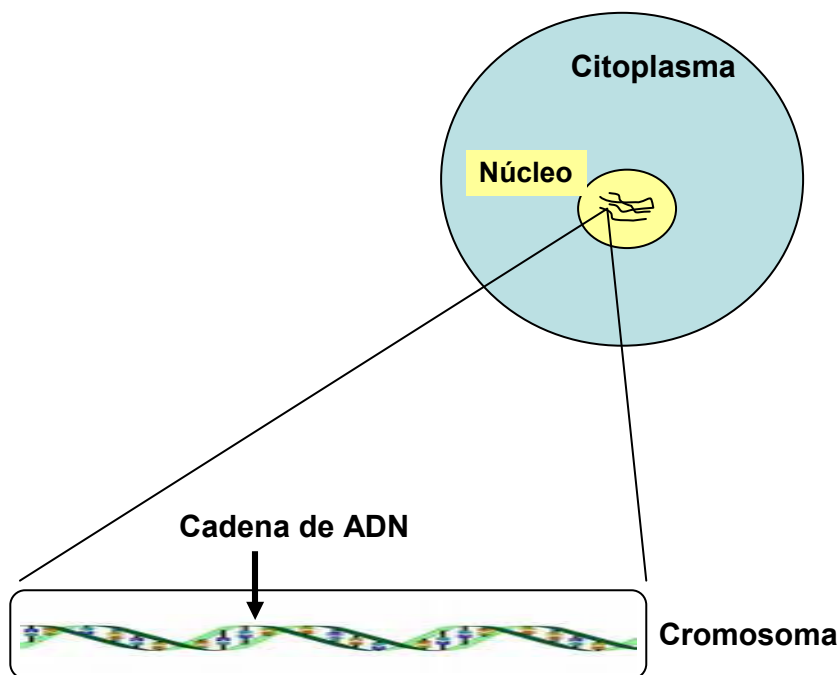
(a) Durante la meiosis es cuando se produce el entrecruzamiento o “crossing-over” con lo que **aumenta la variabilidad genética**

(b) Mediante la meiosis se **mantiene constante el número de cromosomas de los individuos de la misma especie.**

Capítulo 3. LOS CROMOSOMAS

Los “**cromosomas**”, son estructuras filamentosas formadas por ADN y proteínas (histonas) que se localizan en el núcleo de la célula. En ellos está contenida toda la “**información genética**”, **que determina las características de un individuo**.

El conjunto de todos los cromosomas (número, tamaño, forma) varía según la especie y es característico y constante para una especie determinada. El conjunto de los pares de cromosomas de un individuo, clasificados en distintos grupos según ciertos criterios (tamaño, forma, etc.) recibe el nombre de “**cariotipo**”.

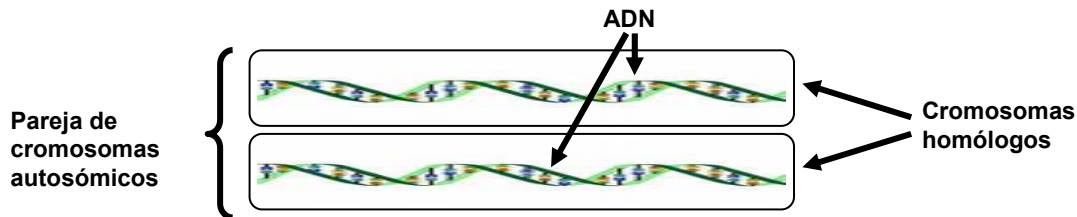


En definitiva, “**todos los individuos de la misma especie poseen el mismo número de cromosomas en sus células**”. De esta forma, todos los canarios, sea cual sea la raza o variedad, poseen el mismo número de cromosomas. Así, por ejemplo, un canario “gloster” posee el mismo número de cromosomas que un “rojo intenso”; un canario “rizado de París” posee el mismo número de cromosomas que un “lizard”, etc.

Los cromosomas son iguales dos a dos (a excepción de los cromosomas sexuales), agrupándose por parejas (visibles en algunos momentos del proceso de división celular). Cada uno de los cromosomas de la pareja se llama “cromosoma homólogo”. Uno de ellos procede del padre y el otro de la madre.

TIPOS DE CROMOSOMAS. Podemos distinguir dos tipos de cromosomas: “**autosómicos**” y “**sexuales**”. Estos últimos son los que intervienen en la determinación del sexo.

Cada pareja de cromosomas autosómicos o “**autosomas**” está formada por dos cromosomas homólogos “iguales” en forma y tamaño. Los cromosomas sexuales, a diferencia de los autosómicos, son distintos entre sí; por ello también se les conoce como “**heterocromosomas**”. En la figura siguiente se representa una pareja de cromosomas autosómicos (los dos cromosomas homólogos son iguales).



NÚMERO DE CROMOSOMAS. En el canario existen **80 cromosomas** dispuestos por parejas. Un canario posee en sus células, por tanto, **40 pares de cromosomas**:

- **39 pares de cromosomas autosómicos** (comunes a ♂ y ♀)
- **1 par de cromosomas sexuales** (distintos en ♂ y ♀)

En las células sexuales existen tan sólo la mitad:

39 cromosomas autosómicos
1 cromosoma sexual

Todas las células de los canarios poseen 80 cromosomas (40 en las células sexuales), sean negros, ágatas, topacio, etc.

DIFERENCIAS MACHO / HEMBRA. Los cromosomas sexuales son idénticos en el ♂ y se conocen como “cromosomas Z”. Por ello, un macho será “ZZ”. En la hembra el par de cromosomas sexuales está formado por un cromosoma “Z” y otro cromosoma más pequeño y “vacío” conocido como “cromosoma W”. Por lo tanto el par de heterocromosomas de una hembra será “ZW”. A veces y, considerando que el cromosoma W está vacío (no lleva información genética), la hembra se representa por “Z0”. También se utiliza otra nomenclatura para los cromosomas sexuales: “XX”, para el macho y “XY”, para la hembra (o “X0”), aunque en aves es más correcto utilizar los términos “Z” y “W”.

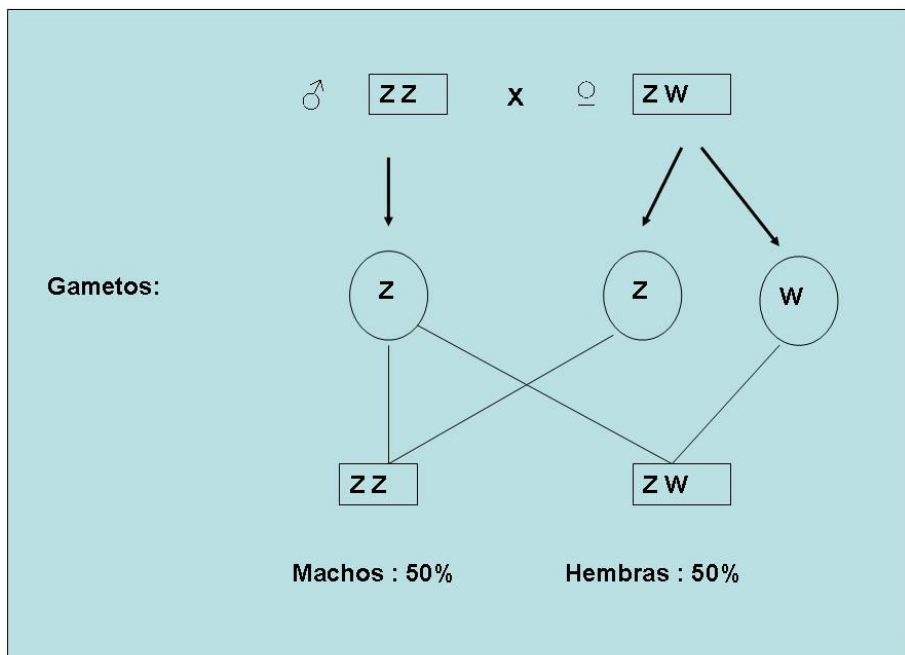
Como hemos expuesto anteriormente, los gametos (óvulo y espermatozoide) poseen la mitad de los cromosomas y por lo tanto poseerán 40 cromosomas: 39 autosomas y 1 cromosoma sexual (Z o W).

Muchos caracteres relacionados con el color de los canarios se localizan en los cromosomas sexuales. Según lo que acabamos de exponer, **en un macho (ZZ) existen dos cromosomas** sexuales capaces de transmitir caracteres para la coloración de los canarios, mientras que **en una hembra (ZW o ZO) sólo existe un cromosoma** capaz de transmitir caracteres para la coloración, ya que sólo posee un cromosoma “Z” y el cromosoma “W” está vacío.

DETERMINACIÓN DEL SEXO EN LOS CANARIOS. Por lo que acabamos de ver **en los canarios es la hembra la que determina el sexo** de la descendencia. El macho siempre aporta un cromosoma “Z”, mientras que la hembra puede aportar un cromosoma “Z” o “W”.

- (a) Si la hembra aporta un cromosoma Z el ejemplar será macho (Aportación del macho: Z; Aportación de la hembra: Z; Resultado: Macho (ZZ).
- (b) Si la hembra aporta un cromosoma W el ejemplar será hembra (Aportación del macho: Z; Aportación de la hembra: W; Resultado: Hembra (ZW).

Por ello, teóricamente, el 50% de la descendencia serán machos y el otro 50% hembras:



Capítulo 4. EL GEN

Un GEN es un **fragmento de ADN** que dirige la síntesis de una proteína y que finalmente se manifiesta en un determinado carácter.

Los genes se localizan en los cromosomas. Por ello también podemos definir el **gen** como “**una porción de cromosoma responsable de un carácter**”. El lugar que ocupa un gen en un cromosoma se denomina “locus” (“loci” en plural). Cada cromosoma puede contener miles de genes. Así, en humanos se han identificado unos 30.000 genes contenidos en 46 cromosomas. En la práctica el contenido de los cromosomas varía de unos a otros. Incluso los hay “vacíos” como es el caso del cromosoma W. El conjunto de todos los genes de un individuo recibe el nombre de “**genoma**”.

TIPOS DE GENES. Según su localización los genes pueden ser autosómicos o ligados al sexo. En el primer caso se sitúan sobre autosomas y en el segundo sobre cromosomas sexuales.

(a) **Genes ligados.** Genes ligados son los que se sitúan sobre el mismo cromosoma. Los genes pueden estar ligados en los autosomas o en los cromosomas sexuales. En este último caso se dice que están “ligados al sexo”. Los genes ligados no se distribuyen independientemente (no cumplen la 3ª ley de Mendel), sino que tienden a permanecer unidos durante la formación de los gametos, salvo que ocurra entrecruzamiento.

En el canario de color los genes ligados están en el cromosoma sexual “Z” y son los siguientes:

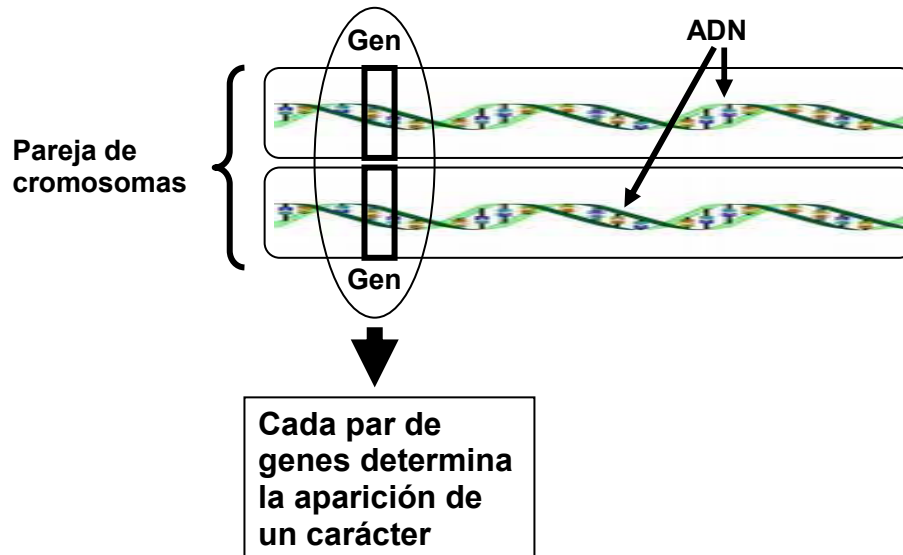
- a) Que afectan a la melanina
 - a. Eumelanina negra/eumelanina marrón
 - b. Oxidación/dilución
 - c. No satiné/satiné
 - d. No pastel/pastel

- b) Que afectan al lipocromo
 - a. No marfil/marfil

(b) **Genes letales.** Son aquellos que dan lugar a la muerte del individuo, sea en el periodo prenatal o postnatal, antes de alcanzar la madurez. Un gen letal totalmente dominante produce la muerte tanto en homocigosis como en heterocigosis. Los genes letales recesivos sólo son letales en homocigosis. En el canario de color se conocen dos genes letales: blanco dominante e intenso. En ambos casos se trata de alelos “dominantes” pero sólo son letales en homocigosis, por lo que podríamos decir que no son totalmente dominantes. Incluso en el caso del gen “intenso” algunos autores sostienen que existen ejemplares “doble intenso” (ejemplares deficientes en salud), por lo que en este caso podríamos hablar de un gen “subletal”.

Además, los genes pueden ser, como veremos más adelante, ancestrales (silvestres) o mutados, dominantes, recesivos, etc.

UN PAR DE GENES DETERMINA UN CARÁCTER. Como los cromosomas son iguales dos a dos, **un carácter** viene determinado por **un par de genes**, cada uno de ellos situado en uno de los cromosomas homólogos.



En el caso de los genes “ligados al sexo” las **hembras** son una excepción a esta regla ya que, como hemos visto, en ellas sólo hay un cromosoma portador de información genética: el cromosoma Z (el otro cromosoma (W) está vacío). En este caso **un carácter viene determinado por la presencia de un solo gen**. En todos los demás casos, un carácter viene determinado por dos genes.

En la práctica, para referirnos al color de los canarios y la transmisión de los distintos caracteres, se usan indistintamente los términos gen, carácter (o rasgo) y factor. Así, el gen marfil (o factor marfil) determina la aparición del carácter marfil:

(gen marfil = factor marfil = carácter marfil)

GENOTIPO Y FENOTIPO. Se denomina “**genotipo**” al **conjunto de genes que posee un individuo y que determina, en parte, la expresión de ciertos caracteres.**

Por su parte, el “**fenotipo**” es el **conjunto de caracteres que pueden apreciarse externamente en un individuo.** Sería, por tanto, la apariencia externa de un canario: blanco, amarillo, intenso, nevado, oxidado, diluido, etc. Diríamos, pues, que el fenotipo es la “expresión de los caracteres contenidos en el genotipo”.

El fenotipo viene determinado por el genotipo del individuo (dotación genética para uno o varios caracteres), pero también está influido por el medio ambiente y por factores hormonales.

ALELOS. En principio, en el canario ancestral, los dos genes que determinan un carácter son iguales, salvo que ocurra una mutación (ver Capítulo 8) y se produzca un cambio en la información genética que lleva el gen. Así, hablamos de **gen ancestral** o silvestre que sería el que existe originariamente y **gen mutado**, el que resulta modificado por la mutación. Ejemplo: El gen “nevado” sería el gen ancestral que determina la distribución del lipocromo en las plumas y el gen “intenso” sería el gen mutado. Y así, diríamos que los genes “intenso” y “nevado” son alelos. Es decir, **cada una de las formas o variantes en que puede existir un gen sería un alelo.**

Otros ejemplos de alelos serían:

- El gen ancestral “no opal” y el gen mutado “opal”
- El gen ancestral “no blanco recesivo” y el gen mutado “blanco recesivo”
- El gen ancestral “no marfil” y el gen mutado “marfil”

Un gen puede sufrir más de una mutación, lo que puede llevar a la existencia de varias “formas mutadas” del gen ancestral. Por lo tanto, un gen puede tener más de un alelo. Este fenómeno se conoce como “alelismo múltiple”. En el canario de color se conocen algunos casos de alelismo múltiple. Así, por ejemplo, el gen ancestral “no opal” presenta dos alelos: “opal” y “onix”.

HOMOCIGOSIS Y HETEROCIGOSIS. Cuando los dos genes que determinan un carácter son iguales se dice que el individuo es “homocigótico” y cuando son distintos se dice que es “heterocigótico”. Un sujeto “homocigótico” para el carácter marfil sería “marfil/marfil” (los dos genes iguales). Un sujeto “heterocigótico” para el carácter marfil sería “no marfil/marfil” (los dos genes diferentes, uno ancestral y otro mutado). Un individuo se considera “puro” con respecto a un factor o carácter cuando es homocigótico para dicho carácter.

A los individuos heterocigóticos para un carácter también se les llama “híbridos”, pudiendo existir individuos monohíbridos, dihíbridos, trihíbridos, etc., según el número de caracteres para los que presenta heterocigosis. (NOTA: *El término “híbrido” también se utiliza para designar a un ejemplar resultante del cruzamiento de individuos de especies distintas, como por ejemplo jilguero x canaria. La descendencia se identifica con las siglas F_1 , y generalmente es estéril.*)

Como el carácter “homocigótico” o “heterocigótico” se refiere a la información genética **para un carácter**, un sujeto puede ser a la vez homocigótico y heterocigótico: homocigótico para un carácter y heterocigótico para otro. Ejemplo: un canario que sea heterocigótico para el carácter marfil (no marfil/marfil) y homocigótico para el carácter nevado (nevado/nevado); se trataría de un ejemplar nevado portador de marfil.

INTERACCIONES ENTRE ALELOS. Como hemos dicho anteriormente, la expresión de un carácter viene determinada por el genotipo, pero a su vez está condicionada por la interacción entre los dos alelos responsables del carácter. Cuando los dos genes son iguales, los dos ancestrales o los dos mutados, no hay problema y la expresión del carácter es única. Ejemplo: un individuo de genotipo nevado/nevado tendrá apariencia de nevado; un individuo de genotipo opal/opal tendrá apariencia de opal. Pero, cuando se trata de alelos diferentes (uno ancestral y otro mutado), es decir en caso de heterocigosis, la expresión del carácter depende de la relación de dominancia entre los dos alelos.

En una pareja de alelos, uno de ellos puede dominar sobre el otro. **Un carácter “dominante”** es aquel que se expresa siempre que esté presente en el genotipo de un individuo. En consecuencia, es suficiente que esté en heterocigosis (simple dosis) para que se exprese en el fenotipo. Así, por ejemplo, el gen intenso (mutado) es “dominante” sobre el gen nevado (ancestral) y cuando están en heterocigosis (intenso/nevado) el sujeto tendrá apariencia de intenso. Diremos, por tanto que el gen “intenso” es dominante y el gen “nevado” es recesivo. El carácter recesivo queda enmascarado por la acción del gen dominante.

Un carácter recesivo es aquel que para expresarse necesita estar en homocigosis (doble dosis). En el ejemplo anterior para que un sujeto sea nevado su genotipo tiene que ser (nevado/nevado). Para los genes ligados al sexo lo anterior es cierto para los machos, pero en las hembras es suficiente que se encuentre en “hemicigosis” (simple dosis) para que se exprese. Ejemplo: el gen “satiné” es ligado al sexo y recesivo. Por ello, para expresarse en un macho debe estar en doble dosis (satiné/satiné) mientras que una hembra satiné lo posee en simple dosis (satiné/0).

Un canario se dice que es “**portador**” cuando en su genotipo lleva una información que no se manifiesta en el fenotipo, pero que puede transmitirla a su descendencia. Dicho de otra forma sería un individuo “heterocigótico” para un carácter recesivo. De hecho no existen portadores de caracteres dominantes y sólo hablaremos de “portadores” refiriéndonos a caracteres recesivos. Por ejemplo, un canario de genotipo “intenso/nevado” tendría apariencia de intenso (dominante) y diríamos que es portador del carácter nevado (recesivo). Aunque no exprese el carácter nevado, porque es enmascarado por el carácter intenso (dominante), puede transmitir dicho carácter a sus descendientes. Por lo que hemos visto en el párrafo anterior, para los genes ligados al sexo, las hembras no pueden ser portadoras. Para indicar que un canario es portador se utiliza el símbolo “/” antes del carácter que porta. Así, por ejemplo, un canario amarillo portador de blanco recesivo se indicaría como “amarillo/blanco recesivo”. Esta terminología se refiere siempre al genotipo del ejemplar.

Cuando ninguno de los dos alelos predomina sobre el otro se dice que son “**codominantes**” o de dominancia compartida. En este caso el resultado es un fenotipo intermedio al que determina cada uno de ellos. Ejemplo: los factores “presencia de eumelanina” y “ausencia de melanina”,

cuyo cruzamiento daría individuos manchados (píos), el factor opal y el ónix, el factor topacio y el ino.

TIPOS DE HERENCIA. En relación a la interacción entre alelos, la localización de los genes en los cromosomas y los factores que influyen en la expresión del genotipo se suelen distinguir distintos tipos de herencia: autosómica, ligada al sexo, dominante, recesiva, codominante, influida por el sexo.

- a) **Herencia autosómica:** Cuando en la transmisión de un carácter intervienen “genes autosómicos” (localizados en autosomas). Ej.: el carácter opal, topacio, eumo, onix, etc.
- b) **Herencia ligada al sexo:** Cuando en la transmisión de un carácter intervienen “genes ligados al sexo” (situados en los cromosomas sexuales). Ej.: el factor marfil, pastel, etc.
- c) **Herencia influida por el sexo:** Cuando el sexo del ejemplar influye en la expresión de un carácter. Suele deberse a la influencia de las hormonas sexuales. Ej.: el factor mosaico, el factor ino, el factor alas grises.
- d) **Herencia dominante:** Cuando en la transmisión de un carácter intervienen genes dominantes. En este caso es suficiente la presencia del gen en heterocigosis (simple dosis) para que se manifieste. No existen portadores. Ej.: el factor blanco dominante, el factor intenso.
- e) **Herencia recesiva:** Cuando en la transmisión de un carácter intervienen genes recesivos, es decir aquellos que deben estar en homocigosis (doble dosis) para expresarse en el fenotipo. En este caso sí que existen “portadores” (machos). Ej.: el factor blanco recesivo, el factor opal.
- f) **Herencia codominante (o intermedia):** Cuando en la transmisión de un carácter intervienen genes codominantes, de manera que ninguno de los alelos domina sobre el otro originando fenotipos intermedios. Ej.: el factor opal y el factor onix, el factor topacio y el factor ino.

En el canario de color encontramos también diferentes combinaciones entre los distintos tipos de herencia enumerados:

- Herencia autosómica recesiva. Ej.: factor opal, factor topacio
- Herencia autosómica dominante. Ej.: factor intenso, factor blanco dominante
- Herencia recesiva ligada al sexo. Ej.: factor marfil, factor pastel
- Herencia autosómica influida por el sexo. Ej.: factor mosaico, factor alas grises

INTERACCIONES ENTRE GENES.

1) Epistasia. La “**epistasia**” es una forma de interacción génica (entre dos o más pares de genes) y se presenta cuando un determinado carácter depende de la información contenida en otro u otros genes. Al gen que suprime o enmascara la manifestación de otro se le llama “gen epistático” y al gen suprimido se le conoce como “gen hipostático”. Aunque existen hasta seis posibilidades de interacciones epistáticas, aquí sólo veremos los dos tipos que se conocen en canaricultura de color.

(a) El gen “blanco recesivo” en homocigosis es epistático respecto a los genes “blanco dominante”, “rojo”, “amarillo”, “marfil” y los que determinan la categoría (intenso, nevado y mosaico). Es decir que el carácter “blanco recesivo” enmascara la presencia de cualquiera de los factores enumerados, que se comportarían como genes “hipostáticos”. Este tipo de epistasia se conoce como “**epistasia simple recesiva**” y hace variar las proporciones de la 3ª ley de Mendel (de 9:3:3:1 pasan a 9:3:4).

En la práctica un canario con fenotipo de “blanco recesivo” puede ser a la vez “blanco dominante” o “rojo” o “intenso”, etc., aunque no lo manifieste. Este hecho explica que en los cruzamientos en los que están implicados ejemplares “blanco recesivo” puedan aparecer descendientes con fenotipos inesperados como por ejemplo rojo, rojo mosaico, blanco dominante, etc. En el apartado de cruzamientos veremos ejemplos concretos.

(b) El gen “blanco dominante” es epistático sobre los genes amarillo, rojo, marfil y los que determinan la categoría (intenso, nevado y mosaico). El gen “blanco dominante” enmascara la expresión de los factores citados, aunque estén presentes. En este caso se denomina “**epistasia simple dominante**” y, como en el caso anterior, este fenómeno hace cambiar las proporciones clásicas de la 3ª ley de Mendel (de 9:3:3:1 pasan a 12:3:1).

Así, un sujeto “Blanco dominante” puede ser portador de blanco recesivo, mosaico, rojo, etc., y aparecer en su descendencia ejemplares con esas características. En el apartado de cruzamientos veremos un desarrollo completo de todas estas posibilidades con ejemplos concretos.

2) Otra forma de interacción entre genes, sería la relación de dominancia, semidominancia o codominancia, que ocurre entre distintos genes. Es el caso del factor rojo y el factor amarillo, dos genes diferentes que interaccionan de forma codominante. El cruce de un ejemplar amarillo con otro rojo da la descendencia de color naranja. También encontramos interacciones de este tipo entre el gen mosaico y el gen intenso/nevado (Ver Capítulo 13). Otros ejemplos de este tipo de interacción lo tenemos al considerar que un ejemplar negro es dominante sobre bruno, ágata e isabela; el bruno es dominante sobre el isabela; el ágata es dominante sobre el isabela (en estos casos es el resultado de la relación de dominancia entre los genes eumelanina negra/eumelanina marrón y oxidación/dilución cuando los consideramos en distintas combinaciones).

FORMULACIÓN Y SÍMBOLOS GENÉTICOS EN CANARICULTURA DE COLOR. Es costumbre en Genética utilizar fórmulas y esquemas en los que los genes (factores o caracteres) se representan mediante símbolos de una o más letras que, generalmente, corresponden a las iniciales del fenotipo en cuestión en el idioma del país fijador de la mutación. Se conoce como nomenclatura internacional de Weerkamp.

Los factores dominantes (o codominantes) se representan con letras mayúsculas y los recesivos con minúsculas. Los genes ancestrales (no mutados, silvestres) se representan añadiendo el superíndice "+". Así, por ejemplo, el carácter "blanco dominante" se representa por CB (del alemán Carotinoide Belleting: "inhibición de los carotenoides"). El gen ancestral (no mutado) sería CB^+ (no blanco dominante). El carácter blanco recesivo se representa por cb para el gen mutado y cb^+ para el gen ancestral. En este caso, por tratarse de un carácter recesivo se representa en minúsculas.

En la práctica resulta muy útil la utilización de estos símbolos para expresar los distintos genotipos de los canarios e igualmente a la hora de realizar cruzamientos, como ya veremos en el apartado correspondiente. La representación, mediante los símbolos genéticos, del genotipo de un canario se conoce como la "fórmula genética". Los dos genes responsables de un carácter se representan separados por una barra inclinada (cb/cb^+) aunque a veces, por simplificar, prescindiremos de la barra y escribiremos simplemente $cbcb^+$.

GENES CONOCIDOS EN EL CANARIO DE COLOR. Antes de entrar en más detalles sobre las fórmulas genéticas, pasemos a relacionar los distintos genes conocidos en el canario de color, sus símbolos y las relaciones de dominancia entre ellos:

Mutantes autosómicos (Situados en cromosomas no sexuales o autosomas). Para todos ellos el genotipo es el mismo en machos y hembras

1. E^+/E : *Presencia/ausencia de melanina en el plumaje. El gen mutado E es codominante respecto a E^+ . Así, el genotipo E^+/E^+ corresponde a un canario ancestral melánico, E/E corresponde a un canario mutado lipocrómico y E^+/E corresponde a un canario pío (manchado).*

2. CB^+/CB : *No blanco dominante/Blanco dominante. Fijación del lipocromo en las plumas/Inhibición parcial de la fijación del lipocromo en las plumas. El gen mutado CB (blanco dominante) es dominante respecto al gen ancestral CB^+ . Además, el gen CB es letal en homocigosis. Así, el genotipo CB^+/CB^+ corresponde a un canario ancestral "no blanco dominante" (ej.: amarillo, rojo) y CB^+/CB a un canario "blanco dominante". Los individuos CB/CB , no serán viables, ya que el gen CB es letal en homocigosis.*

3. cb^+/cb : *No blanco recesivo/Blanco recesivo. Fijación del lipocromo en las plumas/inhibición total de la fijación del lipocromo en las plumas. El gen mutado cb (blanco recesivo) es recesivo respecto al gen ancestral cb^+ . En este caso tendremos tres posibles genotipos: cb^+/cb^+ , canario ancestral "no blanco*

recesivo" (amarillo, rojo), cb/cb, canario mutado "blanco recesivo" y cb⁺/cb, canario portador de blanco recesivo.

4. I⁺/I: **Nevado/Intenso.** *Corresponde a la extensión del lipocromo en las plumas. El gen mutado "I" (intenso: extensión del lipocromo hasta el ápice de la pluma) es dominante sobre el gen ancestral I⁺ (nevado). Además, el gen I es letal en homocigosis (semiletal según algunos autores). Tendremos los siguientes posibles genotipos: I⁺/I⁺, canario ancestral "nevado" y I⁺/I, canario mutado "intenso" (portador del carácter nevado). Los individuos homocigóticos I/I no serían viables (Según algunos autores sí que existen estos individuos, aunque presentarían defectos en el plumaje y salud deficiente. A estos ejemplares se les llama "doble intensos").*

5. B⁺/B: **Presencia/ausencia de feomelanina.** *Corresponde al "factor azul" o "factor de refracción". El gen mutado B (ausencia de feomelanina) es semidominante sobre el gen ancestral B⁺. Tenemos tres genotipos posibles: B⁺/B⁺, canario ancestral con feomelanina, B/B, canario mutado sin feomelanina ("azul") y B⁺/B, que correspondería a un canario intermedio en cuanto a la presencia de feomelanina (portador de B). Actualmente se considera que el "factor azul" sería una mutación autosómica "recesiva" y en tal caso habría que representarlo en minúscula (b). También se ha sugerido el símbolo "sb". Otros autores piensan que se trata de un factor acumulativo.*

6. ino⁺/ino: **Formación completa de melaninas/Inhibición parcial de la formación de melaninas en plumas y ojos.** *El gen mutado ino es recesivo respecto al gen ancestral ino⁺. Genotipos posibles: ino⁺/ino⁺, canario ancestral con formación completa de melaninas; ino/ino, canario mutado (que presenta exclusivamente feomelanina) ; ino⁺/ino, canario de apariencia normal portador del factor ino.*

7. so⁺/so: **No opal/opal.** *El gen mutado so es recesivo respecto al gen ancestral so⁺. Genotipos posibles: so⁺/so⁺, canario ancestral "no opal"; so/so, canario mutado "opal"; so⁺/so, canario de apariencia normal portador del factor opal.*

8. G⁺/G: **Factor amarillo simple/Doble factor amarillo.** *El gen mutado G es codominante respecto al gen ancestral G⁺. Genotipos posibles: G⁺/G⁺, canario ancestral de tonalidad amarilla pálida; G⁺/G, canario de tonalidad amarilla intermedia (portador de "doble factor amarillo"); G/G, canario mutado de tonalidad "amarilla fuerte". Los franceses representan este factor por J⁺/J.*

9. to⁺/to: **No topacio/topacio.** *El gen mutado to es recesivo respecto al gen ancestral to⁺. Genotipos posibles: to⁺/to⁺, canario ancestral "no topacio"; to/to, canario mutado "topacio"; to⁺/to, canario de apariencia normal portador del factor topacio.*

10. eu⁺/eu: **No eumo/eumo.** *El gen mutado eu es recesivo respecto al gen ancestral eu⁺. Genotipos posibles: eu⁺/eu⁺, canario ancestral "no eumo"; eu/eu, canario mutado "eumo"; eu⁺/eu, canario de apariencia normal portador del factor eumo.*

11. onix⁺/onix: **No onix/onix.** El gen mutado onix es recesivo respecto al gen ancestral onix⁺. Genotipos posibles: onix⁺/onix⁺, canario ancestral “no onix”; onix/onix, canario mutado “onix”; onix⁺/onix, canario de apariencia normal portador del factor onix.

12. co⁺/co: **No cobalto/cobalto.** El gen mutado co es recesivo respecto al gen ancestral co⁺. Genotipos posibles: co⁺/co⁺, canario ancestral “no cobalto”; co/co, canario mutado “cobalto”; co⁺/co, canario de apariencia normal portador del factor cobalto.

13. ag⁺/ag: **No alas grises/ alas grises.** El gen mutado ag es recesivo respecto al gen ancestral ag⁺. Genotipos posibles: ag⁺/ag⁺, canario ancestral “no alas grises”; ag/ag, canario mutado “alas grises”; ag⁺/ag, canario de apariencia normal portador del factor alas grises.

14. m⁺/m: **No mosaico/mosaico.** No es un gen propio del canario. Se introdujo por hibridación. m⁺ y m no son alelos. Podría asimilarse a un gen “autosómico” de expresión variable según se encuentre en simple dosis (m⁺ m) o doble dosis (m⁺m⁺). Genotipos posibles (igual para machos y hembras): m⁺m⁺, canario ancestral “no mosaico”; m⁺m, canario “mosaico incipiente” (considerado también como portador de mosaico); m⁺m⁺, canario “mosaico”
Influido por el sexo. Hipostático respecto a CB y cbc. Un ejemplar blanco recesivo o blanco dominante puede ser mosaico (“portador” de mosaico).

15. r⁺/ r: **Factor rojo.** No es un gen propio del canario. Se introdujo por hibridación. r⁺ y r no son alelos. Podría asimilarse a un gen “autosómico” de expresión variable según se encuentre en simple dosis (r⁺ r) o doble dosis (r⁺ r⁺). Genotipos posibles (igual para machos y hembras): r r, canario ancestral “no rojo”; r⁺r, canario “rojo simple dosis” (considerado también como portador de rojo); r⁺r⁺, canario “rojo”.
Hipostático respecto a CB y cbc. Un ejemplar blanco recesivo o blanco dominante puede ser “portador” de rojo. Su expresión también está influida por el genotipo del lipocromo amarillo (G⁺G⁺, G⁺G o GG)

16. Mutaciones “Pico rojo” y “Pico amarillo”. Son las últimas aparecidas en el canario de color. Son autosómicas y recesivas.

Localización de estos genes: Se supone (asume) que cada uno de estos genes autosómicos está situado en un cromosoma distinto.

Mutantes ligados al sexo (Situados en el cromosoma sexual “Z”). En este caso el genotipo es distinto en machos y hembras y sólo los machos pueden ser portadores del carácter mutado.

1. z^+/z : Eumelanina negra/Eumelanina marrón (bruna). El gen mutado “z” es recesivo respecto al gen ancestral “ z^+ ”. Genotipos posibles: ♂ z^+/z^+ , macho ancestral negro; ♂ z^+/z , macho negro portador de eumelanina marrón; ♂ z/z , macho mutado bruno; ♀ $z^+/0$, hembra ancestral negra; ♀ $z/0$, hembra mutada bruna.

2. rb^+/rb : Oxidación/Dilución. El gen mutado “rb” es recesivo respecto al gen ancestral “ rb^+ ”. Genotipos posibles: ♂ rb^+/rb^+ , macho oxidado; ♂ rb^+/rb , macho oxidado portador de dilución; ♂ rb/rb , macho mutado diluido; ♀ $rb^+/0$, hembra oxidada; ♀ $rb/0$, hembra mutada diluida.

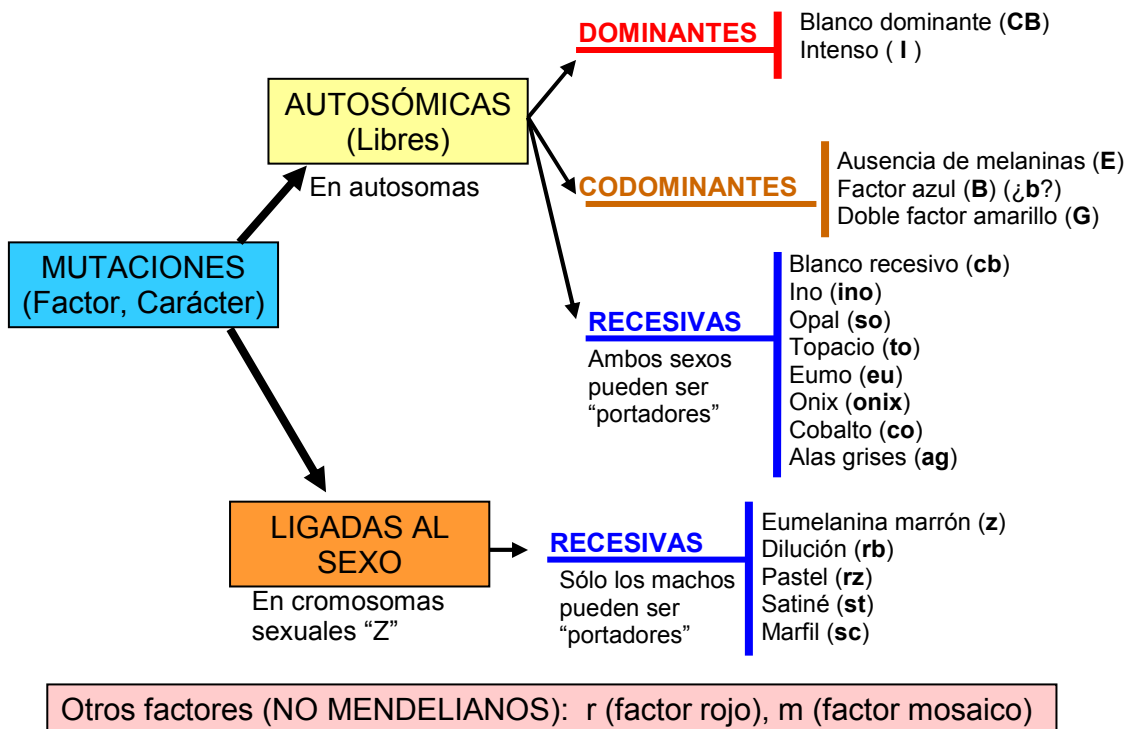
3. rz^+/rz : No pastel/Pastel. El gen mutado “rz” es recesivo respecto al gen ancestral “ rz^+ ”. Genotipos posibles: ♂ rz^+/rz^+ , macho “no pastel”; ♂ rz^+/rz , macho portador de pastel; ♂ rz/rz , macho mutado pastel; ♀ $rz^+/0$, hembra no pastel; ♀ $rz/0$, hembra mutada pastel.

4. sc^+/sc : No marfil/Marfil. El gen mutado “sc” es recesivo respecto al gen ancestral “ sc^+ ”. Genotipos posibles: ♂ sc^+/sc^+ , macho “no marfil”; ♂ sc^+/sc , macho portador de marfil; ♂ sc/sc , macho marfil; ♀ $sc^+/0$, hembra no marfil; ♀ $sc/0$, hembra marfil.

5. st^+/st : No satiné/Satiné. El gen mutado “st” es recesivo respecto al gen ancestral “ st^+ ”. Genotipos posibles: ♂ st^+/st^+ , macho ancestral “no satiné”; ♂ st^+/st , macho portador de satiné; ♂ st/st , macho mutado satiné; ♀ $st^+/0$, hembra no satiné; ♀ $st/0$, hembra mutada satiné.

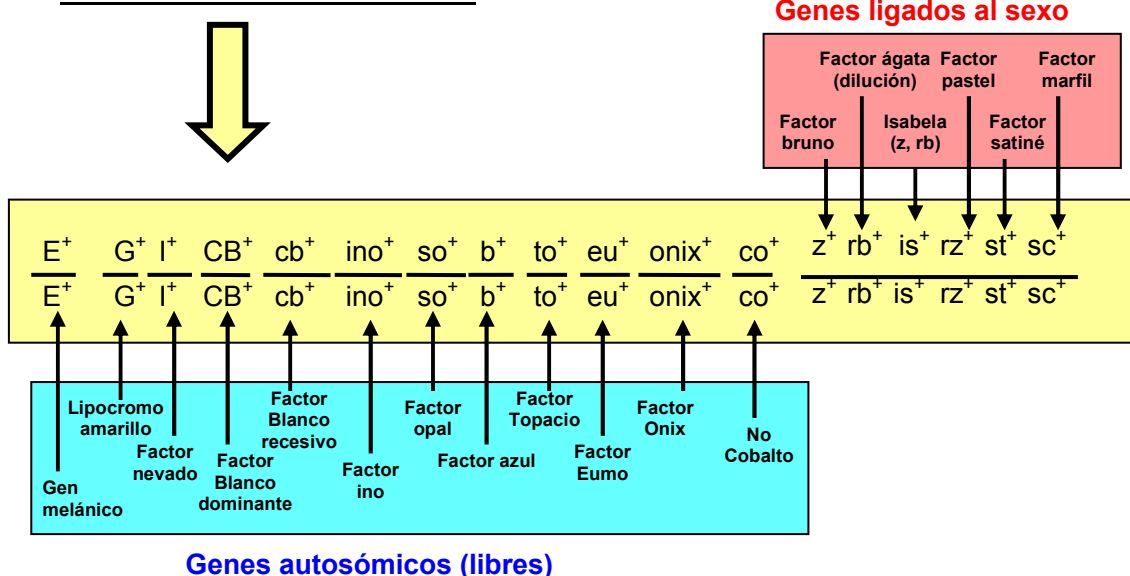
NOTA IMPORTANTE: En la actualidad se considera que el gen satiné es un alelo del gen rb^+ . Es decir el gen ancestral rb^+ tendría dos alelos: rb^a (dilución) y rb^s (satiné). No obstante, a los efectos de la formulación genética y cruzamientos no afecta considerarlo de una u otra forma. Nosotros, por sencillez utilizaremos los símbolos rb^+ (oxidación), rb (dilución) y st (satiné).

COMPORTAMIENTO GENÉTICO DE LAS MUTACIONES CONOCIDAS EN EL CANARIO DE COLOR



FÓRMULA GENÉTICA DEL CANARIO VERDE ANCESTRAL. La utilización de los símbolos descritos permite escribir la “fórmula genética” (genotipo) de cualquier canario de color. El canario silvestre del que, por mutaciones diversas, proceden todas las variedades conocidas hasta hoy tendría todos los genes en su estado silvestre (o ancestral). Por lo tanto la fórmula genética completa del canario silvestre sería:

FÓRMULA GENÉTICA DEL CANARIO VERDE ANCESTRAL



Nota: En los genes autosómicos no se han considerado los genes mosaico (m) y rojo (r), por no ser propios del canario (Tampoco se ha representado el gen alas grises (ag), que estaría situado en un autosoma distinto de los indicados).

Como dijimos anteriormente cada fracción correspondería a un cromosoma. Así, los genes autosómicos estarían situados cada uno en un cromosoma distinto. Por su parte los genes ligados al sexo están todos juntos (ligados) sobre el cromosoma Z.

Formulación de las distintas variedades de canarios. En la práctica se simplifica mucho ya que sólo hay que representar los genes implicados en el genotipo/fenotipo del ejemplar considerado, es decir los genes que definen al ejemplar y aquellos otros que están mutados.

Ejemplo 4.1. Para representar al canario verde ancestral sería suficiente con indicar el gen melánico (E⁺), el lipocromo amarillo (G⁺), el carácter nevado (I⁺), la eumelanina negra (z⁺) oxidada (rb⁺) teniendo siempre presente que para los genes “ligados al sexo” en la hembra están en “simple dosis”:

Macho: **E⁺/E⁺ G⁺/G⁺ I⁺/I⁺ (Z) z⁺rb⁺/(Z) z⁺rb⁺**

Hembra: **E⁺/E⁺ G⁺/G⁺ I⁺/I⁺ (Z) z⁺rb⁺/(W) 0**

ya que se da por hecho que el resto de genes están en su forma ancestral.

Ejemplo 4.2. Si se tratase de un canario “verde opal nevado” (negro opal amarillo nevado) habría que indicar también el gen “opal” mutado (so). En este caso la fórmula sería:

Macho: $E^+/E^+ G^+/G^+ I^+/I^+ so/so (Z) z^{+rb^+}/(Z) z^{+rb^+}$

Hembra: $E^+/E^+ G^+/G^+ I^+/I^+ so/so (Z) z^{+rb^+}/(W) 0$

y, si fuese “portador” de opal:

Macho: $E^+/E^+ G^+/G^+ I^+/I^+ so^+/so (Z) z^{+rb^+}/(Z) z^{+rb^+}$

Hembra: $E^+/E^+ G^+/G^+ I^+/I^+ so^+/so (Z) z^{+rb^+}/(W) 0$

Ejemplo 4.3. Si se tratase de un canario “verde marfil nevado” (negro amarillo marfil nevado) habría que representar también el gen “marfil” mutado (sc), que al tratarse en este caso de un gen ligado al sexo debe ir sobre el cromosoma “Z”. Las fórmulas serían:

Macho: $E^+/E^+ G^+/G^+ I^+/I^+ (Z) z^{+rb^+} sc/(Z) z^{+rb^+} sc$

Hembra: $E^+/E^+ G^+/G^+ I^+/I^+ (Z) z^{+rb^+} sc/(W) 0$

y para un macho “portador de marfil”:

$E^+/E^+ G^+/G^+ I^+/I^+ (Z) z^{+rb^+} sc^+/(Z) z^{+rb^+} sc$

Para simplificar los símbolos (Z) y (W) se pueden suprimir. En este último ejemplo (macho y hembra marfiles) sería:

Macho: $E^+/E^+ G^+/G^+ I^+/I^+ z^{+rb^+} sc/z^{+rb^+} sc$

Hembra: $E^+/E^+ G^+/G^+ I^+/I^+ z^{+rb^+} sc/0$

Incluso podríamos simplificar más. Cuando hablemos de los cruzamientos, veremos que es suficiente con representar sólo los genes que nos interesan en cada caso.

Normas básicas para utilizar las fórmulas genéticas.

En los lipocromos sólo hay que representar el gen lipocromo implicado (G^+/G^+ , CB^+/CB , cb^+/cb , r^+/r), la categoría (l, I^+ , m) y los posibles factores modificadores, por ejemplo el factor marfil (sc^+/sc), factor satiné (st^+/st), factor ino (ino^+/ino), teniendo en cuenta según sean machos o hembras cuando se trate de factores ligados al sexo (ej. : st y sc).

Ejemplo 4.4.

Amarillo intenso: $G^+/G^+ I^+/I$

Amarillo nevado: $G^+/G^+ I^+/I^+$

Blanco dominante: CB^+/CB (Nota: En este caso, según el cruzamiento, podría ser necesario indicar la categoría aunque no la exprese)

Blanco recesivo: cb / cb (Nota: En este caso, según el cruzamiento, podría ser necesario indicar la categoría aunque no la exprese)

Amarillo intenso ojos rojos (ino) [lutino]: $G^+/G^+ I^+/I ino/ino$

Amarillo intenso ojos rojos (satiné) [lutino]:

Macho: $G^+/G^+ I^+/I st/st$

Hembra: $G^+/G^+ I^+/I st/0$

(Nota: Al ser el gen satiné (st) ligado al sexo hay que diferenciar machos y hembras)

Si se cruza un canario lipocrómico con uno melánico habría que incluir en la fórmula el gen E (ausencia de melanina). Así, por ejemplo, un canario blanco recesivo (ojos negros) sería: $E/E cb / cb$, teniendo que indicar además (si se conoce) la categoría del ejemplar.

En los melánicos hay que representar el tipo de melanina (z^+/z) y las mutaciones complementarias (dilución, "rb"; pastel, "rz"; topacio, "to", etc.) el lipocromo implicado (CB^+/CB , cb^+/cb , r^+/r), la categoría (I, I^+ , m) y otros posibles factores modificadores, por ejemplo el factor marfil (sc^+/sc), factor satiné (st^+/st), etc., teniendo en cuenta según sean machos o hembras cuando se trate de factores ligados al sexo (ej.: rz, st, sc). El gen "presencia de melanina" (E^+/E^+) no hace falta indicarlo, pues todos los melánicos son E^+/E^+ , salvo que los crucemos con ejemplares lipocrómicos.

Ejemplo 4.5.

Macho "verde nevado clásico": $G^+/G^+ I^+/I^+ z^+ rb^+/z^+ rb^+$

Macho "ágata amarillo nevado": $G^+/G^+ I^+/I^+ z^+ rb/z^+ rb$

Hembra "ágata amarillo nevado": $G^+/G^+ I^+/I^+ z^+ rb/0$

Macho "ágata topacio amarillo nevado": $G^+/G^+ I^+/I^+ to/to z^+ rb/z^+ rb$

Capítulo 5. LEYES DE MENDEL

Gregorio Mendel, considerado como el padre de la Genética, a partir de sus experiencias con guisantes, llegó a una serie de conclusiones conocidas como Leyes de Mendel, que rigen la transmisión de los caracteres hereditarios y son la base de esta ciencia.

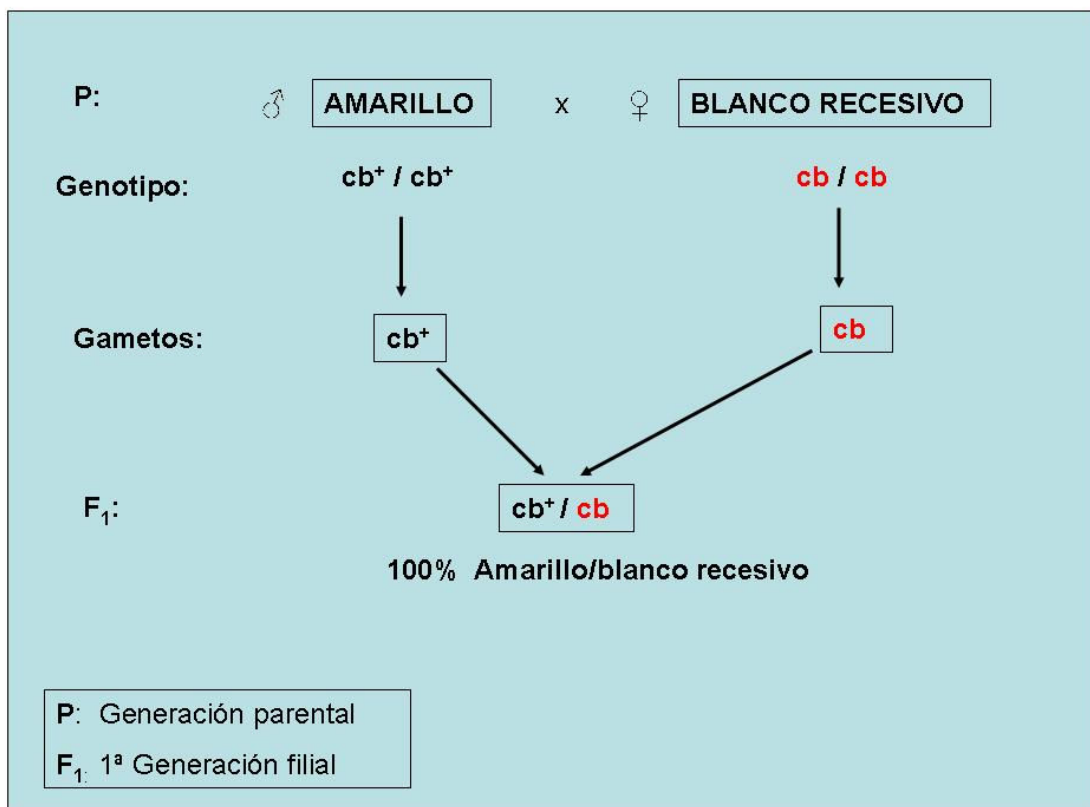
Las leyes de Mendel son tres:

- 1ª) Ley de la uniformidad de la primera generación filial
- 2ª) Ley de la separación de los genes que forman la pareja de alelos
- 3ª) Ley de la herencia independiente de los caracteres

1ª ley de Mendel: “Ley de la uniformidad de la primera generación filial (F₁)”

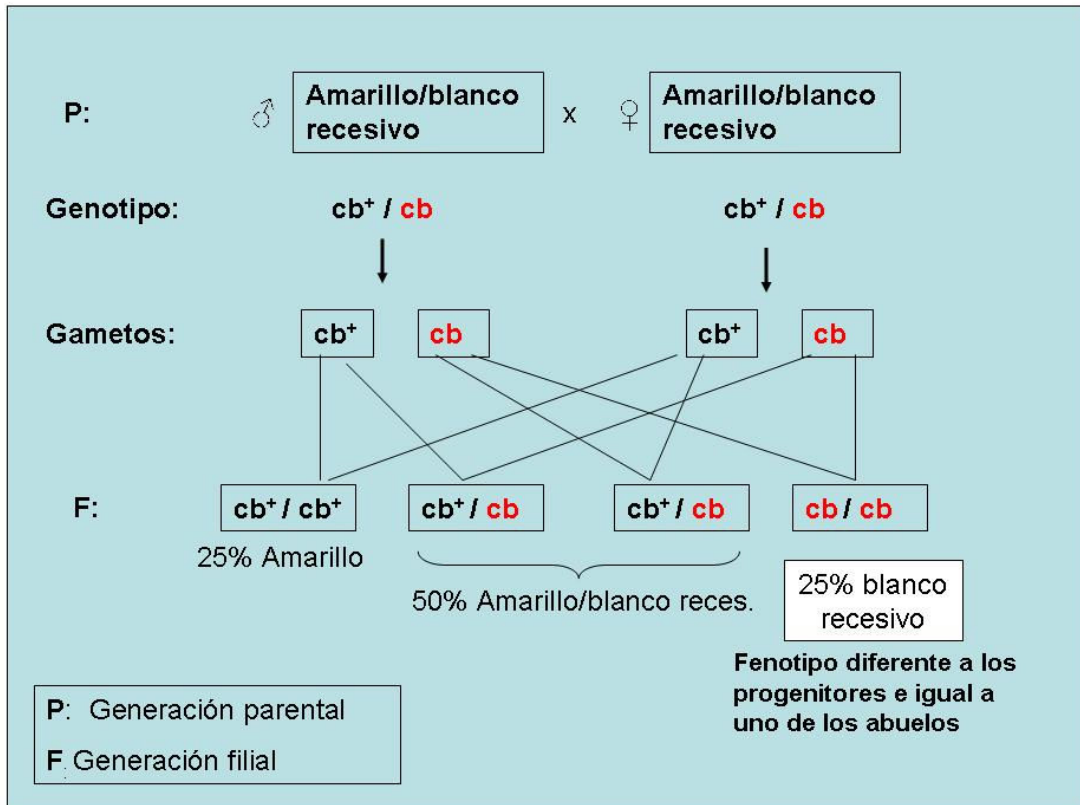
“Al cruzar dos individuos homocigóticos para un determinado carácter, toda la descendencia es uniforme (heterocigóticos)”.

Un ejemplo, en el caso de los canarios de color, sería el cruzamiento de un canario amarillo puro (homocigótico: cb^+/cb^+) x canario blanco recesivo (homocigótico: cb/cb). Toda la descendencia es uniforme: Amarillo/blanco recesivo (heterocigóticos: cb^+/cb), como se observa en el esquema siguiente:



2ª ley de Mendel: “Ley de la separación de los genes que forman la pareja de alelos”

“Al cruzar dos individuos F_1 anteriores (heterocigóticos para un determinado carácter) obtenemos algunos con fenotipo diferente al de sus progenitores e idéntico al de los abuelos”

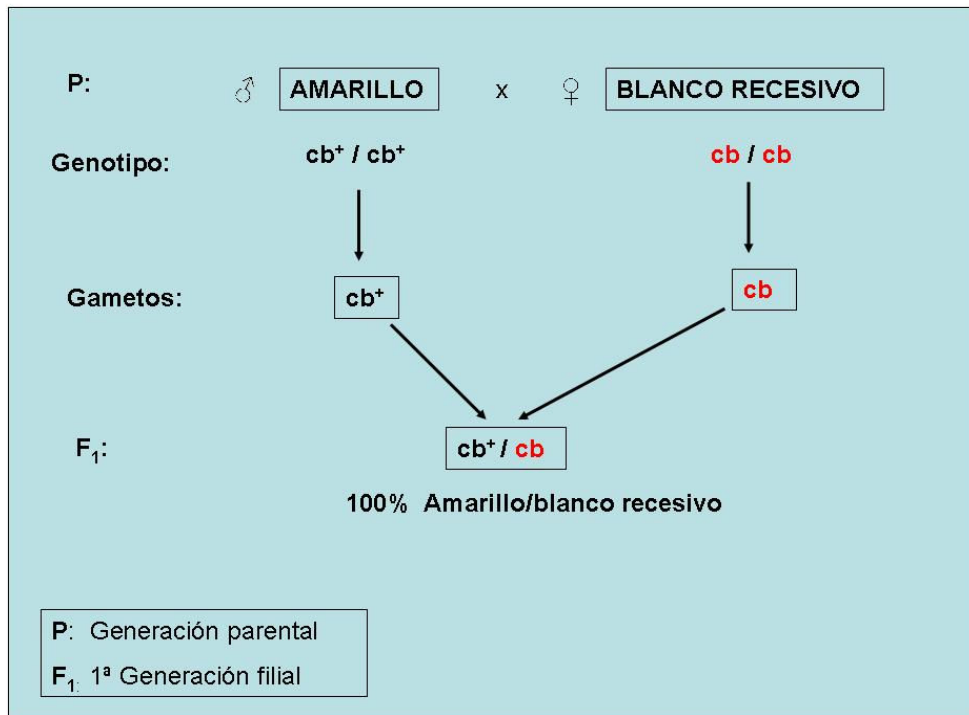


3ª ley de Mendel: “Ley de la herencia independiente de los genes”

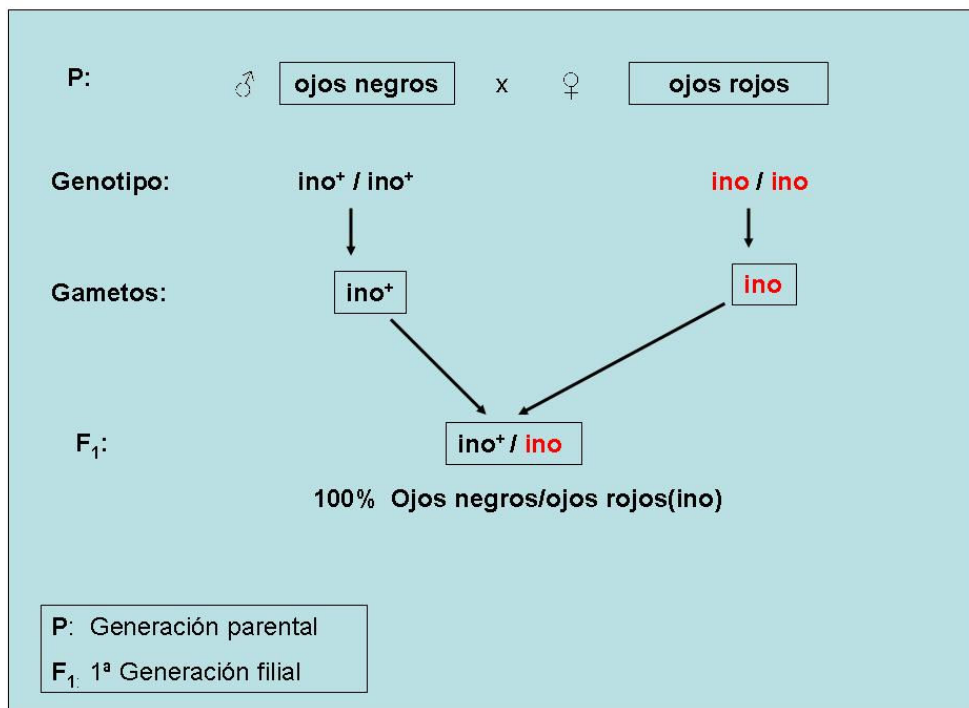
“Los distintos caracteres se heredan independientemente unos de otros, combinándose al azar en la descendencia”

Consideremos el cruce de un macho “amarillo de ojos negros” con una hembra “blanco recesivo de ojos rojos (ino)”. En este cruce entran en juego dos caracteres (color del plumaje y color de los ojos), cada uno determinado por un par de genes autosómicos (cb^+/cb e ino^+/ino , respectivamente). El resultado de este cruzamiento se muestra en los esquemas siguientes.

(a) Para el carácter “color del plumaje”:

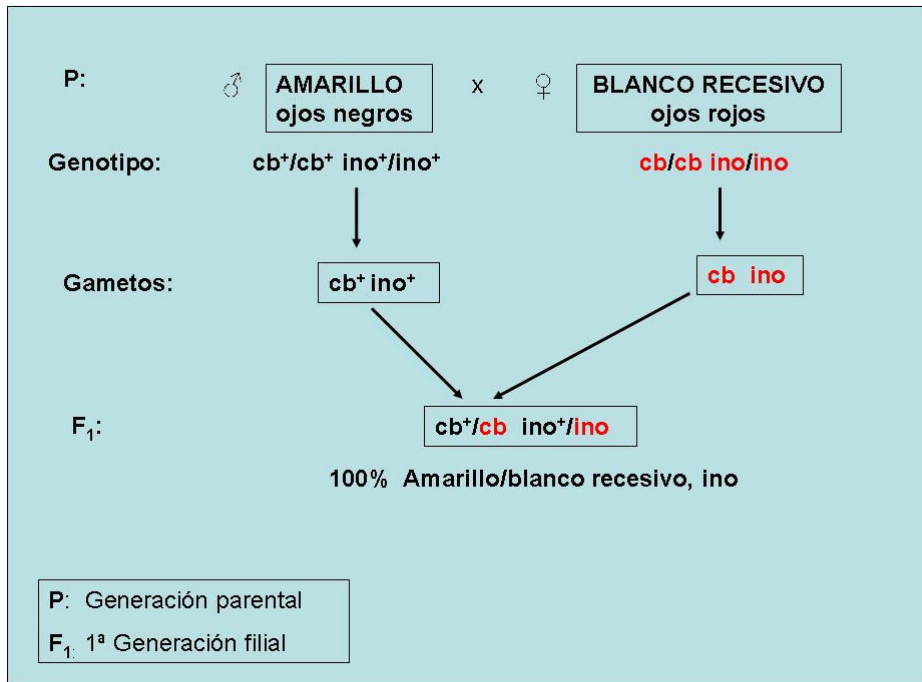


(b) y para el carácter “color de los ojos”:

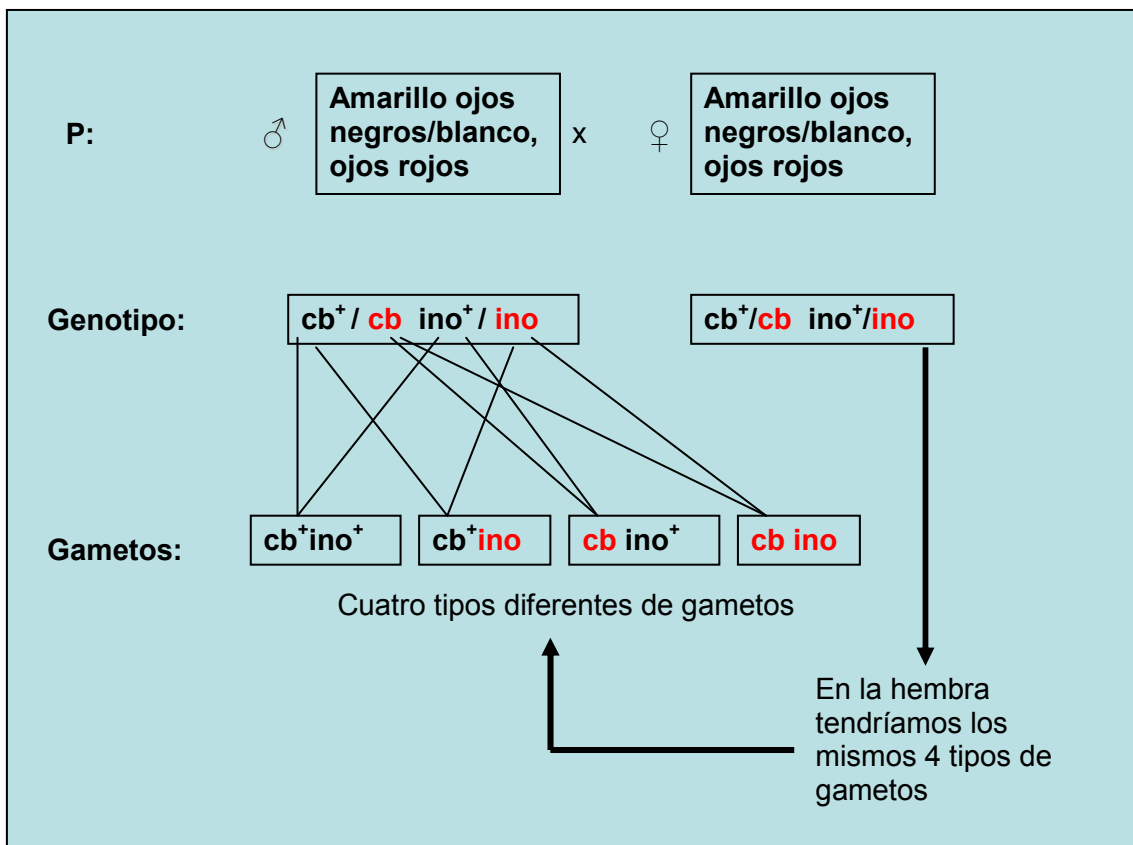


Considerando ambos esquemas, conjuntamente, resulta que toda la descendencia será: AMARILLO/ blanco recesivo, *ino* (cb^+/cb , ino^+/ino).

Al mismo resultado llegaríamos considerando el siguiente esquema:



Si cruzamos entre sí los ejemplares obtenidos en F₁ y teniendo en cuenta la **distribución independiente de los genes y su combinación al azar**, cada uno de los progenitores podría originar 4 tipos de gametos (todas las combinaciones posibles) de acuerdo con el esquema:



Tenemos por tanto 16 combinaciones posibles (4 x 4) para la descendencia de este último cruce, como vemos en la siguiente tabla (Tabla de Punnet):

		Gametos ♀			
		cb ⁺ ino ⁺	cb ⁺ ino	cb ino ⁺	cb ino
Gametos ♂	cb ⁺ ino ⁺	1 cb ⁺ /cb ⁺ ino ⁺ /ino ⁺	2 cb ⁺ /cb ⁺ ino ⁺ /ino	3 cb ⁺ /cb ino ⁺ /ino ⁺	4 cb ⁺ /cb ino ⁺ /ino
	cb ⁺ ino	5 cb ⁺ /cb ⁺ ino/ino ⁺	6 cb ⁺ /cb ⁺ ino/ino	7 cb ⁺ /cb ino/ino ⁺	8 cb ⁺ /cb ino/ino
	cb ino ⁺	9 cb/cb ⁺ ino ⁺ /ino ⁺	10 cb/cb ⁺ ino ⁺ /ino	11 cb/cb ino ⁺ /ino ⁺	12 cb/cb ino ⁺ /ino
	cb ino	13 cb/cb ⁺ ino/ino ⁺	14 cb/cb ⁺ ino/ino	15 cb/cb ino/ino ⁺	16 cb/cb ino/ino

De las 16 combinaciones posibles los fenotipos obtenidos son:

- 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 13 : Amarillo ojos negros (9/16)
- 6, 8, 14: Amarillo ojos rojos (3/16)
- 11, 12, 15: Blanco ojos negros (3/16)
- 16: Blanco ojos rojos (1/16)

que corresponden a las típicas proporciones **9: 3: 3: 1** de la tercera ley de Mendel.

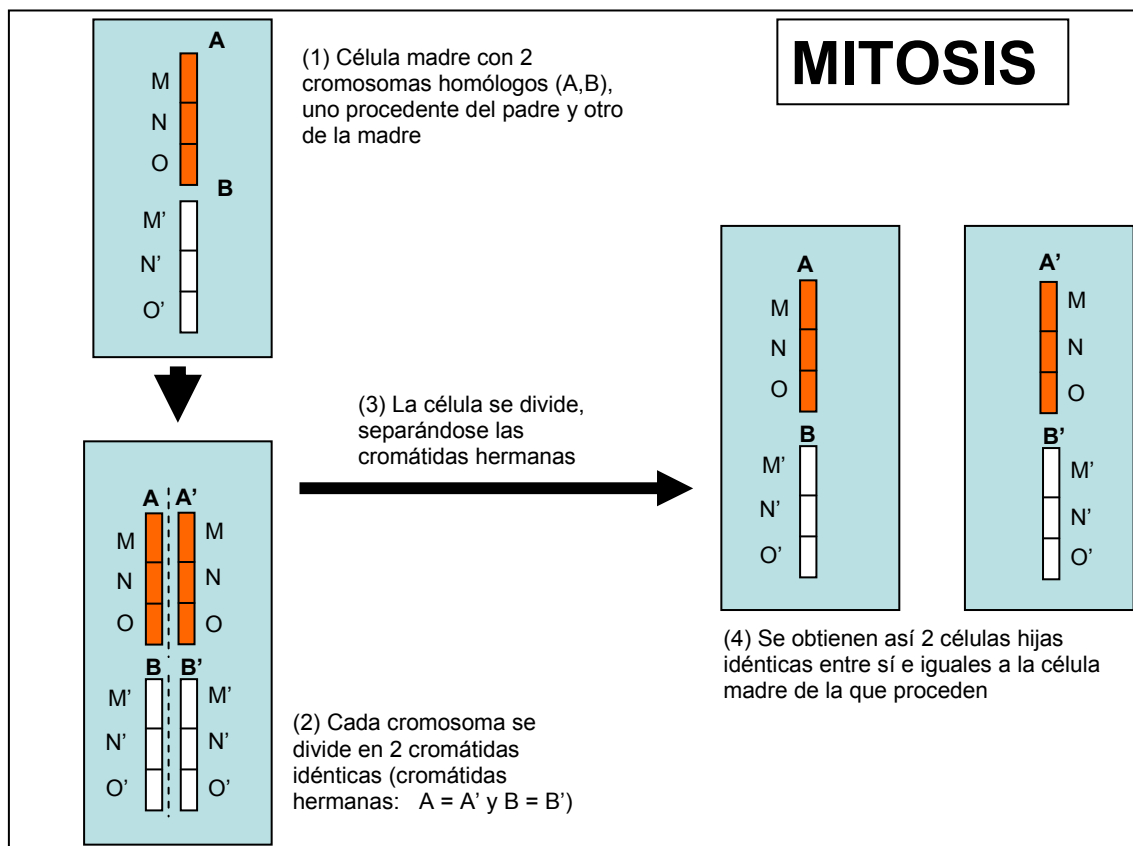
Cuando intervienen “genes ligados” deja de cumplirse esta ley, salvo que ocurra entrecruzamiento. Igualmente esta ley no se cumple cuando se da el fenómeno de “epistasia”.

Capítulo 6.

REPRODUCCIÓN CELULAR: MITOSIS y MEIOSIS

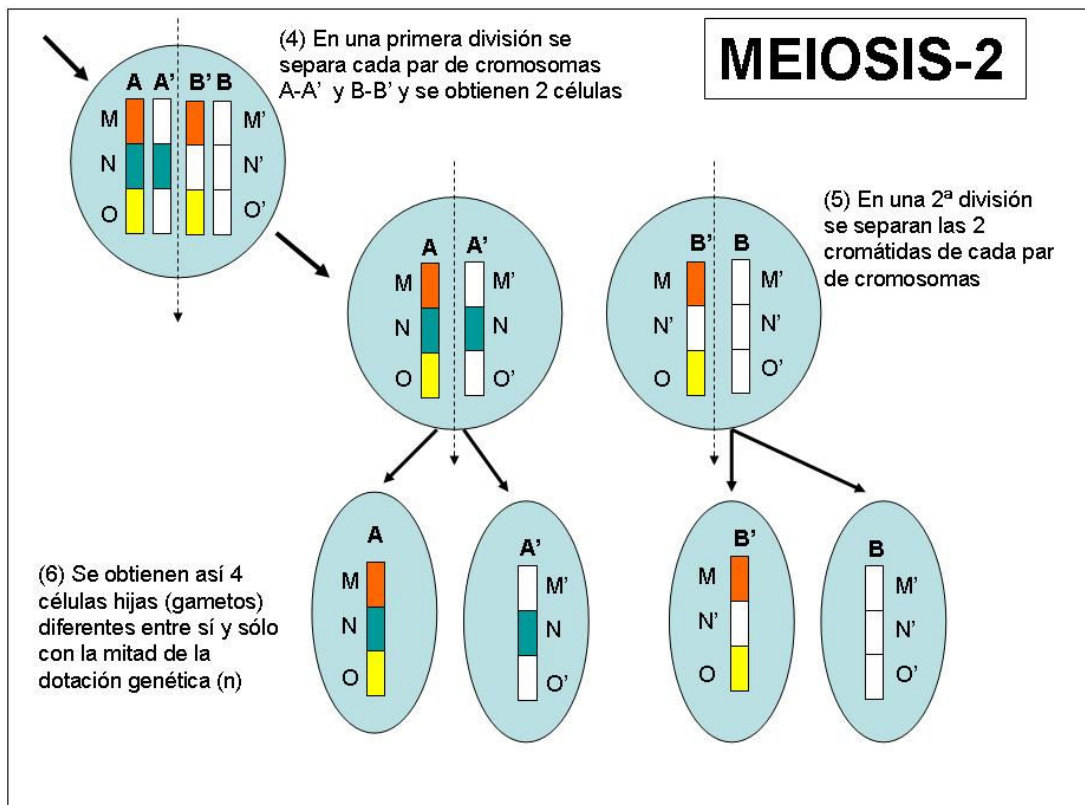
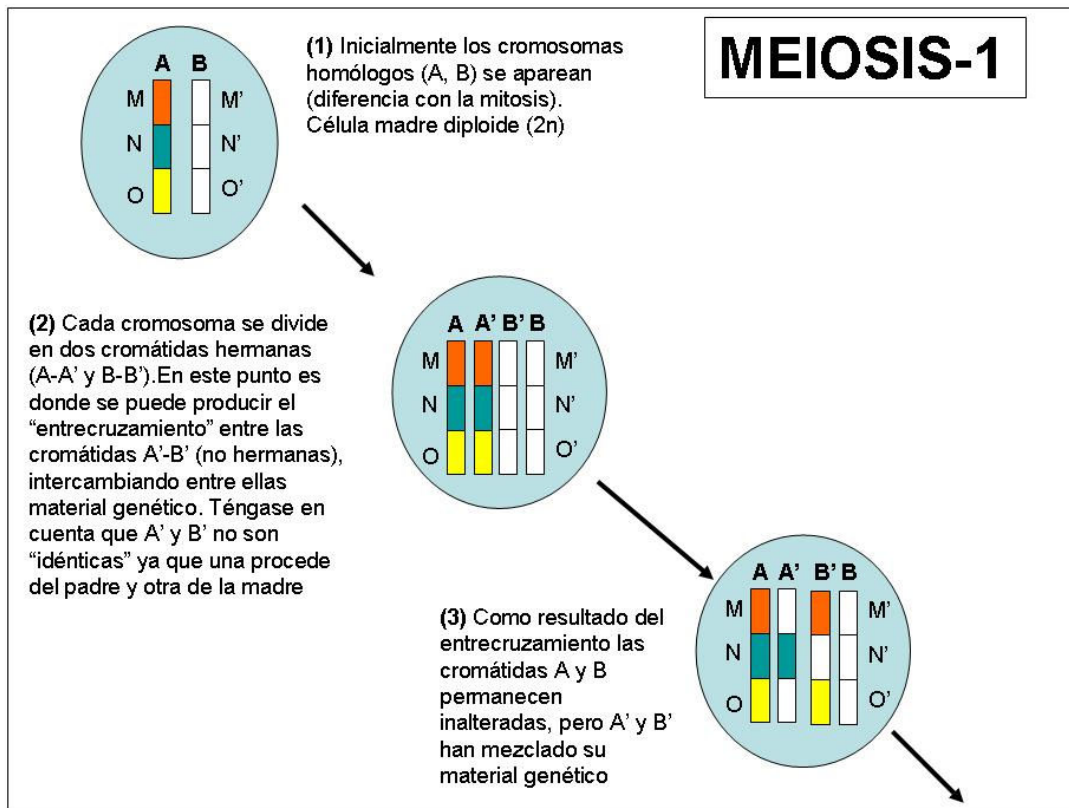
MITOSIS. La mitosis es el proceso normal de división celular y constituye la modalidad utilizada por las células somáticas. El resultado es la formación de dos células hijas idénticas entre sí e iguales a la célula madre de la que proceden.

En el esquema siguiente se muestra el proceso de la mitosis:



Como puede observarse en el esquema, los cromosomas homólogos (A y B) no se aparean y el intercambio entre cromátidas no ocurre (o no tiene ningún resultado ya que son idénticas entre sí).

MEIOSIS. La meiosis es una forma especializada de división celular, que da origen a los gametos (óvulos y espermatozoides). En los esquemas siguientes podemos ver de forma simplificada este proceso.



Las diferencias fundamentales entre **mitosis** y **meiosis** se recogen en la tabla siguiente:

DIFERENCIAS ENTRE LA MITOSIS Y LA MEIOSIS	
Mitosis	Meiosis
Se da en todos los tejidos. En la mayor parte de las células somáticas	Se presenta sólo en las células especializadas de la línea germinal. En testículo y ovario.
Empieza en el periodo de cigoto y continúa a través de toda la vida del organismo.	Se presenta sólo después que un organismo superior ha empezado a madurar.
Una división por ciclo	Dos divisiones por ciclo
Cada ciclo da lugar a dos productos (células hijas)	Cada ciclo da lugar a cuatro productos celulares (gametos)
Los cromosomas no se aparean. No se forman quiasmas. No hay intercambio de material genético.	Los cromosomas se aparean y forman quiasmas. Hay intercambio entre homólogos
Las células hijas tienen el mismo número de cromosomas que la célula madre. Células diploides (2n).	Las células hijas tienen la mitad de los cromosomas de la célula madre. Células haploides (n)
El contenido genético de los productos mitóticos es idéntico.	El contenido genético de los productos meióticos es diferente (debido a la recombinación y a la distribución independiente de los homólogos)

Como ya se dijo anteriormente la importancia de la meiosis se debe a dos hechos:

- (a) Durante la meiosis y, debido al intercambio de material genético en el proceso la recombinación o entrecruzamiento, aumenta la variabilidad genética.
- (b) Permite mantener constante el número de cromosomas de los individuos de una misma especie. Si durante la formación de los gametos no se redujese a la mitad el número de cromosomas éstos se irían duplicando de generación en generación.

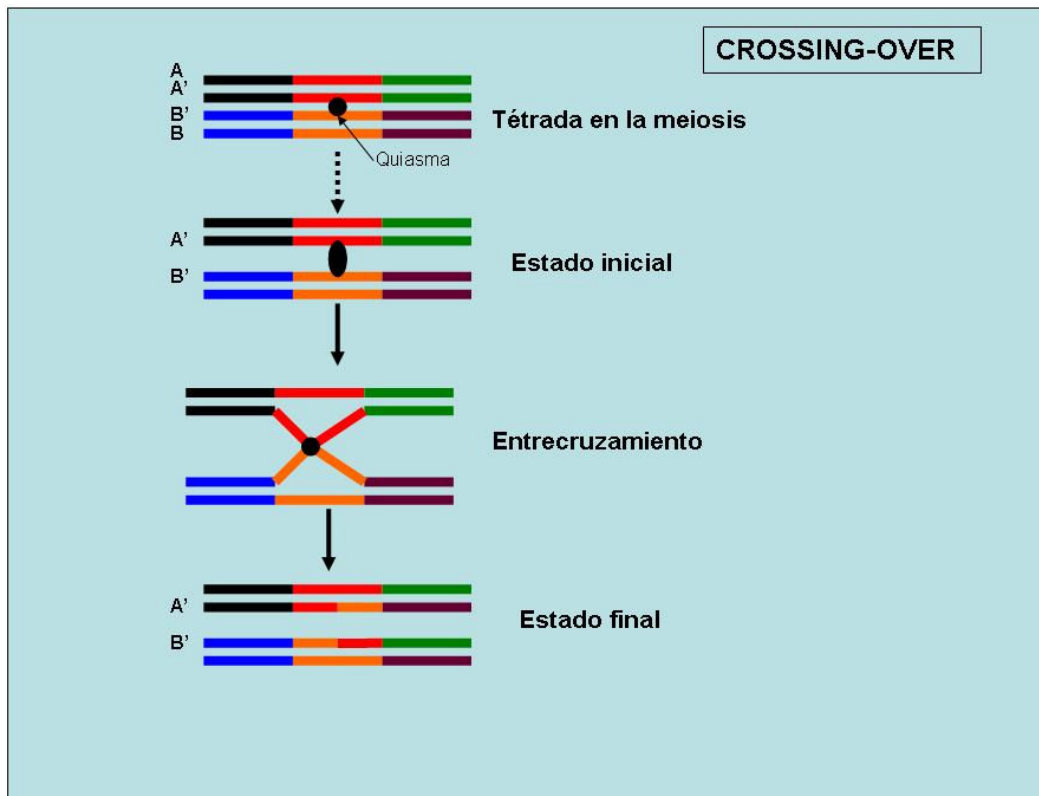
Capítulo 7.

EL “CROSSING-OVER” O ENTRECruzAMIENTO

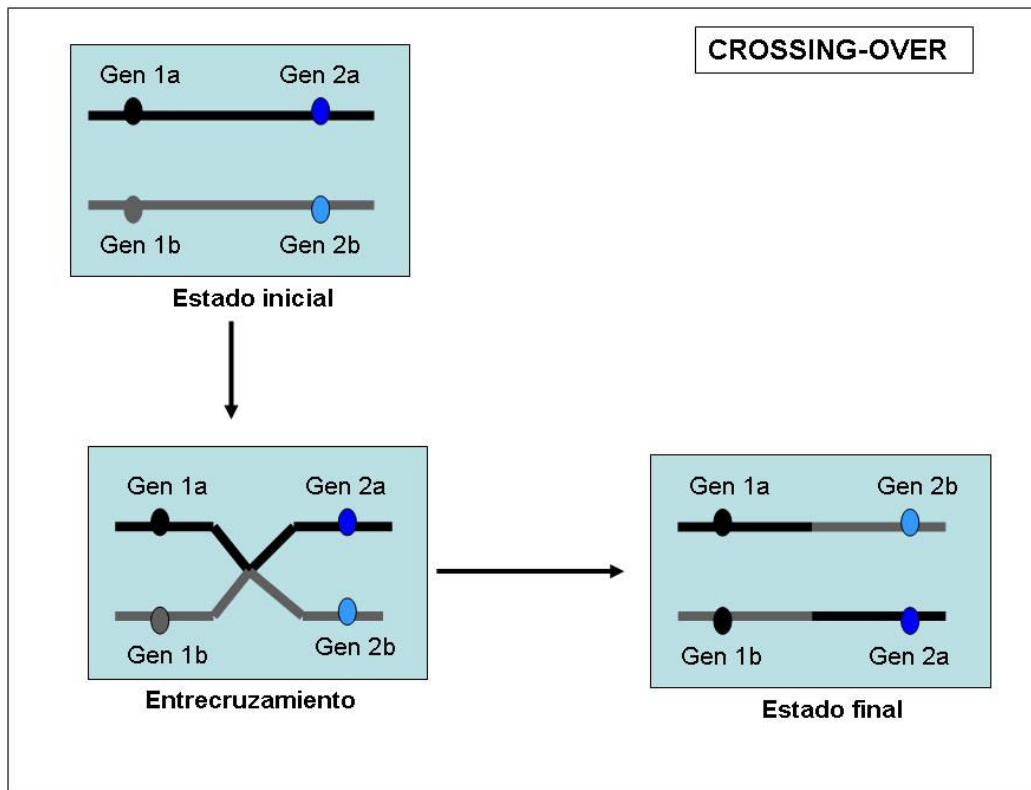
El “crossing-over” o entrecruzamiento consiste en el intercambio de fragmentos entre cromátidas no hermanas en el momento en que se van a formar las células sexuales (durante la meiosis).

Cuando el cromosoma de origen paterno se une al de origen materno, después de que cada uno de ellos se ha subdividido en dos cromátidas y cuando por las fuerzas repulsivas tienden a separarse entre sí, permanecen unidos aún por algunos puntos denominados “quiasmas”. Precisamente a nivel de estos quiasmas se rompen las cromátidas y se intercambian recíprocamente un segmento, de modo que cuando se separan definitivamente cada cromátida estará formada por un segmento de origen paterno y otro de origen materno, más o menos largo según el punto en que ha tenido lugar el quiasma y la rotura consiguiente.

Esquemáticamente:



O también de forma más simple:



El entrecruzamiento no es un fenómeno raro, pero para que se produzca requiere que los genes estén alejados uno de otro (generalmente sólo se produce entre fragmentos delimitados por quiasmas). Por el contrario, cuando dos genes están muy próximos en el cromosoma es muy difícil el entrecruzamiento. Así se justifica la facilidad de producir ejemplares “isabela” con el apareamiento de ágata x bruno (facilidad de entrecruzamiento de los genes z^+/z y rb^+/rb) y la imposibilidad de obtener ejemplares “satiné” diferentes de ágata o isabela.

Otra condición para que se dé el entrecruzamiento, además de la distancia entre los genes, es que tienen que ser “genes ligados”. En el canario, según los conocimientos actuales, sólo el cromosoma sexual “Z” tiene genes ligados y podrían verse afectados por este fenómeno. Por ello, teóricamente, los caracteres que une o separa el entrecruzamiento en el canario de color serían:

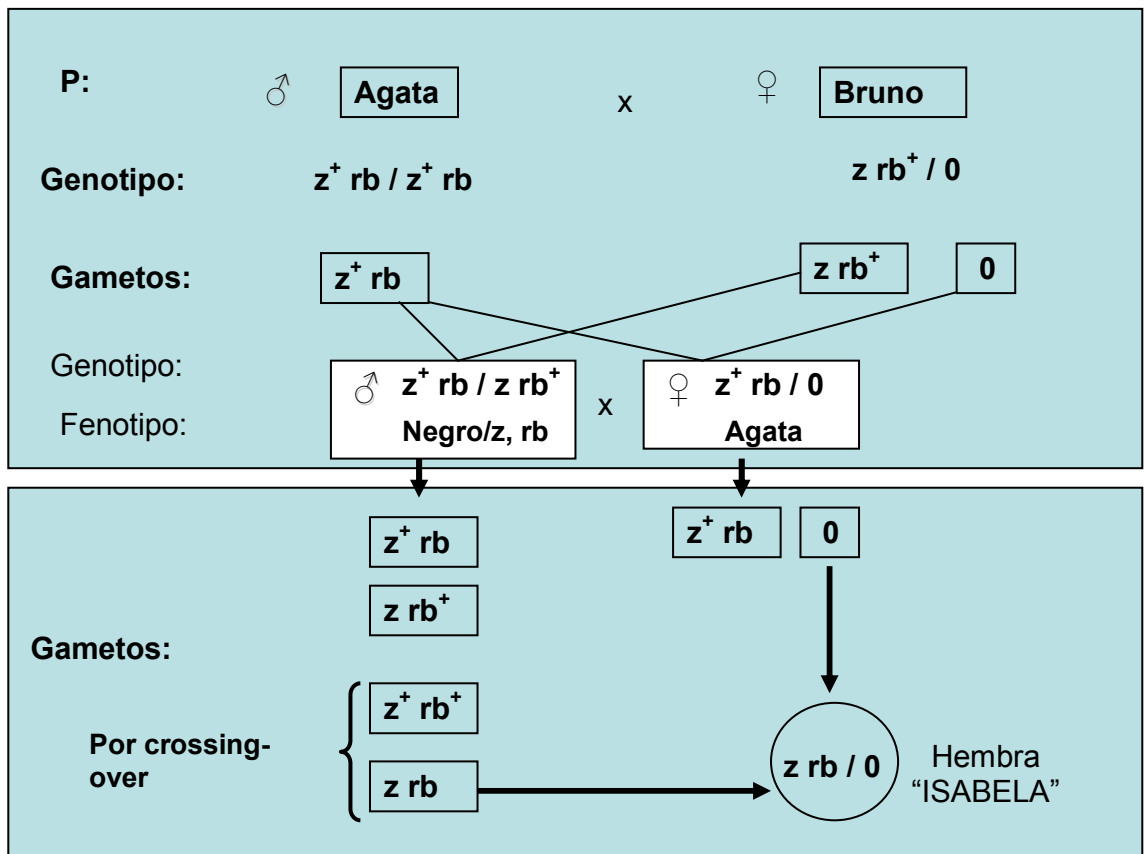
1. El gen eumelanina z (entre z^+ y z)
2. el gen dilución rb (entre rb^+ y rb)
3. el gen pastel rz (entre rz^+ y rz)
4. el gen marfil sc (entre sc^+ y sc)
5. el gen satiné st (entre st^+ y st)

es decir, los genes situados sobre el cromosoma sexual “Z”, aunque la probabilidad no es la misma en todos los casos, debido a su localización (distancia) en el cromosoma “Z”. En la práctica es más fácil entre los genes z y

rb y entre st y agata o isabela. También es posible entre sc y st. Por el contrario es muy difícil el entrecruzamiento entre los genes pastel (rz) y marfil (sc), posiblemente por estar muy próximos sobre el cromosoma “Z”.

El efecto inmediato del “crossing-over” es la modificación de las proporciones fenotípicas esperadas, ya que origina un mayor número de gametos y, consecuentemente, las combinaciones posibles aumentan.

Precisamente, por crossing-over se obtuvo el canario “isabela” al cruzar canarios agata x bruno, como se muestra en el siguiente esquema:



Al cruzar entre sí los descendientes del primer cruce y debido al entrecruzamiento los machos (negro/eumelanina marrón, dilución) originan cuatro tipos de gametos, entre ellos “z rb” (eumelanina marrón-dilución) que al combinarse con los gametos “0” de las hembras origina hembras isabela (z rb/0).

UTILIDAD PRÁCTICA DEL “CROSSING-OVER”: EL CANARIO “PASSE-PARTOUT”.

La utilidad del “crossing-over” en canaricultura se pone de manifiesto cuando se trabaja con los machos llamados “passe-partout” (“pasa por todo”).

Un canario “passe- partout” es un macho de aspecto negro clásico que sobre sus cromosomas “Z” lleva los genes **z** (eumelanina negra/marrón) y **rb** (oxidación/dilución) en todas sus formas. Es decir, posee z^+ (eumelanina negra), z (eumelanina marrón), rb^+ (oxidación) y rb (dilución). Se trata, por tanto, de un macho negro portador de eumelanina marrón y de dilución (o dicho de otra forma: macho negro portador de isabela)

Genotipo: $z^+ rb^+ /z rb$

¿Cómo se puede obtener?

Se puede obtener cruzando:

1. Negro x Isabela (o Isabela x Negro)..... Tipo 1 (Tipo “cis”)
2. Agata x Bruno (o Bruno x Agata) Tipo 2 (Tipo “trans”)

Tipo 1 (Tipo “cis”):

$$\frac{z^+ \quad rb^+}{z \quad rb}$$

Tipo 2 (Tipo “trans”):

$$\frac{z^+ \quad rb}{z \quad rb^+}$$

¿Qué capacidades tiene?

Un macho “passe-partout” es capaz de producir cuatro tipos de gametos diferentes. Así al cruzar este macho con cualquier hembra clásica se obtendrán los 4 tipos de hijas: NEGRAS, BRUNAS, AGATAS e ISABELAS.

¿Qué utilidad tienen estos machos?

La utilidad está en la fijación de una nueva mutación, al difundir rápidamente la mutación a los cuatro tipos básicos (negro, bruno, agata e isabela). Hacen falta al menos 5 años para fijar correctamente una nueva mutación y la utilización de los machos “passe-partout” es una etapa intermedia indispensable en ese proceso.

NOTA: Los machos negro/satiné y eumelanina marrón y ágata/satiné y eumelanina marrón se conocen también como “**passe-partout del satiné**”, ya que por crossing-over pueden dar origen a hembras de cuatro tipos distintos (negro, bruno, agata e isabela)

Capítulo 8. MUTACIONES

Una mutación es un cambio en la información genética de un individuo, y que da lugar a la aparición de un individuo llamado “mutante”. Las mutaciones producen cambios de importancia variable en la información contenida en los genes, dando lugar a la aparición de nuevos caracteres que se manifiestan en el fenotipo del “mutante”.

Las mutaciones pueden ser “espontáneas” (de origen desconocido) o “inducidas” (por exposición a agentes físicos o químicos). También se suelen considerar tres grandes categorías de mutaciones: *génicas*, *cromosómicas* y *genómicas*.

Se entiende por “*mutación génica*” toda variación, aunque sea mínima, en la estructura del DNA que constituye un gen. Las “*mutaciones cromosómicas*” se refieren al orden lineal de los genes en los cromosomas, por lo que se afectan segmentos de cromosomas más o menos largos. Son consecuencia de roturas en los cromosomas originando inversiones, deficiencias, translocaciones y duplicaciones. Las “*mutaciones genómicas*” se refieren al cambio en el número de cromosomas de un individuo, dando lugar al fenómeno conocido como “poliploidía”. Nosotros, en el caso del canario de color, sólo consideraremos las mutaciones “*génicas*”.

Las mutaciones pueden afectar a las células somáticas, no transmitiéndose a la descendencia (en este caso se denominan “aberraciones”) o pueden afectar a las células germinales y por tanto se transmiten a la descendencia. Por otro lado, las mutaciones pueden afectar a los cromosomas sexuales o a los autosómicos y pueden presentar carácter dominante o recesivo.

Ejemplo de mutación en células somáticas (aberración): canarios “half-sider”. En este caso el canario presenta características fenotípicas diferentes en cada mitad del cuerpo, por lo que también se les conoce como canarios bicolores simétricos. Este fenotipo no aparece en la descendencia de esos ejemplares. Este fenómeno se presenta tanto en canarios lipocrómicos como melánicos así como en otras especies de aves.

La aparición de canarios “half-sider” se debe a anomalías en la división celular, con pérdida de algún gen (o más de uno) e incluso de algún cromosoma. Se conoce por ejemplo un canario ágata mitad blanco dominante y mitad rojo, un canario mitad verde y mitad bruno, un canario mosaico mitad con fenotipo de macho y mitad con fenotipo de hembra, etc. Como hemos dicho, al tratarse de una “aberración” (y no afectar, por tanto, a las células germinales) no se transmite a la descendencia.

Ejemplos de mutaciones:

- (a) autosómicas y recesivas: ojos rojos (ino), blanco recesivo
- (b) recesivas y ligadas al sexo: marfil, ojos rojos (satiné)
- (c) autosómicas y dominantes: blanco dominante, intenso

Recordemos que los genes mutados se representan por las mismas letras que el gen silvestre o ancestral (no mutado) pero sin el superíndice “+”.

Ejemplos: Gen silvestre: cb^+ (no blanco recesivo)
Gen mutado: cb (blanco recesivo)

Gen silvestre: so^+ (no opal)
Gen mutado: so (opal)

Las mutaciones reconocidas al día de hoy en el canario de color se han estudiado en el capítulo 4.

INTERÉS DE LAS MUTACIONES EN CANARICULTURA DE COLOR. El gran número de variedades de canarios de color existentes en la actualidad se ha originado gracias a las mutaciones. Todas las variedades proceden, por mutación (y selección), del canario verde ancestral.

La frecuencia de aparición de las mutaciones espontáneas es muy baja. Aún así han ido apareciendo a lo largo de los años aunque no es fácil reconocer la aparición de una mutación (muchas veces pasan desapercibidas). Una vez se detecta una “posible mutación” el siguiente paso es “fijar esa mutación” e introducirla en los distintos tipos y variedades de canarios conocidos con el objetivo último de conseguir “ejemplares nuevos” o bien mejorar las variedades ya existentes.

¿CÓMO FIJAR UNA MUTACIÓN? No es tarea fácil ya que para fijarla hay que conocer exactamente sus características (autosómica, recesiva, ligada al sexo, etc.) y utilizar los machos “passe-partout” (ver Capítulo 7). Sólo haremos algunas consideraciones generales al respecto.

Si el mutante obtenido es macho resulta más fácil, por la posibilidad de obtener un mayor número de descendientes en una temporada con relación a una hembra mutante (ya que el macho puede cruzarse con varias hembras). Si la mutación es “dominante” también es más fácil y rápida su fijación.

Lo primero sería cruzar el mutante (macho o hembra) con ejemplares “no mutados”. Si en la descendencia aparecen ejemplares mutados *significa que la mutación es dominante* y obtendremos machos y hembras mutados.

Si al cruzar macho mutante x hembra no mutada sólo se obtienen hembras mutantes y no se obtiene ningún ejemplar mutado al cruzar macho no mutado x hembra mutante, *significa que la mutación es ligada al sexo*.

Si al cruzar mutante (macho o hembra) x no mutado no se obtiene ningún ejemplar mutante, *significa que puede ser autosómica y recesiva*. En este caso cruzaríamos padre x hija y madre x hijo (retrocruzamiento) y deberíamos obtener 50% de mutantes (machos y hembras).

Una vez determinado el carácter de la mutación, disponiendo de machos y hembras mutados, introduciríamos la mutación en los 4 tipos básicos (negro, bruno, ágata e Isabela) mediante la utilización de machos “passe-partout”.

PARTE II

CRUZAMIENTOS DE CANARIOS DE COLOR

Capítulo 9. GENERALIDADES

Determinar la descendencia de cualquier cruce entre canarios de color, indicando el genotipo y fenotipo de los ejemplares obtenidos es el objetivo básico de este Manual. Hay que reconocer que si en algunos cruces resulta sencillo, en otros casos es bastante complicado. Sin embargo, si se tienen en cuenta ciertas normas y aplicamos la metodología adecuada a cada caso, podemos abordar con éxito cualquier cruce que se pueda plantear.

En los textos especializados suelen expresarse los resultados de los cruzamientos en términos de porcentaje obtenido de cada genotipo/fenotipo en la descendencia, teniendo en cuenta si se trata de caracteres dominantes, recesivos, ligados al sexo, si son o no portadores, etc. Se obtienen así todas las combinaciones posibles con sus porcentajes correspondientes.

Así por ejemplo para un factor "recesivo" autosómico existen 4 posibilidades:

1. Mutante x Mutante = 100% Mutantes
2. Mutante x No mutante (clásico) = 100% clásicos portadores de la mutación
3. Mutante x Portador de la mutación = 50% de mutantes y 50% clásicos portadores de la mutación
4. Portador x Portador = 25% de mutantes y 75% clásicos (50% portadores de la mutación y 25% clásicos no portadores)

Si se trata de un factor dominante tenemos dos posibles cruzamientos:

1. Mutante x No mutante (clásico) = 50% de mutantes y 50% de no mutantes (que no serán portadores)
2. Mutante x Mutante = 50% de mutantes, 25% de no mutantes y 25% de mutantes homocigóticos (letales), por lo que en definitiva tendremos 1/3 de no mutantes y 2/3 de mutantes.

y así para todas las situaciones que podemos encontrarlos.

Es evidente que resulta difícil, memorizar los resultados que obtendríamos en cada cruzamiento y esto sería considerando sólo un carácter. Muchas veces tenemos que manejar 2 o más caracteres en el mismo cruzamiento y en esos casos es difícil hacer los cálculos de descendencia de esta manera.

También se han publicado magníficas Tablas de cruzamiento para los casos más frecuentes que incluyen los 4 tipos clásicos y sus portadores, con la descendencia de machos y hembras que se obtiene en cada cruce. Aunque es indudable la utilidad de estas Tablas y nos pueden ayudar en muchos casos, el problema sigue siendo el mismo. En cruzamientos más complejos no hay una forma directa de conocer la descendencia especificando el genotipo y fenotipo de cualquier ejemplar obtenido.

De ahí surge la necesidad de utilizar una metodología que nos permita resolver cualquier cruzamiento que se nos pueda plantear sin tener que hacer ninguna predicción “de memoria”. Como veremos a continuación cualquier cruzamiento puede hacerse de forma razonada aplicando los principios y conocimientos desarrollados en los apartados previos de este Manual.

METODOLOGÍA.

Básicamente consiste en seguir los pasos siguientes:

1. Escribir correctamente el genotipo de los ejemplares que se van a cruzar utilizando los símbolos genéticos adecuados (**sólo de aquellos caracteres que nos interesan en ese caso en particular**). Éste es el primer paso y el más importante para la correcta resolución del cruzamiento.
2. Deducir los gametos que va a producir cada uno de los progenitores a partir del genotipo indicado. Tener en cuenta la posibilidad de que ocurra crossing-over y si se trata de genes autosómicos o ligados al sexo. La formación de gametos es fácil considerando la 2ª ley de Mendel (“separación de los genes que forman la pareja de alelos”). Cada gen de la pareja formará un gameto. Así, la pareja cb^+/cb formará los gametos “ cb^+ ” y “ cb ”; la pareja “ cb/cb ” formará los gametos “ cb ” y “ cb ” o lo que es lo mismo, formará un único tipo de gametos “ cb ”. Como acabamos de ver cuando los dos genes de la pareja son iguales (homocigoto para el carácter) se puede considerar, si se prefiere, que ese genotipo origina un solo tipo de gametos (De una u otra forma el resultado va a ser el mismo). Cuando consideramos dos o más pares de genes en el genotipo los gametos contienen un gen de cada una de las parejas consideradas en todas las combinaciones posibles (3ª ley de Mendel). Así, para un genotipo $cb^+/cb\ ino^+/ino$ los gametos posibles serían cuatro: $cb^+ ino^+$, $cb^+ ino$, $cb ino^+$ y $cb ino$.
3. Combinar entre sí, en todas las formas posibles, los gametos producidos.
4. Interpretar a partir del genotipo obtenido para cada descendiente su fenotipo (tener en cuenta la relación de dominancia entre alelos y los fenómenos de epistasia)
5. Expresar en porcentajes los genotipos y fenotipos obtenidos en la descendencia

Esta metodología es muy sencilla en el caso de que se maneje un solo carácter, pero se complica cuando entran en juego dos o más caracteres. Antes de ver algunos ejemplos, vamos a recordar los aspectos más importantes a tener en cuenta para resolver correctamente los cruzamientos entre canarios de color.

COMPORTAMIENTO GENÉTICO DE LOS DISTINTOS CARACTERES O FACTORES EN EL CANARIO DE COLOR

Blanco dominante (CB)	<p><u>Autosómico dominante</u> . En realidad es un gen “semidominante” o de dominancia incompleta ya que en los ejemplares heterocigóticos aparecen incrustaciones lipocrómicas en determinadas zonas del plumaje (su acción, inhibición de la fijación del lipocromo, es incompleta). <u>Genotipo:</u> CB⁺ CB (igual en machos y hembras). <u>No hay portadores</u> (salvo en el caso especial de los blancos recesivos) (<i>ver blanco recesivo</i>) <u>Letal en homocigosis</u>. <u>Epistático de</u> los genes amarillo, rojo, marfil y los que determinan la categoría (intenso, nevado, mosaico)</p>
Intenso (I)	<p><u>Autosómico dominante</u>. <u>Genotipo:</u> I⁺I (igual en machos y hembras) <u>No hay portadores</u>. <u>Letal en homocigosis</u>. (Subletal según algunos autores. Podrían existir los ejemplares doble intenso)</p>
Ausencia de melaninas (E)	<p><u>Autosómico codominante</u>. <u>Genotipo:</u> E E (igual en machos y hembras) <u>Hay portadores</u> (machos y hembras): E⁺ E (píos)</p>
Doble factor amarillo (G)	<p><u>Autosómico codominante</u>. <u>Genotipo:</u> G G (igual en machos y hembras) <u>Hay portadores</u> (machos y hembras): G⁺ G</p>
Blanco recesivo (cb)	<p><u>Autosómico recesivo</u>. <u>Genotipo:</u> cb cb (igual en machos y hembras). <u>Hay portadores (machos y hembras):</u> cb⁺/cb <u>Epistático en homocigosis</u> sobre los genes amarillo, rojo, blanco dominante, marfil y los que determinan la categoría (intenso, nevado, mosaico). Debido al efecto epistático de <u>cbcb</u> sobre el blanco dominante (CB⁺CB) un ejemplar blanco recesivo puede ser a la vez blanco dominante, aunque no se aprecie. Estos ejemplares se pueden considerar como “portadores de blanco dominante”</p>
Ino (ino)	<p><u>Autosómico recesivo</u>. <u>Genotipo:</u> ino ino (igual en machos y hembras). <u>Hay portadores (machos y hembras):</u> ino⁺/ino</p>
Opal (so)	<p><u>Autosómico recesivo</u>. <u>Genotipo:</u> so so (igual en machos y hembras). <u>Hay portadores (machos y hembras):</u> so⁺/so</p>
Topacio (to)	<p><u>Autosómico recesivo</u>. <u>Genotipo:</u> to to (igual en machos y hembras). <u>Hay portadores (machos y hembras):</u> to⁺/to</p>
Eumo (eu)	<p><u>Autosómico recesivo</u>. <u>Genotipo:</u> eu eu (igual en machos y hembras). <u>Hay portadores (machos y hembras):</u> eu⁺/eu</p>
Onix (onix)	<p><u>Autosómico recesivo</u>. <u>Genotipo:</u> onix onix (igual en machos y hembras). <u>Hay portadores (machos y hembras):</u> onix⁺/onix</p>
Azul (b)	<p><u>Autosómico recesivo</u>. <u>Genotipo:</u> b b (igual en machos y hembras). <u>Hay portadores (machos y hembras):</u> b⁺/b</p>

Cobalto (co)	<u>Autosómico recesivo.</u> <u>Genotipo:</u> co co (igual en machos y hembras). <u>Hay portadores (machos y hembras):</u> co ⁺ /co
Eumelanina marrón (z)	<u>Recesivo ligado al sexo.</u> <u>Genotipo:</u> z z (macho), z 0 (hembra) <u>Los machos pueden ser portadores (z⁺ z).</u> <u>Las hembras no.</u>
Dilución (rb)	<u>Recesivo ligado al sexo.</u> <u>Genotipo:</u> rb rb (macho), rb 0 (hembra) <u>Los machos pueden ser portadores (rb⁺ rb).</u> <u>Las hembras no.</u>
Pastel (rz)	<u>Recesivo ligado al sexo.</u> <u>Genotipo:</u> rz rz (macho), rz 0 (hembra) <u>Los machos pueden ser portadores (rz⁺ rz).</u> <u>Las hembras no.</u>
Satiné (st)	<u>Recesivo ligado al sexo.</u> <u>Genotipo:</u> st st (macho), st 0 (hembra) <u>Los machos pueden ser portadores (st⁺ st).</u> <u>Las hembras no.</u>
Marfil (sc)	<u>Recesivo ligado al sexo.</u> <u>Genotipo:</u> sc sc (macho), sc 0 (hembra) <u>Los machos pueden ser portadores (sc⁺/ sc).</u> <u>Las hembras no.</u>
Factor rojo (r+)	<u>No es un gen propio del canario.</u> Se introdujo por hibridación. No muestra “exactamente” comportamiento mendeliano. <u>r⁺ y r no son alelos</u> Para los cruzamientos <u>podría asimilarse a un gen “autosómico” de expresión variable</u> según se encuentre en simple dosis (r ⁺ r) o doble dosis (r ⁺ r ⁺). Su expresión también está influida por el genotipo del lipocromo amarillo (G ⁺ G ⁺ , G ⁺ G o GG) <u>Genotipo:</u> Igual para machos y hembras (r ⁺ r ó r ⁺ r ⁺). <u>No se puede hablar de verdaderos “portadores”</u> ya que se expresa, en mayor o menor grado, según esté en simple o doble dosis. <u>Hipostático respecto</u> a CB y cbcb. Un ejemplar blanco recesivo o blanco dominante puede ser “portador” de rojo.
Factor mosaico (m+)	<u>No es un gen propio del canario.</u> Se introdujo por hibridación. No muestra “exactamente” comportamiento mendeliano. <u>m⁺ y m no son alelos</u> Para los cruzamientos <u>podría asimilarse a un gen “autosómico” de expresión variable</u> según se encuentre en simple dosis (m ⁺ m) o doble dosis (m ⁺ m ⁺). Su expresión también está influida por el sexo. <u>Genotipo:</u> Igual para machos y hembras (m ⁺ m ó m ⁺ m ⁺). <u>No se puede hablar de verdaderos “portadores”</u> ya que se expresa, en mayor o menor grado, según esté en simple o doble dosis. <u>Hipostático respecto</u> a CB y cbcb. Un ejemplar blanco recesivo o blanco dominante puede ser “portador” de mosaico.
Factor “alas grises” (ag)	<u>Autosómico recesivo.</u> <u>Genotipo:</u> ag/ag (igual en machos y hembras). <u>Hay portadores (machos y hembras):</u> ag ⁺ /ag <u>Influido por el sexo.</u> Se expresa mejor en los machos. El fenotipo “alas grises” sólo se expresa en los “negro-pastel”
Factor “pico rojo”	<u>Autosómico recesivo.</u> No tiene asignado símbolo. ¿”pr”? <u>Genotipo:</u> pr/pr (igual en machos y hembras). <u>Hay portadores (machos y hembras):</u> pr ⁺ /pr
Factor “pico amarillo”	<u>Autosómico recesivo.</u> No tiene asignado símbolo. ¿”pa”? <u>Genotipo:</u> pa/pa (igual en machos y hembras). <u>Hay portadores (machos y hembras):</u> pa ⁺ /pa

DEDUCCIÓN DEL FENOTIPO A PARTIR DEL GENOTIPO

Para resolver los cruzamientos de canarios de color es fundamental conocer el genotipo de cada variedad, a fin de plantear el cruce **exclusivamente** con los genes indispensables en cada caso.

Igualmente resulta necesario conocer el comportamiento genético de todas las mutaciones conocidas. Y, por supuesto, hay que saber deducir el fenotipo de un ejemplar a partir del genotipo, teniendo en cuenta que varios genotipos pueden expresarse como un mismo fenotipo.

Hay que tener en cuenta que el fenotipo que presenta un ejemplar es, a veces, el resultado de la expresión conjunta de dos o más caracteres. Así por ejemplo, los tipos clásicos (negro, bruno, ágata e isabela) resultan de la combinación del tipo de melanina y el grado de oxidación de la misma en todas sus combinaciones posibles :

1. El canario “**negro**” resulta de la combinación de “eumelanina negra” + “oxidación”. Con el mismo fenotipo: Negro, tenemos 4 genotipos posibles para los machos:

- i. $z^+ rb^+ / z^+ rb^+$ (macho negro puro)
- ii. $z^+ rb^+ / z rb^+$ (macho negro/ eumelanina marrón)
- iii. $z^+ rb^+ / z^+ rb$ (macho negro/dilución)
- iv. $z^+ rb^+ / z rb$ (macho negro/ eumelanina marrón, dilución)

y sólo uno para las hembras: $z^+ rb^+ / 0$.

2. El canario “**ágata**” resulta de la combinación de “eumelanina negra” + “dilución”. Los machos pueden ser puros ($z^+ rb / z^+ rb$) o portadores de eumelanina marron ($z^+ rb / z rb$) y las hembras ($z^+ rb / 0$). Tenemos aquí tres genotipos que dan el mismo fenotipo (agata).

3. El canario “**bruno**” resulta de la combinación de “eumelanina marrón” + “oxidación”. Los machos pueden ser puros ($z rb^+ / z rb^+$) o portadores de dilución ($z rb^+ / z rb$) y las hembras ($z rb^+ / 0$). De nuevo tenemos tres genotipos que dan un mismo fenotipo (bruno).

4. El canario “**isabela**” resulta de la combinación de “eumelanina marrón” + “dilución”. En este caso los machos sólo pueden tener el genotipo $z rb / z rb$ y las hembras $z rb / 0$. Aquí hay dos posibles genotipos para un mismo fenotipo.

Otro ejemplo lo tenemos con el carácter “alas grises”. El fenotipo “alas grises” sólo se manifiesta en los ejemplares “negro pastel” y especialmente en los machos (influido por el sexo). En los últimos años, mediante selección, se han conseguido buenos ejemplares de hembras con el fenotipo “alas grises”. Por lo tanto sería el resultado de “eumelanina negra” + “pastel” + “alas grises”. Los machos pueden tener 4 genotipos:

1. $z^+ rb^+ rz / z^+ rb^+ rz$
2. $z^+ rb^+ rz / z^+ rb rz$
3. $z^+ rb^+ rz / z rb^+ rz$
4. $z^+ rb^+ rz / z rb rz$

para los cuales se expresaría el fenotipo “alas grises”. Las hembras sólo podrían tener el genotipo: $z^+rb^+rz/0$. En todos los casos deberían tener en su genotipo el gen “alas grises” (ag/ag). En la actualidad se acepta (aunque no está definitivamente demostrado) que la mutación “alas grises” sería autosómica recesiva.

CANARIOS MELÁNICOS CON APARIENCIA DE LIPOCRÓMICOS

Otro detalle a tener en cuenta en los cruzamientos es que algunos melánicos, por acumulación o superposición de mutaciones pueden tener apariencia de canarios lipocrómicos. Esto hay que tenerlo muy presente a la hora de interpretar la descendencia obtenida con alguno de estos ejemplares. En el Anexo II se plantean algunos cruzamientos de este tipo.

1. CANARIOS MELÁNICOS CON APARIENCIA DE LIPOCROMOS BLANCOS

- Isabela opal plata
- Satiné diluido plata (ojos rojos)
- Agata ino plata (ojos rojos)
- Isabela ino plata (ojos rojos)

2. CANARIOS MELÁNICOS CON APARIENCIA DE LIPOCROMOS AMARILLOS O AMARILLOS MARFIL

- Isabela opal amarillo (o amarillo marfil)
- Satiné diluido amarillo (o amarillo marfil)
- Agata ino amarillo (o amarillo marfil)
- Isabela ino amarillo (o amarillo marfil)

3. CANARIOS MELÁNICOS CON APARIENCIA DE LIPOCROMOS ROJOS O ROJOS MARFIL

- Isabela opal rojo (o rojo marfil)
- Satiné diluido rojo (o rojo marfil)
- Agata ino rojo (o rojo marfil)
- Isabela ino rojo (o rojo marfil)

Capítulo 10. HERENCIA DE UN SOLO GEN

La mayoría de los cruces que se nos pueden plantear en canaricultura de color implican a un solo gen. Podemos encontrar diferentes situaciones;

1. Un gen autosómico recesivo
2. Un gen autosómico dominante
3. Un gen ligado al sexo

1. UN GEN AUTOSÓMICO RECESIVO.

Ejemplo 10.1. Cruzamiento de Macho “amarillo” x Hembra “blanco recesivo” (puro x puro)

Aquí interviene sólo el carácter “color del plumaje” amarillo/blanco recesivo. Este carácter viene determinado por un par de genes (cb^+ y su alelo mutado cb). La expresión del “amarillo”, presente en todos los canarios, depende de cómo se encuentre la pareja cb^+/cb . Sabemos que el gen cb es autosómico recesivo, por lo que, cb^+cb^+ corresponde a un canario amarillo, cb^+cb corresponde a un amarillo portador de blanco recesivo y $cbcb$ correspondería a un ejemplar blanco recesivo. Cuando se trata de genes autosómicos el genotipo es el mismo para machos y hembras y obtendríamos el mismo resultado con el cruzamiento propuesto que con el inverso (macho “blanco recesivo” x hembra “amarillo”).

Siguiendo la metodología propuesta:

1. Genotipo de los progenitores. La fórmula genética del macho amarillo sería:

$E/E \ G^+/G^+ \ cb^+/cb^+$

E/E : Gen melánico (ausencia de melaninas)

G^+/G^+ : Gen lipocromo amarillo (presencia de lipocromo amarillo)

cb^+/cb^+ : Gen blanco recesivo (no blanco recesivo)

y para la hembra “blanco recesivo”:

$E/E \ G^+/G^+ \ cb/cb$

E/E : Gen melánico (ausencia de melaninas)

G^+/G^+ : Gen lipocromo amarillo (presencia de lipocromo amarillo)

cb/cb : Gen blanco recesivo (blanco recesivo). El gen cb en homocigosis inhibe el depósito del lipocromo en el plumaje (aunque esté presente) y el resultado es el color blanco recesivo.

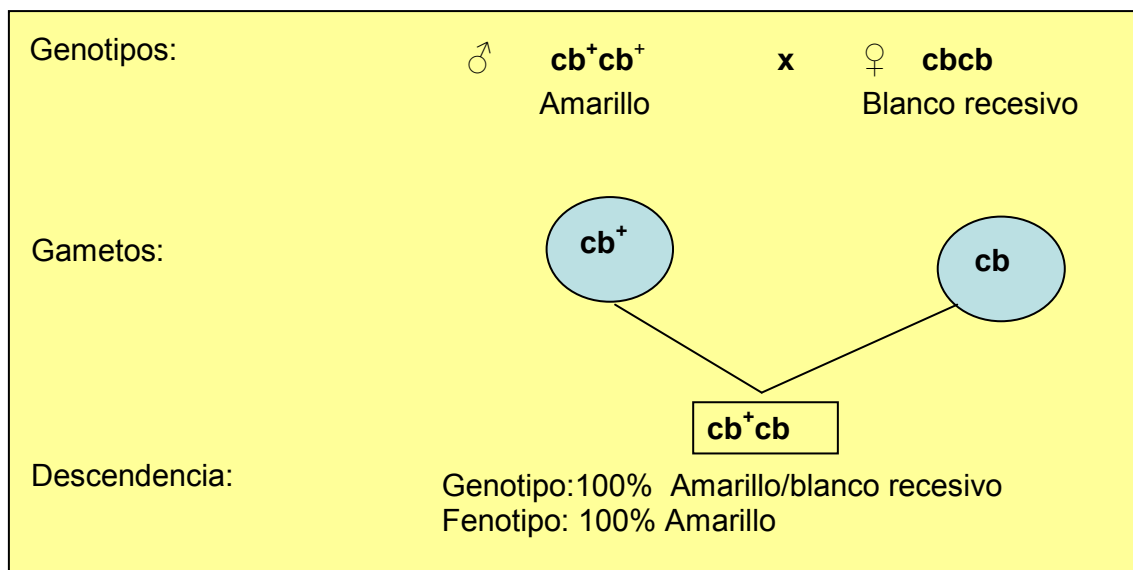
Como vemos, ambos ejemplares tienen en su genotipo E/E y G^+/G^+ , que al ser idéntico en ambos casos también lo será en toda la descendencia (Todos los hijos tendrán en su genotipo E/E y G^+/G^+), por

lo que no hace falta considerarlo para el cruzamiento. Para este cruce es suficiente considerar el gen cb , que es el único distinto en macho y hembra. Por eso, en este caso un canario amarillo es cb^+cb^+ , un amarillo portador de blanco recesivo es cb^+cb y un blanco recesivo es $cbcb$.

Por lo tanto, el genotipo “que nos interesa” en el **macho** sería: cb^+cb^+ (no blanco recesivo o lo que es lo mismo “amarillo”) y para la **hembra** $cbcb$ (blanco recesivo).

2. ¿Qué gametos va a producir cada progenitor? Como los dos genes de la pareja son iguales el macho producirá un solo tipo de gametos (cb^+) y la hembra, por la misma razón, cb . Por tratarse de un gen autosómico no hay diferencias ente machos y hembras.
3. Combinaciones posibles entre los gametos. En este caso sólo hay una posibilidad: $cb^+ + cb$ para dar cb^+cb .
4. Todos los descendientes tendrán el genotipo cb^+cb , que corresponde a ejemplares amarillo/blanco recesivo.
5. El 100% de la descendencia será de fenotipo “amarillo”

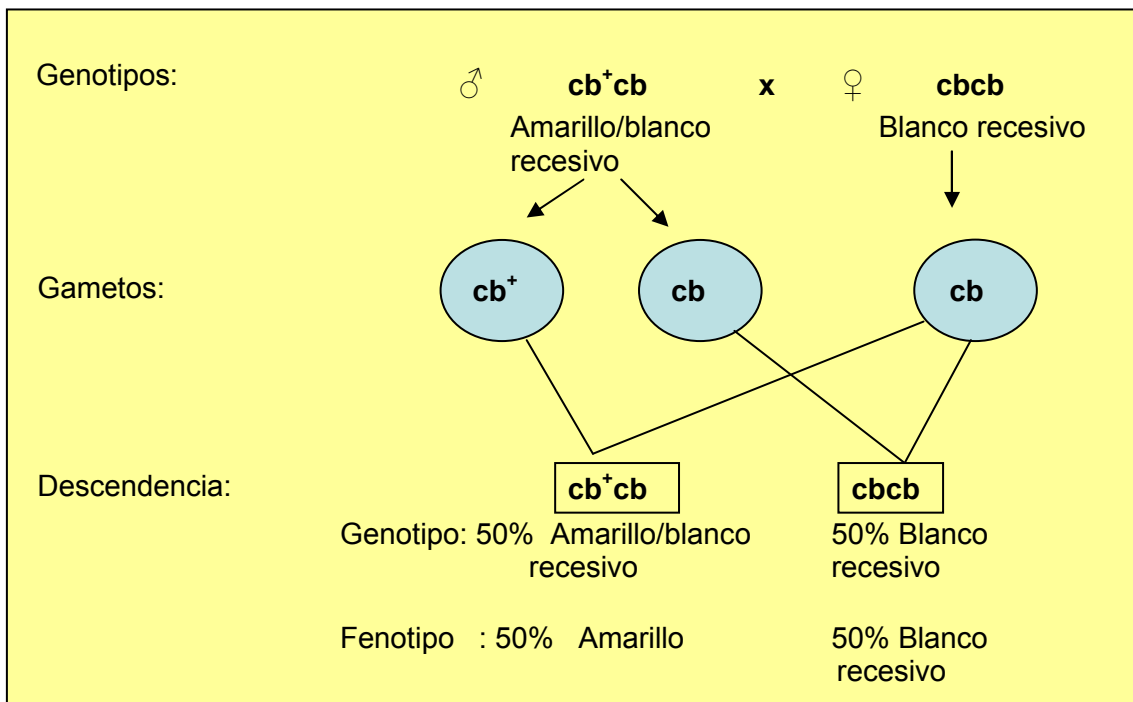
En la práctica esto se hace de forma resumida según el siguiente esquema:



Ejemplo 10.2. Veamos ahora el cruzamiento de un macho “amarillo portador de blanco recesivo” (amarillo/blanco) y una hembra “blanco recesivo” (portador x puro).

1. Genotipo de los progenitores. Para este cruzamiento el genotipo “que nos interesa” en el **macho** sería: **cb⁺cb** y en la hembra **cbcb**
2. ¿Qué gametos va a producir cada progenitor? En este caso el macho producirá dos tipos de gametos (**cb⁺** y **cb**) y la hembra, sólo **cb**. Por tratarse de un gen autosómico no hay diferencias entre machos y hembras
3. Combinaciones posibles entre los gametos. Existen dos posibilidades: **cb⁺ + cb** para dar **cb⁺cb** y **cb + cb** para dar **cbcb**.
4. Los descendientes tendrán el genotipo **cb⁺cb** o **cbcb**.. El primer genotipo corresponderá a un AMARILLO PORTADOR DE BLANCO RECESIVO (Amarillo/blanco recesivo) y el segundo a BLANCO RECESIVO.
5. Fenotipo: El 50% de la descendencia será Amarillo y el otro 50% blanco recesivo.

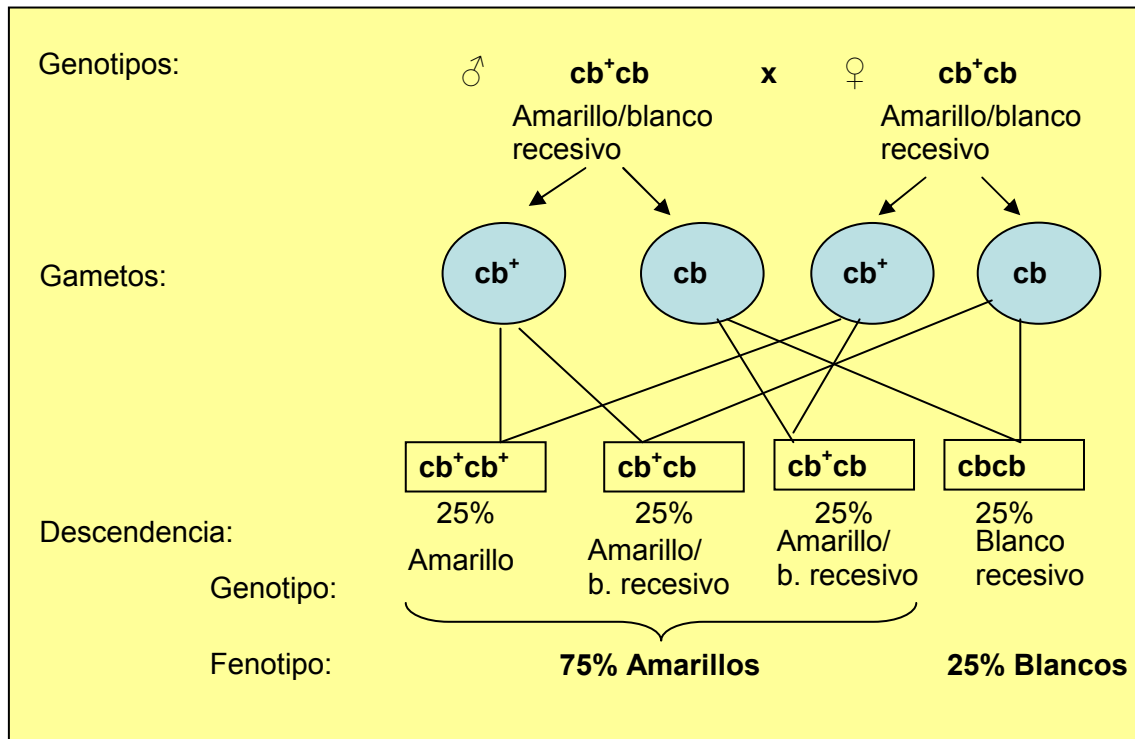
De forma resumida:



Ejemplo 10.3. Supongamos ahora que cruzamos un macho “amarillo/blanco recesivo” con una hembra también “amarillo/blanco recesivo” (portador x portador).

1. Genotipo de los progenitores. Macho: **cb⁺cb**. Hembra: **cb⁺cb**
2. ¿Qué gametos va a producir cada progenitor? En este caso tanto el macho como la hembra producirán dos tipos de gametos (cb⁺ y cb). Por tratarse de un gen autosómico no hay diferencias entre machos y hembras.
3. Combinaciones posibles entre los gametos. En este caso hay 3 posibilidades: cb⁺ + cb, cb + cb y cb⁺ + cb⁺.
4. Los descendientes tendrán el genotipo **cb⁺cb** (amarillo/blanco recesivo), **cb⁺cb⁺** (amarillo) o **cbcb** (blanco recesivo).
5. El fenotipo de la descendencia será: 75% amarillos y 25% blancos)

Esquemáticamente:



Un método alternativo para combinar los gametos es poner los gametos femeninos alineados en un lado de una cuadrícula (Cuadro o Tabla de Punnett) y los gametos masculinos a lo largo del otro y combinarlos para formar cigotos. En este ejemplo sería:

		Gametos ♀	
		cb ⁺	cb
Gametos ♂	cb ⁺	1 cb ⁺ /cb ⁺ Amarillo	2 cb ⁺ /cb Amarillo/Blanco r.
	cb	3 cb ⁺ /cb Amarillo/Blanco r.	4 cb/cb Blanco recesivo

Descendiente 1: Genotipo “amarillo puro”; Fenotipo: “amarillo”

Descendiente 2: Genotipo “amarillo/blanco recesivo”; Fenotipo: “amarillo”

Descendiente 3: Genotipo “amarillo/blanco recesivo”; Fenotipo: “amarillo”

Descendiente 4: Genotipo “blanco recesivo”; Fenotipo: “blanco”

Vemos los cuatro genotipos posibles (dos de ellos iguales: 2=3) resultado de las distintas combinaciones entre los gametos masculinos y femeninos. Para cada uno de ellos se indica el “fenotipo”.

En resumen:

- (a) Genotipo: 25% Amarillo puro, 50% amarillo/blanco y 25% blanco recesivo
- (b) Fenotipo: 75% Amarillo (puros y portadores, indistinguibles) y 25 % blanco recesivo

Con cualquiera de los dos métodos y siempre que intervenga un solo carácter podemos obtener fácilmente y de una forma rápida el resultado del cruzamiento con toda la información sobre genotipo/fenotipo de la descendencia.

No obstante, resulta más rápido por el primer método cuando sólo interviene un gen. El cuadro de Punnett será utilizado, preferentemente, cuando intervengan 2 o más genes.

Procederíamos de la misma manera si se tratase de un carácter que afecte a las melaninas. Hay que tener en cuenta, al establecer el genotipo de los progenitores, que sólo nos interesa aquella parte de la fórmula genética que va a intervenir en el cruzamiento y que es diferente en macho y hembra. Todo lo que sea igual en macho y hembra (referido al genotipo) también será igual en todos los descendientes y por tanto no es necesario tenerlo en cuenta.

Como ya dijimos en el apartado de las “formulas genéticas” (Capítulo 4) todos los melánicos tendrán en su genotipo E^+/E^+ por lo que cuando crucemos dos melánicos no hace falta considerar este gen. Sólo cuando crucemos un melánico y un lipocrómico tendríamos que considerar el gen E (porque en este caso son distintos en macho y hembra): el melánico sería E^+/E^+ , el lipocrómico E/E y la descendencia E^+/E (píos).

Ejemplo 10.4. Cruzamiento de un macho “negro opal amarillo nevado” x hembra “negro amarillo nevado”

Genotipo de los progenitores. La fórmula genética del macho sería:

$E^+/E^+ G^+/G^+ so/so I^+/I^+ (Z) z^+ rb^+(Z) z^+ rb^+$

E^+/E^+ : Gen melánico (presencia de melaninas)

G^+/G^+ : Gen lipocromo amarillo (presencia de lipocromo amarillo)

so/so : Gen opal (modifica la estructura de la pluma y el depósito de la melanina)

I^+/I^+ : Gen nevado

Los cuatro genes anteriores son autosómicos y no ligados, por lo que cada uno se representa como una fracción separada

$z^+ z^+$: Gen eumelanina negra

$rb^+ rb^+$: Gen oxidación

Estos dos genes son ligados al sexo, por lo que los representamos juntos sobre el cromosoma Z

y para la hembra:

$E^+/E^+ G^+/G^+ so^+/so^+ I^+/I^+ (Z) z^+ rb^+(W)0$

E^+/E^+ : Gen melánico (presencia de melaninas)

G^+/G^+ : Gen lipocromo amarillo (presencia de lipocromo amarillo)

so^+/so^+ : Gen no opal

I^+/I^+ : Gen nevado

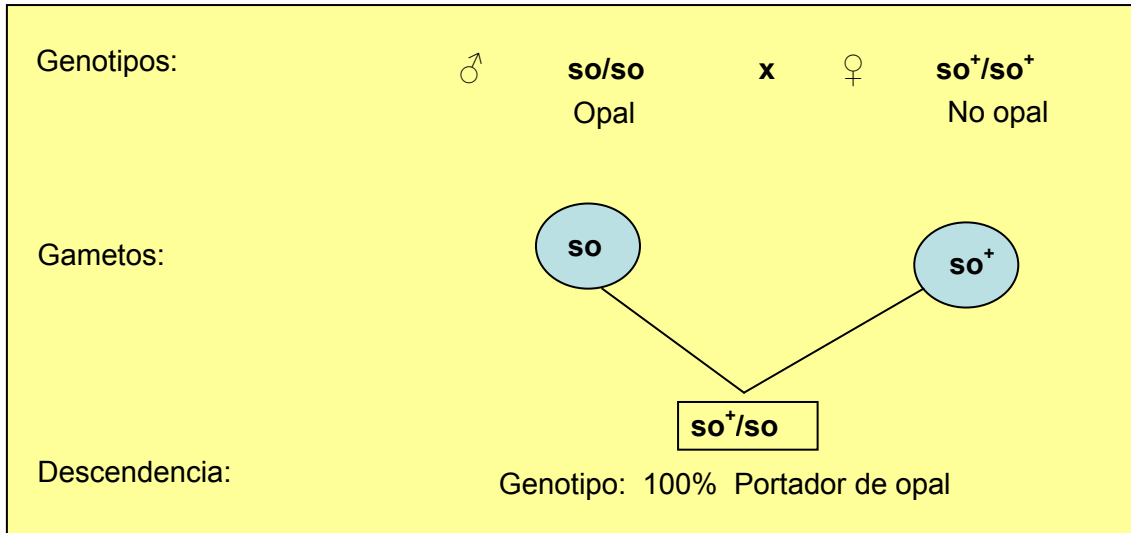
$z^+ 0$: Gen eumelanina negra (en simple dosis en las hembras)

$rb^+ 0$: Gen oxidación (en simple dosis en las hembras)

Lo único diferente entre macho y hembra es el gen opal (so/so para el macho y so^+/so^+ para la hembra). Por lo tanto el genotipo a considerar en el cruzamiento propuesto será:

macho opal (so/so) x hembra no opal (so^+/so^+)

Siguiendo el esquema habitual:



Toda la descendencia sería:

Genotipo: Negro amarillo nevado/opal (Verde nevado/opal)

Fenotipo: Negro amarillo nevado (Verde nevado)

Este cruzamiento correspondería a puro x puro (opal x no opal). Para las otras dos posibilidades (puro x portador, portador x portador) se haría igual siguiendo el mismo razonamiento.

2. UN GEN AUTOSÓMICO DOMINANTE.

En el canario de color se conocen dos genes autosómicos dominantes: Blanco dominante e Intenso. Procederemos de igual forma que en los autosómicos recesivos, salvo que aquí hay que considerar el carácter dominante y letal en homocigosis al determinar los fenotipos de la descendencia.

Ejemplo 10.5. Cruzamiento de un macho “amarillo” x hembra “blanco dominante”. También en este caso da lo mismo considerar macho blanco dominante x hembra amarilla (es autosómico).

Genotipo de los progenitores. La fórmula genética del macho amarillo sería:

E/E G⁺/G⁺ CB⁺/CB⁺

E/E : Gen melánico (ausencia de melaninas)

G⁺/G⁺: Gen lipocromo amarillo (presencia de lipocromo amarillo)

CB⁺/CB⁺: Gen no blanco dominante

y para la hembra:

E/E G⁺/G⁺ CB⁺/CB

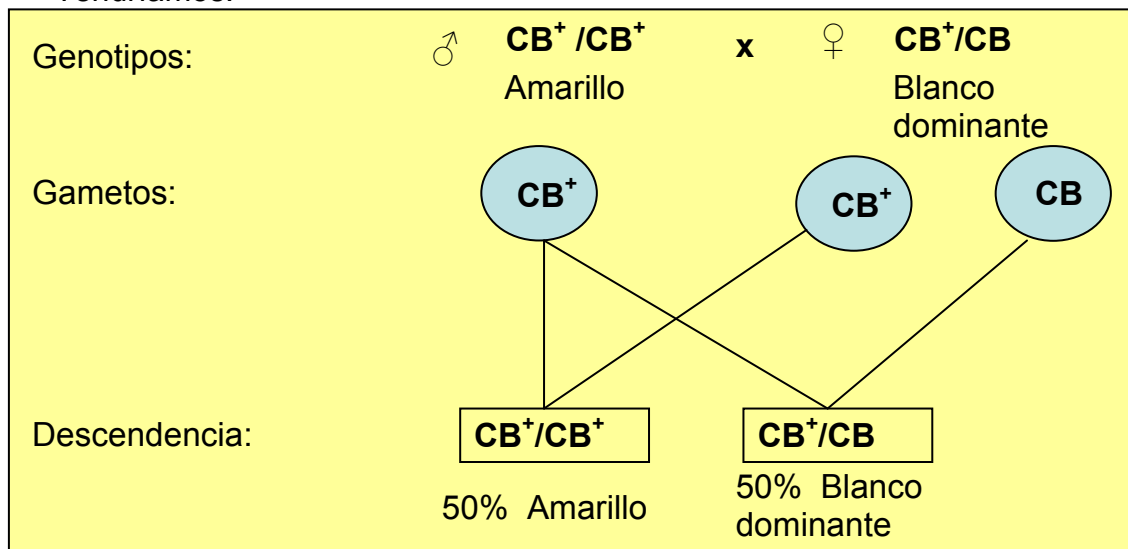
E/E : Gen melánico (ausencia de melaninas)

G⁺/G⁺: Gen lipocromo amarillo (presencia de lipocromo amarillo)

CB⁺/CB: Gen blanco dominante. El gen CB es dominante sobre CB⁺ y letal en homocigosis CB/CB = no viable).

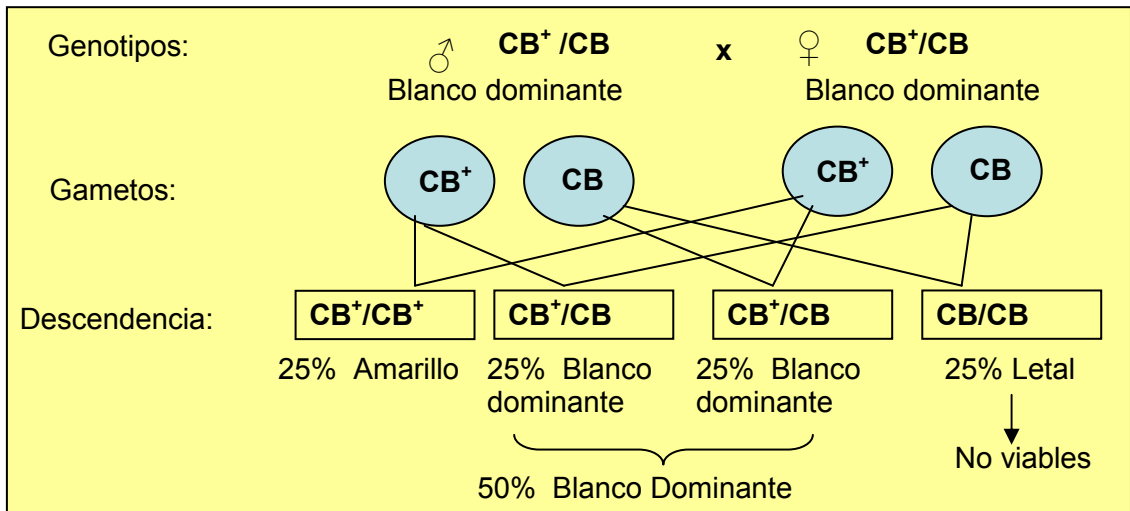
Por lo tanto lo único diferente entre los dos progenitores (genotipo que nos interesa): Macho: CB⁺/CB⁺ y Hembra: CB⁺/CB. Al tratarse de un gen letal en homocigosis los individuos CB/CB mueren y al ser dominante no hay portadores.

Tendríamos:



La descendencia sería: Genotipo (= fenotipo): 50 % Amarillo. Genotipo (= fenotipo): 50% Blanco dominante

Si cruzamos dos ejemplares blanco dominante:



En este último cruzamiento tenemos 3 posibles genotipos:

- 25% CB^+/CB^+ (Amarillo puro)
- 50% CB^+/CB (Blanco dominante)
- 25% CB/CB (No viables)

Y sólo dos fenotipos:

- 1/3 Amarillo
- 2/3 Blanco dominante

Los cruzamientos que implican al blanco dominante (y también al recesivo) son bastante complejos cuando tenemos en cuenta, además, las interacciones epistáticas. Por eso, más adelante veremos otros ejemplos de cruzamientos del factor blanco (dominante y recesivo), con todas sus particularidades.

Con respecto al otro gen autosómico dominante conocido en el canario de color (el factor intenso), lo trataríamos exactamente igual que hemos hecho con el blanco dominante. Los ejemplares I^+/I^+ son "nevados", los I^+/I son intensos (portadores de nevado) y los ejemplares I/I (doble intenso), en principio, son inviables. El gen "intenso" en homocigosis (I/I) es letal (igual que el CB/CB), aunque algunos autores admiten la existencia de ejemplares "doble intenso" con lo cual el gen I sería considerado como "subletal".

Por otra parte, todo lo expuesto en estos ejemplos se ha referido a canarios lipocrómicos. Se aplicaría igualmente a los melánicos al considerar en ellos el lipocromo de fondo.

3. UN GEN LIGADO AL SEXO.

La última posibilidad hablando de la “herencia de un solo gen” es que dicho gen se encuentre ligado al sexo. En tal caso:

1. El genotipo es diferente en machos y hembras.
2. Hay diferencias en el resultado obtenido cuando cruzamos macho x hembra o hembra x macho.
3. Al formar los gametos hay que diferenciar bien los que puede originar el macho y los que produce la hembra (ya que su cromosoma W está vacío).
4. Otra diferencia respecto a los genes autosómicos es que cuando son genes ligados al sexo los machos pueden ser portadores del carácter pero las hembras no.

Ejemplo 10.6. Cruzamiento de Macho “agata pastel amarillo mosaico” x Hembra “agata amarillo mosaico” (no pastel, clásica) [mutante x no mutante]

Genotipo de los progenitores. La fórmula genética del macho sería:

$E^+/E^+ \ G^+/G^+ \ m^+/m^+ \ (Z)z^+ \ rb \ rz / (Z)z^+ \ rb \ rz$

E^+/E^+ : Gen melánico (presencia de melaninas)

G^+/G^+ : Gen lipocromo amarillo (presencia de lipocromo amarillo)

m^+/m^+ : Gen mosaico (doble dosis)

z^+ / z^+ : Gen eumelanina negra

rb / rb : Gen dilución

rz / rz : Gen pastel

localizándose estos tres últimos en el cromosoma sexual “Z”

y para la hembra:

$E^+/E^+ \ G^+/G^+ \ m^+/m^+ \ (Z)z^+ \ rb \ rz^+ / (W)0$

E^+/E^+ : Gen melánico (presencia de melaninas)

G^+/G^+ : Gen lipocromo amarillo (presencia de lipocromo amarillo)

$z^+ / 0$: Gen eumelanina negra

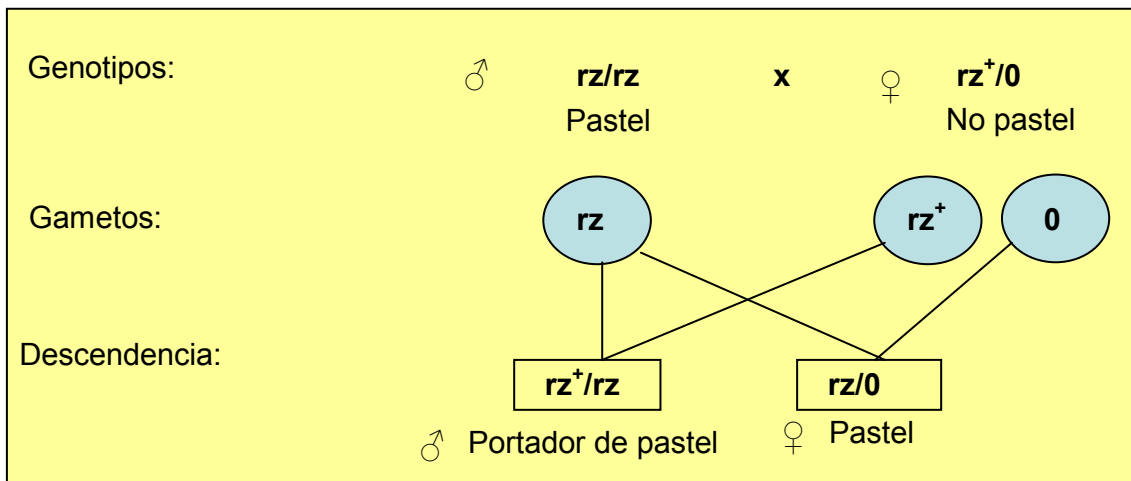
$rb / 0$: Gen dilución

$rz^+ / 0$: Gen no pastel

Como siempre buscamos lo que es diferente en macho y hembra. Por lo tanto el genotipo a considerar en el cruzamiento propuesto será:

Macho pastel (rz/rz) x Hembra no pastel ($rz^+/0$)

Siguiendo el esquema habitual:



La descendencia será:

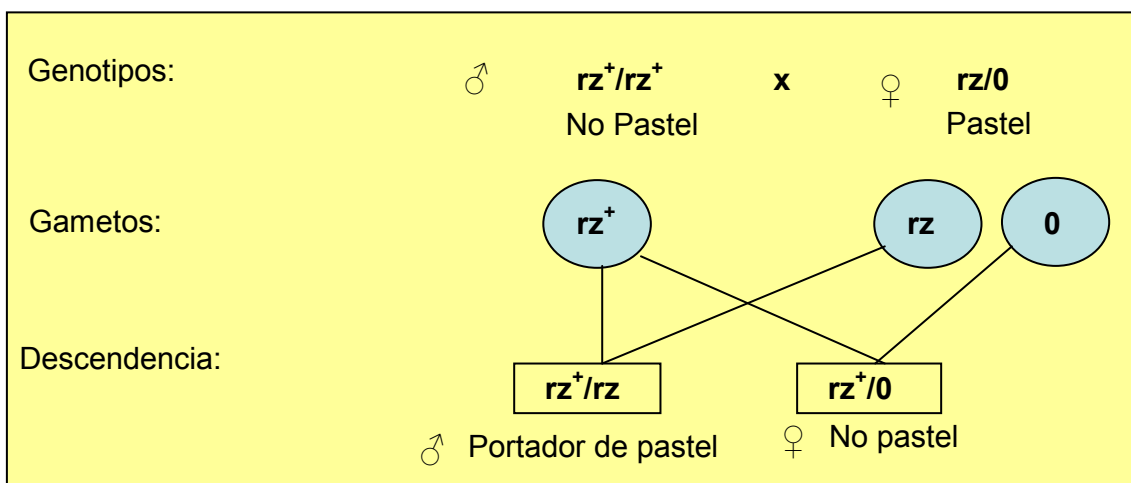
Genotipo: 50% machos/pastel y 50% hembras pastel

Fenotipo: 50% No pastel y 50% pastel

Toda la descendencia “Agata amarillo mosaico”, los machos portadores de pastel y las hembras pastel.

Ejemplo 10.7. Considerando el cruzamiento a la inversa: Macho “agata amarillo mosaico” x Hembra “agata amarillo mosaico pastel” (no mutante x mutante):

Macho no pastel (rz⁺/rz⁺) x Hembra pastel (rz/0)



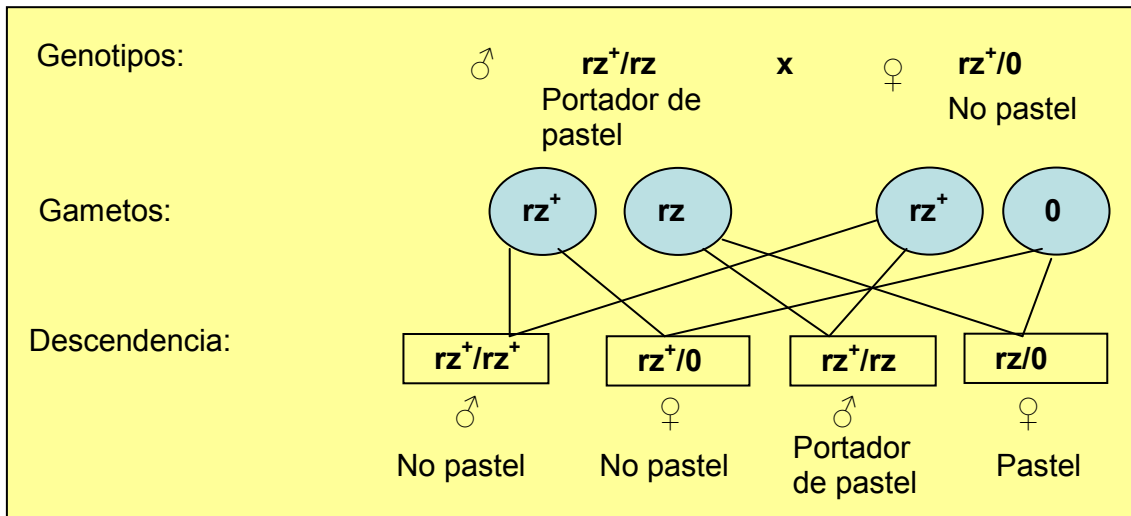
Genotipo: 50% machos/pastel y 50% hembras no pastel

Fenotipo: 100% no pastel

Toda la descendencia “Agata amarillo mosaico” siendo los machos portadores de pastel.

Ejemplo 10.8. Otra posibilidad sería: Macho “agata amarillo mosaico/pastel” x Hembra “agata amarillo mosaico” (portador x no mutante):

Macho/pastel (rz^+/rz) x Hembra no pastel ($rz^+/0$)



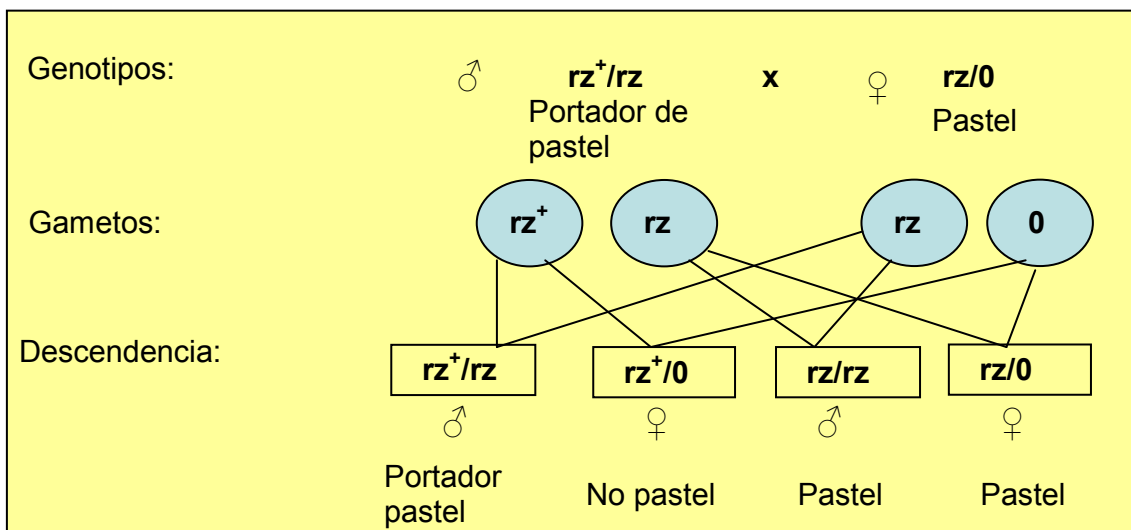
Genotipo: 25% machos no pastel, 25% machos/pastel, 25% hembras no pastel y 25% hembras pastel

Fenotipo: 3/4 no pastel y 1/4 pastel

Toda la descendencia “Agata amarillo mosaico”

Ejemplo 10.9. La última posibilidad sería: Macho “agata amarillo mosaico/pastel” x Hembra “agata amarillo mosaico pastel” (portador x mutante):

Macho/pastel (rz^+/rz) x Hembra pastel ($rz/0$)



Genotipo: 25% machos/pastel, 25% machos pastel, 25% hembras no pastel y 25% hembras pastel

Fenotipo: 50% pastel y 50% no pastel (no pastel y /pastel indistinguibles)

Toda la descendencia “Agata amarillo mosaico”

Capítulo 11. HERENCIA DE DOS O MÁS GENES

Aquí vamos a considerar al mismo tiempo dos o más caracteres, cada uno determinado por un par de genes que se distribuyen independientemente en los gametos.

Los gametos que puede producir un canario cuando consideramos dos caracteres autosómicos recesivos pueden ser de un solo tipo, de dos tipos o de cuatro tipos genéticamente diferentes, dependiendo del carácter homocigótico o heterocigótico de ambos pares de genes.

Consideremos los caracteres: “color del plumaje”, determinado por el par de genes cb^+cb y “ojos rojos” determinado por el par de genes ino^+ino . Los posibles genotipos y los gametos que pueden producir se muestran en la Tabla

Genotipos	Gametos
$cb^+cb^+ ino^+ino^+$	Todos $cb^+ ino^+$
$cb^+cb^+ ino^+ino$	$\frac{1}{2} cb^+ ino^+ : \frac{1}{2} cb^+ ino$
$cb^+cb^+ ino ino$	Todos $cb^+ ino$
$cb^+cb ino^+ino^+$	$\frac{1}{2} cb^+ ino^+ : \frac{1}{2} cb ino^+$
$cb^+cb ino^+ino$	$\frac{1}{4} cb^+ino^+ : \frac{1}{4} cb^+ino : \frac{1}{4} cb ino^+ : \frac{1}{4} cb ino$
$cb^+cb ino ino$	$\frac{1}{2} cb^+ino : \frac{1}{2} cb ino$
$cb cb ino^+ino^+$	Todos $cb ino^+$
$cb cb ino^+ino$	$\frac{1}{2} cb ino^+ : \frac{1}{2} cb ino$
$cb cb ino ino$	Todos $cb ino$

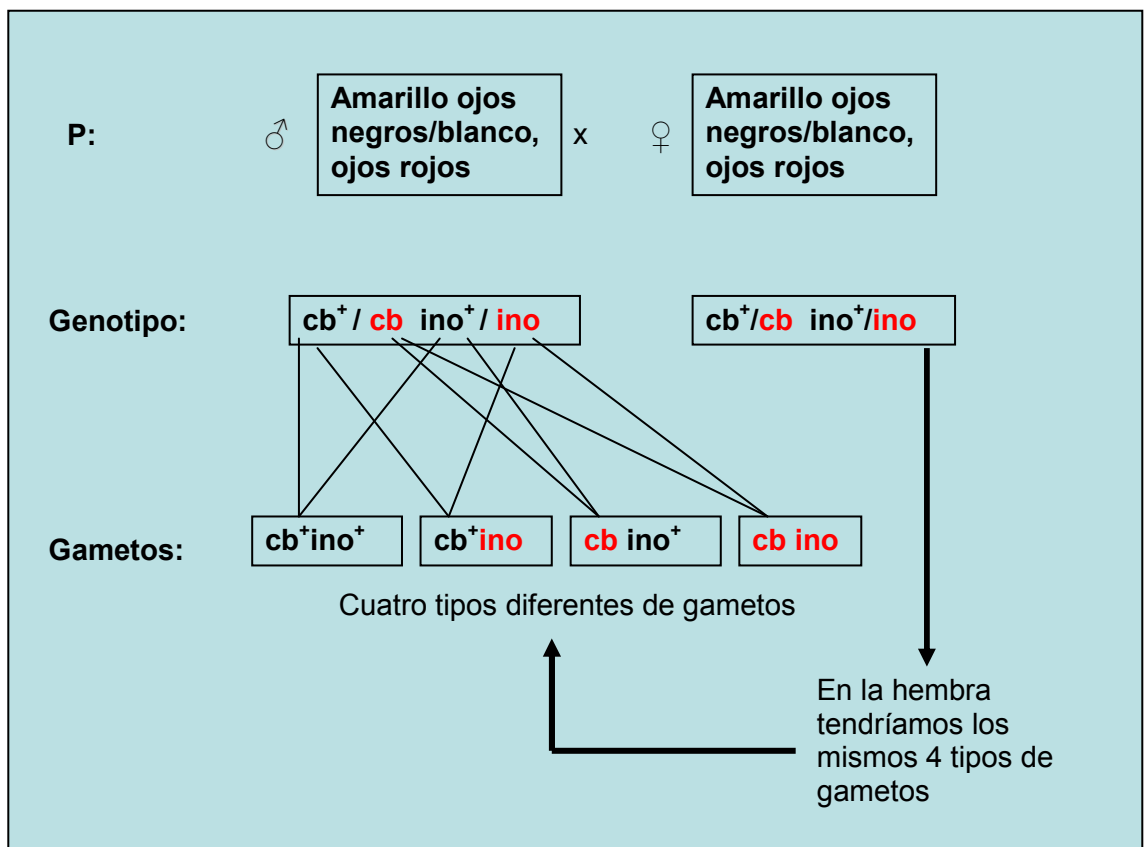
Así, por ejemplo, el caso más complejo sería un canario amarillo portador de blanco recesivo y de ino (ojos rojos) de genotipo dihíbrido: $cb^+cb ino^+ino$, que podría producir 4 tipos de gametos genéticamente diferentes, en la misma proporción. Al tratarse de genes autosómicos sería lo mismo para machos y hembras.

SISTEMAS PARA RESOLVER CRUZAMIENTOS DE DOS O MÁS GENES

La metodología básica es la ya indicada:

1. Escribir el genotipo de los progenitores (sólo lo que interese)
2. Determinar los gametos que puede producir cada progenitor o los genotipos/fenotipos que produce cada par de genes, por separado, según el método que vayamos a utilizar
3. Combinar de todas las formas posibles los gametos para formar los genotipos de la descendencia
4. Determinar las proporciones genotípicas y fenotípicas de la descendencia

Supongamos el cruzamiento de un canario amarillo portador de blanco recesivo y de ino (ojos rojos) de genotipo dihíbrido: $cb^+cb\ ino^+ino$ con una hembra de idénticas características. En este caso los gametos producidos por los progenitores serían:



Este es el caso más complejo, pero podría ocurrir que la hembra originase sólo un tipo de gametos o dos, o bien que alguno de los genes fuese ligado al sexo. De cualquier forma SIEMPRE HAY QUE DETERMINAR LOS GAMETOS QUE PRODUCE EL MACHO Y LOS QUE PRODUCE LA HEMBRA. Incluso, en caso de genes ligados habría que considerar la posibilidad de entrecruzamiento (ver Capítulo 7).

Disponemos de **tres sistemas** para resolver estos problemas.

1. **Método de la cuadrícula gamética** (cuadro de Punnett).

Tal y como se indicó en el apartado anterior consiste en poner los gametos femeninos alineados en un lado de una cuadrícula y los gametos masculinos a lo largo del otro y combinarlos para formar cigotos.

		Gametos ♀			
		cb ⁺ ino ⁺	cb ⁺ ino	cb ino ⁺	cb ino
Gametos ♂	cb ⁺ ino ⁺	1 cb ⁺ /cb ⁺ ino ⁺ /ino ⁺	2 cb ⁺ /cb ⁺ ino ⁺ /ino	3 cb ⁺ /cb ino ⁺ /ino ⁺	4 cb ⁺ /cb ino ⁺ /ino
	cb ⁺ ino	5 cb ⁺ /cb ⁺ ino/in ⁺	6 cb ⁺ /cb ⁺ ino/in ⁺	7 cb ⁺ /cb ino/in ⁺	8 cb ⁺ /cb ino/in ⁺
	cb ino ⁺	9 cb/cb ⁺ ino ⁺ /ino ⁺	10 cb/cb ⁺ ino ⁺ /ino	11 cb/cb ino ⁺ /ino ⁺	12 cb/cb ino ⁺ /ino
	cb ino	13 cb/cb ⁺ ino/in ⁺	14 cb/cb ⁺ ino/in ⁺	15 cb/cb ino/in ⁺	16 cb/cb ino/in ⁺

A partir de este cuadro ya podemos decir los genotipos resultantes y los fenotipos de la descendencia (con sus proporciones) teniendo en cuenta las relaciones de dominancia entre alelos y las posibles interacciones entre genes (epistasia).

Este método es laborioso, y ofrece más posibilidades de error que los otros métodos que se proponen a continuación. No obstante será el método elegido cuando se produzca entrecruzamiento ya que es el único que permite considerar todas las posibilidades de formar gametos. También resulta muy útil cuando el número de gametos producidos y las combinaciones posibles no son muchas. Incluso, como veremos en el Anexo II, la mayoría de los casos se pueden resolver (aún implicando a más de un gen) de forma simple y directa con los “esquemas” sencillos utilizados en el apartado anterior de la “herencia de un solo gen”.

2. Método de la cuadrícula genotípica y fenotípica

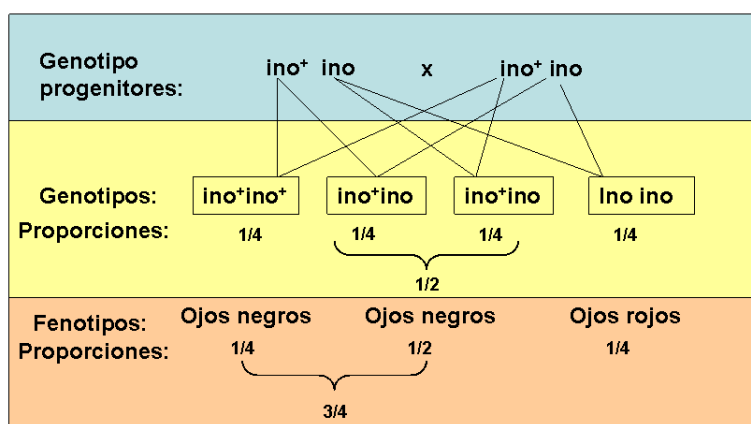
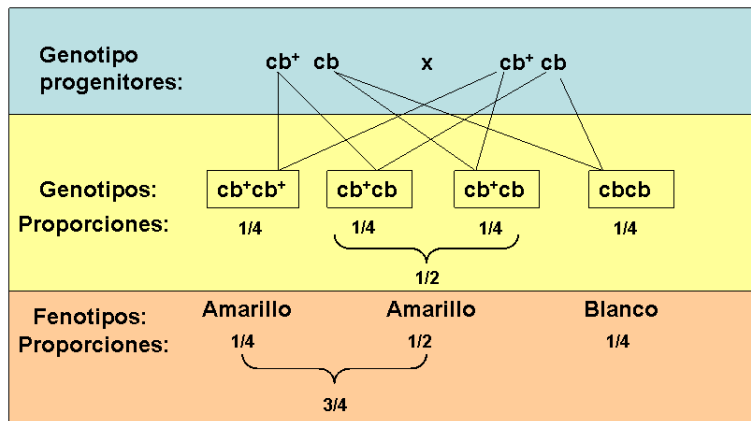
Es similar al anterior pero aquí no trabajamos con gametos sino con “genotipos” y “fenotipos”. Al dividir el resultado en dos aspectos (genotipo y fenotipo) las combinaciones posibles son menores en cada caso y la posibilidad de error también. Por lo tanto, aquí no hace falta determinar los gametos que va a producir cada progenitor.
Procedimiento:

Paso 1. Escribir los Genotipos:

Macho: $cb^+ / cb \text{ ino}^+ / \text{ino}$

Hembra: $cb^+ / cb \text{ ino}^+ / \text{ino}$

Paso 2. Considerar por separado cada carácter y ver los genotipos/fenotipos que podría originar y sus proporciones.



Paso 3. Cuadrícula genotípica. En un lado se sitúan los genotipos originados por un gen y al otro los del segundo gen para combinarlos de todas las formas posibles, como se muestra a continuación:

		Genotipos gen 2		
		1/4 ino⁺ino⁺	1/2 ino⁺ino	1/4 ino ino
Genotipos gen 1	1/4 cb⁺cb⁺	1/16 cb⁺cb⁺ ino⁺ino⁺	1/8 cb⁺cb⁺ ino⁺ino	1/16 cb⁺cb⁺ ino ino
	1/2 cb⁺cb	1/8 cb⁺cb ino⁺ino⁺	1/4 cb⁺cb ino⁺ino	1/8 cb⁺cb ino ino
	1/4 cbcb	1/16 cbcb ino⁺ino⁺	1/8 cbcb ino⁺ino	1/16 cbcb ino ino

Las proporciones de cada descendiente se obtienen multiplicando entre sí las de los dos genotipos que intervienen en su formación.

Paso 4. Cuadrícula fenotípica. Haríamos lo mismo con los fenotipos:

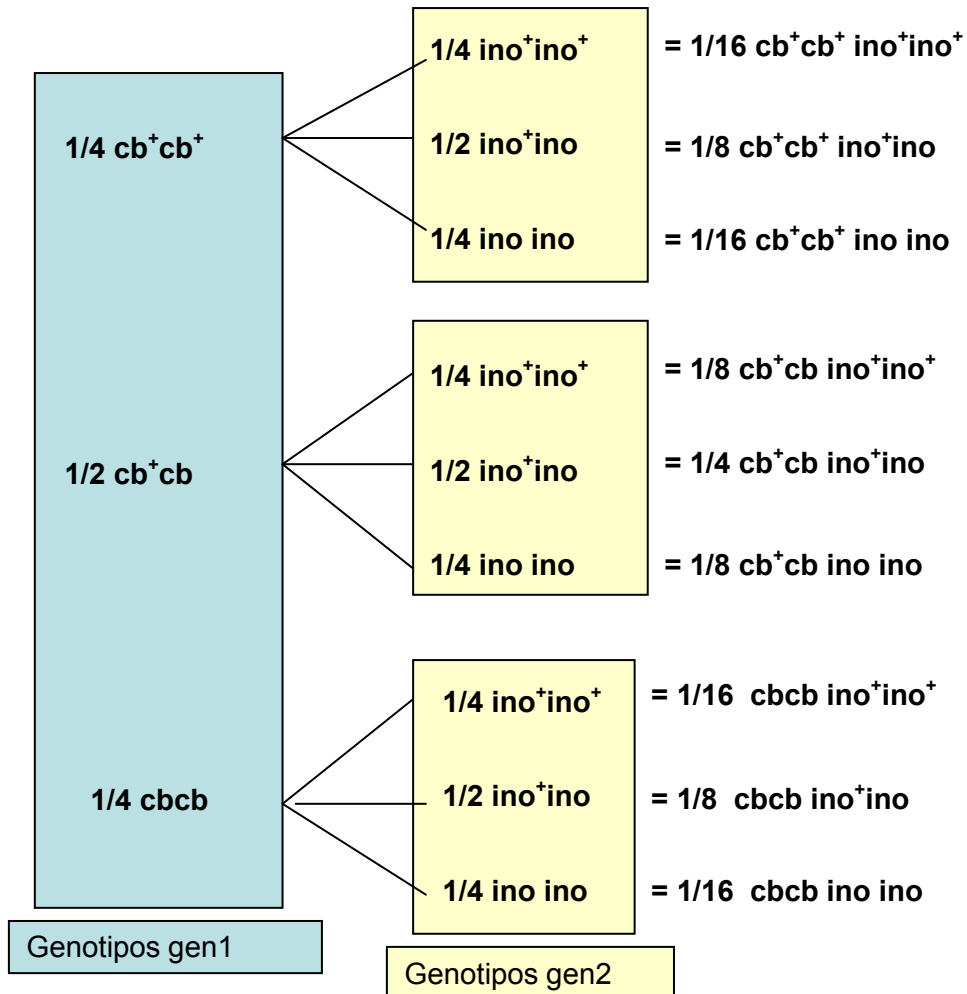
		Fenotipos gen 2	
		3/4 ojos negros	1/4 ojos rojos
Fenotipos gen 1	3/4 Amarillo	9/16 Amarillo ojos negros	3/16 Amarillo ojos rojos
	1/4 Blanco	3/16 Blanco ojos negros	1/16 Blanco ojos rojos

De esta forma tenemos todos los genotipos y fenotipos que se obtendrán en la descendencia y las proporciones de cada uno de ellos. En la cuadrícula fenotípica podemos ver que se cumple la proporción 9:3:3:1, de acuerdo con la 3ª ley de Mendel. Esta proporción puede resultar modificada cuando ocurren interacciones epistáticas.

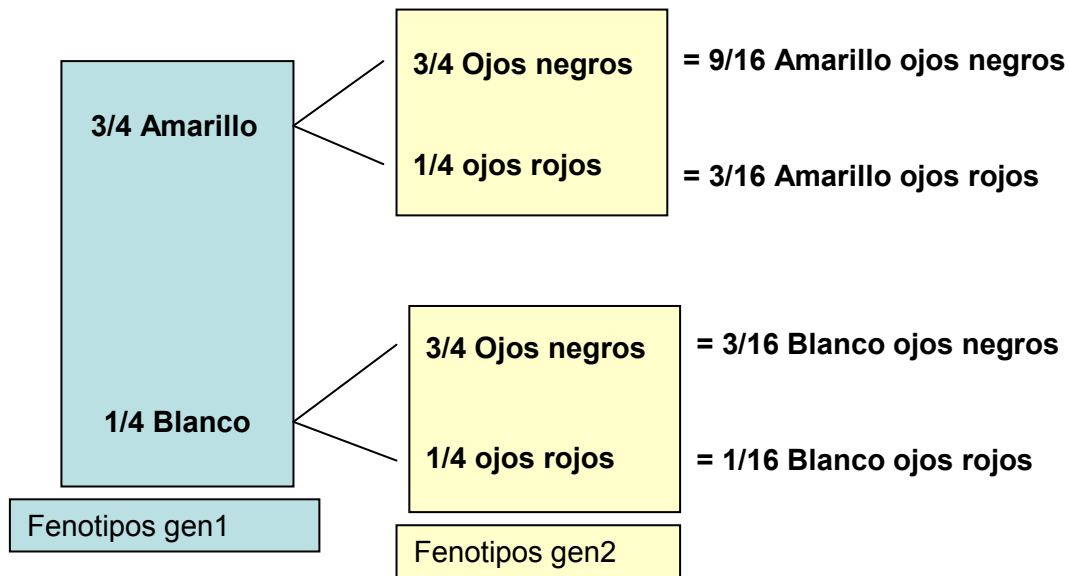
3. Sistemas de ramificación.

Los dos primeros pasos son iguales que en el método anterior.

Paso 3. En lugar de construir la cuadrícula genotípica se utiliza un “sistema de ramificación” como se muestra a continuación:



Paso 4. Procedemos igual para los fenotipos:



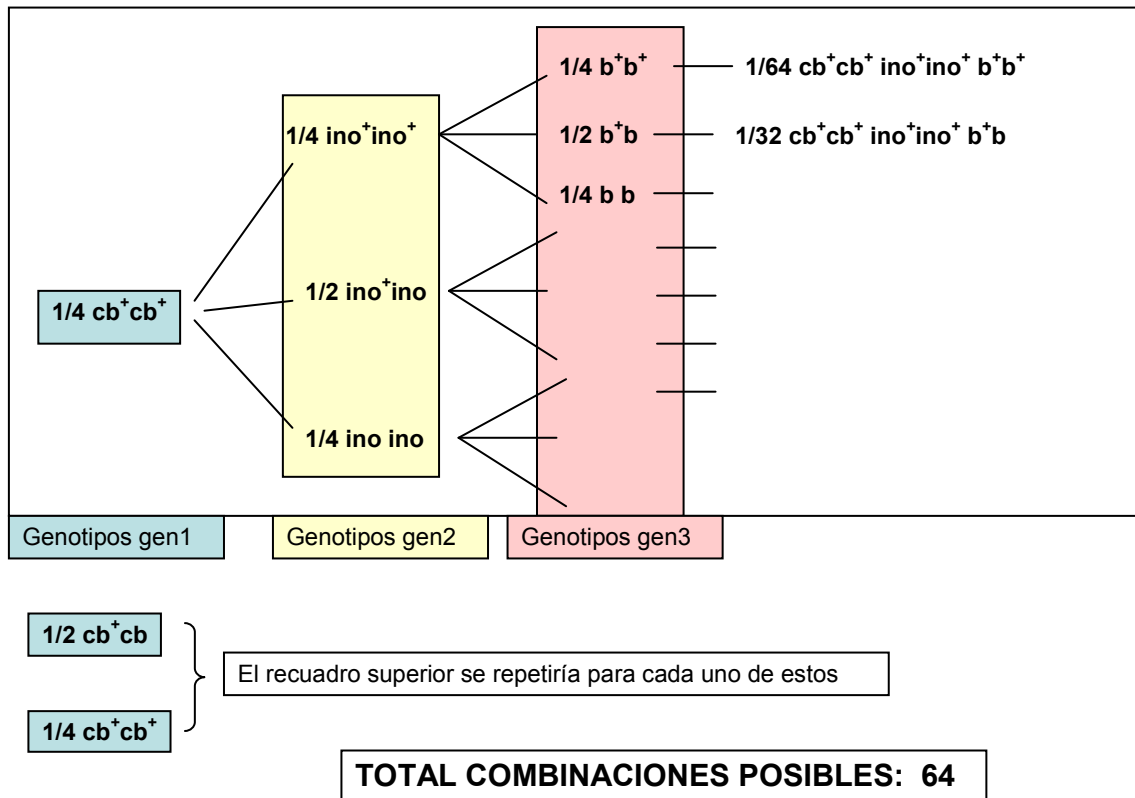
Aunque básicamente el procedimiento es el mismo que en el método anterior, LA PRINCIPAL VENTAJA es que además de proporcionar la misma información, las posibilidades de error al combinar los genotipos o fenotipos es mucho menor ya que las combinaciones se “ven” de forma inmediata y con mayor claridad.

Por estos motivos este es el método más recomendable para resolver estos cruzamientos ya que resulta menos complicado y más seguro. Será el método utilizado, preferentemente, para todos los casos que impliquen 2 genes no ligados al sexo.

En el supuesto de que interviniesen 3 pares de genes, se continuaría la ramificación con los genotipos/fenotipos del tercer gen, obteniéndose en tal caso 64 combinaciones posibles. Es evidente la gran dificultad para resolver estos casos con la cuadrícula gamética ya que tendríamos que rellenar 64 casillas con una gran probabilidad de errores al escribir los genotipos.

Con el sistema de ramificación, aunque con 3 genes se complica mucho más, se pueden abordar esos cruzamientos con grandes posibilidades de éxito. Ciertamente, en los cruzamientos de canarios de color raramente vamos a encontrarnos con uno de estos casos. Normalmente, como mucho, se pueden llegar a manejar dos genes.

A continuación, se muestra (sólo en parte) el sistema de ramificación que tendríamos en el caso de un trihíbrido (tres caracteres heterocigóticos):



Igual que hemos hecho con la "herencia de un gen" vamos a considerar las diferentes situaciones que podemos encontrar, implicando a dos genes:

1. Dos genes autosómicos recesivos
2. Dos genes autosómicos dominantes
3. Dos genes autosómicos (uno dominante + uno recesivo)
4. Un gen autosómico + un gen ligado al sexo
5. Dos genes ligados al sexo

Otra posibilidad, para resolver cruzamientos que implican dos o más genes es considerar por separado la herencia de cada par de genes y fusionar los resultados.

Ejemplo: Isabela blanco recesivo x Ágata opal amarillo/blanco recesivo

- (a) Tabla para Isabela x Ágata
- (b) Tabla para no opal x opal
- (c) Tabla para blanco recesivo x amarillo/blanco recesivo
- (d) Fusionar los resultados obtenidos en cada paso

1. DOS GENES AUTOSÓMICOS RECESIVOS.

Dentro de este apartado podemos encontrarnos con varias situaciones ya que en cada progenitor los dos genes pueden estar en homocigosis, los dos en heterocigosis y uno en homocigosis y otro en heterocigosis en distintas combinaciones.

Es decir, que si consideramos un ejemplar con dos caracteres implicados, como opal/no opal y blanco recesivo/no blanco recesivo, podríamos tener machos con 9 genotipos:

opal⁺/opal⁺ cb⁺/cb⁺
opal⁺/opal⁺ cb⁺/cb
opal⁺/opal⁺ cb/cb
opal⁺/opal cb⁺/cb⁺
opal⁺/opal cb⁺/cb
opal⁺/opal cb/cb
opal/opal cb⁺/cb⁺
opal/opal cb⁺/cb
opal/opal cb/cb

y a su vez las hembras podrían presentar la misma variedad de genotipos.

Es evidente que según la combinación macho x hembra que escojamos tendremos un resultado diferente en la descendencia, siendo muy difícil determinar el resultado de uno de estos cruzamientos si no utilizamos la metodología que acabamos de proponer.

Vamos a resolver algunos casos como ejemplo de aplicación de dicha metodología ya que habrá que proceder igual cualquiera que sea el cruzamiento propuesto. La única diferencia está en los gametos (o genotipos) que se puedan formar según los progenitores.

Ejemplo 11.1. Consideremos el siguiente cruzamiento:

Macho “amarillo ojos negros” x Hembra “blanco recesivo ojos rojos” (ino)

Paso 1. El genotipo a considerar será:

Macho: cb⁺/cb⁺ ino⁺/ino⁺

Hembra: cb/cb ino/ino

Paso 2. Gametos producidos:

Macho: cb⁺ino⁺

Hembra: cb ino

Como son homocigóticos para los dos genes sólo producirán un tipo de gametos

Paso 3.

La descendencia será toda igual:

Genotipo: 100% $cb^+/cb\ ino^+/ino$ (Amarillo/ojos rojos)
 Fenotipo: 100% Amarillo ojos negros

Se trata de un caso muy sencillo, ya que aunque intervienen dos genes al ser homocigóticos para los dos caracteres el resultado es evidente. Cuando hablamos de “dos genes” nos referimos a un dihíbrido.

Ejemplo 11.2.

Macho “amarillo/blanco, ojos rojos” x Hembra “blanco/ ojos rojos (ino)”

Paso 1. Genotipos:

Macho: $cb^+/cb\ ino^+/ino$

Hembra: $cb/cb\ ino^+/ino$

Paso 2. Gametos:

Macho: $cb^+\ ino^+$, $cb^+\ ino$, $cb\ ino^+$, $cb\ ino$

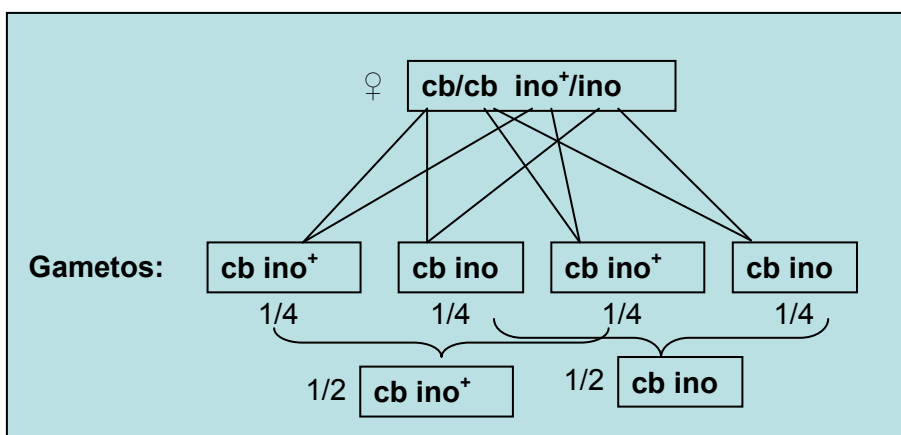
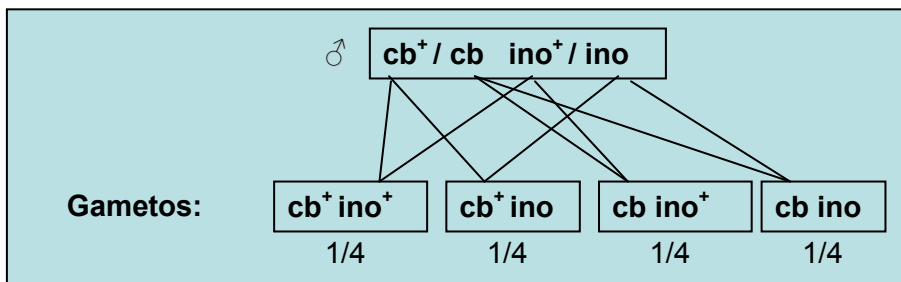
Hembra: $cb\ ino^+$, $cb\ ino$

En este caso el macho produce 4 tipos de gametos y la hembra 2.

Vamos a resolver el problema con cada uno de los tres sistemas propuestos.

1. Método de la cuadrícula gamética

Formación de gametos:



Cuadrícula gamética:

		Gametos ♀	
		$\frac{1}{2}$ cb ino ⁺	$\frac{1}{2}$ cb ino
Gametos ♂	$\frac{1}{4}$ cb ⁺ ino ⁺	1 cb ⁺ /cb ino ⁺ /ino ⁺	2 cb ⁺ /cb ino ⁺ /ino
	$\frac{1}{4}$ cb ⁺ ino	3 cb ⁺ /cb ino/ino ⁺	4 cb ⁺ /cb ino/ino
	$\frac{1}{4}$ cb ino ⁺	5 cb/cb ino ⁺ /ino ⁺	6 cb/cb ino ⁺ /ino
	$\frac{1}{4}$ cb ino	7 cb/cb ino/ino ⁺	8 cb/cb ino/ino

Como podemos observar, algunos genotipos se repiten. Así, 2 = 3 y 6 = 7.

Las proporciones genotípicas (multiplicando las proporciones de los gametos que forman el genotipo descendiente) serían:

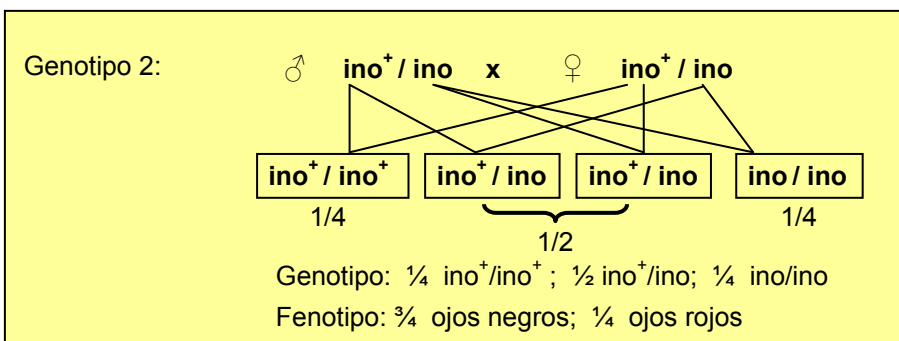
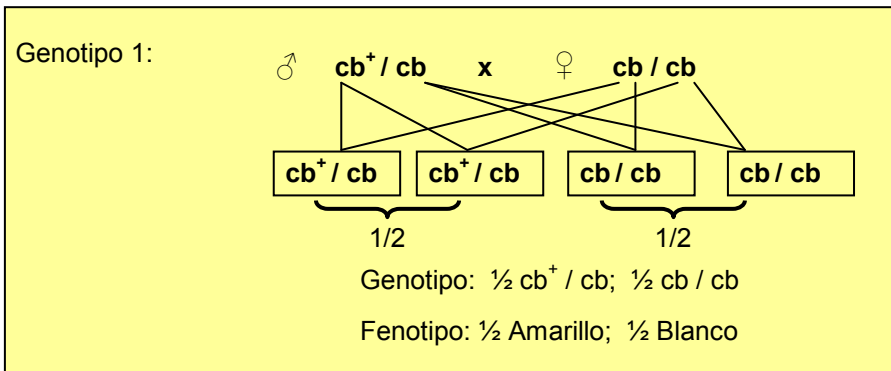
- 1: $\frac{1}{8}$ cb⁺cb ino⁺ino⁺ (Amarillo ojos negros/ cb)
- 2=3: $\frac{2}{8}$ ($\frac{1}{4}$) cb⁺cb ino⁺ino (Amarillo ojos negros/ cb, ino)
- 4: $\frac{1}{8}$ cb⁺cb ino ino (Amarillo ojos rojos/cb)
- 5: $\frac{1}{8}$ cb cb ino⁺ino⁺ (Blanco recesivo ojos negros)
- 6=7: $\frac{2}{8}$ ($\frac{1}{4}$) cb cb ino⁺ino (Blanco recesivo ojos negros/ino)
- 8: $\frac{1}{8}$ cb cb ino ino (Blanco recesivo ojos rojos)

y las proporciones fenotípicas:

- $\frac{3}{8}$: Amarillo ojos negros
- $\frac{1}{8}$: Amarillo ojos rojos
- $\frac{3}{8}$: Blanco ojos negros
- $\frac{1}{8}$: Blanco ojos rojos

2. Método de la cuadrícula genotípica y fenotípica

Genotipos:



Cuadrícula genotípica:

		Genotipos gen 2		
		$\frac{1}{4} ino^+ ino^+$	$\frac{1}{2} ino^+ ino$	$\frac{1}{4} ino ino$
Genotipos gen 1	$\frac{1}{2} cb^+ cb$	$\frac{1}{8} cb^+ cb ino^+ ino^+$	$\frac{1}{4} cb^+ cb ino^+ ino$	$\frac{1}{8} cb^+ cb ino ino$
	$\frac{1}{2} cb cb$	$\frac{1}{8} cb cb ino^+ ino^+$	$\frac{1}{4} cb cb ino^+ ino$	$\frac{1}{8} cb cb ino ino$

Las proporciones genotípicas serían:

- $\frac{1}{8}$ $cb^+ cb ino^+ ino^+$ (Amarillo ojos negros/ cb)
- $\frac{1}{4}$ $cb^+ cb ino^+ ino$ (Amarillo ojos negros/ cb, ino)
- $\frac{1}{8}$ $cb^+ cb ino ino$ (Amarillo ojos rojos/ cb)
- $\frac{1}{8}$ $cb cb ino^+ ino^+$ (Blanco recesivo ojos negros)
- $\frac{1}{4}$ $cb cb ino^+ ino$ (Blanco recesivo ojos negros/ ino)
- $\frac{1}{8}$ $cb cb ino ino$ (Blanco recesivo ojos rojos)

Cuadrícula Fenotípica:

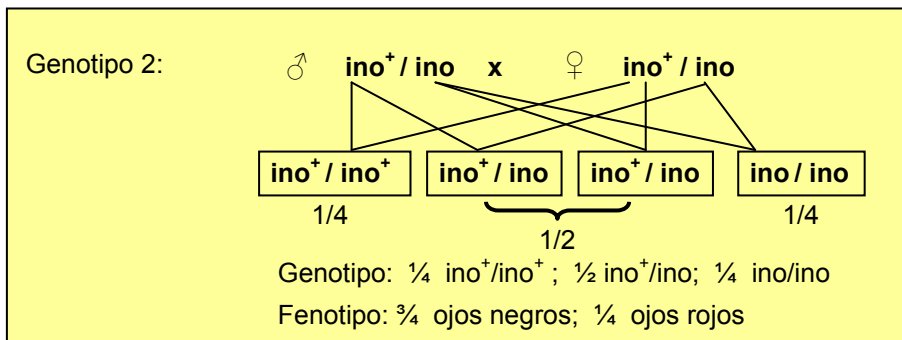
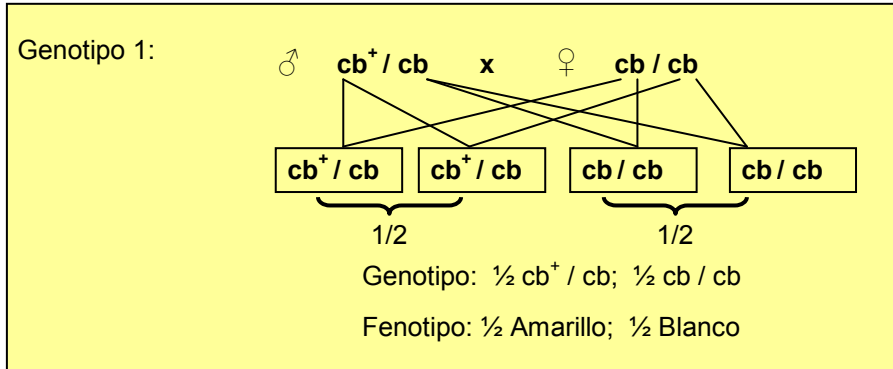
		Fenotipos gen 2	
		3/4 ojos negros	1/4 ojos rojos
Fenotipos gen 1	1/2 Amarillo	3/8 Amarillo ojos negros	1/8 Amarillo ojos rojos
	1/2 Blanco	3/8 Blanco ojos negros	1/8 Blanco ojos rojos

y las proporciones fenotípicas, las podemos ver directamente en la tabla.

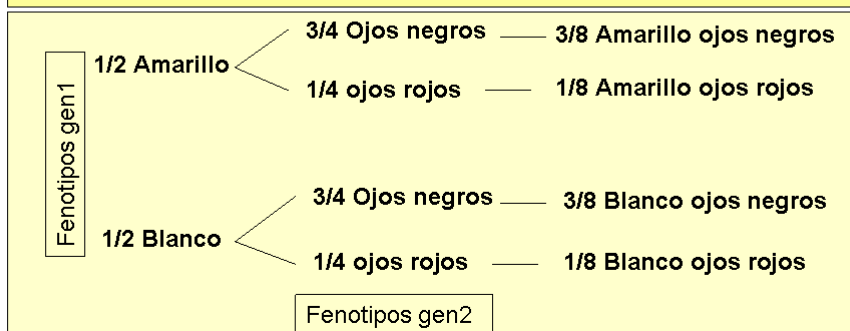
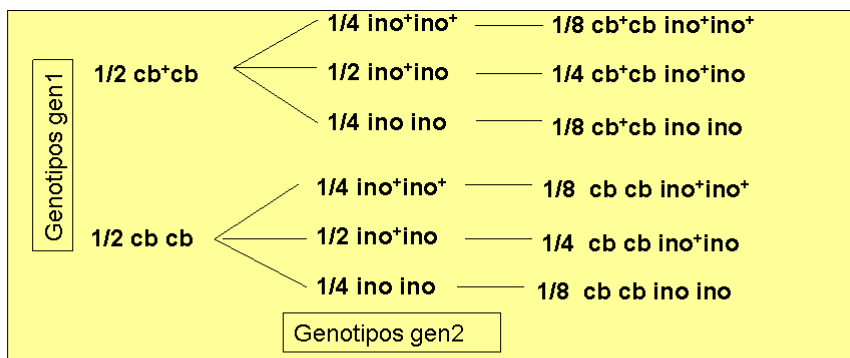
3. Sistema de ramificación.

Igual que en el método anterior, obtendríamos los genotipos y fenotipos con sus proporciones correspondientes:

Genotipos/Fenotipos:



Y a continuación desarrollaríamos el sistema de ramificación:



Las proporciones genotípicas serían:

1/8	$cb^+cb\ ino^+ino^+$ (Amarillo ojos negros/ cb)
1/4	$cb^+cb\ ino^+ino$ (Amarillo ojos negros/ cb, ino)
1/8	$cb^+cb\ ino\ ino$ (Amarillo ojos rojos/cb)
1/8	$cb\ cb\ ino^+ino^+$ (Blanco recesivo ojos negros)
1/4	$cb\ cb\ ino^+ino$ (Blanco recesivo ojos negros/in)
1/8	$cb\ cb\ ino\ ino$ (Blanco recesivo ojos rojos)

Siendo las proporciones fenotípicas:

3/8: Amarillo ojos negros
1/8: Amarillo ojos rojos
3/8: Blanco ojos negros
1/8: Blanco ojos rojos

Como vemos obtenemos idénticos resultados con los tres métodos.

En la práctica podemos utilizar cualquiera de los métodos propuestos.

No obstante, hay que procurar utilizar siempre el método más sencillo y directo ya que así las posibilidades de error serán menores. Ya veremos (Anexo II) que la mayoría de los cruzamientos que se plantean se pueden resolver con “esquemas sencillos” aunque intervengan 2 genes. Todo depende de los gametos que puedan originar los progenitores, tras plantear adecuadamente el cruzamiento propuesto.

Los métodos “cuadrícula genotípica/fenotípica” y “ramificación” los reservaremos para los casos más complejos en los que no se pueda hacer de forma directa con los esquemas. Muchas veces en el enunciado de un problema se implica a dos o tres genes entre macho y hembra, pero al analizar detenidamente el genotipo de los progenitores la mayoría de las veces el problema se reduce a cruces muy sencillos que no implican más que a uno o como mucho dos genes. Cuando hablamos de herencia de dos o más genes, para aplicar los métodos anteriores, estamos refiriéndonos a que los dos progenitores son dihíbridos (poseen cada uno dos genes en heterocigosis).

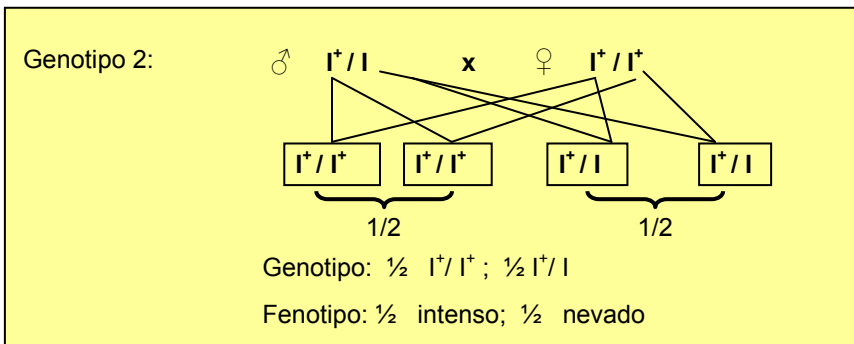
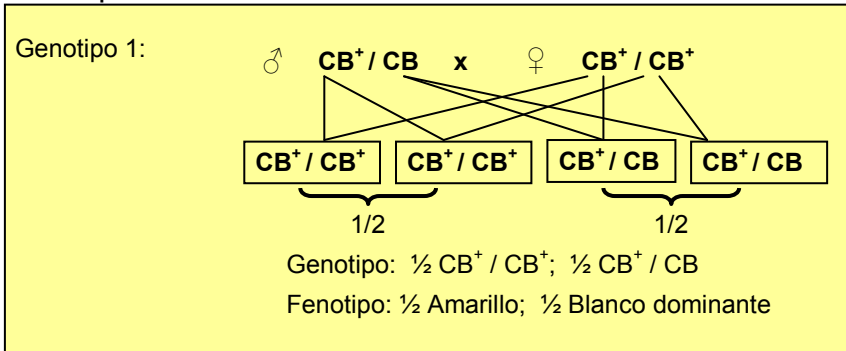
2. DOS GENES AUTOSÓMICOS DOMINANTES.

Ejemplo 11.3.

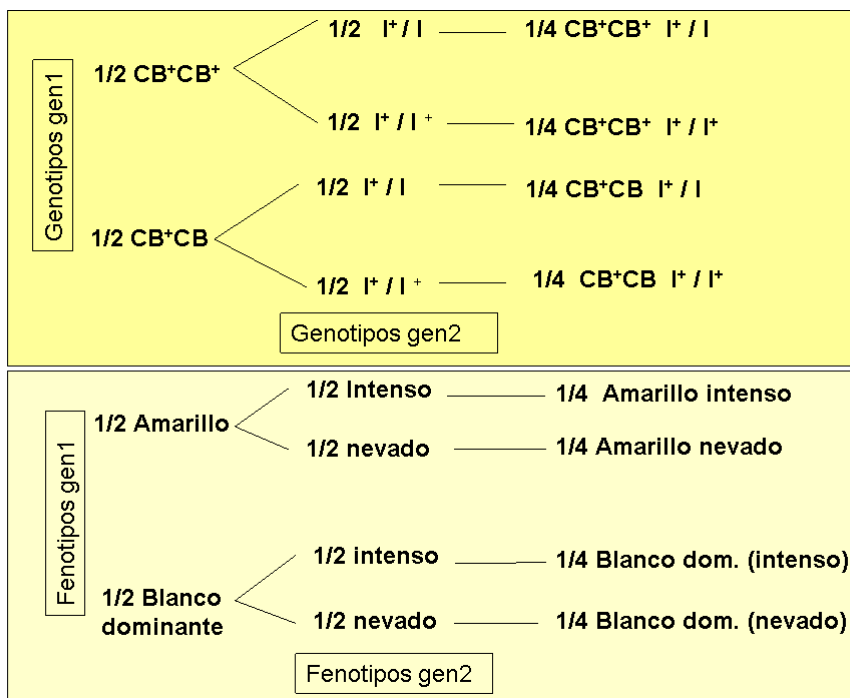
Macho "blanco dominante intenso" x Hembra "amarillo nevado"

Genotipo macho: $CB^+/CB \ I^+/I$

Genotipo hembra: $CB^+/CB^+ \ I^+/I^+$



y obtendríamos la descendencia:



En los “Blanco dominante” la categoría intenso/nevado no se aprecia ya que el gen CB es epistático sobre los genes intenso/nevado. Por lo tanto:

Genotipos:

- $\frac{1}{4}$ $CB^+/CB^+ I^+/I$ (Amarillo intenso/nevado)
- $\frac{1}{4}$ $CB^+/CB^+ I^+/I^+$ (Amarillo nevado)
- $\frac{1}{4}$ $CB^+/CB I^+/I$ (Blanco dominante intenso/nevado)
- $\frac{1}{4}$ $CB^+/CB I^+/I^+$ (Blanco dominante nevado)

Fenotipos:

- $\frac{1}{4}$ Amarillo intenso
- $\frac{1}{4}$ Amarillo nevado
- $\frac{1}{2}$ Blanco dominante (Indistinguible B. dominante intenso/nevado)

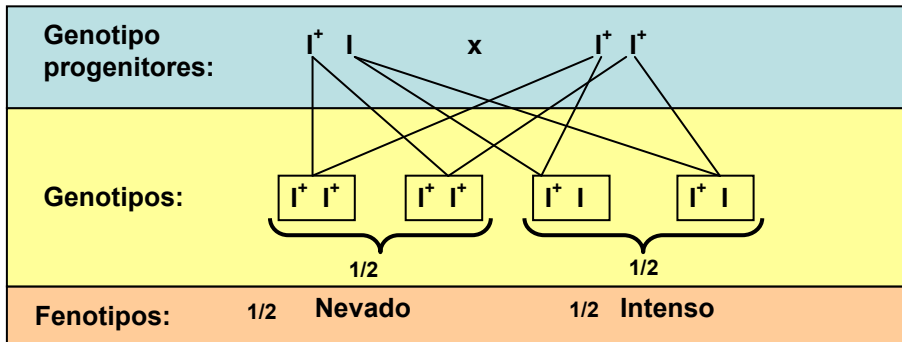
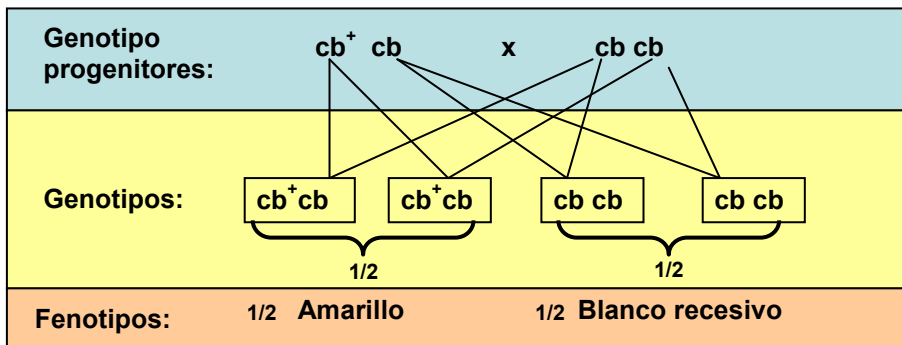
3. DOS GENES AUTOSÓMICOS (1 DOMINANTE + 1 RECESIVO)

Ejemplo 11.4.

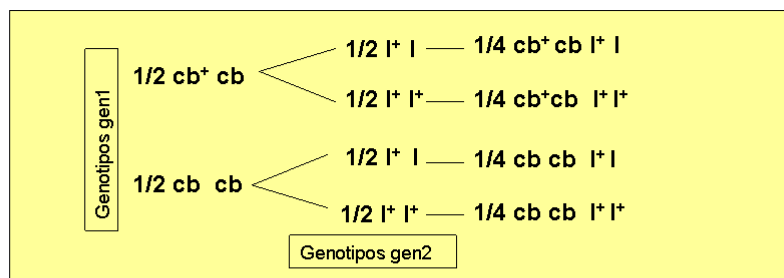
Macho "amarillo intenso/blanco recesivo" x Hembra "blanco recesivo nevado"

Genotipo macho: $cb^+/cb \ I^+ / I$

Genotipo hembra: $cb/cb \ I^+ / I^+$



Y la descendencia, aplicando el sistema de ramificación:



Los “genotipos” de la descendencia serían:

- 1/4 Amarillo intenso/nevado
- 1/4 Amarillo nevado
- 1/4 Blanco recesivo (intenso)
- 1/4 blanco recesivo (nevado)

Y los fenotipos los vemos directamente en el esquema de ramificación de los fenotipos. Obsérvese que el blanco recesivo “impide” la manifestación de la categoría, en este caso (intenso/nevado).

Como vemos, *la forma de resolver estos cruzamientos es la misma siempre que tengamos 2 genes autosómicos* (dos recesivos, dos dominantes o uno dominante y otro recesivo). *Lo único que hay que tener en cuenta es escribir correctamente el genotipo e interpretar el fenotipo obtenido considerando la interacción entre alelos (dominante, recesivo, codominante), la interacción entre genes (epistasia) y el carácter letal que tienen los dominantes en homocigosis.*

4. UN GEN AUTOSÓMICO + UN GEN LIGADO AL SEXO

Ejemplo 11.5.

Macho “amarillo/blanco recesivo, ojos rojos (satiné)” x Hembra “blanco recesivo ojos rojos (satiné)”

En este ejemplo, para simplificar, vamos a prescindir de la categoría de los ejemplares. Realmente no sería complicado considerar la categoría ya que siempre debemos cruzar intenso x nevado con lo que la descendencia será 50% intenso y 50% nevado. A diferencia de los ejemplos anteriores, el color de los ojos viene determinado por el gen “satiné” (st) que es ligado al sexo.

Procederemos como siempre, pero hay que tener en cuenta que para los genes ligados al sexo el genotipo no es igual en machos y hembras. Pero, *en definitiva, todo se reduce a escribir correctamente el genotipo de los progenitores*. Recordemos que para el gen “st” (y cualquier otro ligado al sexo):

Macho no satiné: st^+/st^+

Macho satiné: st/st

Macho portador de satiné: st^+/st

Hembra no satiné: $st^+/0$

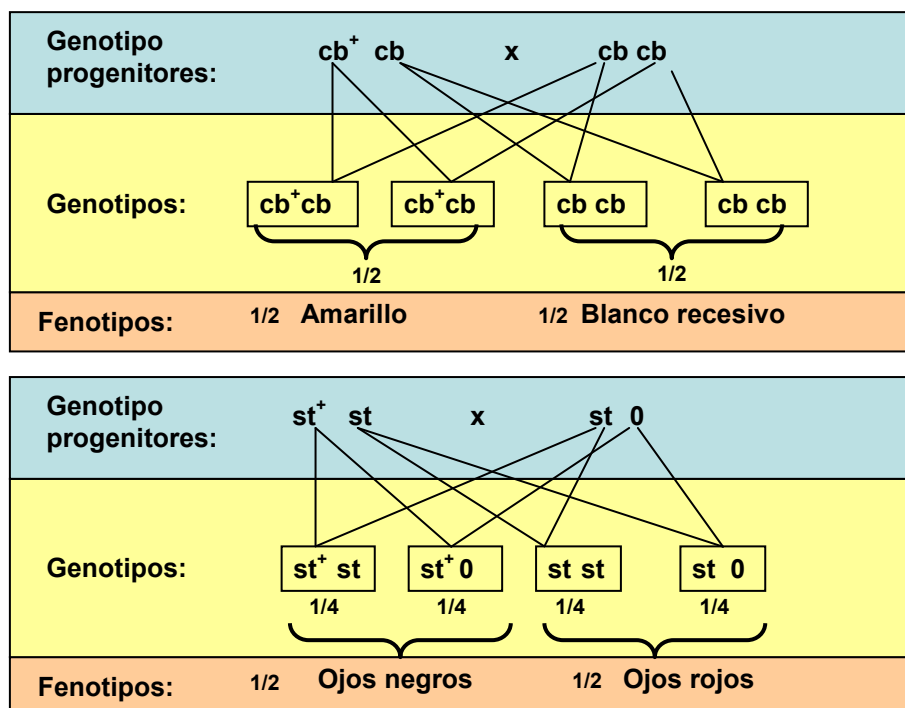
Hembra satiné: $st/0$

y el resultado difiere si consideramos el gen ligado al sexo en el macho o en la hembra.

Por lo tanto, en este caso:

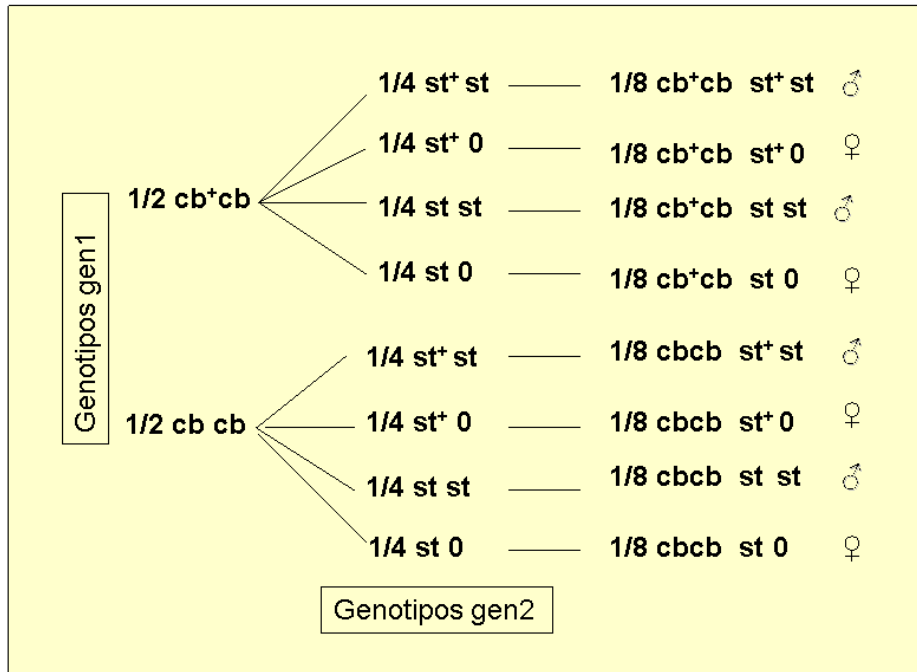
Genotipo macho: $cb^+/cb \ st^+/st$

Genotipo hembra: $cb/cb \ st/0$



Y la descendencia sería:

Genotipos:



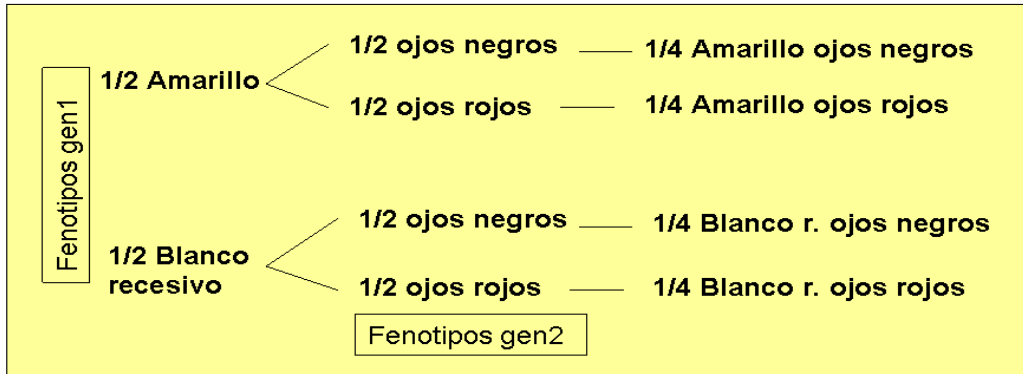
Los genotipos de la descendencia serán:

- 1/8 Amarillo ojos negros/ cb, st (machos)
- 1/8 Amarillo ojos negros/cb (hembras)
- 1/8 Amarillo ojos rojos/cb (machos)
- 1/8 Amarillo ojos rojos/cb (hembras)

- 1/8 Blanco recesivo ojos negros/st (machos)
- 1/8 Blanco recesivo ojos negros (hembras)
- 1/8 Blanco recesivo ojos rojos (machos)
- 1/8 Blanco recesivo ojos rojos (hembras)

Los fenotipos los vemos directamente en el esquema de ramificación de los fenotipos.

Fenotipos:



De nuevo vemos que la forma de resolver el problema es exactamente igual que en todos los ejemplos anteriores.

5. DOS GENES LIGADOS AL SEXO

Este es, sin duda, el caso más complejo que se nos puede presentar por la posibilidad de que ocurra “entrecruzamiento” o “crossing-over” y se formen más tipos de gametos de los que en principio podíamos suponer.

Tengamos en cuenta algunos principios básicos para estos cruzamientos:

1. Los genes “ligados”, por estar situados sobre el mismo cromosoma, se transmiten juntos al formarse los gametos .
2. Cuando hay dos genes ligados al sexo puede haber entrecruzamiento
3. El entrecruzamiento sólo puede darse en machos (que tienen los genes en doble dosis). En las hembras al estar el cromosoma W “vacío” no puede darse este fenómeno.
4. El entrecruzamiento sólo ocurre si hay dos pares de genes diferentes juntos en el mismo cromosoma (Además hace falta que estén a cierta distancia). En el canario de color los genes ligados al sexo (cromosoma Z) son: z^+/z , rb^+/rb , rz^+/rz , st^+/st y sc^+/sc , por lo que en principio el entrecruzamiento podría ocurrir entre dos pares cualesquiera. En la práctica (debido a que deben estar situados a una cierta distancia) suele ocurrir entre z^+/z y rb^+/rb y también entre st^+/st y sc^+/sc , z^+/z y st^+/st o rb^+/rb y st^+/st , mientras que es muy difícil entre rz^+/rz y sc^+/sc .
5. En estos casos hay que usar el método de la cuadrícula gamética (método 1) tras determinar los gametos normales y recombinantes que pueden originarse.

Veamos la formación de gametos en genes ligados al sexo:

<p>(Z) z^+ sc rz</p> <p>(Z) z^+ sc rz</p> <p>Genotipo: homocigótico</p>	<p>→</p>	<p>(Z) z^+ sc rz Gameto 1</p> <p>(Z) z^+ sc rz Gameto 2</p> <p>Gametos iguales (1 tipo)</p>	<p>1</p>
<p>(Z) z^+ sc rz</p> <p>(Z) z sc rz</p> <p>Genotipo: heterocigótico para 1 gen</p>	<p>→</p>	<p>(Z) z^+ sc rz Gameto 1</p> <p>(Z) z sc rz Gameto 2</p> <p>Gametos diferentes (2 tipos)</p>	<p>2</p>
<p>(Z) z^+ sc rz⁺</p> <p>(Z) z sc rz</p> <p>Genotipo: heterocigótico para 2 genes</p>	<p>→</p>	<p>(Z) z^+ sc rz⁺ Gametos normales (2 tipos) sin entrecruzamiento</p> <p>(Z) z sc rz⁺ Gametos recombinantes (2 tipos)</p>	<p>3</p>

En el recuadro 1 vemos un ejemplo de formación de gametos en un sujeto homocigótico. En este caso como los genes son idénticos en los dos cromosomas homólogos no hay posibilidad de “entrecruzamiento” y los gametos serán iguales a cada uno de los cromosomas homólogos e iguales entre sí.

En el recuadro 2 se trata de un sujeto “monohíbrido” (heterocigótico para un solo gen). Se formarán 2 tipos de gametos. No hay entrecruzamiento ya que sólo hay un par de genes en heterocigosis. Aunque lo hubiese no se notaría ya que los gametos serían igualmente los dos señalados. (Si intercambiamos z^+ y z se obtiene el mismo resultado final.

En el recuadro 3 tenemos el caso típico para que se produzca el entrecruzamiento: dos genes en heterocigosis sobre el mismo cromosoma. En este caso vemos que al considerar el posible intercambio de fragmentos cromosómicos (en el proceso de entrecruzamiento) podría ocurrir entre z^+/z manteniéndose rz^+/rz o bien intercambio entre rz^+/rz sin cambiar z^+/z . Eso nos da la posibilidad de obtener 2 gametos “normales” (sin entrecruzamiento) y otros dos “recombinantes”. En definitiva, con dos genes (en heterocigosis) ligados al sexo obtendremos siempre 4 tipos de gametos (2 normales: 2 recombinantes).

En las hembras, siempre obtendremos 2 tipos de gametos. Una vez determinados los gametos del macho y la hembra se construye la “cuadrícula gamética” para determinar los genotipos y fenotipos de la descendencia.

Ejemplo 11.6.

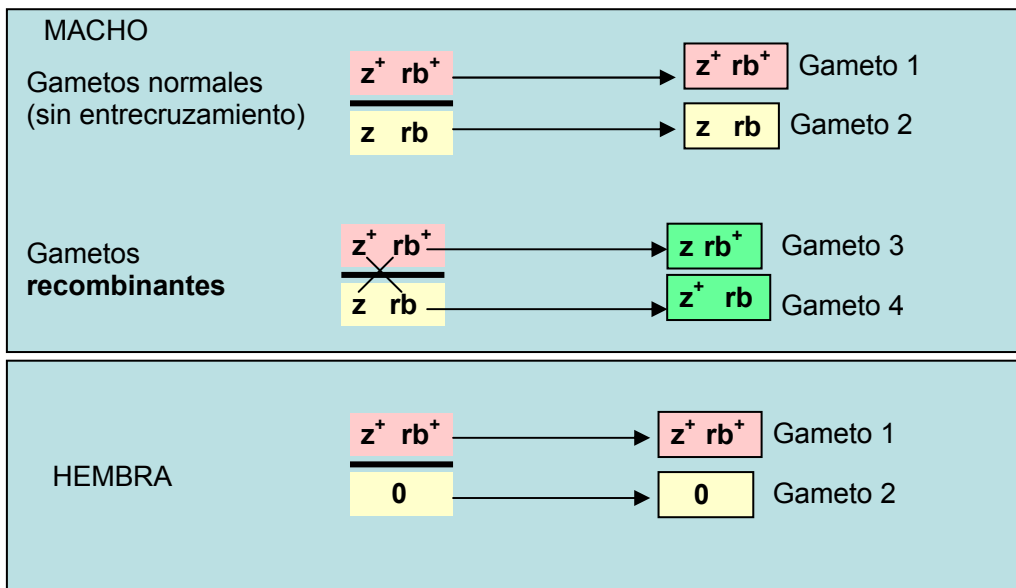
Macho “negro portador de dilución y eumelanina marrón” x Hembra “negro”

Genotipo macho: $z^+ rb^+ / z rb$

Se trata de un macho “passe-partout” (portador de dilución y de eumelanina marrón o lo que es lo mismo portador de isabela)

Genotipo hembra: $z^+ rb^+ / 0$

Formación de gametos:



y aplicando la cuadrícula gamética:

		Gametos ♀	
		$\frac{1}{2} z^+ rb^+$	$\frac{1}{2} 0$
Gametos ♂	$\frac{1}{4} z^+ rb^+$	1 $z^+ rb^+ / z^+ rb^+$	2 $z^+ rb^+ / 0$
	$\frac{1}{4} z rb$	3 $z^+ rb^+ / z rb$	4 $z rb / 0$
	$\frac{1}{4} z^+ rb$	5 $z^+ rb^+ / z^+ rb$	6 $z^+ rb / 0$
	$\frac{1}{4} z rb^+$	7 $z^+ rb^+ / z rb^+$	8 $z rb^+ / 0$

La descendencia de este cruzamiento sería:

1. Macho (Genotipo: Negro. Fenotipo: Negro)
2. Hembra (Genotipo: Negro. Fenotipo: Negro)
3. Macho (Genotipo: Negro/z, rb. Fenotipo: Negro)
4. Hembra (Genotipo: Isabela. Fenotipo: Isabela)
5. Macho (Genotipo: Negro/rb. Fenotipo: Negro)
6. Hembra (Genotipo: Agata. Fenotipo: Agata)
7. Macho (Genotipo: Negro/z. Fenotipo: Negro)
8. Hembra (Genotipo: Bruno. Fenotipo: Bruno)

Como podemos ver en este cruzamiento (al ser el macho “passe-partout”) obtenemos hembras de los cuatro tipos. Los machos son todos de fenotipo negro.

Capítulo 12. HERENCIA DEL FACTOR ROJO

El “factor rojo” no es un gen propio del canario. Se introdujo por hibridación con el Cardenalito de Venezuela y no muestra “exactamente” comportamiento mendeliano. Se suele representar con el símbolo r , aunque algunos autores lo representan por r^+ . Siguiendo la nomenclatura que hemos explicado en el capítulo 4 al hablar de las fórmulas y símbolos genéticos al no ser una mutación sino un gen ancestral (procedente del Cardenalito) lo más adecuado sería representarlo como r^+ . Así es como vamos a hacerlo nosotros.

Al tratarse de un gen “ajeno” al canario incorporado a su genoma puede estar en simple dosis o en doble dosis (r^+/r o r^+/r^+) donde r^+ representa la presencia del “factor rojo” y r la ausencia de dicho factor.

Hay que tener presente que r^+ y r no son alelos, aunque por comodidad utilizamos la misma nomenclatura que en los genes propios del canario. Para los cruzamientos podría asimilarse a un gen “autosómico” de expresión variable según se encuentre en simple dosis ($r^+ r$) o doble dosis (r^+r^+). El genotipo es igual para machos y hembras (r^+/r o r^+/r^+) y no se puede hablar de verdaderos “portadores” ya que se expresa, en mayor o menor grado, según esté en simple o doble dosis. Tan sólo en el caso de blancos dominantes y recesivos podríamos hablar de “portadores” de factor rojo.

Teniendo en cuenta que la presencia del gen r^+ permite la asimilación de los pigmentos y la aparición del color rojo en el canario, el genotipo r^+/r correspondería a un fenotipo anaranjado y los buenos rojos tendrían el genotipo r^+/r^+ . En principio cuando hablemos de ejemplares lipocromos rojos o melánicos de fondo rojo consideraremos que su genotipo es r^+/r^+ . Los canarios “sin factor” tendrán el genotipo $r r$, por lo que si cruzamos ejemplares de factor rojo con ejemplares sin factor obtendremos la descendencia r^+/r , que presentará un fenotipo “rojo” de mala calidad.

Además, la expresión del “factor rojo” también está influida por el genotipo del lipocromo amarillo (G^+G^+ , G^+G o GG). Según Del Pino Luengo (1990), el factor rojo es codominante con el amarillo, aunque lo más correcto sería decir que está influido por el gen amarillo, ya que los genes “amarillo” y “rojo” no son alelos y por tanto, en sentido estricto, no podríamos hablar de “codominancia”.

El canario amarillo sería $G^+/G^+ rr$ y el color rojo sería el resultado de la expresión de ambos genes, de manera que:

Genotipo: $G^+/G^+ r^+ r^+$...Canario de factor rojo de buena intensidad cromática
Genotipo: $G^+/G r^+ r^+$...Canario de factor rojo de mediana intensidad cromática
Genotipo: $G/G r^+ r^+$...Canario de factor rojo de débil intensidad cromática

De manera que cuanto mayor es la calidad del “amarillo” menor es la calidad del rojo. Esto, unido a la posibilidad de que esté en simple o doble dosis explicaría las diferentes tonalidades de rojo que podemos obtener en nuestros canarios (además de la influencia de la pigmentación).

En principio, de acuerdo con lo dicho anteriormente y con la opinión de R. Cuevas (2005b) para los cruzamientos consideraremos que un ejemplar rojo tiene el genotipo $G^+G^+ r^+r^+$. No obstante, cuando crucemos ejemplares “rojos” con otros “no rojos” habrá que tener en cuenta la obtención de ejemplares r^+r a la hora de interpretar los fenotipos obtenidos.

De cualquier forma, como hemos dicho anteriormente, al no ser un gen propio del canario y no ser alelos r^+ y r los resultados obtenidos en los cruces entre ejemplares rojos y no rojos pueden ser muy variables y a veces inesperados. No obstante para los problemas de cruzamientos los consideraremos como una pareja típica de genes.

Otro aspecto importante respecto al factor rojo es su comportamiento como “hipostático” respecto a CB y cbc, de manera que un ejemplar blanco recesivo o blanco dominante puede ser “portador” de rojo o mejor dicho puede ser “rojo” aunque no lo manifieste. Este hecho, introduce una dificultad añadida en los cruces de ejemplares blancos cuando pueden ser al mismo tiempo rojos. De ahí la posibilidad de aparición de ejemplares rojos o de fondo rojo cuando cruzamos entre sí canarios blancos o melánicos de fondo blanco.

En resumen, a efectos prácticos para los cruzamientos consideraremos que el **factor rojo** se comporta como un gen **autosómico de expresión variable**, según esté en simple o doble dosis e **influido por el gen amarillo**. Como hemos dicho, siempre consideraremos que el canario rojo es $G^+G^+ r^+r^+$ y, el genotipo será igual para macho y hembra, siendo suficiente considerar el genotipo como r/r (no rojo) r^+/r^+ (rojo de buena calidad) y r^+r (rojo de baja calidad). Por lo demás, los cruzamientos que implique el factor rojo se tratarán exactamente igual a lo que se ha explicado en los ejemplos anteriores al hablar de la herencia de un gen o dos genes autosómicos. Normalmente se van a cruzar siempre ejemplares de factor rojo entre sí por lo que si se sigue esta norma básica la descendencia será siempre toda roja y sólo tendremos que tener en cuenta los otros factores.

Vamos a ver algunos ejemplos :

Ejemplo 12.1. Macho “rojo nevado” x Hembra “blanco dominante”

Genotipo macho: $CB^+/CB^+ r^+/r^+ I^+/I^+$

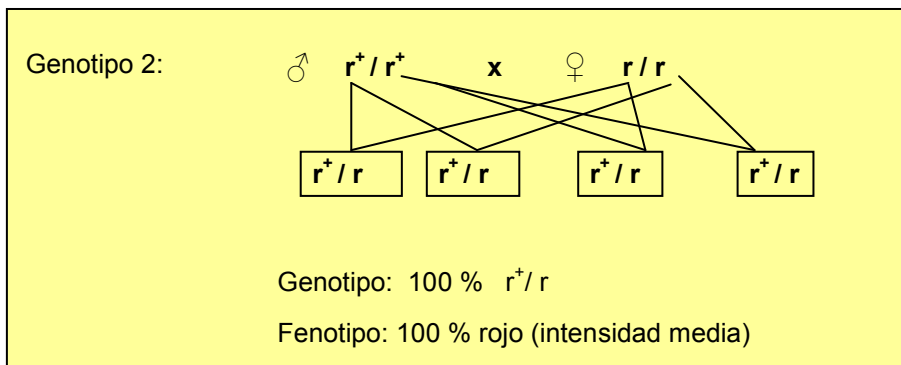
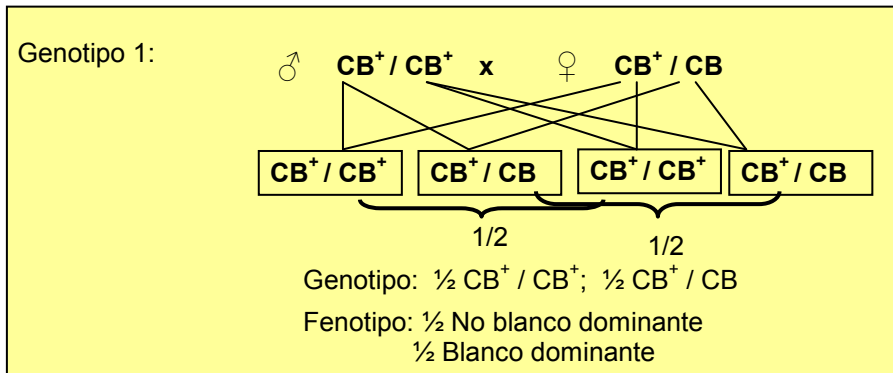
Genotipo hembra: $CB^+/CB r/r$ (en principio no hay por qué suponer que la hembra lleve algún gen r^+ , aunque podría ser al quedar enmascarado). En cuanto a la categoría, por la misma razón, la hembra podría ser intensa (I^+/I) o nevada (I^+/I^+).

Para resolver este cruzamiento y no perdernos en las diferentes posibilidades lo más lógico es asumir un genotipo para la hembra (el que queramos) y resolver de esa forma el cruzamiento. Aquí vamos a hacerlo considerando las distintas posibilidades para la hembra.

(a) Si suponemos que la hembra es nevada (I^+/I^+) toda la descendencia sería de genotipo “nevado” aunque sólo se apreciará en los descendientes rojos. Nos centramos en los otros dos caracteres en juego: rojo y blanco dominante. Se trata de dos genes autosómicos (uno dominante y otro recesivo).

Genotipo macho: $CB^+/CB^+ r^+/r^+$

Genotipo hembra: $CB^+/CB r/r$



Es un caso muy sencillo ya que como todos los descendientes son r^+/r aquellos que tengan el genotipo “Blanco dominante” (50%) serán de ese color y el otro 50% serán “rojo nevado” (aunque de mala calidad, por estar r^+ en simple dosis).

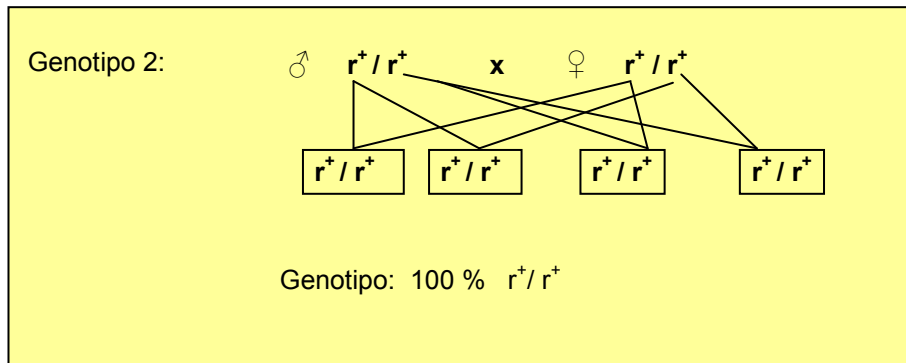
(b) Si la hembra fuera intensa a lo anterior sólo habría que añadir que la mitad de los ejemplares serían intensos y la otra mitad nevados tanto en los de fenotipo rojo como en los blancos, aunque evidentemente la categoría “intenso” o “nevado” sólo se apreciaría en los ejemplares rojos.

(c) Supongamos ahora que la hembra “blanco dominante” fuese al mismo tiempo roja (r^+/r^+), aunque no se aprecie en el fenotipo. En los ejemplos siguientes **no** vamos a considerar la categoría del ejemplar.

En este caso:

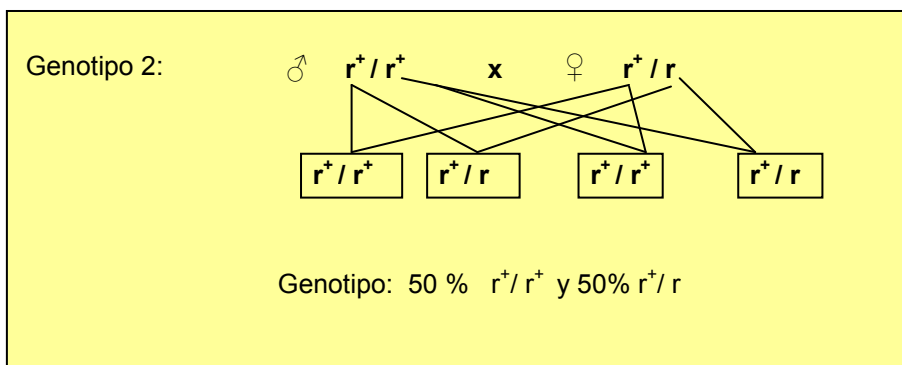
Genotipo macho: $CB^+/CB^+ r^+/r^+$

Genotipo hembra: $CB^+/CB r^+/r^+$



Ahora, toda la descendencia sería r^+r^+ , por lo que el resultado final sería como antes 50% Blanco dominante (y r^+r^+ , aunque no se apreciaría) y 50% rojo (en este caso de buena intensidad).

(d) Finalmente si la hembra fuese r^+/r



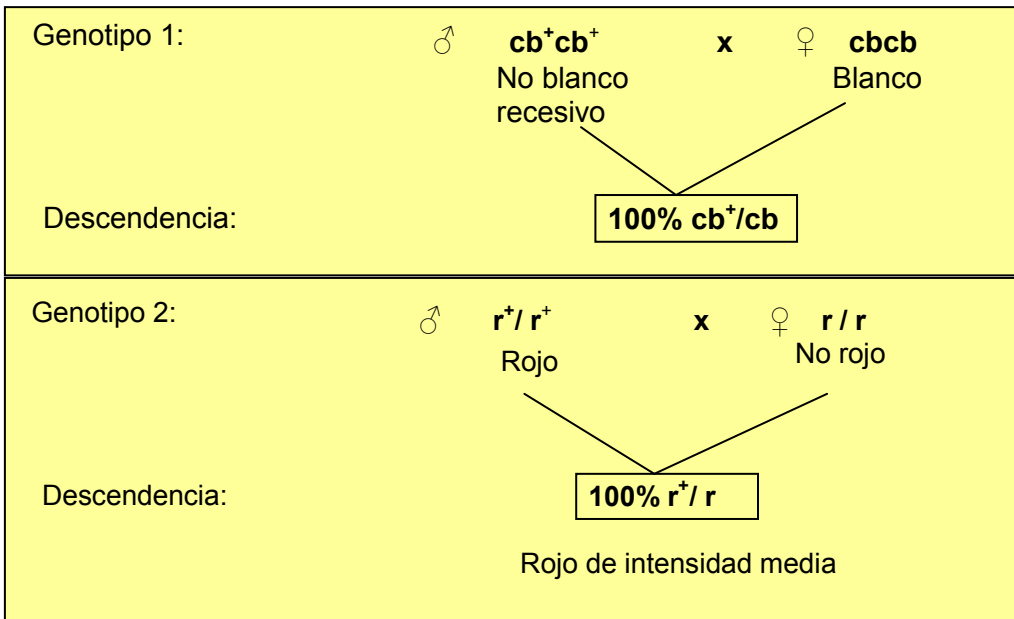
La diferencia con los casos anteriores sería que de los ejemplares rojos obtenidos la mitad serían de buena intensidad y la otra mitad de intensidad media.

Ejemplo 12.2. Macho "rojo" x Hembra "blanco recesivo"

Una situación parecida se da al cruzar ejemplares rojos con blancos recesivos ya que el gen blanco recesivo (en este caso en homocigosis) también es epistático sobre el rojo (enmascara su expresión aunque esté presente).

Genotipo macho: $cb^+/cb^+ r^+/r^+$

Genotipo hembra: $cb/cb r/r$



Y la descendencia sería:

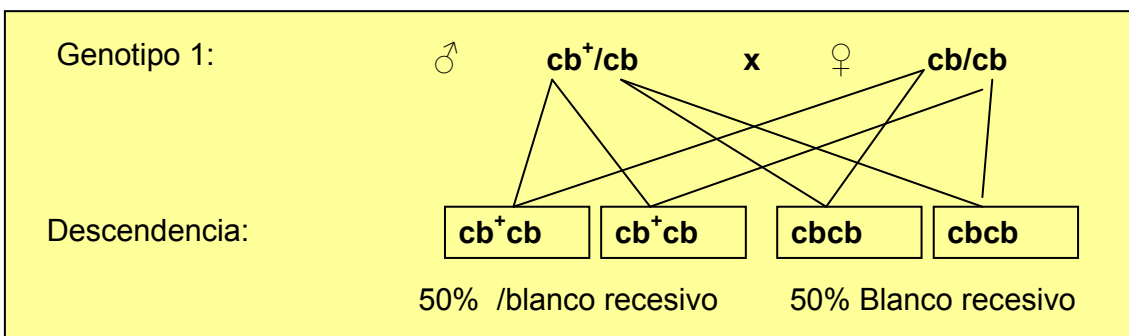
GENOTIPO: El 100% de la descendencia tendrá el genotipo $cb^+/cb r^+/r$. Se trata de ejemplares rojos (simple dosis) y portadores de blanco recesivo.

FENOTIPO: 100% rojo (de intensidad media, al menos teóricamente) ya que el gen r^+ está en simple dosis.

Ejemplo 12.3. Macho "rojo/blanco recesivo" x Hembra "blanco recesivo"

Genotipo macho: $cb^+/cb r^+/r^+$

Genotipo hembra: $cb/cb r/r$



Respecto al genotipo 2 (factor rojo) sería como antes, toda la descendencia r^+/r .

Y el resultado global de este cruzamiento:

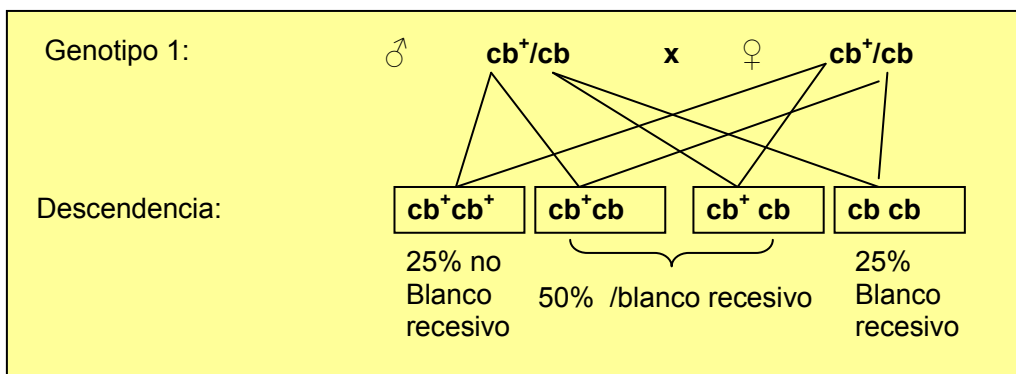
Genotipos: 50% **cb⁺/cb r⁺/r (Rojo portador de blanco recesivo) y 50% **cb/cb r⁺/r (Blanco recesivo + rojo)****

Fenotipos: 50% Rojo y 50% blanco recesivo, ya que en los ejemplares **cb/cb r⁺/r el blanco recesivo en homocigosis enmascara al rojo.**

Como vemos en estos ejemplos a partir de los genotipos, por separado, no se puede establecer el fenotipo ya que hay que considerar conjuntamente el genotipo del gen “rojo” y “blanco recesivo”. Así, por ejemplo, aunque crucemos dos ejemplares rojos no podemos decir que toda la descendencia será roja ya que el resultado final se debe a la acción conjunta de los dos genes.

Ejemplo 12.4. Macho “rojo/blanco recesivo” x Hembra “rojo/blanco recesivo”

Genotipo macho: **cb⁺/cb r⁺/r⁺**
 Genotipo hembra: **cb⁺/cb r⁺/r⁺**



En cuanto al genotipo 2, toda la descendencia será **r⁺/r⁺**. Por lo tanto la descendencia será:

Genotipos:
 25% **cb⁺/cb⁺ r⁺/r⁺** (Rojo)
 50% **cb⁺/cb r⁺/r⁺** (Rojo/blanco recesivo)
 25% **cb/cb r⁺/r⁺** (blanco recesivo + rojo)

Fenotipos:
 75% Rojo (**cb⁺/cb⁺ r⁺/r⁺** y **cb⁺/cb r⁺/r⁺**)
 25% Blanco recesivo (**cb/cb r⁺/r⁺**)

Capítulo 13. HERENCIA DEL FACTOR MOSAICO

Casi todo lo dicho para el factor rojo es válido también para el factor mosaico. No es un gen propio del canario. Se introdujo por hibridación y, aunque existen varias hipótesis, la más aceptada considera su origen en el Cardenalito de Venezuela.

Se suele representar por el símbolo “m”. Por las mismas razones que hemos argumentado en el factor rojo y para ajustarnos a la nomenclatura propuesta lo representaremos por m^+ , ya que no es un gen mutado. “ m^+ ”, representaría la presencia del factor mosaico y “m” indicaría ausencia del gen mosaico. Aunque, realmente, m^+ y m no son alelos en la práctica y a efectos de cruzamientos los consideraremos como tales.

Como se trata de un gen “ajeno” al canario e incorporado en su material genético por hibridación, puede estar en simple dosis (m^+/m) o doble dosis (m^+/m^+). Cuando está en doble dosis correspondería al “mosaico bueno” y en simple dosis sería “mosaico incipiente”. Se admite que se trata de un gen autosómico (no ligado al sexo) y por tanto machos y hembras tendrán el mismo genotipo.

Igual que el factor rojo es un gen de expresión variable, según se encuentre en simple o doble dosis, por lo que estrictamente no podríamos hablar de portadores, si bien muchos autores consideran que los ejemplares “simple dosis” son portadores de mosaico. A efectos de cruzamientos no importa, ya que lo que hay que tener claro es la interpretación del genotipo para poder decir el fenotipo del ejemplar. Así, m/m sería “no mosaico”, m^+/m correspondería a un “mosaico incipiente” y m^+/m^+ sería un ejemplar mosaico típico con una buena localización del lipocromo en las zonas de elección.

Seguramente, la expresión del gen mosaico sea más complicada de lo que se acaba de exponer. La experiencia nos demuestra una gran variabilidad en los resultados de cruzamientos que implican al gen mosaico. De hecho de cruzamientos no mosaico x mosaico se obtienen, a veces, ejemplares no mosaico, buenos mosaico y distintos grados de expresión del mismo. No se puede descartar la participación de varios genes en la expresión del “mosaico”, aunque a efectos de cruzamientos es suficiente considerar los tres genotipos indicados admitiendo que, en ocasiones, los resultados obtenidos pueden diferir del resultado teórico.

Además se trata de un gen “influido por el sexo” con expresión diferente en machos y hembra, existiendo el mosaico tipo 1 (hembras) y el mosaico tipo 2 (machos).

Un aspecto importante respecto al factor mosaico es su comportamiento como “hipostático” respecto al gen blanco dominante y al gen blanco recesivo en homocigosis. Ocurre lo mismo que con los otros genes que determinan la categoría del ejemplar. Así, un canario blanco dominante o blanco recesivo puede ser al mismo tiempo “mosaico” (considerado a veces portador de

mosaico) aunque no lo manifieste, de igual manera que ocurre con el carácter intenso o nevado.

En resumen y a efectos de cruzamientos consideraremos que el gen **mosaico** se comporta como **autosómico de expresión variable**, según esté en simple o doble dosis e **influido por el sexo**.

El gen mosaico no es alelo del gen intenso/nevado, como algunos sugieren. Por ello un ejemplar mosaico es al mismo tiempo intenso (I^+/I) o nevado (I^+/I^+), aunque no se aprecie exactamente en el fenotipo. No obstante cuando nos referimos a los mosaicos como “de pluma larga” o “de pluma corta” estaríamos hablando realmente de ejemplares “nevados” e “intensos”, respectivamente. Recordemos que el factor mosaico determina la localización del lipocromo en zonas muy concretas y en esas “zonas de elección” podemos detectar mayor o menor nevadura según el genotipo (intenso/nevado) que posea el ejemplar.

También es interesante resaltar la interacción entre el gen mosaico y los genes intenso/nevado. Algunos autores (Cuevas, 2005) consideran que el gen mosaico interactúa con los genes intenso y nevado. El gen intenso interaccionaría de forma semidominante con relación al gen mosaico y con relación al gen nevado la interacción sería de codominancia.

Teniendo en cuenta el comportamiento genético del factor mosaico, los cruzamientos de mosaicos no presentan ninguna diferencia respecto a los que ya hemos visto en los ejemplos descritos.

BIBLIOGRAFÍA

Alberts B, Bray D, Lewis J, Raff M, Roberts K, Watson JD. Biología molecular de la célula. Editorial Omega. 1986.

Ballester P. Cours de génétique. Standards Canaris couleurs 2005. CNJF.

Biología.Generalidades. Enciclopedia Salvat de las Ciencias. Tomo 17. Salvat S.A. Pamplona, 1968.

Biología.Generalidades. Enciclopedia Salvat de las Ciencias. Tomo 20. Salvat S.A. Pamplona, 1968.

Company Bueno M, March Carnasa S, Massagué Vendrell J. Avicultura menor.Canarios. 4ª ed. Ediciones Marzo 80. Manuel Company Editores. Barcelona, 1986.

Cuevas R. Avicultura menor. Canarios lipocrómicos y melánicos. Ediciones Marzo 80. Manuel Company Editores. Barcelona, 1987.

Cuevas R. El canario blanco. Editorial Hispano Europea, S.A. Barcelona, 2002.

Cuevas R. El canario negro-bruno. Editorial Hispano Europea, S.A. Barcelona, 2003.

Cuevas R. El canario amarillo. Editorial Hispano Europea, S.A. Barcelona, 2005a.

Cuevas R. El canario rojo. Editorial Hispano Europea, S.A. Barcelona, 2005b.

Del Pino Luengo M. El canario de color. Editorial Aedos, S.A. Barcelona, 1990.

Glémet JP. Génétique appliquée chez le canari couleur: L'allelomorphie multiple. Articles techniques. Champion Canary Club.

<http://perso.orange.fr/canari/ccc/index.htm>

Glémet JP. La carte génétique du canari couleur. Articles techniques.Champion Canary Club.

<http://perso.orange.fr/canari/ccc/index.htm>

Glémet JP. Quelques notions de génétique. Le crossing-over: utilité en canariculture. Articles techniques. Champion Canary Club.

<http://perso.orange.fr/canari/ccc/index.htm>

Glémet JP. Quelques notions très simples de génétique. Standards Canaris couleurs 2005. CNJF.

Hery P. La mutation "azul" chez le canari. Articles techniques. Champion Canary Club.

<http://perso.orange.fr/canari/ccc/index.htm>

López de Elorriaga JM, Tárraga Flores E. Genética básica. Estándar oficial de enjuiciamiento. Comisión Técnica de Color. Colegio Nacional de Jueces FOCDE. 2002.

Stansfield W. Genética. Serie Schaum. Ed. Mc Graw-Hill. 1992.

Strickberger MW. Genética. 3ª ed. Ediciones Omega.1988.

ANEXO I. PREGUNTAS SOBRE GENÉTICA

A continuación se presenta la relación de preguntas recogidas en el “Cuestionario para aspirantes a Juez de color FOCDE”, incluyendo las últimas modificaciones incorporadas (NR: nueva redacción; N y NN: Nuevas). No se incluyen en esta relación las preguntas sobre cruzamientos que se tratan en el Anexo II.

1. Preguntas referidas a Genética y “herencia”

- 100. Defina qué es la Genética
- 101. Defina qué es la herencia
- 102. ¿Quién fue Mendel?
- 201. ¿Cuál es la primera ley de Mendel? Ponga un ejemplo referido a los canarios de color.
- 202. ¿Cuál es la segunda ley de Mendel? Ponga un ejemplo referido a los canarios de color.
- 203. ¿Cuál es la tercera ley de Mendel? Ponga un ejemplo referido a los canarios de color.
- 101b. Explique las diferencias entre herencia autosómica, recesiva, ligada al sexo, influida por el sexo y codominante.
- NN5. ¿En qué caso dejará de cumplirse la tercera ley de Mendel?

2. Preguntas referidas a la “célula”

- 104(NR). Defina el concepto de célula e indique sus partes
- 104b. Establezca las diferencias entre óvulo, huevo, cigoto y gameto?
- 104c. ¿Qué es la meiosis? ¿Qué importancia tiene?

3. Preguntas sobre cromosomas

- 106b. ¿Qué es el cariotipo?
- 106. Defina el concepto de cromosoma
- 107. ¿Cuántos pares de cromosomas posee un canario negro?
- 108. ¿Posee un canario gloster el mismo número de cromosomas que un rojo intenso?
- 109. ¿Posee un canario rizado parisien el mismo número de cromosomas que un rojo nevado?
- 110. Quiénes poseen un mismo número de cromosomas en todas sus células?
- 124. ¿Qué es el crossing-over o entrecruzamiento de los cromosomas?
- 125. ¿Qué efectos produce el crossing-over?
- 145(NR). ¿Qué caracteres, en canaricultura de color, une o separa el crossing-over?
- 194. ¿Qué es un canario “passe-partout”?
- 214. ¿Qué tipo de melaninas presentará un canario denominado “passe-partout”?
- 128(NR). ¿Cuántos cromosomas sexuales capaces de transmitir caracteres relacionados con el color del plumaje posee un canario macho?
- 129(NR). ¿Cuántos cromosomas sexuales capaces de transmitir caracteres relacionados con el color posee un canario hembra?

4. Preguntas referidas a “genes”

- N1. ¿Qué es un gen? ¿Dónde se localiza?
- N2. ¿Qué son genes ligados? Pon ejemplos
- N3. ¿Qué es la epistasia?
103. Defina el concepto de alelo y ponga ejemplos de genes alelos
105. ¿Qué es una mutación? Cite un ejemplo
200. ¿Qué haría para fijar una nueva mutación?
111. Defina el concepto de “fenotipo”
112. Defina el concepto de “genotipo”
113. ¿Cuáles son las diferencias entre el fenotipo y el genotipo?
114. ¿Qué es un sujeto homocigótico? Cite un ejemplo
115. ¿Qué es un sujeto heterocigótico? Cite un ejemplo
116. ¿Puede ser un sujeto homocigótico y heterocigótico a la vez? En caso afirmativo ponga un ejemplo
117. Defina el concepto de canario “portador de....”
118. Defina el concepto de pureza con respecto a un factor o carácter
119. Defina el concepto de híbrido
120. ¿Qué es un carácter dominante? Cite un ejemplo
121. ¿Qué es un carácter recesivo? Cite un ejemplo.
122. ¿Qué es un carácter recesivo ligado al sexo? Cite un ejemplo.
123. ¿Qué significa que dos caracteres son codominantes o de dominancia compartida? Cite un ejemplo
127. ¿Cuántos genes posee cada cromosoma?
- 144(NR). Cite dos caracteres cuya homocigosis sea letal o subletal.
130. ¿Cómo se comporta genéticamente el carácter “blanco dominante”?
131. ¿Cómo se comporta genéticamente el carácter “blanco recesivo”?
132. ¿Cómo se comporta genéticamente el carácter “marfil”?
133. ¿Cómo se comporta genéticamente el carácter “lipocromo intenso”?
134. ¿Cómo se comporta genéticamente el carácter “eumelanina marrón”?
135. ¿Cómo se comporta genéticamente el carácter de “dilución” típico del ágata?
136. ¿Cómo se comporta genéticamente el carácter melánico “pastel”?
137. ¿Cómo se comporta genéticamente el carácter “ino o rubino”?
138. ¿Cómo se comporta genéticamente el carácter “satiné”?
139. Cite dos caracteres melánicos que se transmitan ligados al sexo
140. Cite dos caracteres melánicos que se transmitan de forma recesiva a) y autosómica b) y ligados al sexo
141. Cite dos caracteres que influencien al lipocromo y que se transmitan en forma dominante
142. Cite un carácter que influya al lipocromo y que se transmita en forma recesiva y ligada al sexo
- 143(NR). Cite un carácter que influya el lipocromo y que se transmita de forma recesiva y autosómica
146. ¿Qué caracteres se combinan para producir el canario ágata?
147. ¿Qué caracteres se combinan para producir el canario bruno?
148. ¿Qué caracteres se combinan para producir el canario Isabela?
149. ¿Qué caracteres condicionan en el canario la aparición del fenotipo alas grises?
- NN1. ¿Qué es un canario half-sider?
- NN2. Cite tres caracteres que produzcan modificación en la estructura de la pluma y que no estén relacionados con la categoría

NN3. Cite las ventajas e inconvenientes de la consanguinidad en el canario

NN4. Indique dos fenotipos posibles de un canario de color, producido al mismo tiempo por dos genes recesivos ligados al sexo y por otros dos recesivos no ligados al sexo

ANEXO II.

EJERCICIOS DE CRUZAMIENTOS RESUELTOS

En este apartado se presentan todos los ejercicios de cruzamientos propuestos en el “Cuestionario para aspirantes a Juez de color FOCDE”. También se incluyen otros cruzamientos de interés propuestos en diversas publicaciones de canarios de color.

150. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “blanco dominante” con una hembra “amarillo”

(Ver ejemplo 10.5)

Progenitores: $CB^+/CB \times CB^+/CB^+$

Descendencia:

Genotipo: 50 % CB^+/CB^+ (Amarillo) y 50% CB^+/CB (Blanco dominante)

Fenotipo: 50 % Amarillo y 50% Blanco dominante

El resultado es el mismo con el cruce inverso (macho amarillo x hembra blanco dominante)

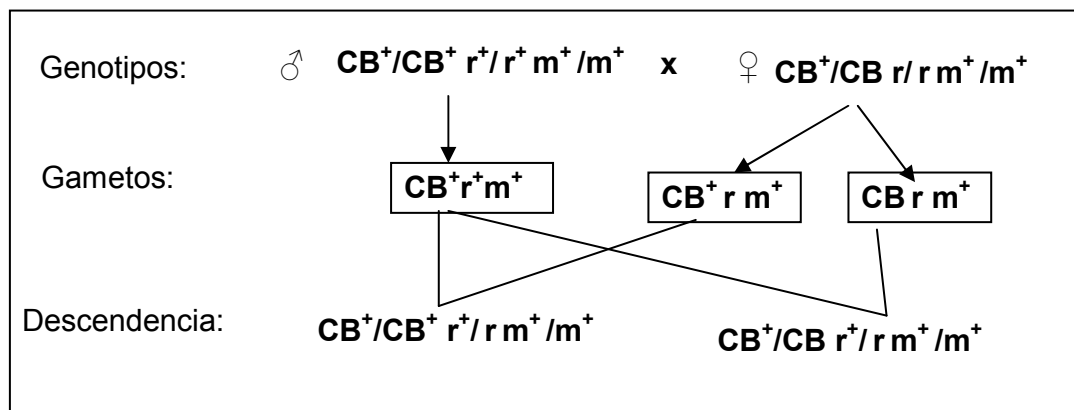
151. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “rojo mosaico” con una hembra “blanco dominante”.

El macho tiene el genotipo $CB^+/CB^+ r^+/r^+ m^+/m^+$.

En la hembra, hay que tener en cuenta que al ser “blanco dominante”, puede ser (aunque no necesariamente) rojo y/o mosaico a la vez. Además podría tener el factor rojo y el mosaico en simple o doble dosis, lo que nos da un gran número de posibilidades para el genotipo de la hembra. Vamos a resolver dos de esas posibilidades (De forma similar se haría cualquier caso que pudiésemos considerar)

(a) Como el enunciado del problema no especifica nada en concreto, podemos asignar a la hembra el genotipo que queramos. Así, vamos a suponer que la hembra es: mosaico (m^+/m^+) y no posee el factor rojo (r/r). Con ello se simplifica mucho la resolución de este cruzamiento.

Progenitores: $CB^+/CB^+ r^+/r^+ m^+/m^+ \times CB^+/CB r/r m^+/m^+$

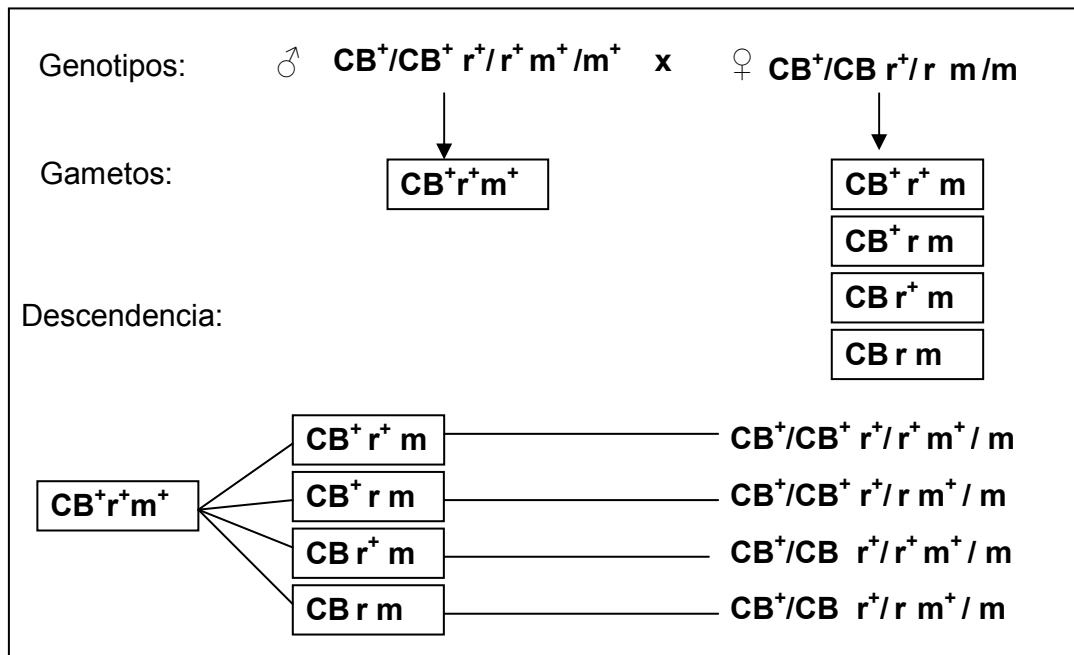


Descendencia:

Genotipo: 50% $CB^+/CB^+ r^+/r^+ m^+/m^+$ (Blanco dominante + factor rojo en simple dosis + mosaico) y 50% $CB^+/CB^+ r^+/r^+ m^+/m^+$ (Rojo simple dosis mosaico)

Fenotipo: 50% Blanco dominante
50% Rojo mosaico (rojo de intensidad media)

(b) Si consideramos que la hembra es $r^+/r^+ mm$



Genotipos:

25% Rojo mosaico simple dosis

25% Rojo (simple dosis) mosaico (simple dosis)

25% Blanco dominante (rojo + mosaico simple dosis)

25% Blanco dominante (rojo simple dosis + mosaico simple dosis)

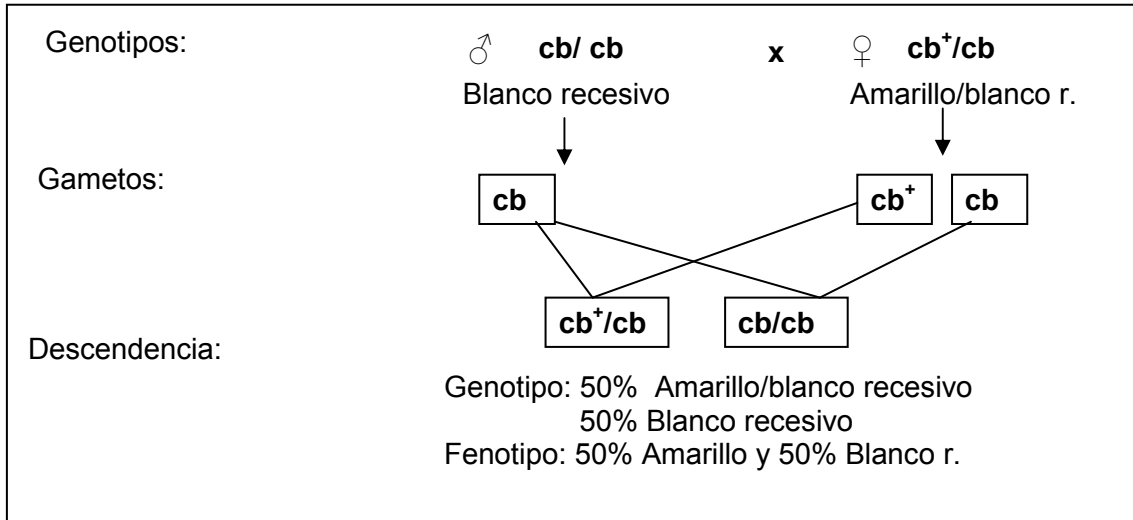
Fenotipos:

50% Rojo mosaico incipiente (la mitad de ellos con mala calidad de rojo)

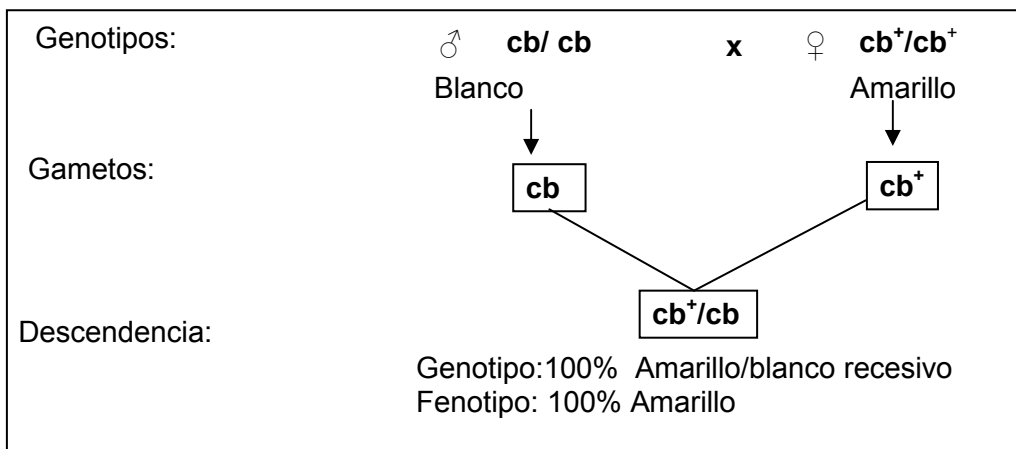
50% Blanco dominante

152. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “blanco recesivo” con una hembra “amarillo portadora de blanco recesivo” y otra “no portadora”.

(a)



(b)



153. Indique el resultado del cruzamiento de una hembra “blanco recesivo” con un macho “amarillo portador de blanco recesivo” y con otro “no portador”.

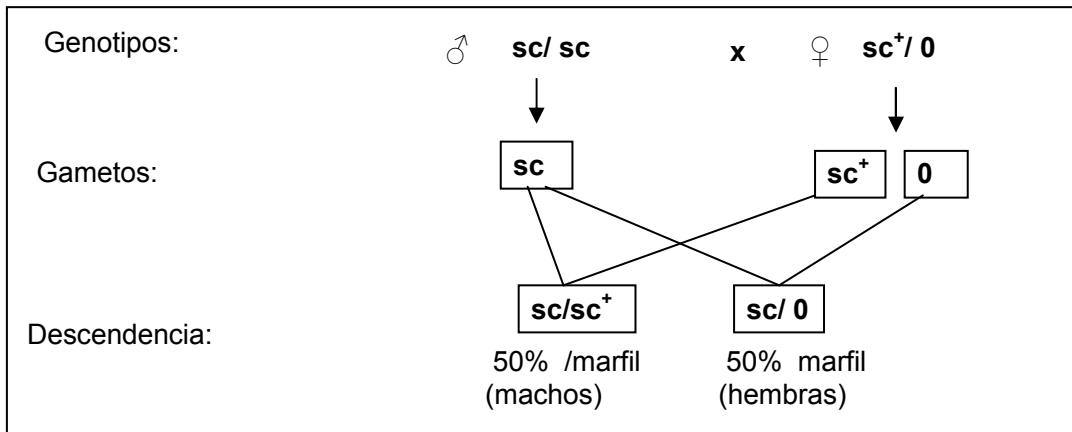
(a) Descendencia: 50% amarillo/blanco r. y 50% blanco recesivo (Ver Ejemplo 10.2)

(b) Descendencia: 100% amarillo/blanco recesivo (Ver Ejemplo 10.1)

154. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “rojo-marfil” con una hembra “rojo” y con una “rojo-marfil”.

Como macho y hembra son rojos TODA LA DESCENDENCIA será de fenotipo “rojo”

(a) Se reduce al cruzamiento de macho marfil x hembra no marfil. El factor marfil es recesivo ligado al sexo.

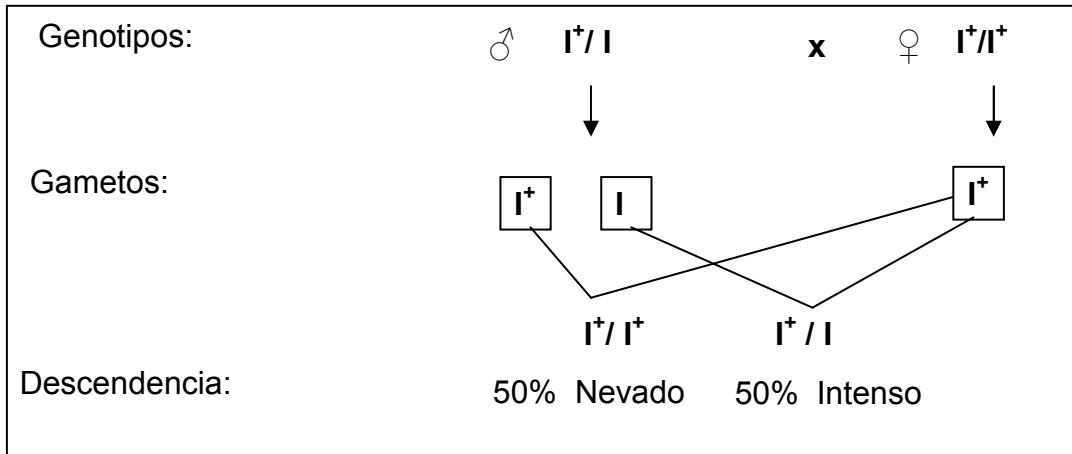


(b) Si macho y hembra son marfiles la descendencia será 100% rojo marfil

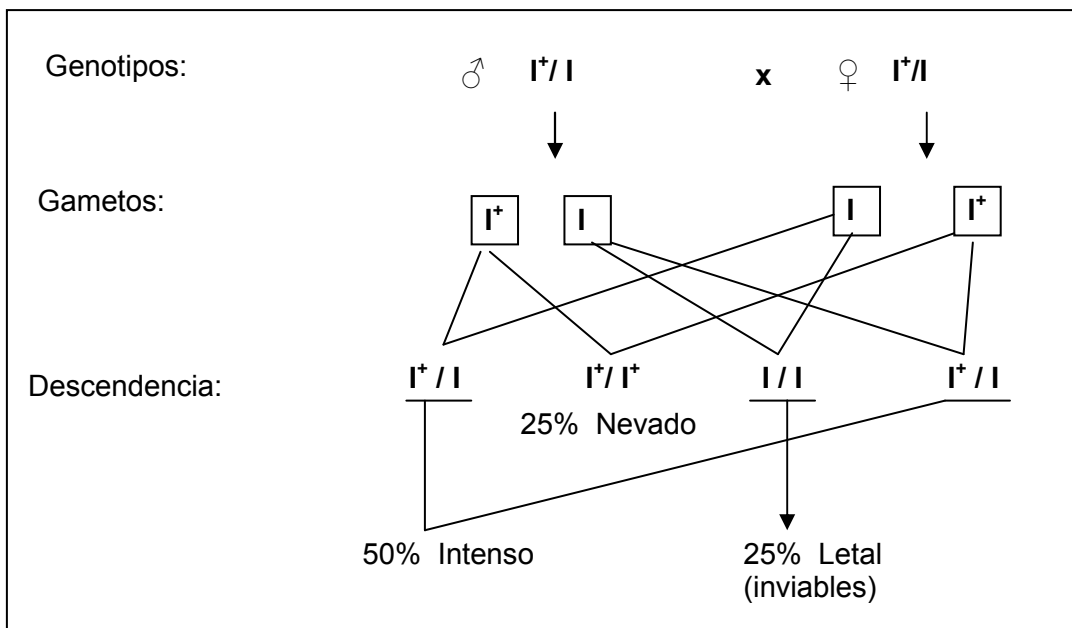
155. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “rojo intenso” con una hembra “rojo nevado” y otra “rojo intenso”.

El factor intenso es dominante sobre el nevado y letal en homocigosis.

(a)



(b)



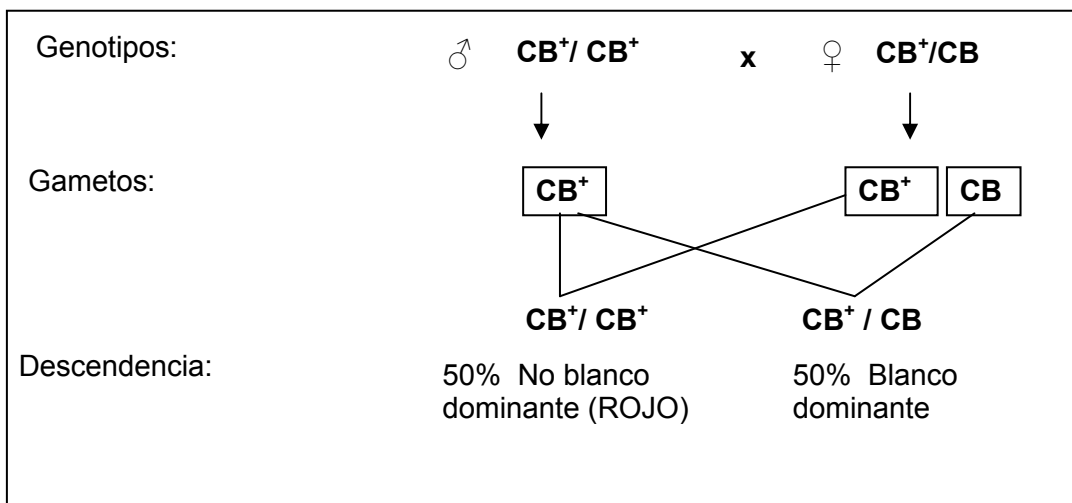
156. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “rojo nevado” con una hembra “rojo intenso” y otra “blanco dominante”.

(a) Como los dos ejemplares son “rojos” el cruzamiento se reduce a nevado por intenso. De acuerdo con el problema anterior, la descendencia será: 100% “rojo” (mitad nevado y mitad intenso).

(b) Rojo nevado x blanco dominante (Ver ejemplo 12.1).

Como el “blanco dominante” enmascara el factor rojo y la categoría, la hembra puede ser de genotipo rr , rr^+ o r^+r^+ en cuanto al factor rojo y I^+/I o I^+/I^+ en cuanto al factor intenso/nevado. Como el problema no especifica nada, consideremos el caso más sencillo, que sea como el macho I^+/I^+ y r^+r^+ .

Toda la descendencia será de genotipo “nevado” y “rojo”. Pero como entra en juego el factor “blanco dominante”:

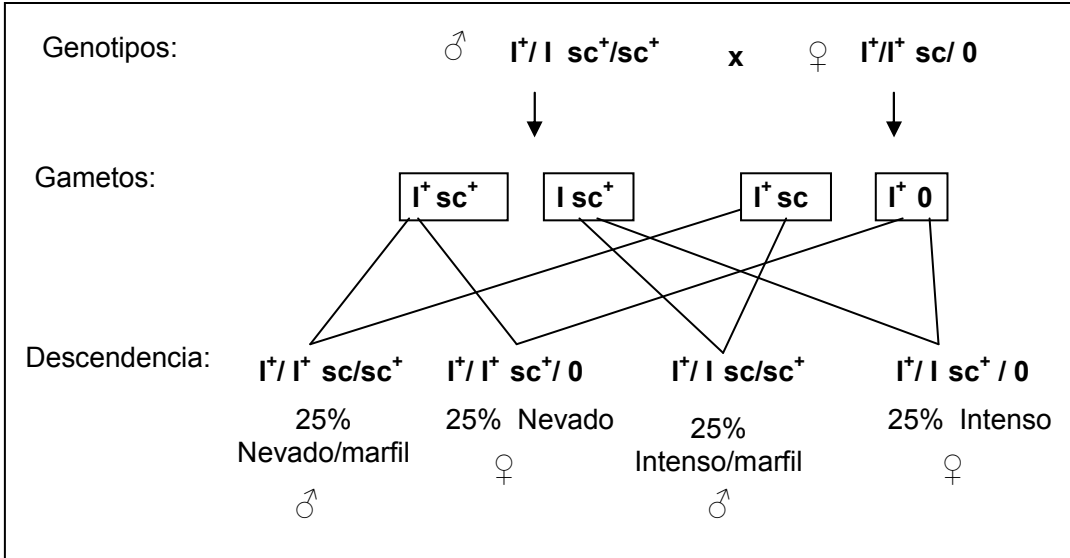


Es decir el 50% “rojo nevado” y el 50% “blanco dominante” (nevado y rojo, aunque no se aprecie)

(b') Si la hembra fuera intensa los rojos serían la mitad intensos y la otra mitad nevados.

157. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “rojo intenso” con una hembra “rojo-marfil nevado”.

Como los dos progenitores son rojos, toda la descendencia será también “rojo”. Sólo hay que considerar el carácter intenso/nevado y marfil/no marfil.



158. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “blanco recesivo” con una hembra “blanco dominante”.

159. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “blanco dominante” con una hembra “blanco recesivo”.

La solución a estos dos problemas es idéntica ya que al ser genes autosómicos no hay diferencias en el genotipo de machos y hembras.

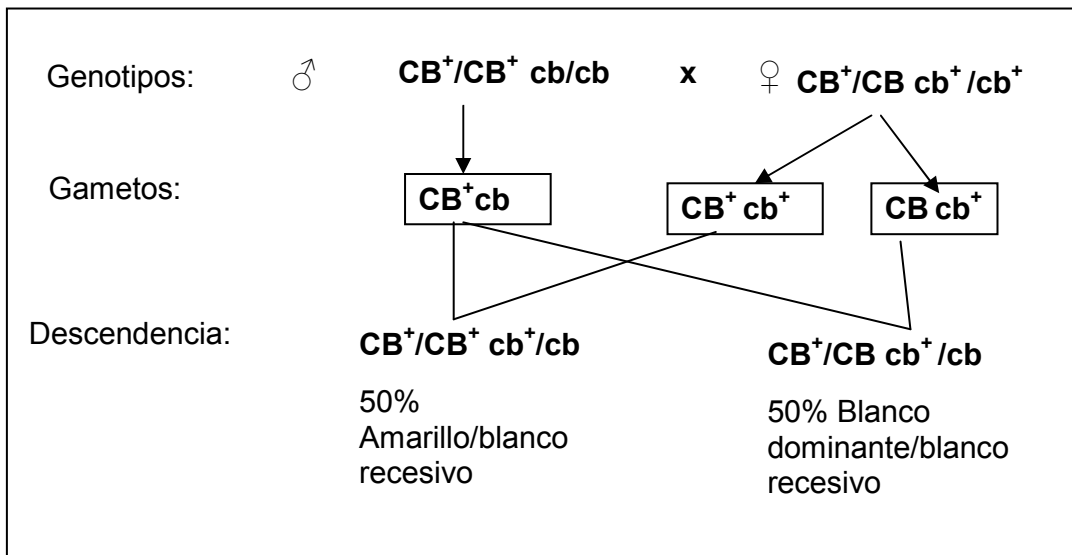
Es un caso complicado ya que, debido a las interacciones epistáticas entre blanco recesivo y blanco dominante, el ejemplar “blanco recesivo” puede ser a la vez “blanco dominante” sin apreciarse este hecho. Por su parte el ejemplar “blanco dominante” puede ser a la vez “blanco recesivo” o “portador de blanco recesivo”.

Por lo tanto el genotipo del “blanco recesivo” puede ser:
 $CB^+/CB^+ cb/cb$ o $CB^+/CB cb/cb$

Y el genotipo del “blanco dominante” puede ser:
 $CB^+/CB cb^+/cb^+$, $CB^+/CB cb^+/cb$ o $CB^+/CB cb/cb$

Como siempre, como el enunciado del problema no especifica nada podemos considerar cualquiera de las posibles combinaciones. La más lógica sería considerar el blanco recesivo como: $CB^+/CB^+ cb/cb$ y el blanco dominante como: $CB^+/CB cb^+/cb^+$.

En ese caso:



La situación más compleja sería al considerar los siguientes genotipos:



El macho daría 2 tipos de gametos y la hembra 4 tipos de gametos, por lo que tendríamos 8 posibles combinaciones.

		Gametos ♀			
		$CB^+ cb^+$	$CB^+ cb$	$CB\ cb^+$	$CB\ cb$
Gametos ♂	$CB^+ cb$	1 $CB^+/CB^+ cb^+/cb$	2 $CB^+/CB^+ cb/cb$	3 $CB^+/CB\ cb^+/cb$	4 $CB^+/CB\ cb/cb$
	$CB\ cb$	5 $CB^+/CB\ cb^+/cb$	6 $CB^+/CB\ cb/cb$	7 $CB/CB\ cb^+/cb$	8 $CB/CB\ cb/cb$

- 1: Amarillo/ blanco recesivo
- 2: Blanco recesivo
- 3: Blanco dominante/blanco recesivo
- 4: Blanco dominante (y blanco recesivo)
- 5: Blanco dominante/ blanco recesivo
- 6: Blanco dominante (y blanco recesivo)
- 7 y 8: No viables (CB es letal en homocigosis)

NOTA: Además habría que tener en cuenta la posibilidad de que los progenitores fuesen intensos, nevados o mosaicos e incluso rojos o portadores de rojo (que no se aprecian en el fenotipo de los blancos), con lo cual en la descendencia podríamos obtener ejemplares de fenotipo blanco, rojo, amarillo y los rojos y amarillos podrían ser intensos, nevados o mosaicos. Esto explicaría el hecho de que al cruzar ejemplares blancos o de fondo blanco puedan aparecer en la descendencia individuos blancos, amarillos o rojos (intensos, nevados o mosaicos).

160. (NUEVA REDACCIÓN) Indique el resultado del cruzamiento de un macho “amarillo marfil nevado” con una hembra “blanco dominante”.

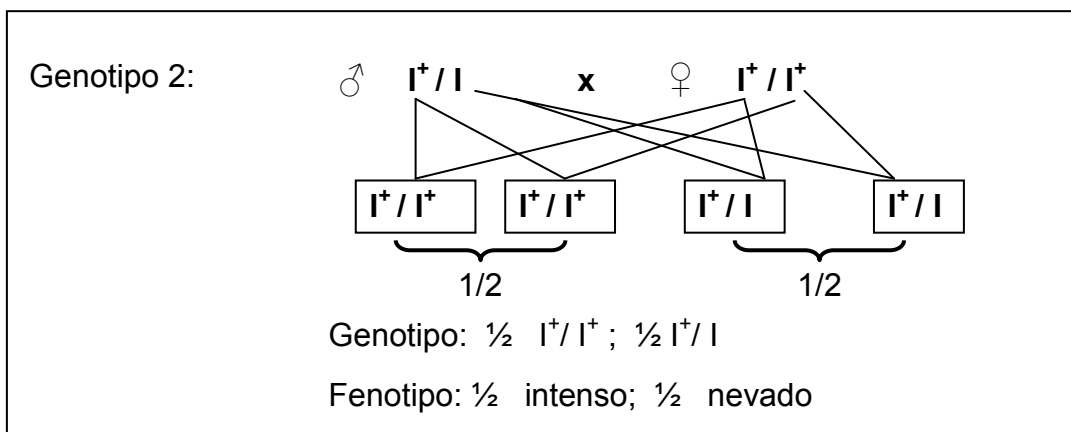
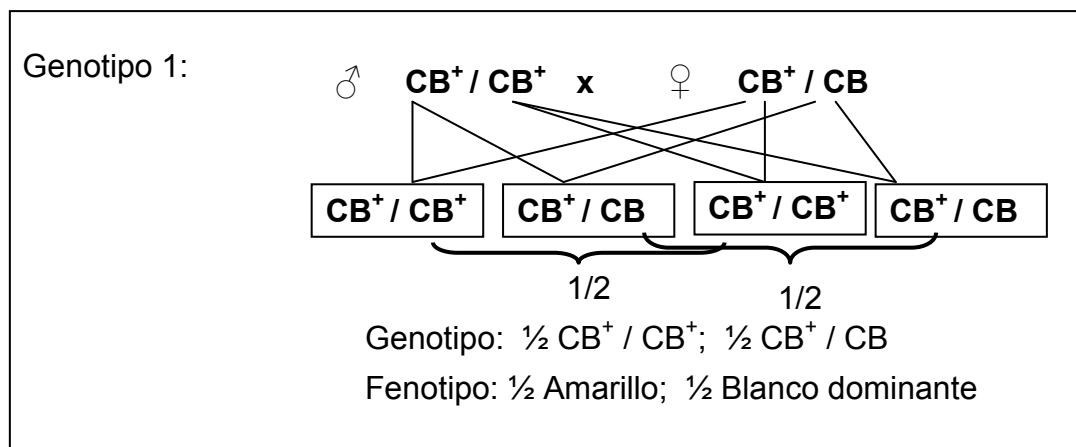
Genotipo macho: $CB^+/CB^+ sc/sc I^+/I^+$

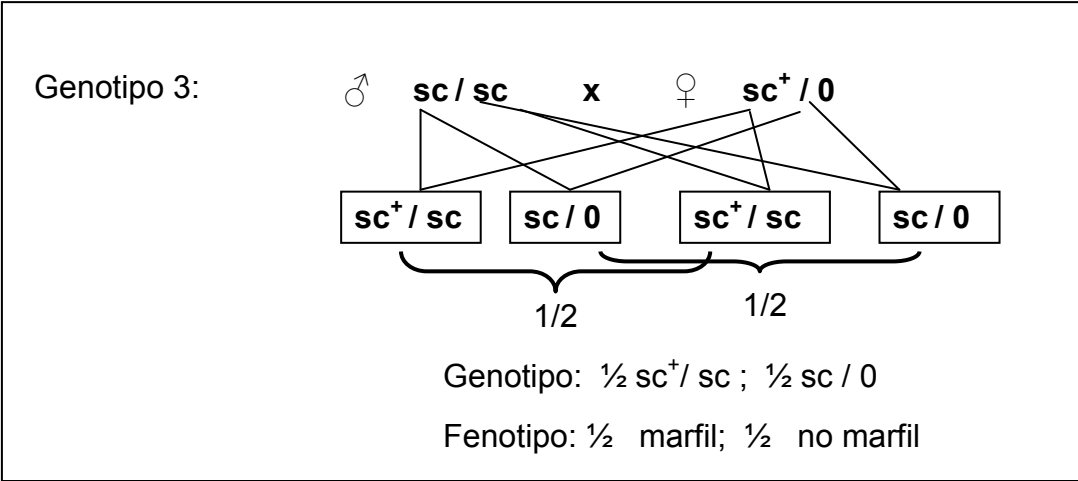
Genotipo hembra: Al ser “blanco dominante” podría ser nevada (I^+/I^+) o intensa (I^+/I) y también podría ser marfil ($sc/0$) o no marfil ($sc^+/0$).

Supongamos que la hembra blanco dominante sea intensa (I^+/I) y no marfil ($sc^+/0$). Así, su genotipo sería: $CB^+/CB sc^+/0 I^+/I$

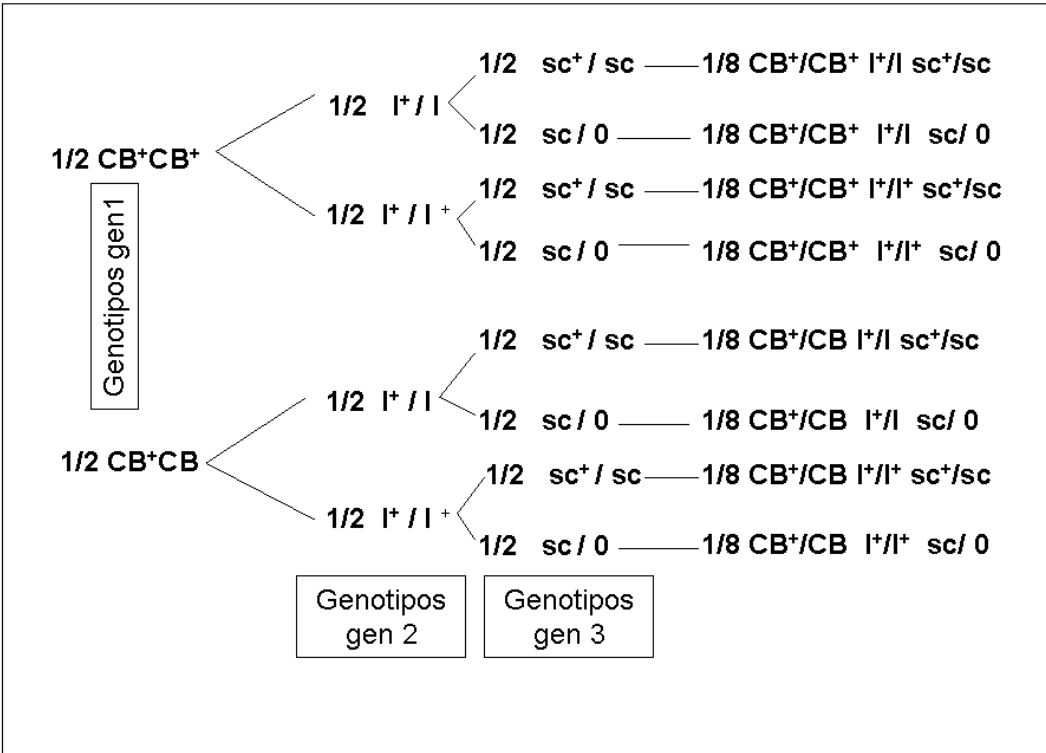
En este caso, aunque el macho sólo dará un tipo de gametos, la hembra se podría considerar como un “trihíbrido” pudiendo producir varios gametos, siendo recomendable usar el sistema de ramificación.

Siguiendo la metodología propuesta en el Capítulo 11:

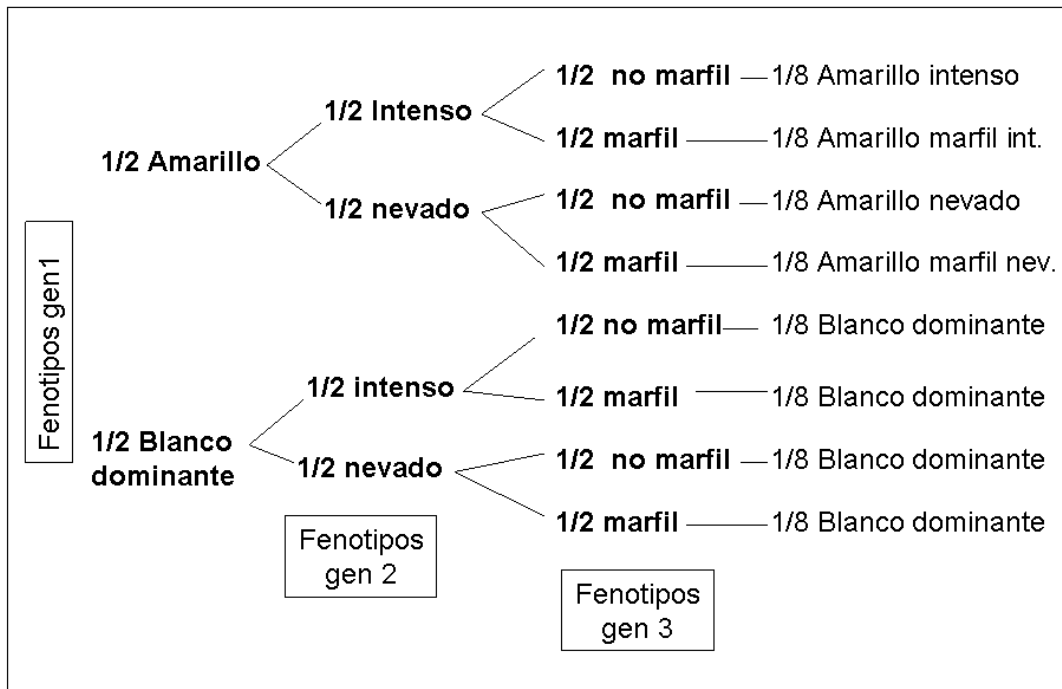




Los genotipos de la descendencia serían:



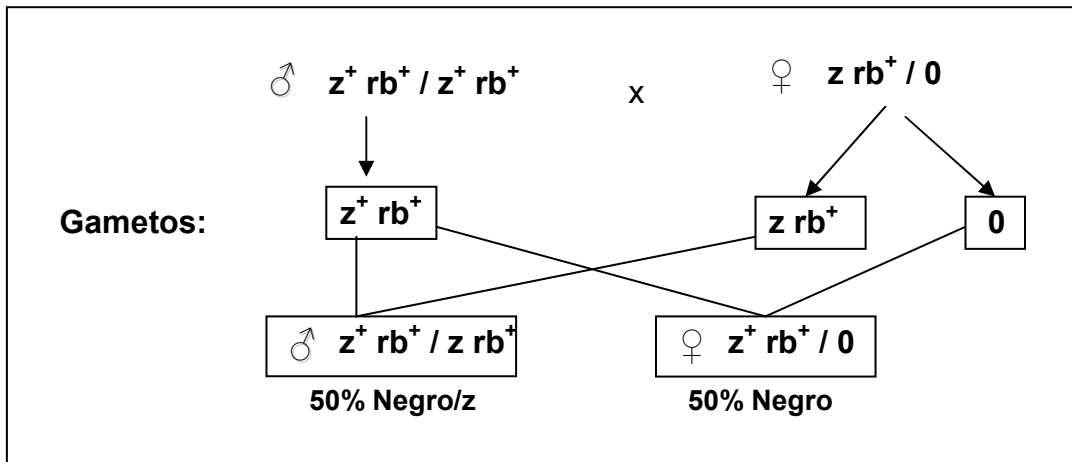
Y los fenotipos:



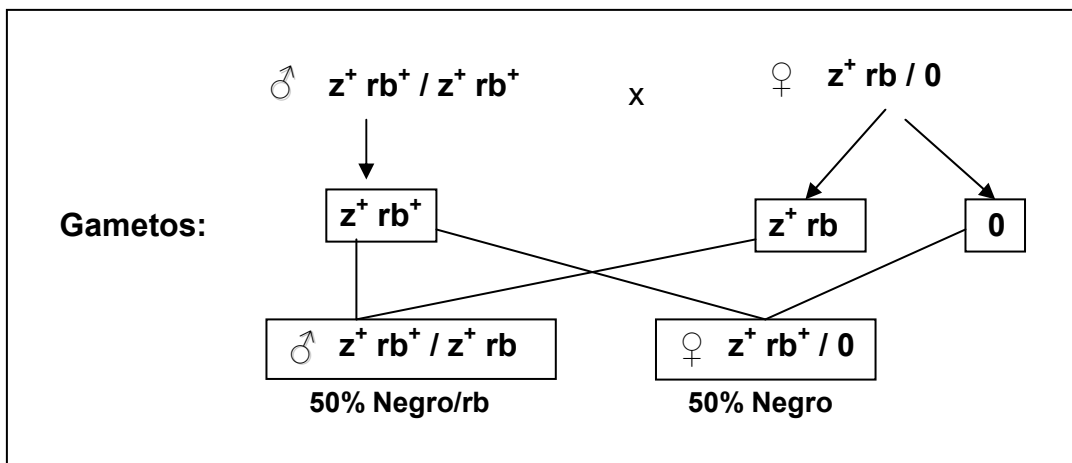
En resumen el fenotipo de la descendencia sería 50% Blanco dominante y 50% Amarillo. De los amarillos la mitad intenso y la otra mitad nevado. A su vez, de los intensos la mitad marfiles (hembras) y la otra mitad no marfiles (machos).

161. Indique el resultado del cruzamiento de un macho negro-bruno (NEGRO) con una hembra "bruno", otra "ágata" y otra "isabela".

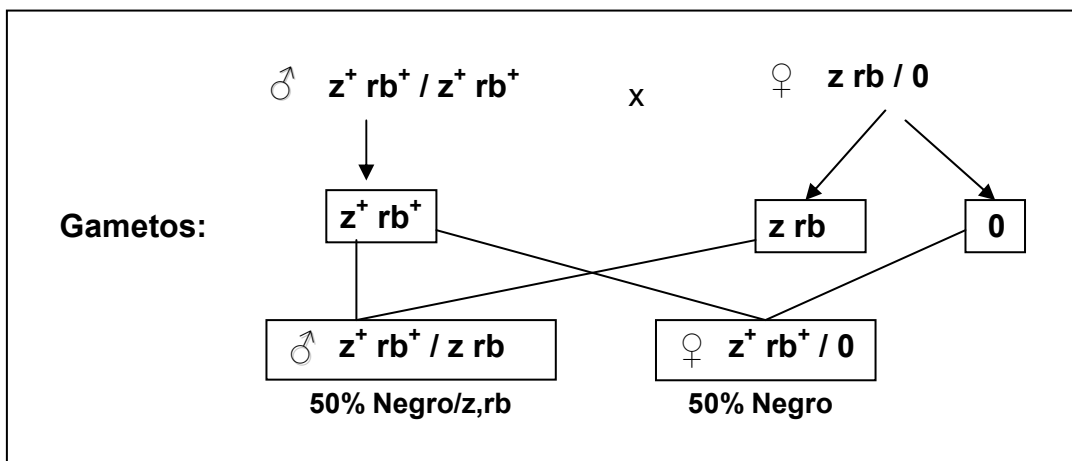
(a)



(b)

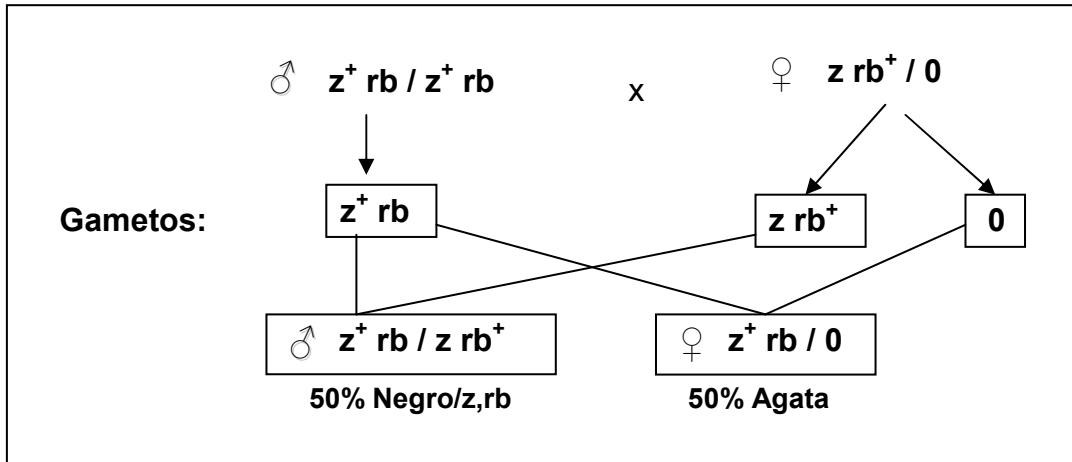


(c)

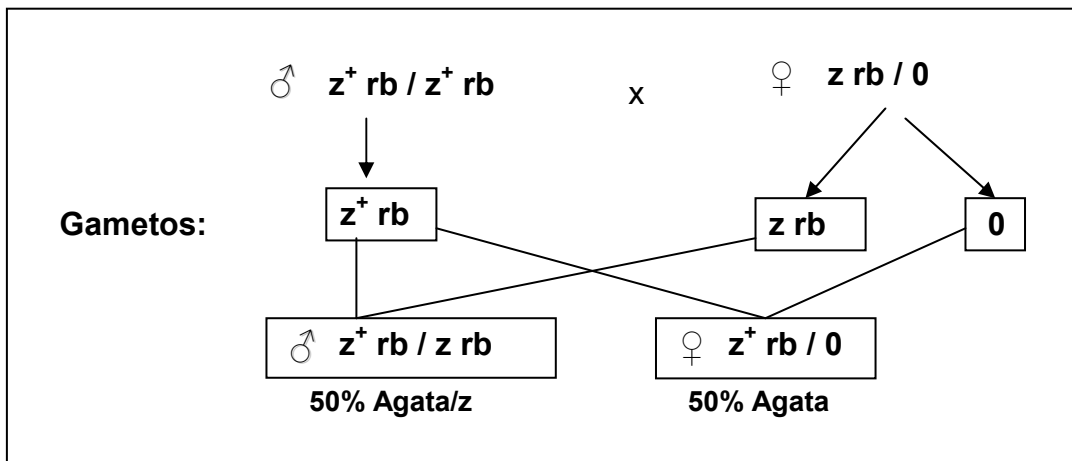


162. (NUEVA REDACCIÓN) Indique el resultado del cruzamiento de un macho Ágata con una hembra Bruno, otra Isabela y otra Negro.

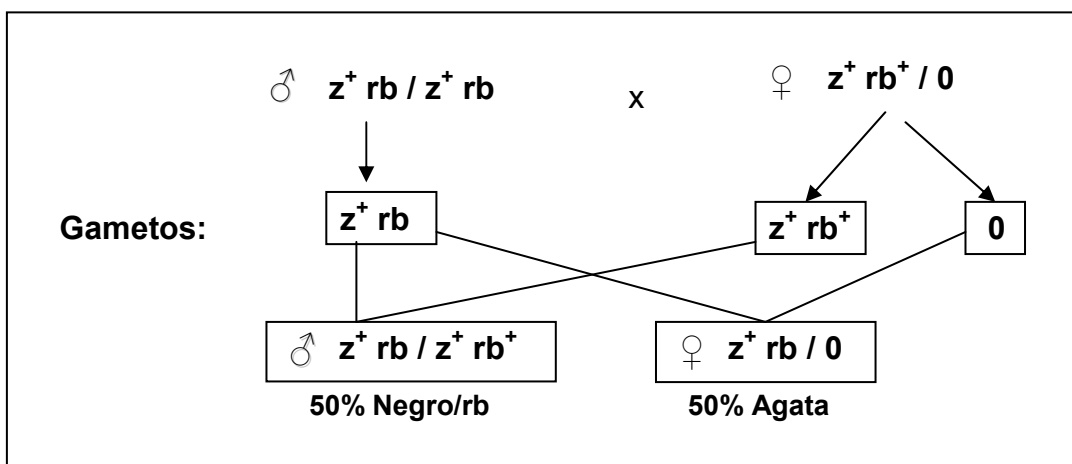
(a)



(b)

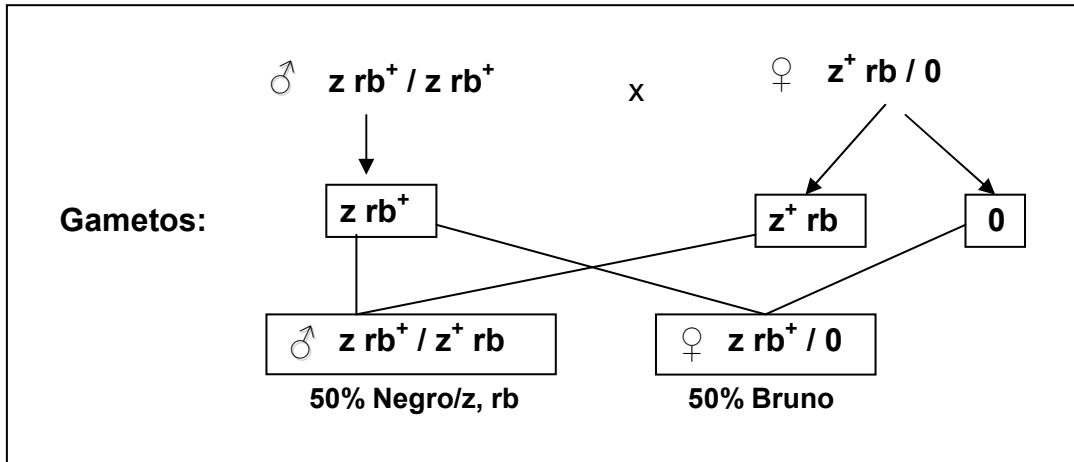


(c)

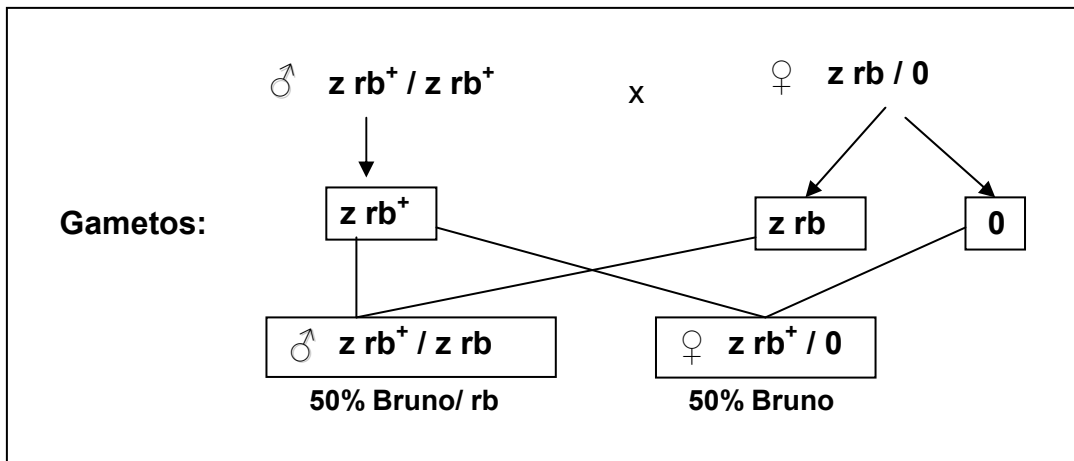


163. Indique el resultado del cruzamiento de un macho "bruno" con una hembra "ágata", otra "isabela" y otra "negro".

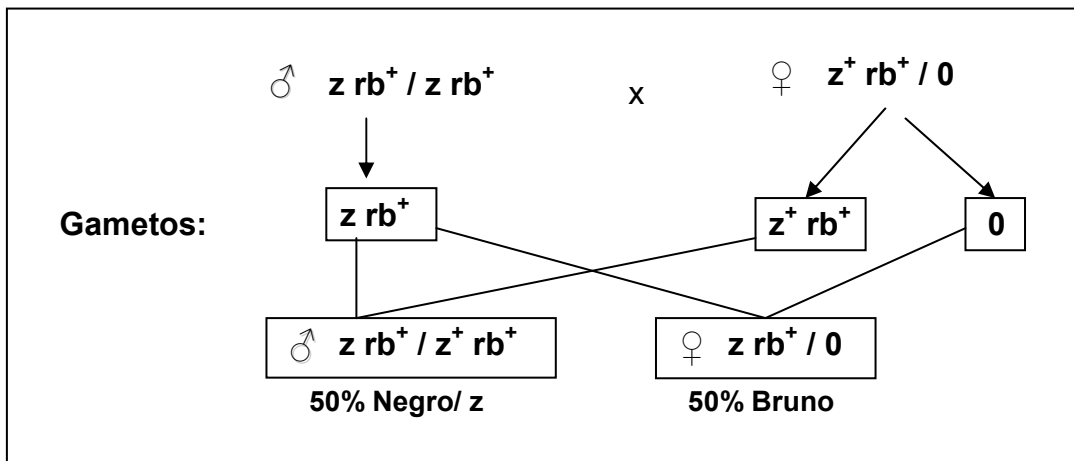
(a)



(b)

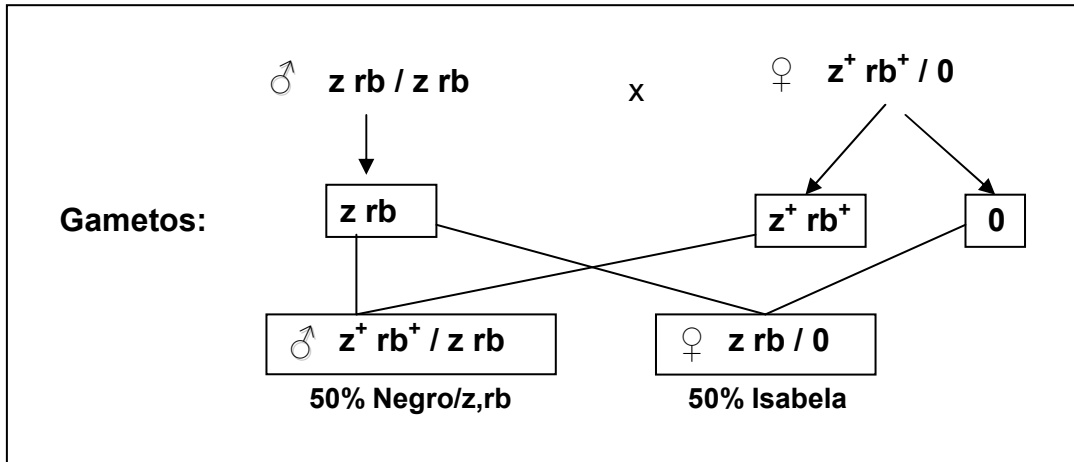


(c)

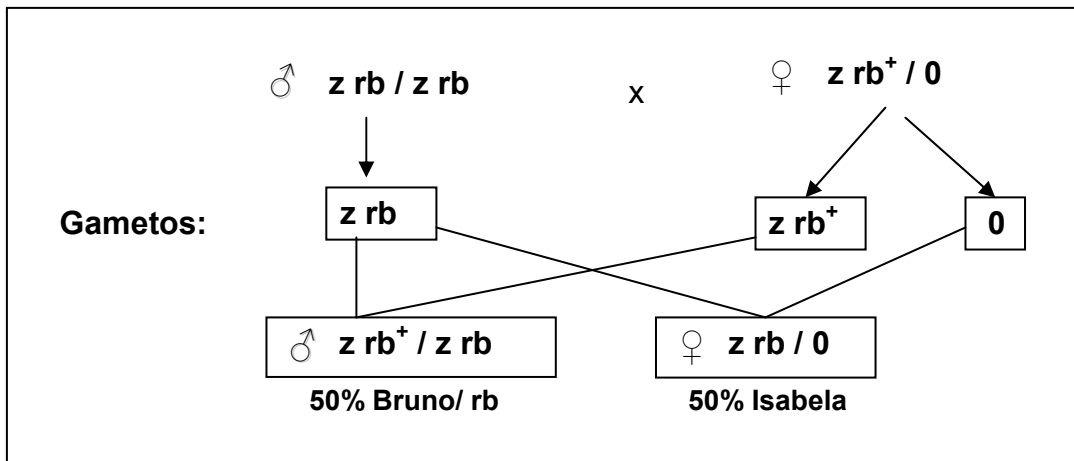


164. Indique el resultado del cruzamiento de un macho "isabela" con una hembra "negro", otra "bruno" y otra "ágata".

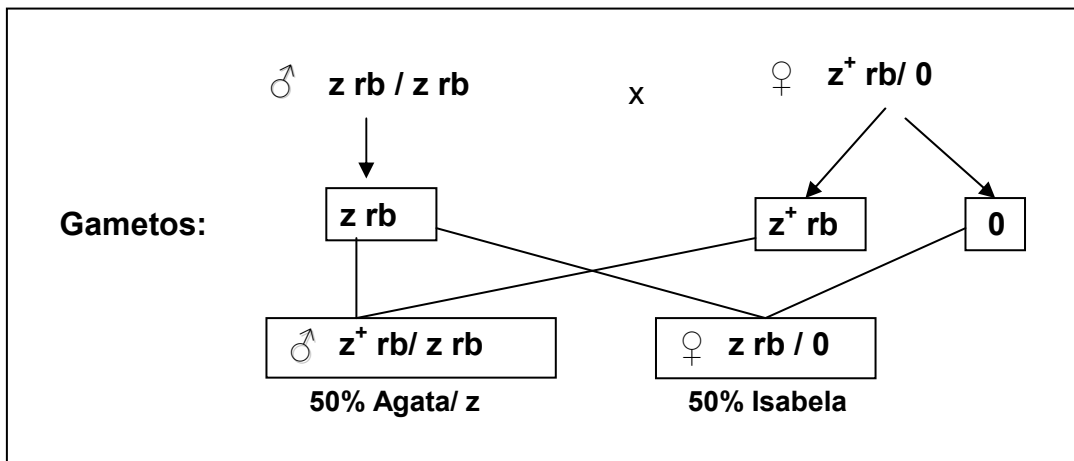
(a)



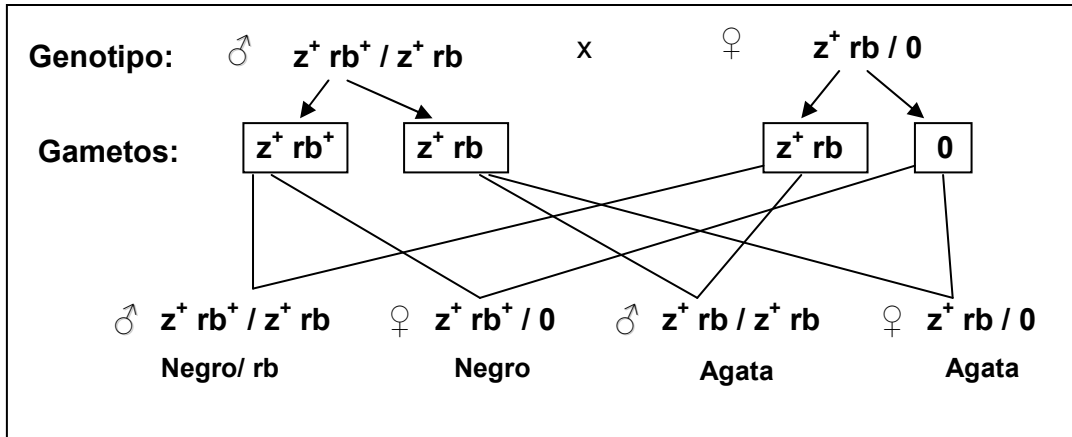
(b)



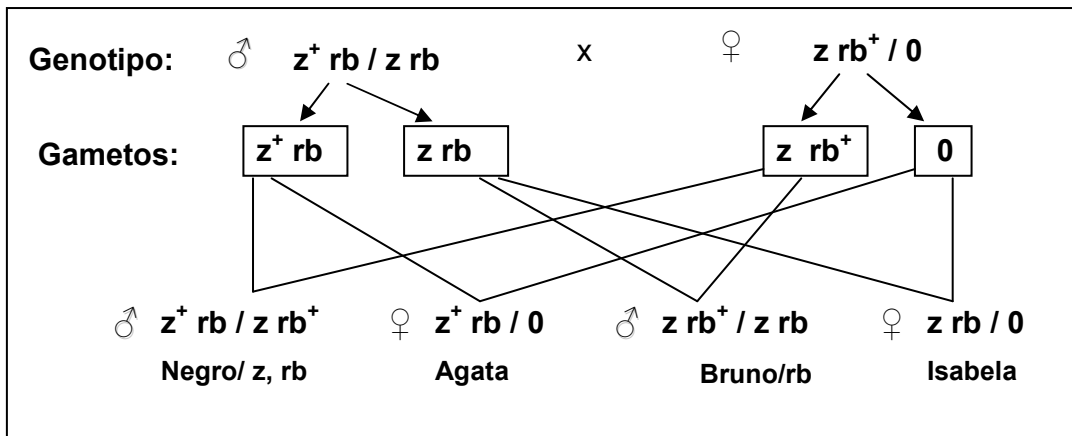
(c)



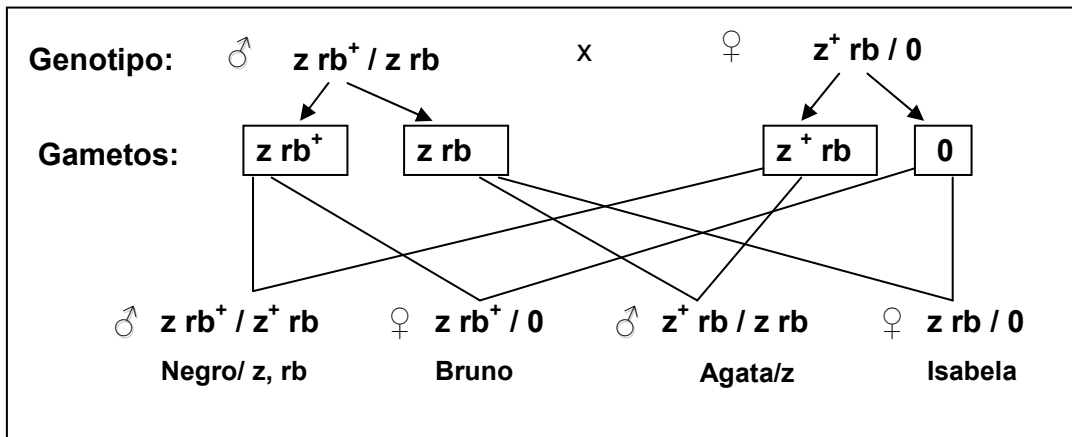
165. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “negro portador de dilución” con una hembra “ágata”.



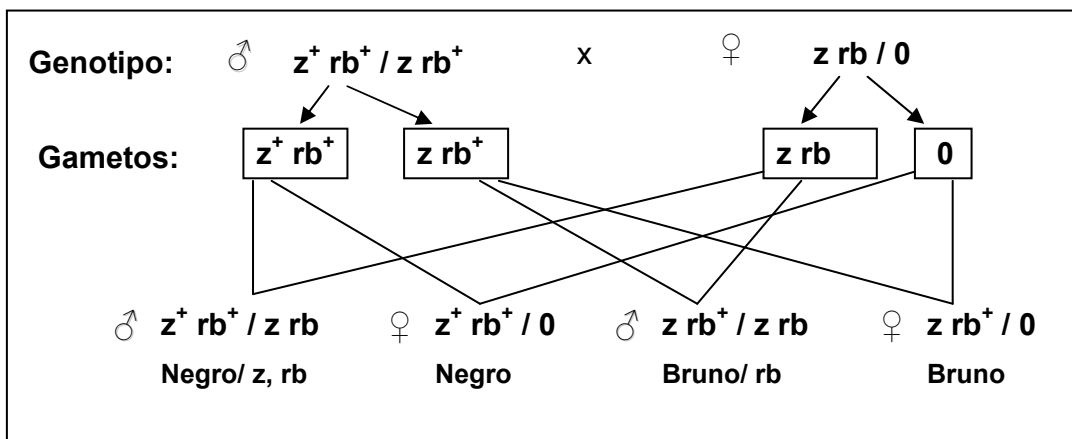
166. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “ágata portador de eumelanina marrón” con una hembra “bruno”.



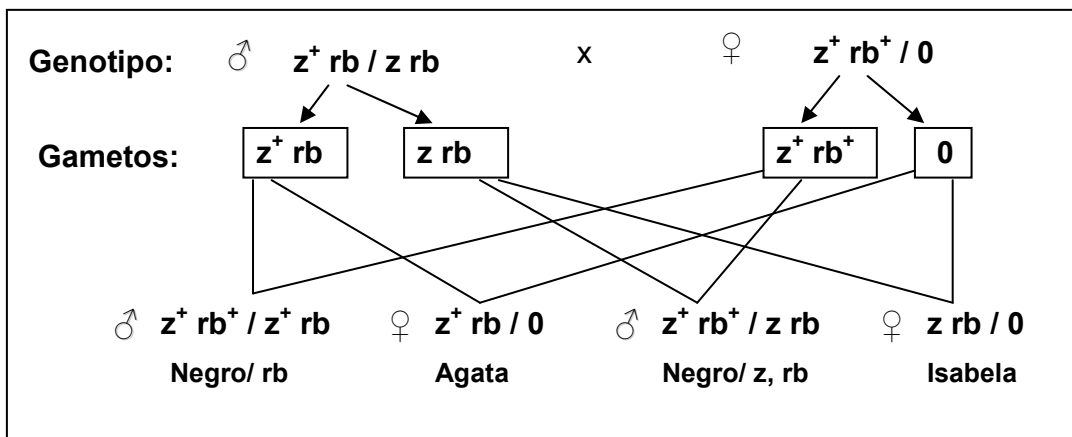
167. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “bruno portador de dilución” con una “hembra ágata”.



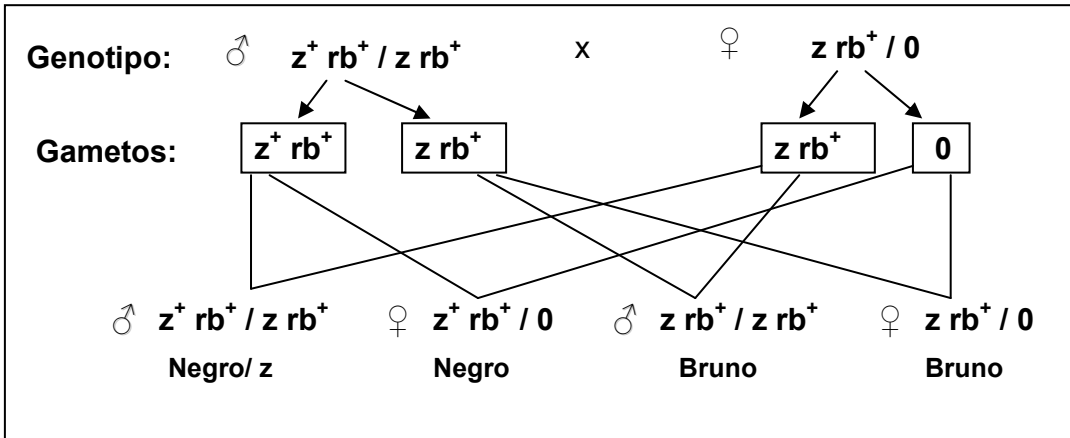
168. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “negro portador de eumelanina marrón” con una hembra “isabela”.



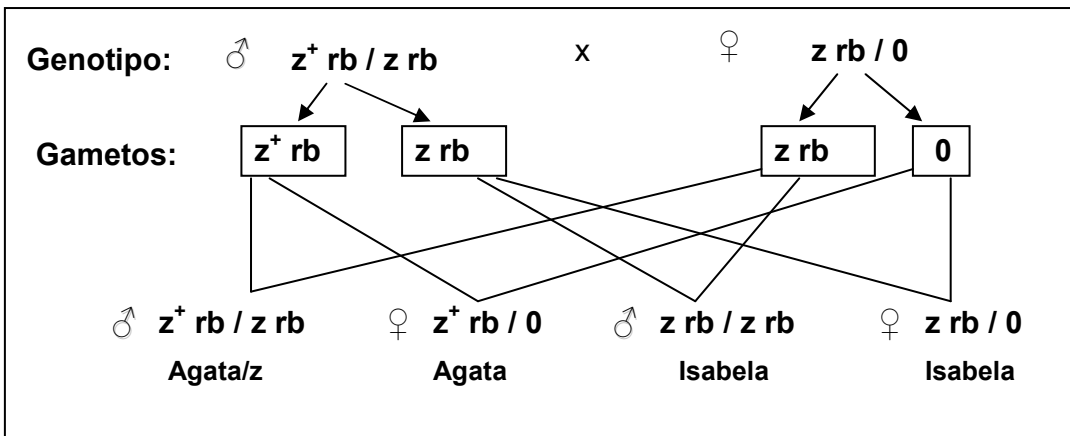
169. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “ágata portador de eumelanina marrón” con una hembra “negro”.



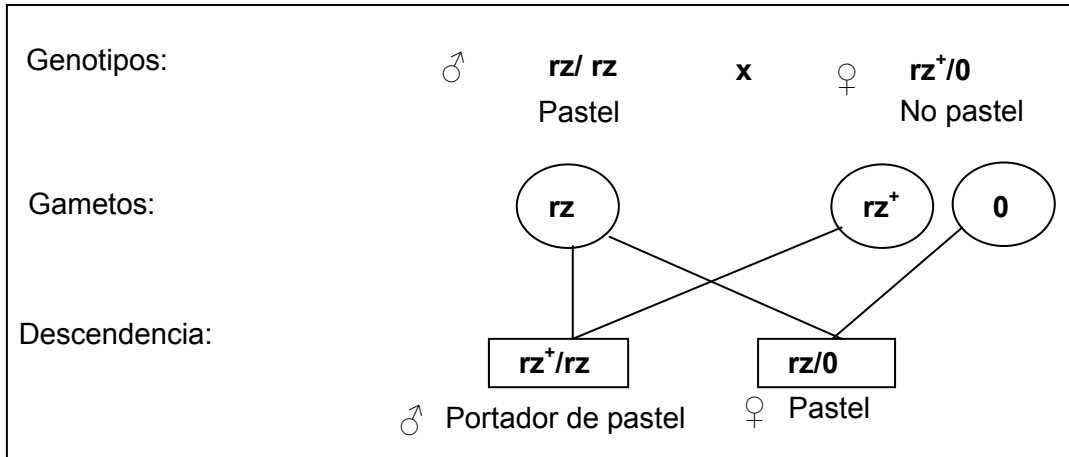
170. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “negro portador de eumelanina marrón” con una hembra “bruno” .



171. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “ágata portador de eumelanina marrón” con una hembra “isabela”.

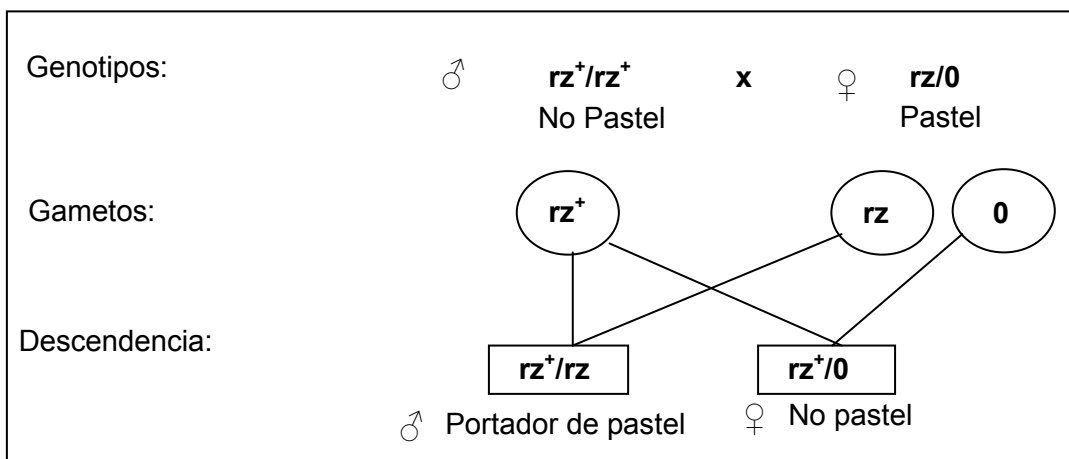


172. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “pastel” con una hembra “no pastel”.
 (Ver ejemplo 10.6)



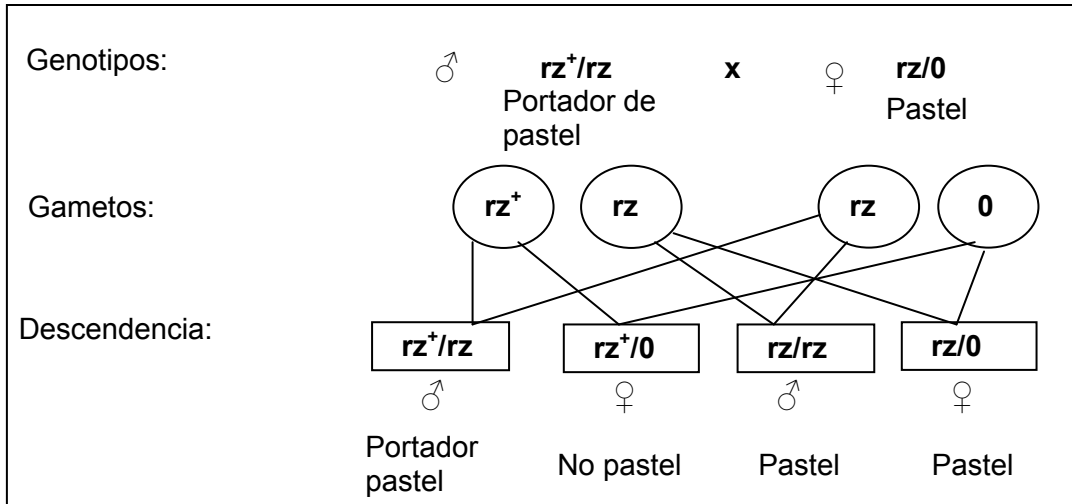
173. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “no pastel” con una hembra “pastel”.

(Ver ejemplo 10.7)

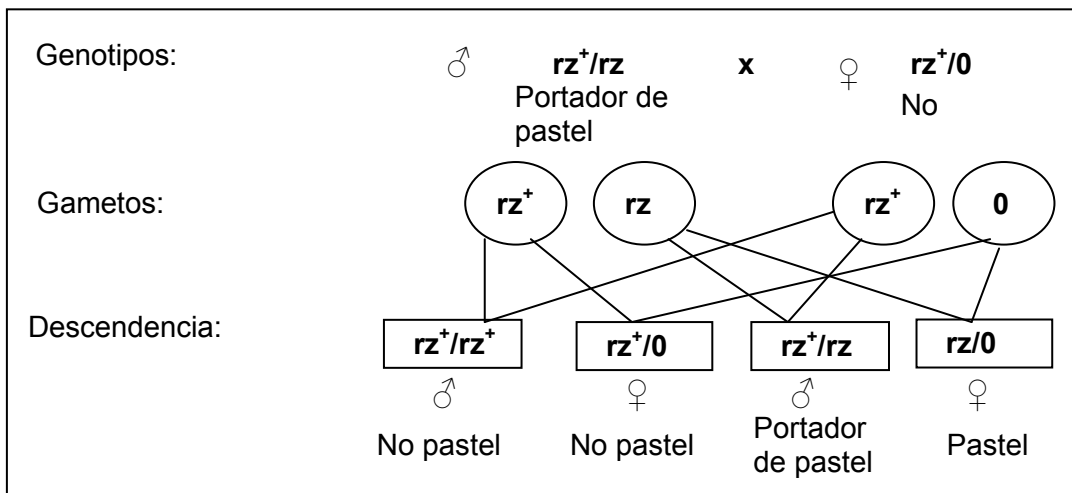


174. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “portador de pastel” con una “pastel” y otra “no pastel”.
 (Ver ejemplos 10.8 y 10.9)

(a)

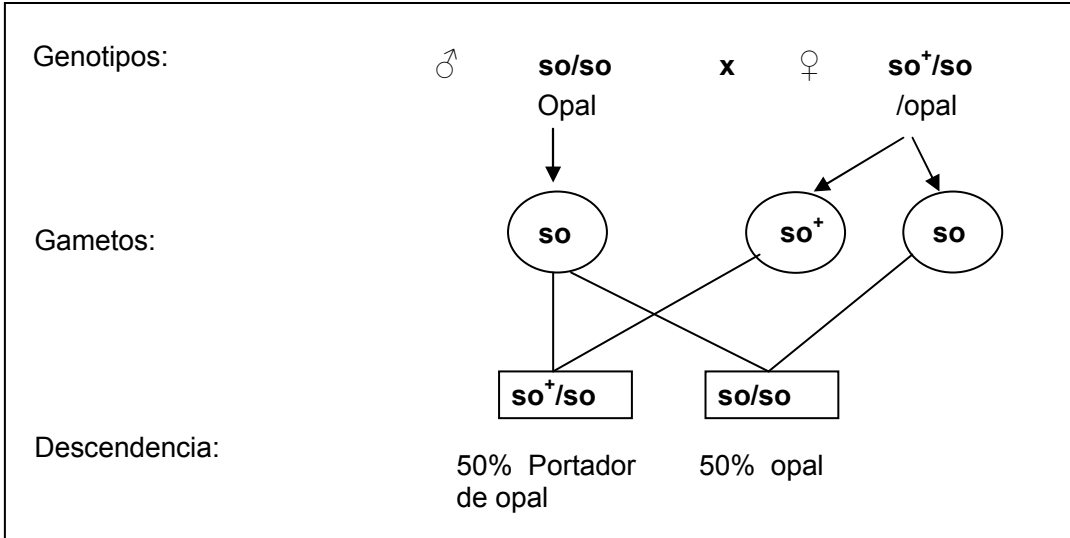


(b)

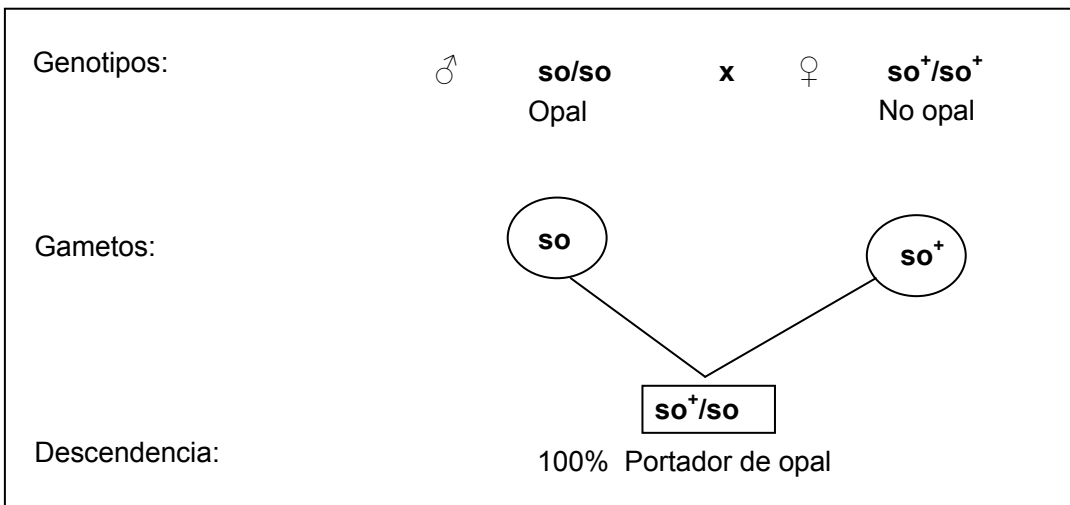


175. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “opal” con una hembra “portadora de opal” y otra “no portadora”.

(a)

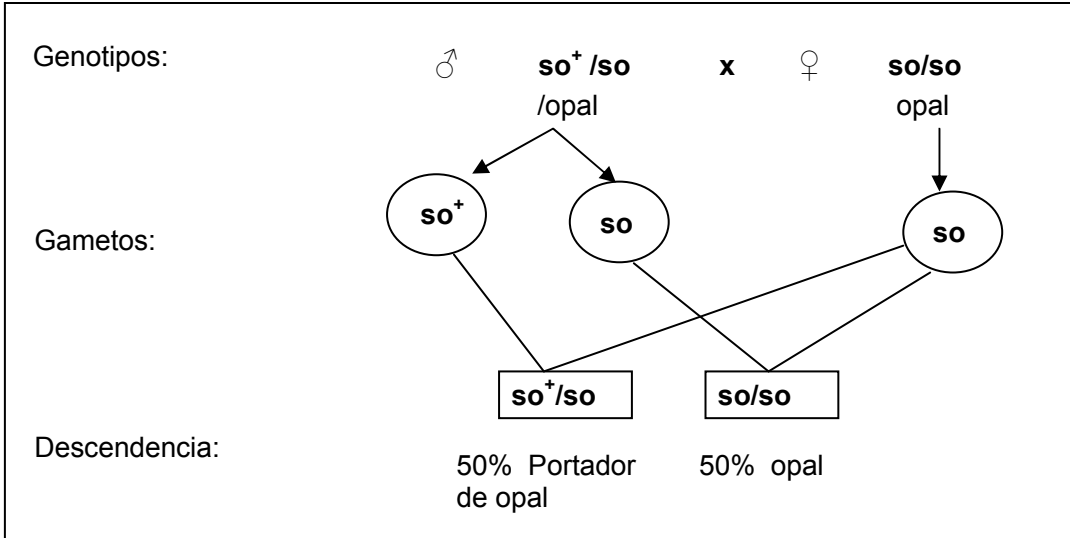


(b)

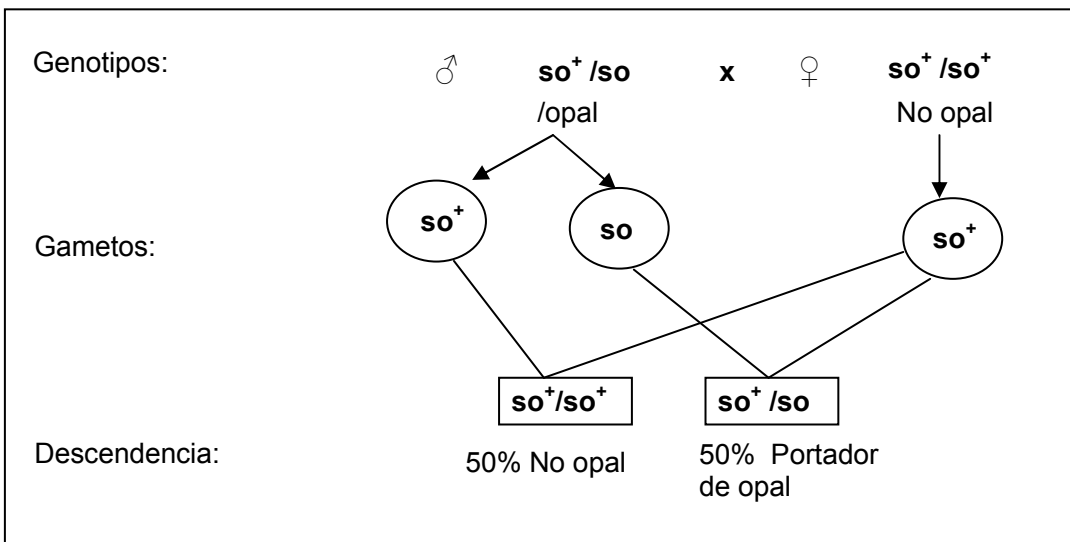


176. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “portador de opal” con una hembra ”opal” y otra “no opal”.

(a)

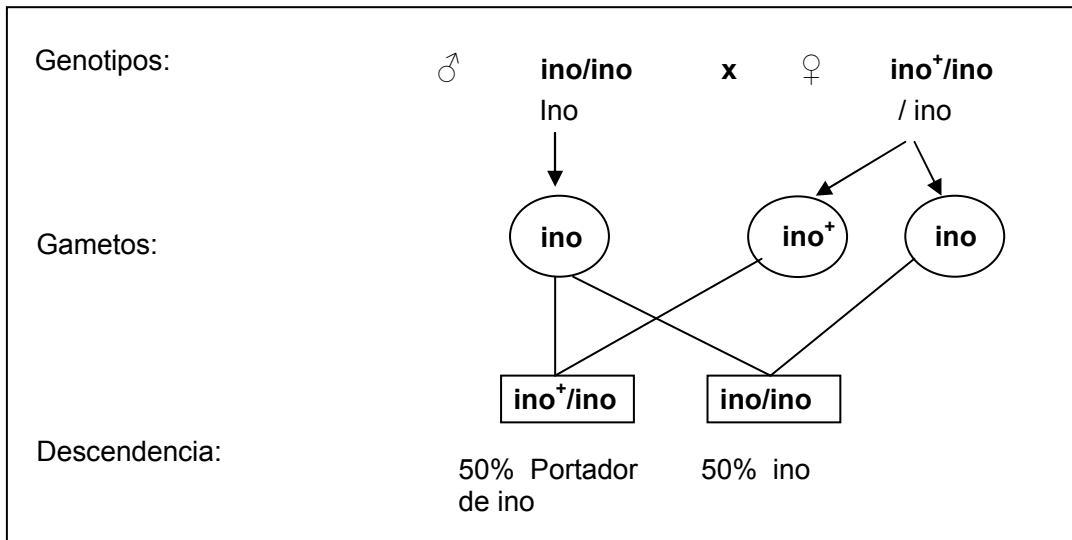


(b)

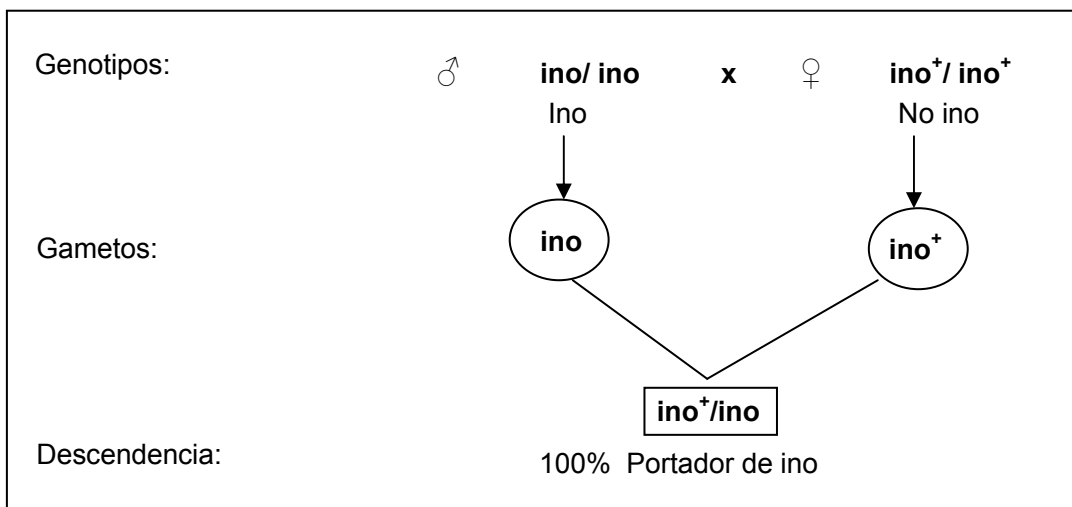


177. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “rubino” con una hembra “portadora de rubino” y otra “no portadora”.

(a)

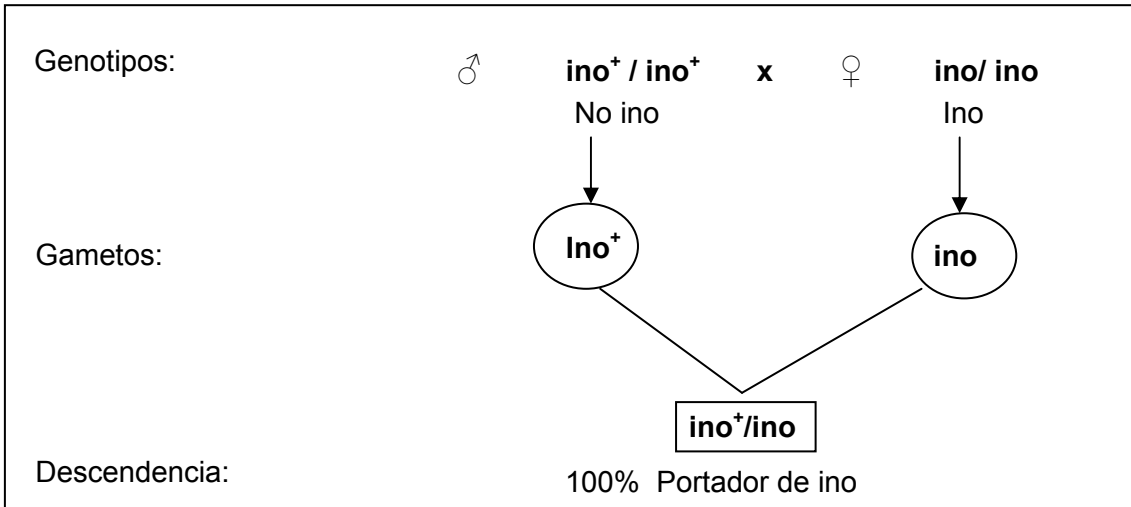


(b)

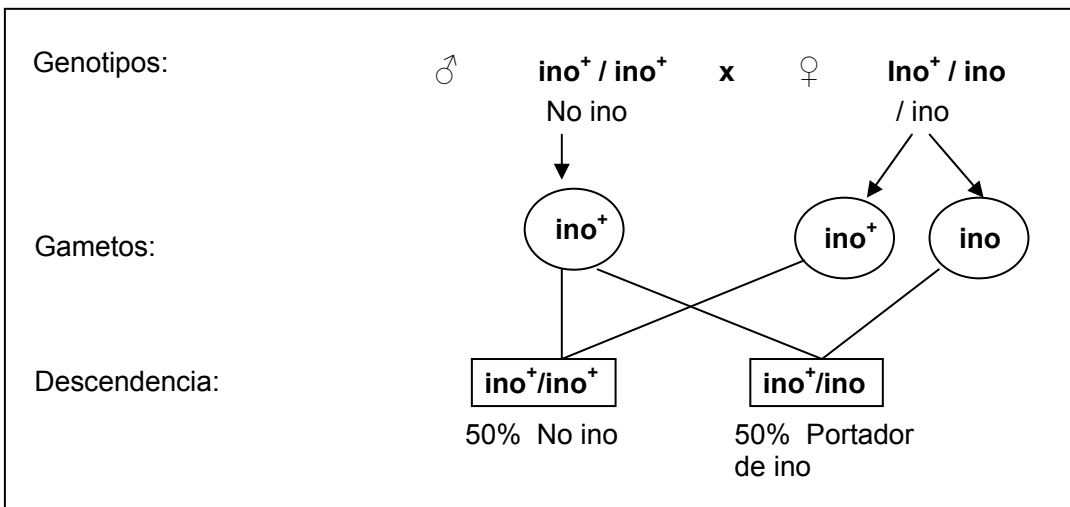


178. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “no rubino” con una hembra “rubino” y otra “portadora de rubino”.

(a)

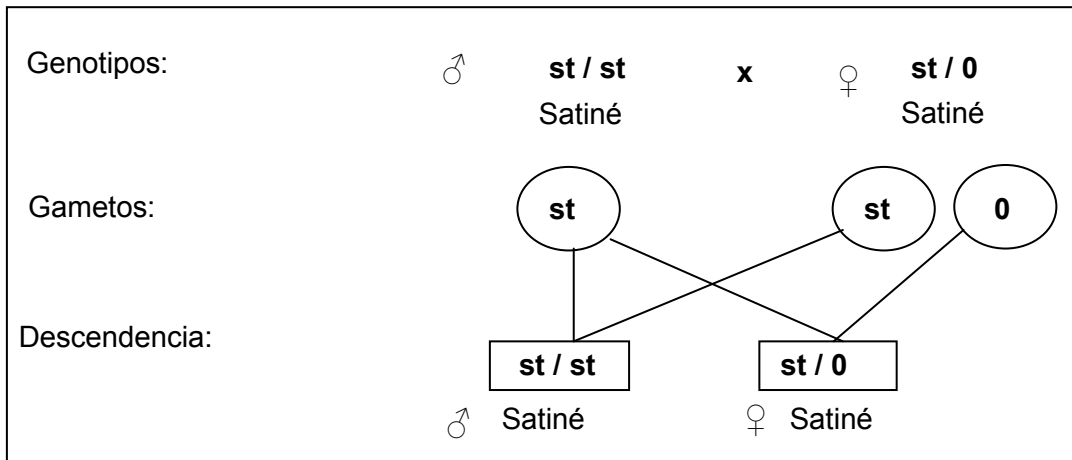


(b)

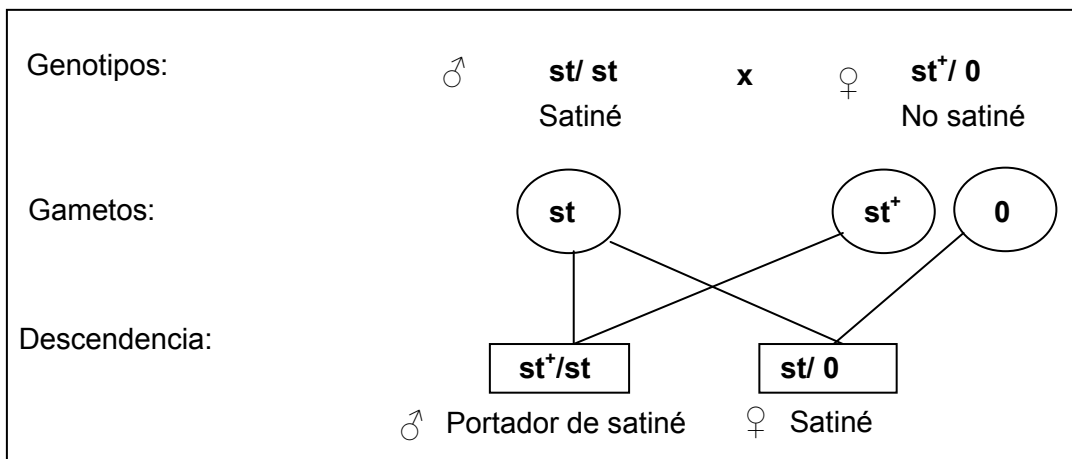


179. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “satiné” con una hembra “satiné” y otra “no satiné”.

(a)

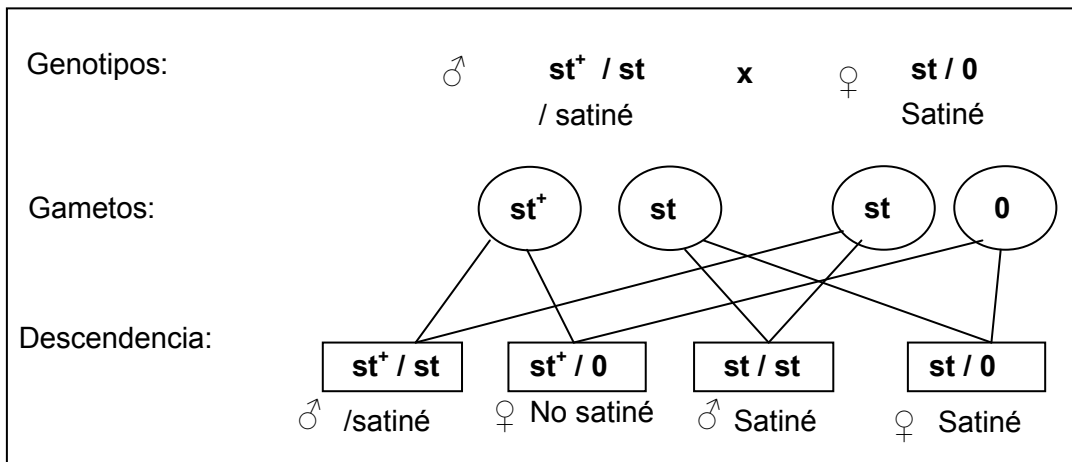


(b)

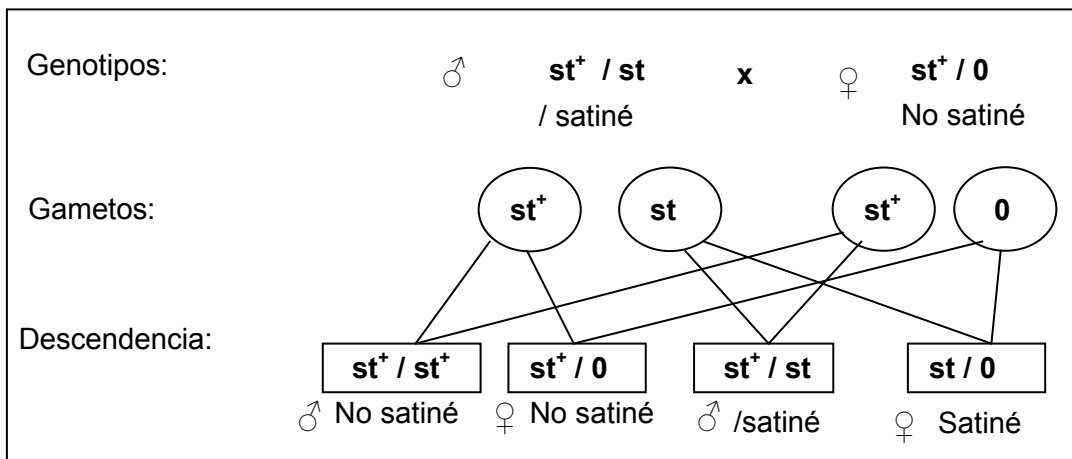


180. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “portador de satiné” con una hembra “satiné” y otra “no satiné”.

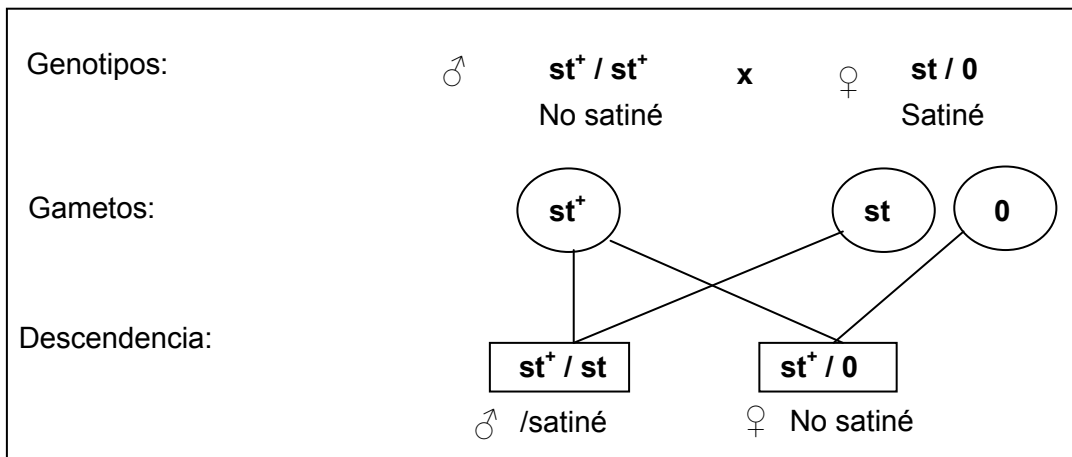
(a)



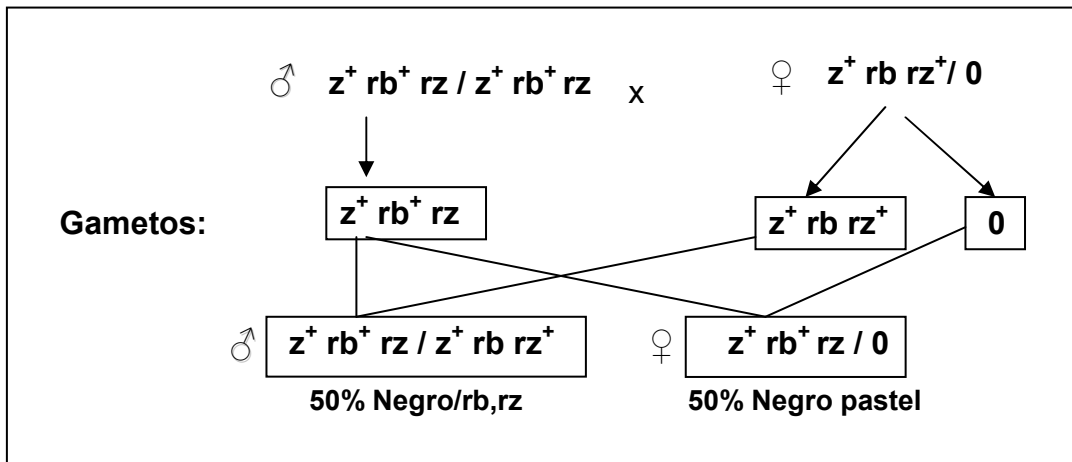
(b)



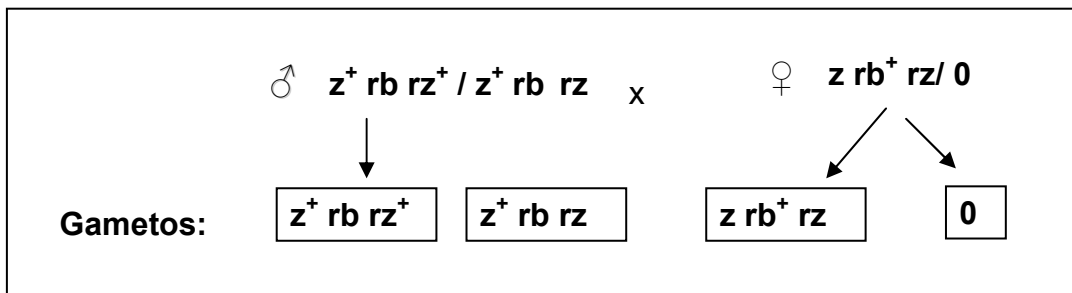
181. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “no satiné” con una hembra “satiné”.



182. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “negro pastel” con una hembra “ágata”.

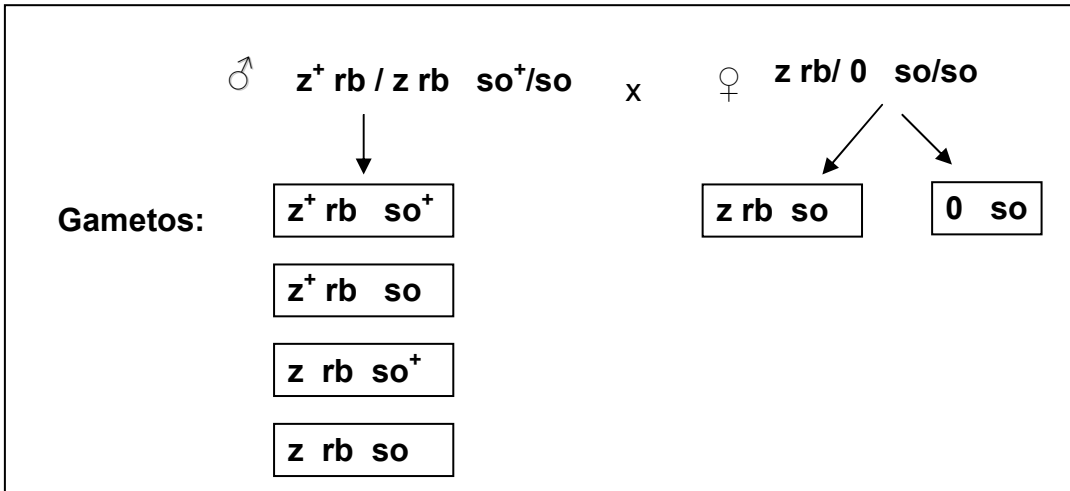


183. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “agata portador de pastel” con una hembra “bruno pastel”.



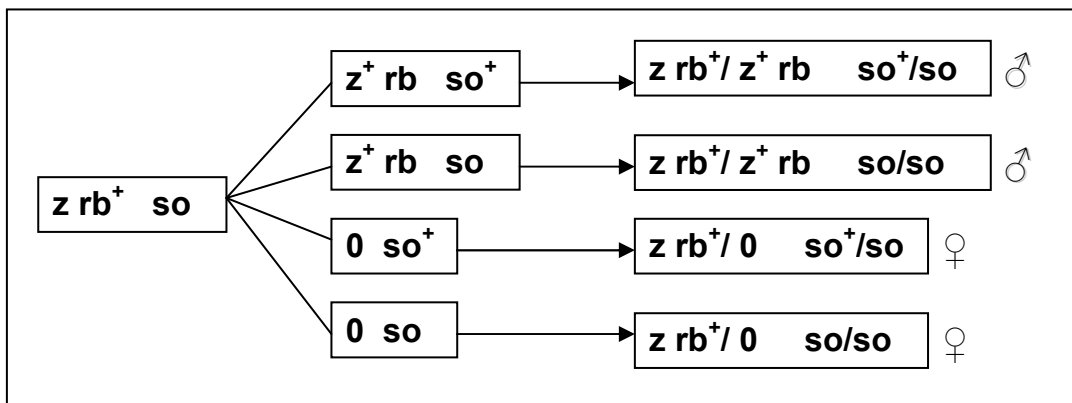
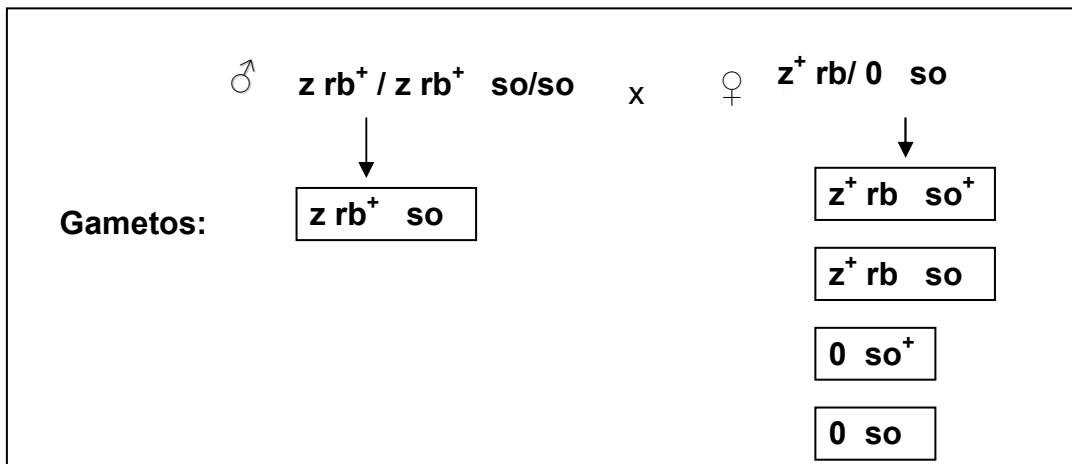
		Gametos ♀	
		½ z rb+ rz	½ 0
♂ Gametos	½ z+ rb rz+	1 z+ rb rz+ / z rb+ rz ♂ Negro/z, rb, rz	2 z+ rb rz+ / 0 ♀ Agata
	½ z+ rb rz	3 z+ rb rz / z rb+ rz ♂ Negro pastel/z, rb	4 z+ rb rz / 0 ♀ Agata pastel

184. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “ágata portador de eumelanina marrón y de opal” con una hembra “isabela opal”.



		Gametos ♀	
		$\frac{1}{2} z rb \text{ so}$	$\frac{1}{2} 0 \text{ so}$
Gametos ♂	$\frac{1}{4} z^+ rb \text{ so}^+$	$\frac{1}{8} z^+ rb / z rb \text{ so}^+ / \text{so}$ $\text{♂ } \text{Agata/z, so}$	$\frac{1}{8} z^+ rb / 0 \text{ so}^+ / \text{so}$ $\text{♀ } \text{Agata/so}$
	$\frac{1}{4} z^+ rb \text{ so}$	$\frac{1}{8} z^+ rb / z rb \text{ so} / \text{so}$ $\text{♂ } \text{Agata opal / z}$	$\frac{1}{8} z^+ rb / 0 \text{ so} / \text{so}$ $\text{♀ } \text{Agata opal}$
	$\frac{1}{4} z rb \text{ so}^+$	$\frac{1}{8} z rb / z rb \text{ so}^+ / \text{so}$ $\text{♂ } \text{Isabela/ so}$	$\frac{1}{8} z rb / 0 \text{ so}^+ / \text{so}$ $\text{♀ } \text{Isabela/so}$
	$\frac{1}{4} z rb \text{ so}$	$\frac{1}{8} z rb / z rb \text{ so} / \text{so}$ $\text{♂ } \text{Isabela opal}$	$\frac{1}{8} z rb / 0 \text{ so} / \text{so}$ $\text{♀ } \text{Isabela opal}$

185. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “bruno opal” con una hembra “ágata portadora de opal”.



La descendencia será:
 25% machos Negro/z, rb, so
 25% machos Negro opal/z, rb
 25% hembras Bruno/opal
 25% hembras Bruno opal

186. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “negro portador de eumelanina marrón y de dilución” con una hembra “bruno rubino”.

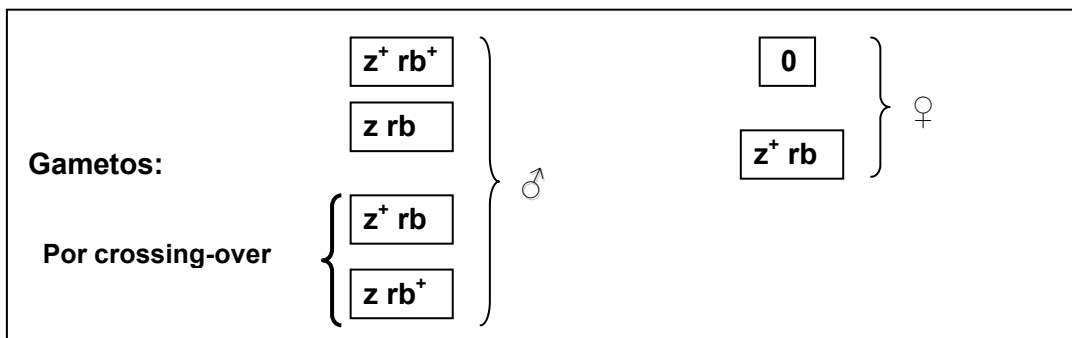
Para simplificar, como el macho es ino^+/ino^+ (no ino) y la hembra es ino/ino toda la descendencia será portadora de ino ($/ino$). Así sólo tendremos en cuenta los demás caracteres del genotipo.

Macho: $z^+ rb^+ / z rb$

Hembra: $z rb^+ / 0$

La hembra dará dos tipos de gametos: $z rb^+$ y 0 .

El macho posee dos genes ligados al sexo en heterocigosis, por lo que podrá sufrir el proceso de “crossing-over” dando 4 tipos de gametos:



		Gametos ♀	
		$\frac{1}{2} z rb^+$	$\frac{1}{2} 0$
Gametos ♂	$\frac{1}{4} z^+ rb^+$	$\frac{1}{8} z^+ rb^+ / z rb^+$ ♂ Negro/z	$\frac{1}{8} z^+ rb^+ / 0$ ♀ Negro
	$\frac{1}{4} z rb$	$\frac{1}{8} z rb / z rb^+$ ♂ Bruno / rb	$\frac{1}{8} z rb / 0$ ♀ Isabela
	$\frac{1}{4} z^+ rb$	$\frac{1}{8} z^+ rb / z rb^+$ ♂ Negro/z, rb	$\frac{1}{8} z^+ rb / 0$ ♀ Agata
	$\frac{1}{4} z rb^+$	$\frac{1}{8} z rb^+ / z rb^+$ ♂ Bruno	$\frac{1}{8} z rb^+ / 0$ ♀ Bruno

Todos los descendientes (machos y hembras) portadores de “ino”

187. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “ágata portador de eumelanina marrón y de rubino” con una hembra “rubina de apariencia lipocroma y subplumaje negro”.

De acuerdo con lo indicado en el Capítulo 9, los canarios melánicos con apariencia de lipocrómicos y con ojos rojos pueden ser:

Satiné diluido

Agata ino

Isabela ino

Como el enunciado dice que la hembra es “rubina” podría ser “ágata ino” o “isabela ino” y como el subplumaje es “negro” sólo puede ser “ágata ino.”

Por lo tanto,

Macho: $z^+ rb/z rb \text{ ino}^+/ino$

Hembra: $z^+ rb/0 \text{ ino}/ino$

Gametos macho: $z^+ rb \text{ ino}^+$, $z^+ rb \text{ ino}$, $z rb \text{ ino}^+$, $z rb \text{ ino}$.

Gametos hembra: $z^+ rb \text{ ino}$, 0 ino .

		Gametos ♀	
		$\frac{1}{2} z^+ rb \text{ ino}$	$\frac{1}{2} 0 \text{ ino}$
Gametos ♂	$\frac{1}{4} z^+ rb \text{ ino}^+$	$\frac{1}{8} z^+ rb/z^+ rb \text{ ino}^+/ino$ ♂ Agata / ino	$\frac{1}{8} z^+ rb/0 \text{ ino}^+/ino$ ♀ Agata / ino
	$\frac{1}{4} z^+ rb \text{ ino}$	$\frac{1}{8} z^+ rb/z^+ rb \text{ ino}/ino$ ♂ Agata ino	$\frac{1}{8} z^+ rb/0 \text{ ino}/ino$ ♀ Agata ino
	$\frac{1}{4} z rb \text{ ino}^+$	$\frac{1}{8} z rb/z^+ rb \text{ ino}^+/ino$ ♂ Agata / z, ino	$\frac{1}{8} z rb/0 \text{ ino}^+/ino$ ♀ Isabela / ino
	$\frac{1}{4} z rb \text{ ino}$	$\frac{1}{8} z rb/z^+ rb \text{ ino}/ino$ ♂ Agata ino / z	$\frac{1}{8} z rb/0 \text{ ino}/ino$ ♀ Isabela ino

188. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “rubino de apariencia lipocroma y subplumaje marrón” con una hembra “ágata portadora de rubino”.

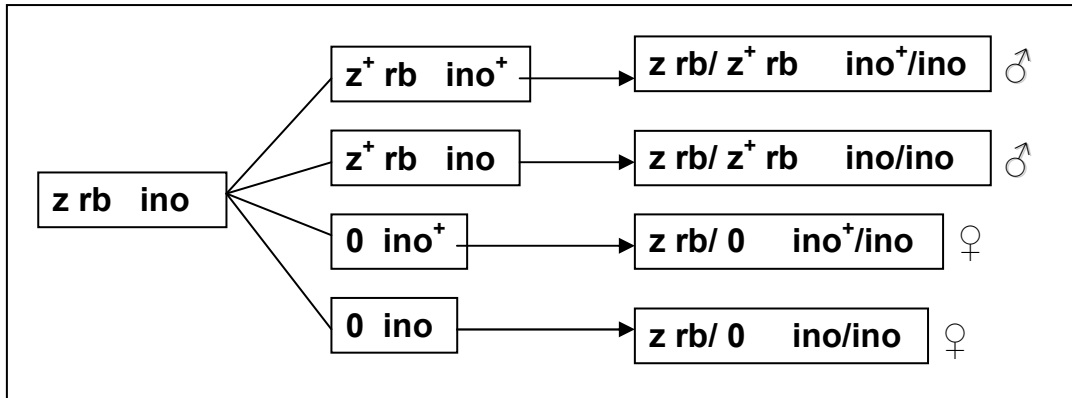
Por el mismo razonamiento del problema anterior el macho debe ser: “Isabela ino”

Macho: $z\ rb / z\ rb\ ino / ino$

Hembra: $z^+ rb / 0\ ino^+ / ino$

Gametos macho: $z\ rb\ ino$

Gametos hembra: $z^+ rb\ ino^+, z^+ rb\ ino, 0\ ino^+, 0\ ino$.



La descendencia sería:

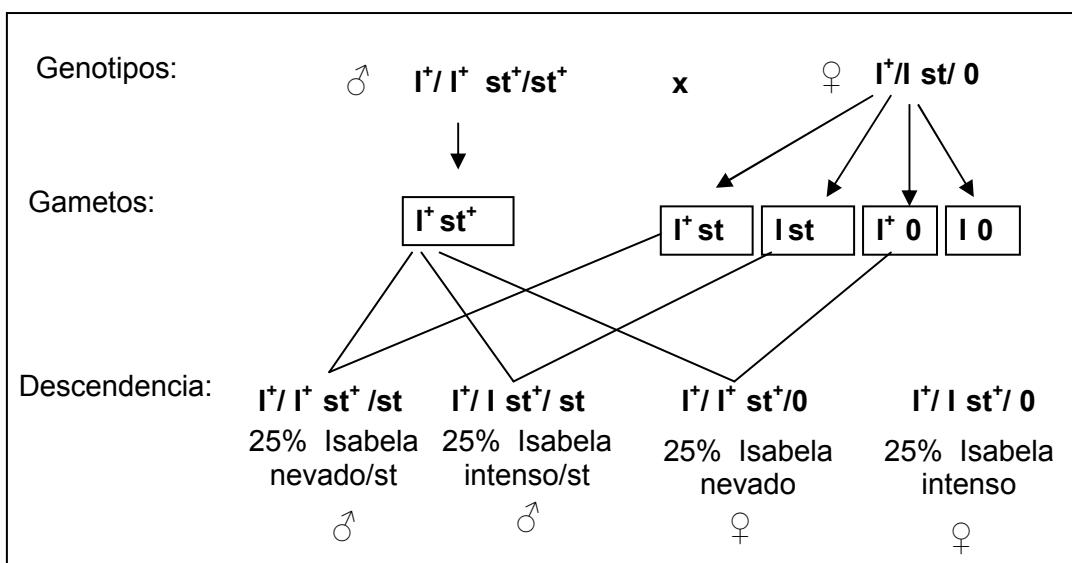
25% machos Agata/z, ino

25% machos Agata ino/z

25% hembras Isabela/ino

25% hembras Isabela ino

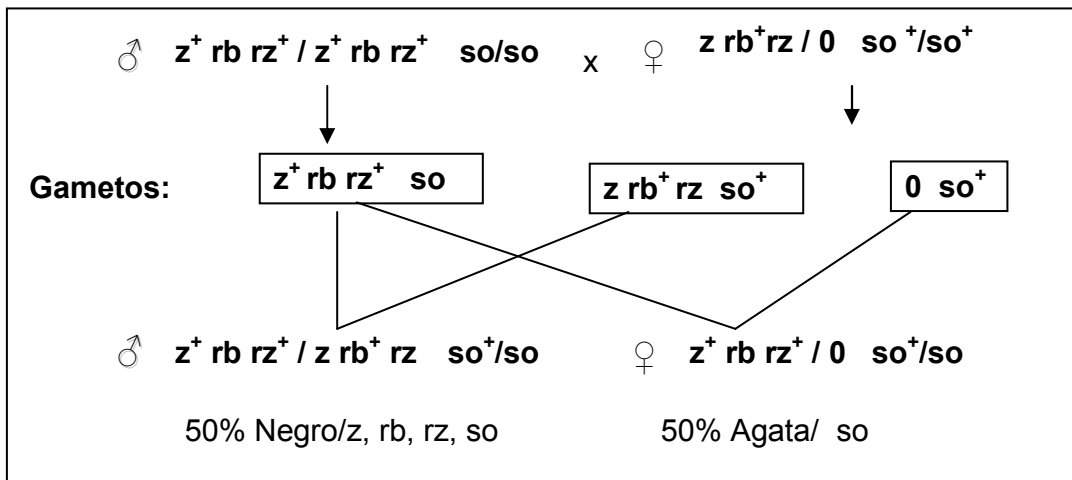
189. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “isabela nevado” con una hembra “satiné intenso”.



190. (ELIMINADA) Indique el resultado del cruzamiento de un macho Isabela intenso con una hembra Satiné diluido nevado.

191. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “ágata opal” con una hembra “bruno pastel”.

Macho: $z^+ rb rz^+ / z^+ rb rz^+ \ so/so$
 Hembra: $z rb^+ rz / 0 \ so^+/so^+$



Descendencia:

50% Machos Negro/z, rb, rz, so
 50% Hembras Agata/opal

192. ¿Cómo cruzaríamos un canario “satiné” con otro “rubino” para no obtener ningún canario de ojos rojos en la descendencia?

“Cruzando un macho ino con una hembra satiné”

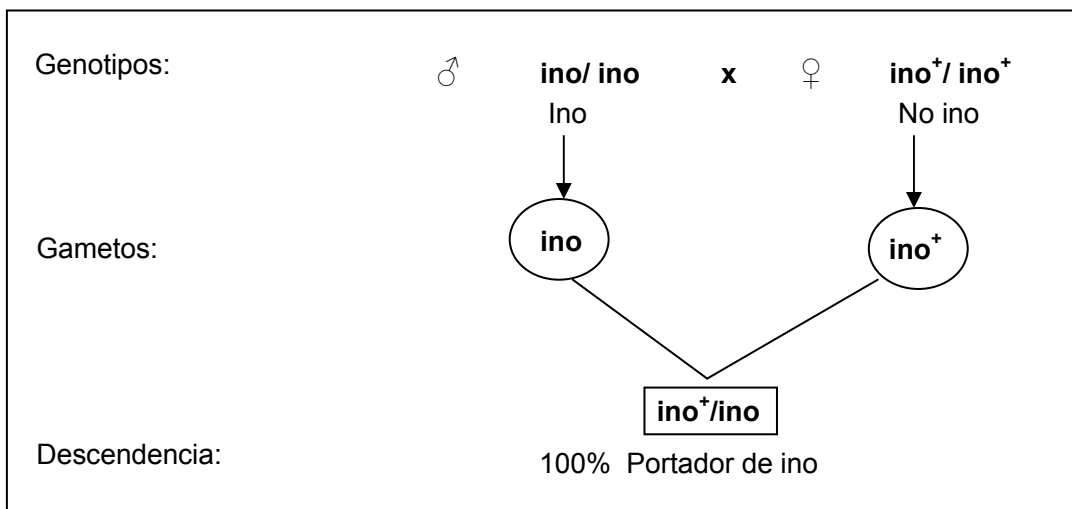
Los dos ejemplares son de ojos rojos, pero en cada uno el carácter “ojos rojos” está determinado por un par de genes distintos:

Ojos rojos “ino” : ino/ino (macho y hembra)

Ojos rojos “satiné”: st/st (macho), st/0 (hembra satiné)

Con el cruce propuesto, (a) Para el carácter “ojos rojos ino”

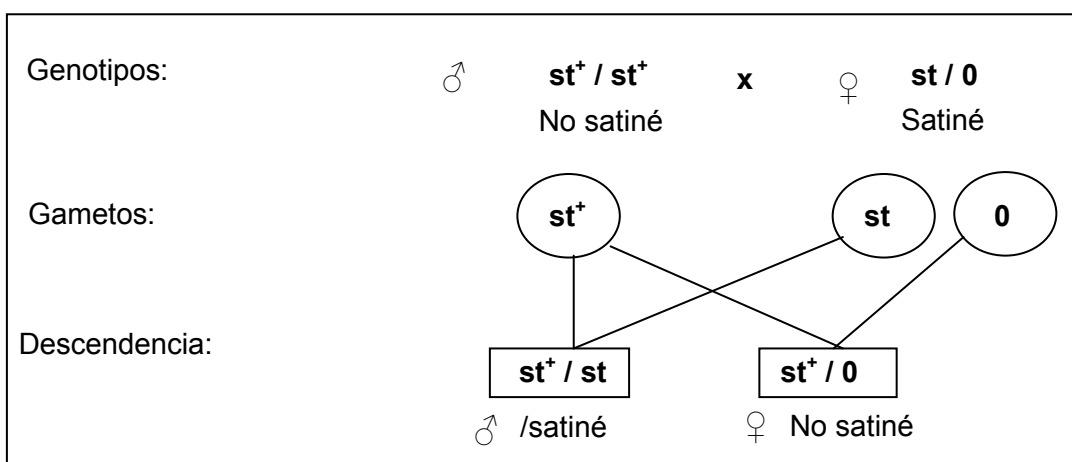
Macho ino (ino/ino) x Hembra satiné (no ino) ino⁺/ino⁺



Todos portadores de ino, pero Ninguno con ojos rojos.

(b) Para el carácter “ojos rojos satiné”

Macho no satiné (st⁺/st⁺) x Hembra satiné (st/0)



Los machos son portadores y las hembras no satiné por lo que ninguno tendrá los ojos rojos.

193. En un revolador hay varios machos y hembras . Una hembra “ágata amarillo” da cuatro hembras como descendencia : una “isabela pastel”, otra “ágata pastel” otra “isabela clásica” y otra “ágata clásica”. ¿Cómo será el macho con el que se apareó?

“Si el macho fuera pastel todos las hijas (hembras) serían pastel. Como no es así, el macho debe ser /pastel”

“Como da hijas (hembras)isabela y ágata el macho debe ser /isabela, ya que si fuese isabela daría todas las hijas isabela”

Por lo tanto el macho debe ser Ágata/isabela, pastel, es decir ágata / eumelanina marrón, dilución, pastel.

Comprobación:

Macho: $z^+ rb rz^+ / z rb rz$

Hembra: $z^+ rb rz^+ / 0$

La hembra dará dos tipos de gametos: $z^+ rb rz^+$ y 0 .

El macho posee dos genes ligados al sexo en heterocigosis, por lo que podrá sufrir el proceso de “crossing-over” dando 4 tipos de gametos:

Normales: $z^+ rb rz^+$ y $z rb rz$

Recombinantes: $z^+ rb rz$ y $z rb rz^+$

		Gametos ♀	
		$\frac{1}{2} z^+ rb rz^+$	$\frac{1}{2} 0$
♂ Gametos	$\frac{1}{4} z^+ rb rz^+$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8} z^+ rb rz^+ / 0$ ♀ Agata
	$\frac{1}{4} z rb rz$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8} z rb rz / 0$ ♀ Isabela pastel
	$\frac{1}{4} z^+ rb rz$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8} z^+ rb rz / 0$ ♀ Agata pastel
	$\frac{1}{4} z rb rz^+$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8} z rb rz^+ / 0$ ♀ Isabela

195. Indique dos parejas diferentes de las cuales pueda haber salido la siguiente descendencia: 25% “isabela portador de rubino”, 25% “isabela rubino”, 25% “bruno portador de rubino” y 25% “bruno rubino”.

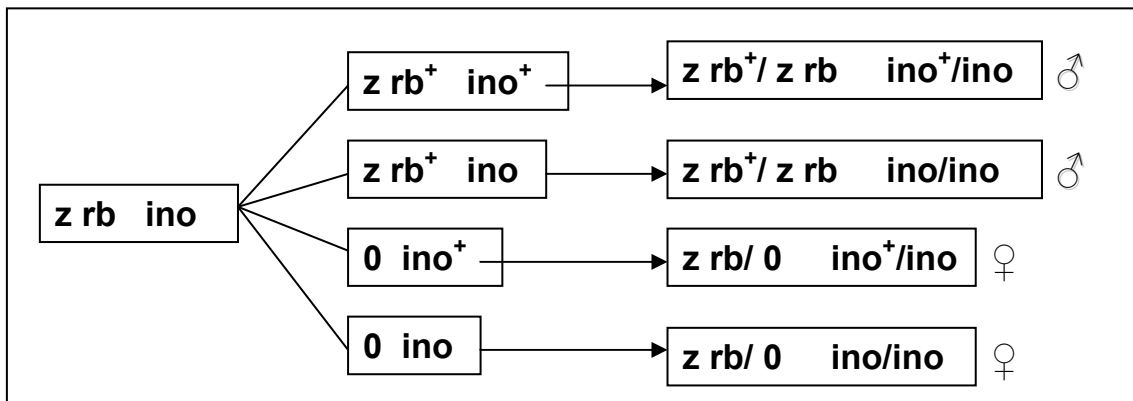
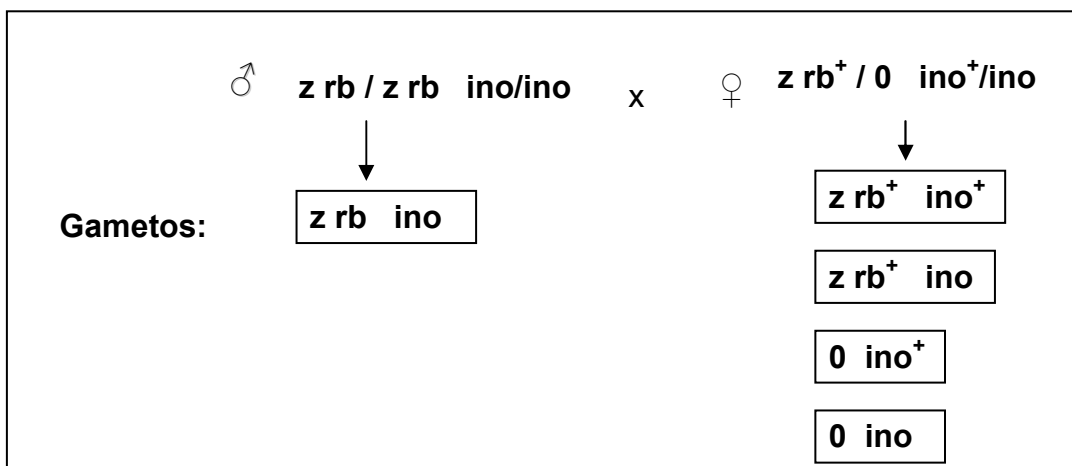
(a) Respecto al carácter *ino* tienen que ser uno *ino* (*ino/ino*) y otro portador de *ino* (*ino⁺/ino*, da igual cuál sea el macho y cuál la hembra).

(b) Para que en la descendencia haya ejemplares isabela y bruno los progenitores pueden ser:

Isabela x bruno o bruno/isabela x isabela

Comprobación:

(1) Isabela *ino* x bruno/*ino*



Descendencia:

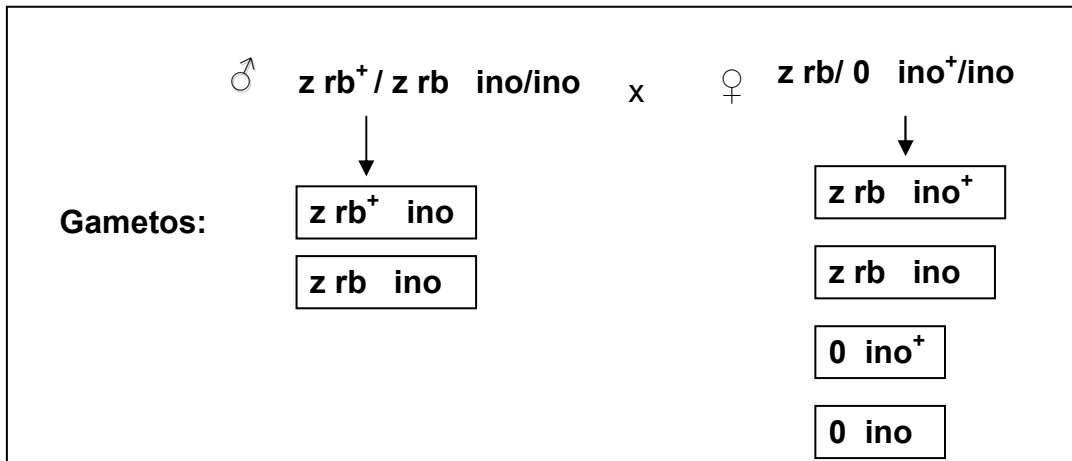
25% Bruno/ z,rb,ino

25% Bruno $ino/z,rb$

25% Isabela/*ino*

25% Isabela *ino*

(2) Bruno ino/isabela (z, rb) x isabela/ino



		Gametos ♀			
		$z\text{ rb } \text{ino}^+$	$z\text{ rb } \text{ino}$	0 ino^+	0 ino
Gametos ♂	$z\text{ rb}^+ \text{ ino}$	1 $z\text{ rb}^+ / z\text{ rb } \text{ino}^+/\text{ino}$ Bruno/ino	2 $z\text{ rb}^+ / z\text{ rb } \text{ino}/\text{ino}$ Bruno ino	3 $z\text{ rb}^+ / 0 \text{ ino}^+/\text{ino}$ Bruno/ino	4 $z\text{ rb}^+ / 0 \text{ ino}/\text{ino}$ Bruno ino
	$z\text{ rb } \text{ino}$	5 $z\text{ rb } / z\text{ rb } \text{ino}/\text{ino}^+$ Isabela/ino	6 $z\text{ rb } / z\text{ rb } \text{ino}/\text{ino}$ Isabela ino	7 $z\text{ rb } / 0 \text{ ino}/\text{ino}^+$ Isabela/ino	8 $z\text{ rb } / 0 \text{ ino}/\text{ino}$ Isabela ino

196. ¿Pueden salir de la misma pareja los siguientes canarios: “bruno pastel”, “ágata pastel”, “ágata clásico”, “bruno clásico”, “isabela pastel” e “isabela clásico”?

Sí.

(1) Como no especifica el sexo de la descendencia, pasteles y clásicos pueden obtenerse si el macho es pastel o portador de pastel y la hembra clásica o también si el macho es /pastel y la hembra pastel.

(2) Para obtener descendencia ágata, bruno e isabela podemos utilizar 3 combinaciones:

(a) Macho negro/z, rb (passe-partout) x Hembra clásica (cualquiera)

(b) Macho bruno x Hembra ágata

(c) Macho ágata x Hembra bruno

Así, por ejemplo con el cruce

Macho negro pastel/z,rb x Hembra clásica (cualquiera)

Obtendríamos ejemplares de esos cuatro fenotipos.

197. De dos canarios de apariencia lipocroma y ojos rojos, nace un canario “verde pastel” ¿Cómo son sus progenitores?

(1) Respecto al carácter pastel, para obtener un macho pastel, se requiere que el padre sea pastel o portador de pastel y la madre también pastel

(2) Se trataría de canarios melánicos de ojos rojos y apariencia lipocrómica, pudiendo ser:

... Agata ino

... Isabela ino

... Satiné diluido

(3) Para que los hijos no tengan los ojos rojos, siendo ambos progenitores de ojos rojos la combinación debe ser:

Macho ino/ino (ojos rojos) x Hembra satiné (ojos rojos)

cuya descendencia será toda de ojos negros.

(4) Por lo tanto las posibles combinaciones de los progenitores serían:

1. Agata ino (pastel o /pastel) x Hembra satiné diluido (negro) pastel

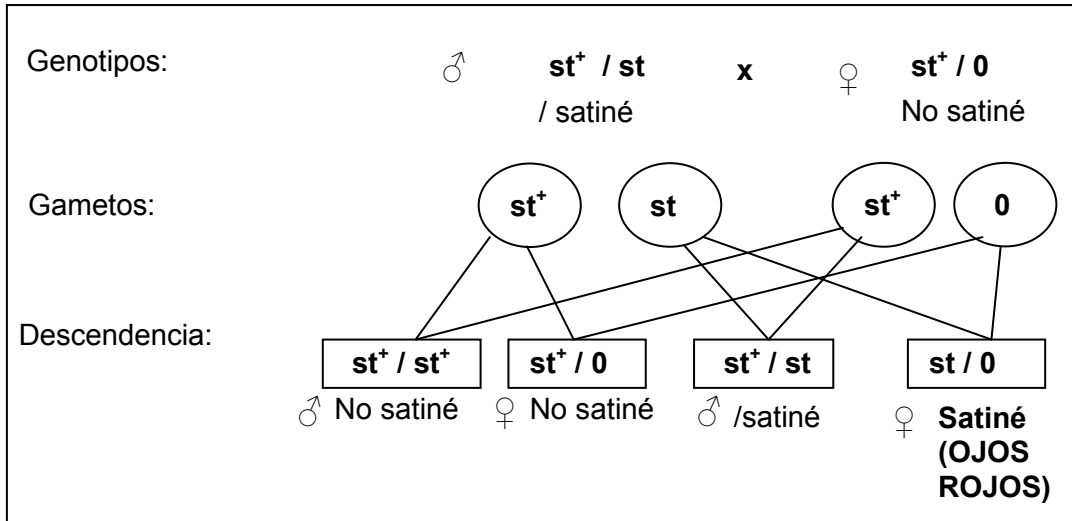
2. Isabela ino (pastel o /pastel) x Hembra satiné diluido (negro) pastel

198. Del cruzamiento de dos canarios lipocromos de ojos negros ¿pueden nacer canarios de ojos rojos? En caso afirmativo, ponga un ejemplo.

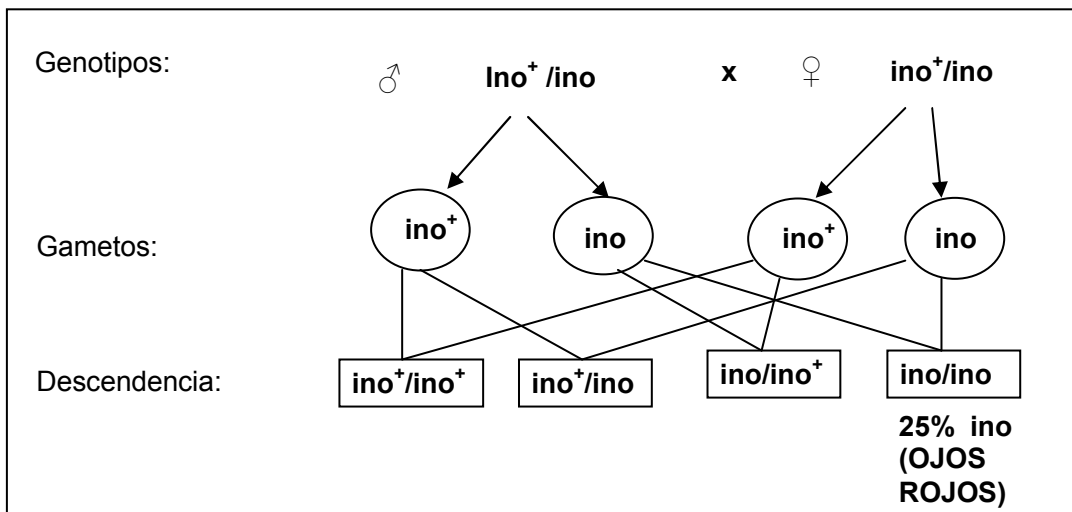
Sí.

Tanto si consideramos el factor satiné como el factor ino puede darse esa circunstancia.

Ejemplo 1: Blanco ojos negros/satiné x Blanco ojos negros



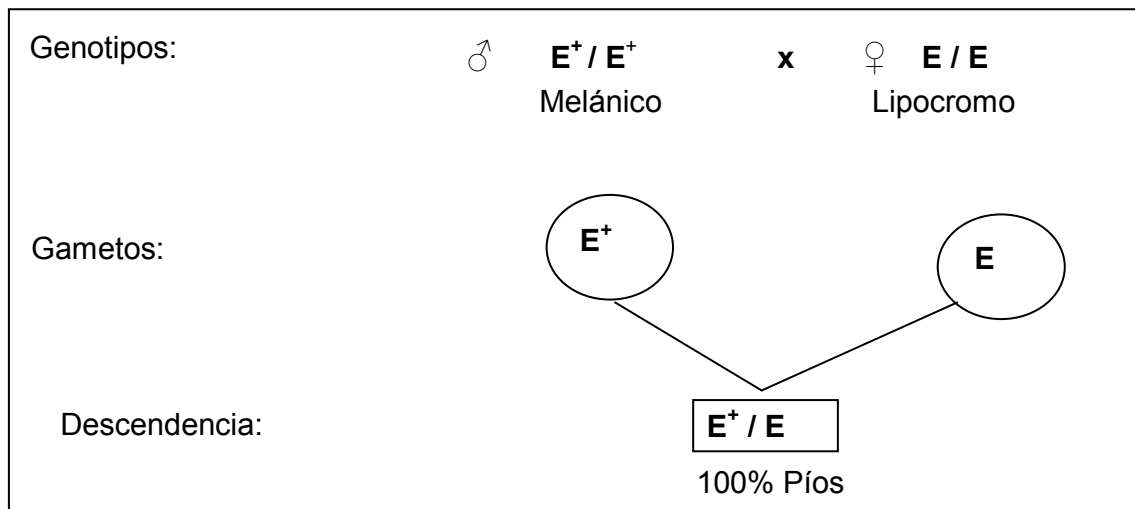
Ejemplo 2: Blanco ojos negros/ino x Blanco ojos negros/ino



199. Del cruzamiento de dos canarios de apariencia lipocroma obtenemos toda la descendencia manchada de lipocroma y melánico. Explique el fenómeno.

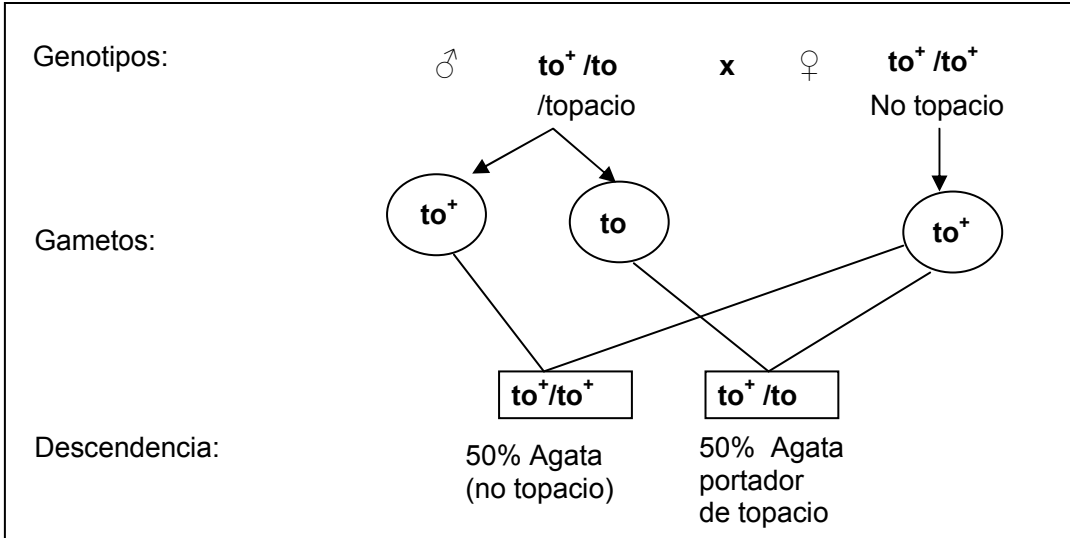
Esto puede deberse a que uno de ellos sea "melánico de apariencia lipocroma".

Ello justifica que toda la descendencia sea de fenotipo "pío" (manchados), ya que los genes para la presencia/ausencia de melanina son codominantes.

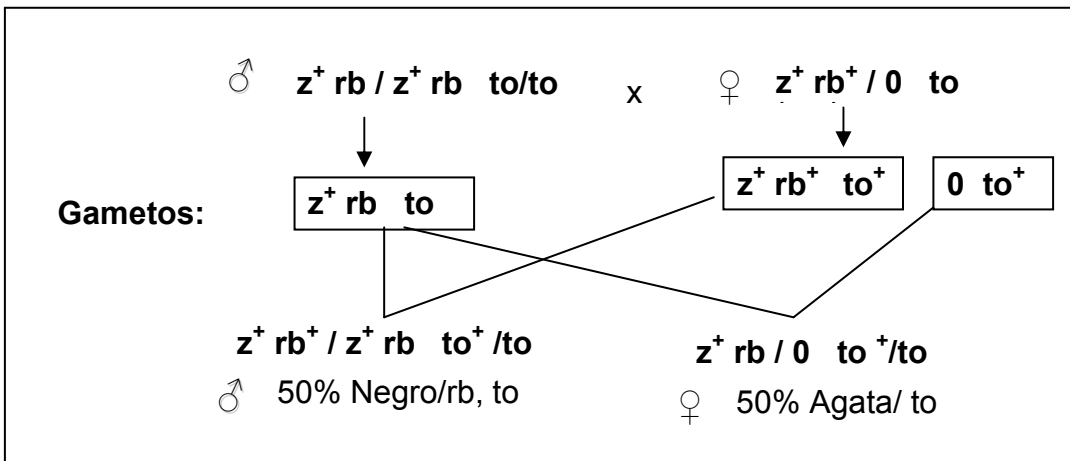


204. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “agata portador de topacio” con una hembra “ágata”.

El factor topacio es “autosómico recesivo”.

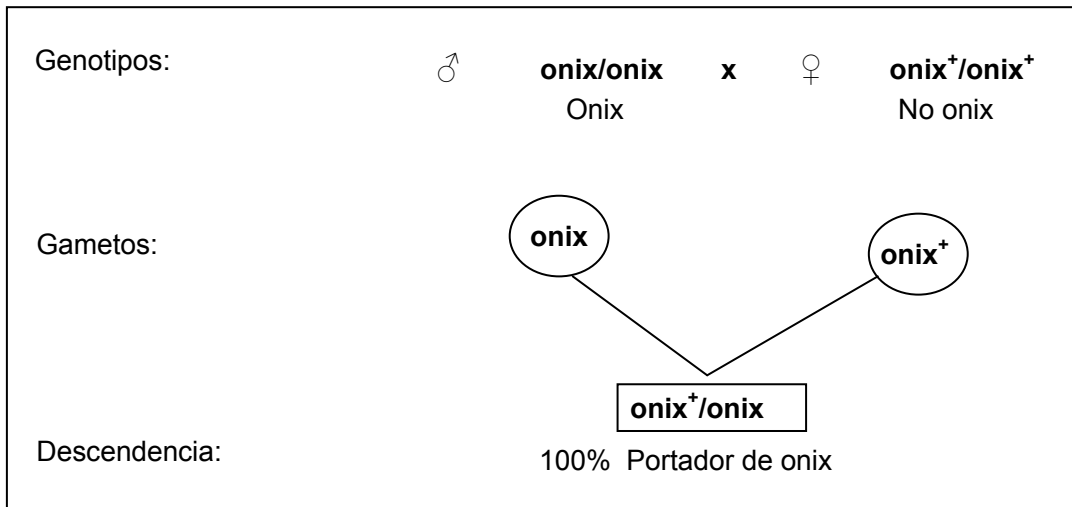


205. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “ágata topacio” con una hembra “negro”.



206. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “verde ónix” con una hembra “verde clásico”.

El factor “onix” es autosómico recesivo.

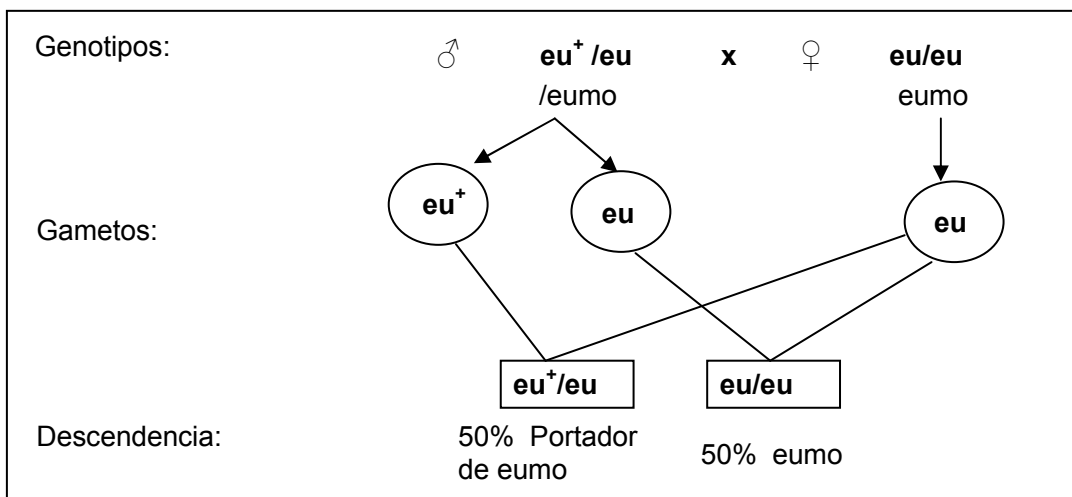


Toda la descendencia será verde clásico/onix.

207. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “gris portador de eumo” con una “gris eumo” y otra “verde no eumo”.

El factor “eumo” es autosómico recesivo.

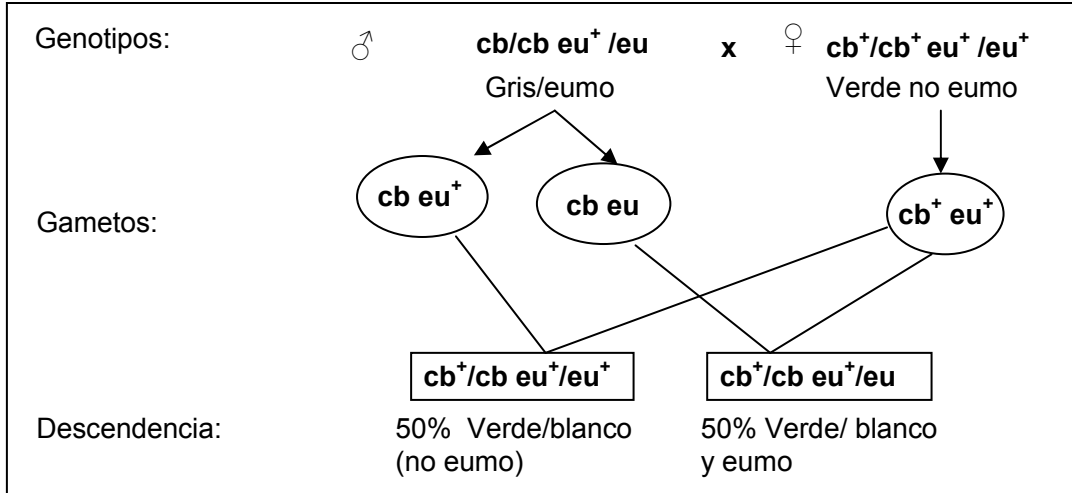
(a) Toda la descendencia gris



(b) gris portador de eumo x verde no eumo (Supongamos que es gris "recesivo")

Genotipo macho: $cb/cb\ eu^+/eu$

Genotipo hembra: $cb^+/cb^+\ eu^+/eu^+$



208. Indique el resultado del cruzamiento de un macho "eumo" con una hembra "portadora de eumo" y otra "no portadora".

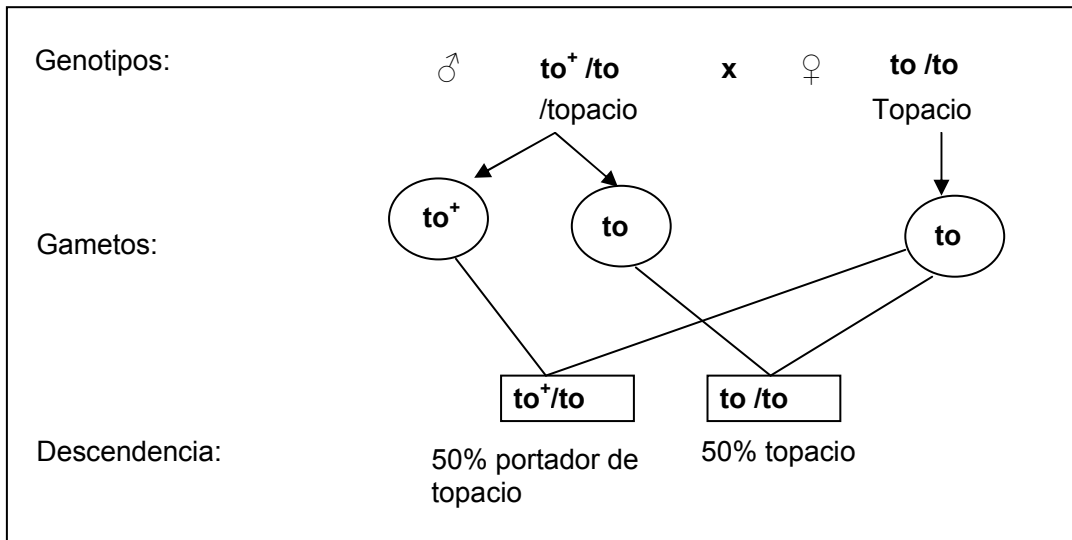
(a) Descendencia: 50% portador de eumo y 50% eumo (Ver 207-a)

(b) eumo (eu/eu) x no eumo (eu^+/eu^+)

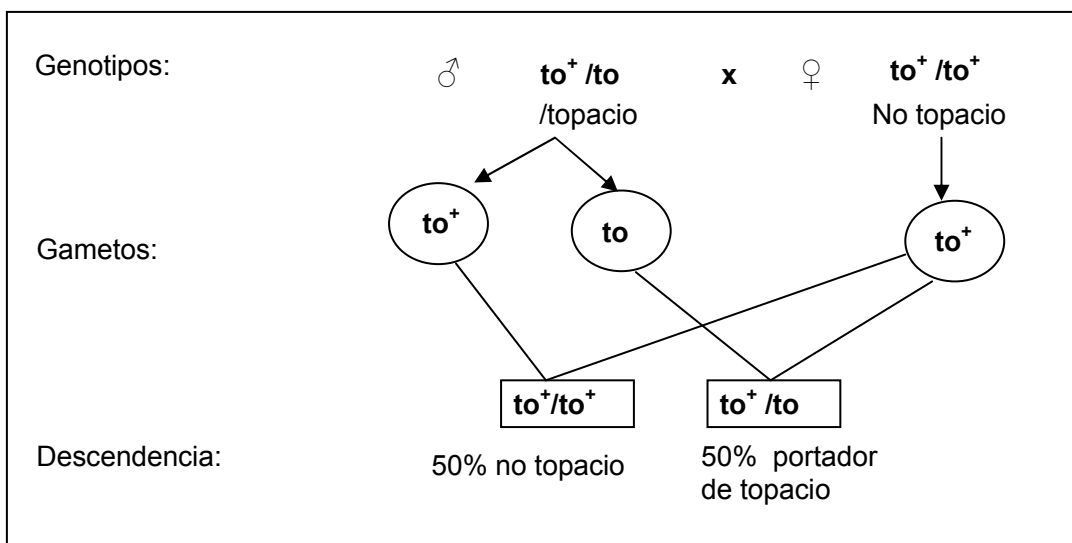
Descendencia: Todos portadores de eumo (eu^+/eu)

209. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “portador de topacio” con una hembra “topacio” y otra “no topacio”.

(a)



(b)



210. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “onix” con una hembra “portadora de onix” y otra “no portadora”.

El factor “onix” es “autosómico recesivo”.

(a) Onix x Portador de onix .

Descendencia: 50% onix y 50% /onix (Ver 207-a)

(b) Onix x no onix.

Descendencia: Todos /onix. (Ver 206)

211. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “no eumo” con una hembra “eumo” y otra “portadora de eumo”.

El factor “eumo” es autosómico recesivo.

(a) No eumo x eumo

Descendencia: Todos /eumo. (Ver 206)

(b) No eumo x Portador de eumo

Descendencia: 50% no eumo y 50% /eumo. (Ver 204)

212. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “verde topacio” con una hembra “ágata portadora de topacio” y otra “no portadora”.

Genotipos:

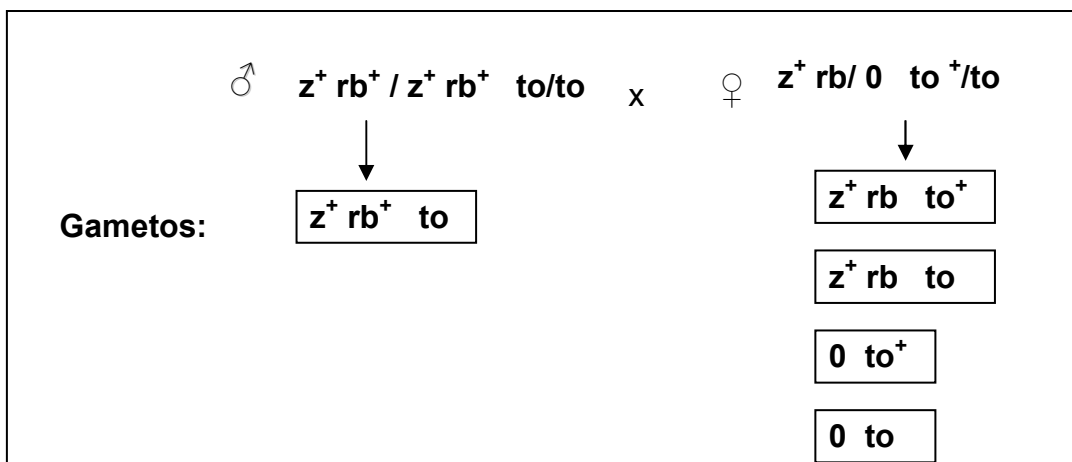
Macho verde topacio: $z^+ rb^+ / z^+ rb^+ \quad to/to$

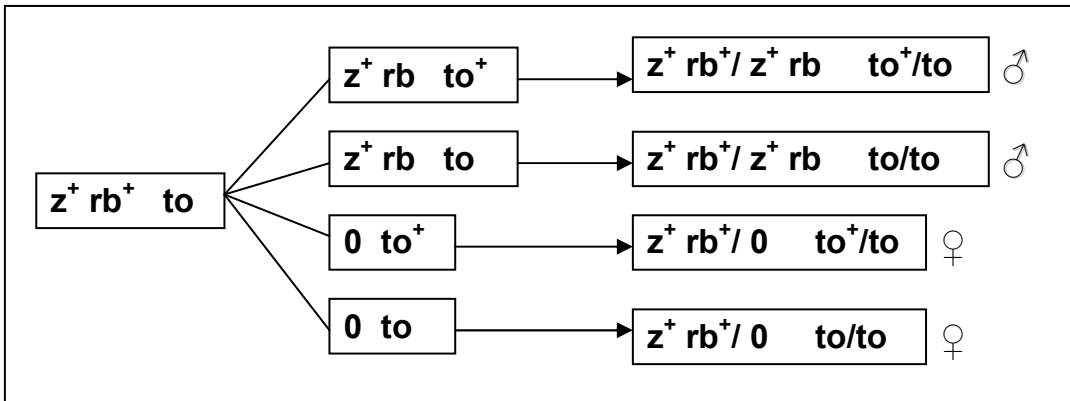
Hembra ágata/topacio: $z^+ rb / 0 \quad to^+/to$

Hembra ágata (no topacio)

(En este caso verde = negro)

(a) verde topacio x ágata/topacio

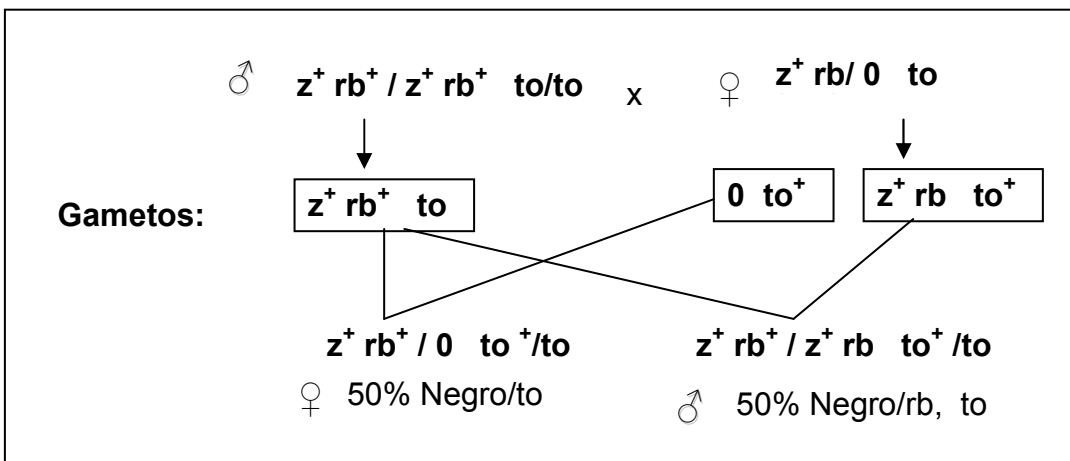




La descendencia será:

- 25% Machos Negro/rb, to
- 25% Machos Negro topacio/rb
- 25% Hembras Negro/topacio
- 25% Hembras Negro topacio

(b) Verde topacio x ágata (no topacio)



213. Indique el resultado del cruzamiento de un macho “portador de onix” con una hembra “onix” y otra “no onix”.

El factor onix es autosómico recesivo.

(a) Portador de onix x onix

Descendencia: 50% onix y 50% /onix. (Ver 209-a)

(b) Portador de onix x no onix

Descendencia: 50% /onix y 50% no onix. (Ver 209-b)