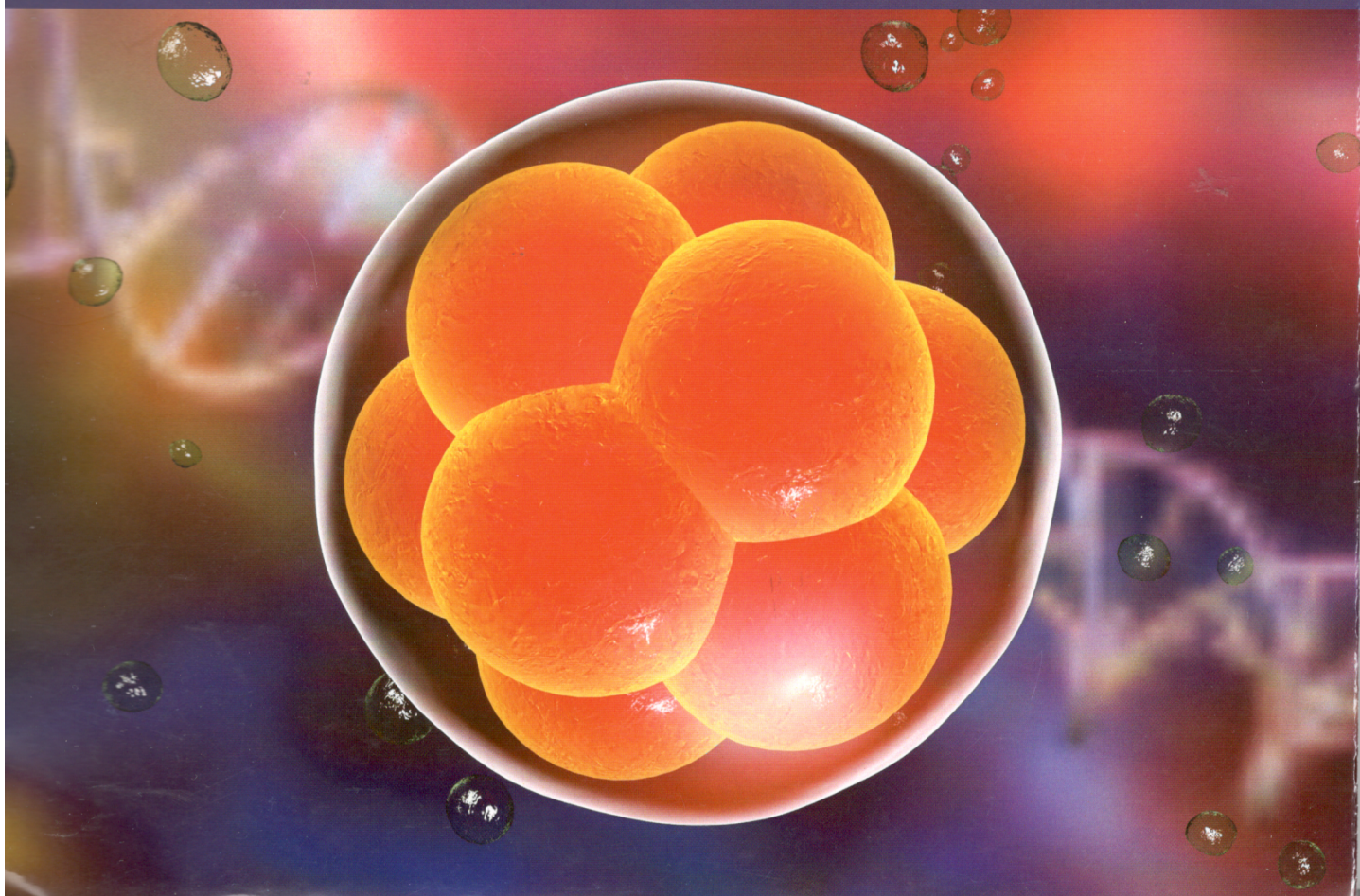




América Nitxin Castañeda Sortibrán
Rosario Rodríguez Arnaiz
COORDINADORAS

PROBLEMAS DE GENÉTICA

CUADERNO DE EJERCICIOS



América Nitxin Castañeda Sortibrán
Rosario Rodríguez Arnaiz

COORDINADORAS

PROBLEMAS DE GENÉTICA

CUADERNO DE EJERCICIOS



576.5076

Problemas de genética : cuaderno de ejercicios / coordinadoras América Nitxin
Castañeda Sortibrán, Rosario Rodríguez Arnaiz. -- 1a edición. -- Ciudad de México :
Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, 2018.
400 páginas : ilustraciones ; 28 cm

Incluye bibliografías.
ISBN 978-607-30-1027-6

1. Genética -- Problemas, ejercicios, etc. 2. Genética -- Estudios de casos. 3.
Biología molecular -- Problemas, ejercicios, etc. I. Castañeda Sortibrán, América
Nitxin, coordinador. II. Rodríguez-Arnaiz, Rosario, coordinador. III. Universidad
Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias, editor.

Biblioteca Nacional de México

No. de sistema [000708633]

PROBLEMAS DE GENÉTICA. CUADERNO DE EJERCICIOS

1a. edición, 25 de septiembre de 2018.

© D.R. 2018. Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria
México 04510, Ciudad de México
editoriales@ciencias.unam.mx

ISBN: 978-607-30-1027-6

Diseño de portada: Eliete Martín del Campo Treviño
Formación interiores: Eliete Martín del Campo Treviño

Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra por cualquier medio,
sin la autorización por escrito del titular de los derechos patrimoniales.

Impreso y hecho en México.

TEMA 3. MODIFICACIONES A LAS PROPORCIONES MENDELIANAS

Horacio Valdemar Bárcenas Rodríguez, Javier Andrés Juárez Díaz y Cristian Aranedá Tolosa

42

- A. Introducción
- B. Serie de problemas
- C. Ejercicios de opción múltiple
- D. Ejercicios de falso/verdadero
- E. Relacionar columnas
- F. Crucigrama
- G. Completar definiciones
- H. Estudio de casos
- I. Referencias

A. Introducción

DOMINANCIA INCOMPLETA Y HERENCIA INTERMEDIA

Sin lugar a duda una de las principales aportaciones de los trabajos de Mendel fue establecer los conceptos de dominante y recesivo. Para el caso de dominancia se espera que para un organismo que tenga dos alelos diferentes para un carácter se exprese sólo el fenotipo de uno de los alelos en condición heterocigota. Sin embargo, cuando los investigadores comenzaron a aplicar estos conceptos en diversos organismos, se observó que muchas características no exhiben este tipo de herencia y se hizo evidente la dominancia incompleta o herencia intermedia, que hace referencia al fenotipo de un heterocigoto que puede ser intermedio entre los fenotipos de dos homocigotos y que tiene como principal modificación una progenie con proporción fenotípica de 1:2:1. Ejemplo de lo anterior es muestra en la coloración de las flores, donde el color de la flor puede ubicarse entre rojo y blanco. Un individuo homocigoto R^1R^1 exhibe color rojo mientras que un individuo homocigoto R^2R^2 exhibe color blanco. Si el heterocigoto R^1R^2 tiene flores de igual color que el homocigoto R^1R^1 , es decir rojas, el alelo R^1 es completamente dominante sobre el alelo R^2 , es decir sobre el blanco, pero cuando el organismo heterocigoto R^1R^2 tiene fenotipo intermedio entre los homocigotos, es decir rosa la dominancia es incompleta. Es importante señalar que no necesita ser exactamente intermedia entre los dos homocigotos puede ser rosa oscuro, rosa o rosa claro, es decir una coloración intermedia entre los dos homocigotos.

CODOMINANCIA

Una de las modificaciones de la herencia mendeliana más interesantes es la codominancia, donde el fenotipo de un organismo heterocigoto incluye los feno-

tipos de ambos alelos, que a diferencia de la herencia intermedia no exhibe un fenotipo intermedio entre los fenotipos de los alelos sino que expresa simultáneamente ambos alelos. Un ejemplo de codominancia se muestra en el grupo sanguíneo ABO, en particular con los genes I^A e I^B , que al heredarse de manera codominante $I^A I^B$ lleva a la producción de antígenos A y B en los eritrocitos.

ALELOS MÚLTIPLES

Inicialmente, Mendel describió que un gen tenía dos alelos que codificaban para una característica; sin embargo, actualmente se ha documentado que la mayoría de los genes presentan más alelos, lo cual se define como alelos múltiples o series alélicas, y hace referencia a la presencia de dos o más alelos en un gen, lo cual tiene como resultado un mayor número de genotipos y fenotipos posibles; en este tipo de herencia también se da una relación de dominancia entre los alelos. Uno de los ejemplos más estudiados con alelos múltiples es el sistema ABO, en el cual la relación de dominancia se puede presentar de la siguiente manera: $I^A > i$, $I^B > i$, $I^A = I^B$; estos tres alelos pueden producir seis diferentes combinaciones de genotipos, $I^A I^A$, $I^A i$, $I^B I^B$, $I^B i$, $I^A I^B$ e ii , y cuatro fenotipos diferentes, A, B, AB y O.

NÚMERO DE ALELOS MÚLTIPLES

En un *locus* el número de combinaciones de genotipos posibles está determinado por el número de alelos involucrados. Este número de genotipos posibles está determinado por $n(n+1)/2$, donde n es el número de alelos diferentes en un mismo *locus*. En el caso de individuos con genotipo homocigoto está determinado por el número de alelos en un *locus* dado, es decir, para el caso en el que un *locus* presente cinco diferentes alelos el número total de homocigotos será cinco. En cuanto al número de posibilidades de *locus* heterocigotos, su número estará determinado por $n(n-1)/2$, donde n corresponde al número de alelos múltiples. Es importante señalar que este tipo de cruces en las que se involucran alelos múltiples también siguen los principios de segregación de Mendel.

NOTACIÓN DE GENES

La estandarización de la simbología juega un papel muy importante para establecer reglas para la denominación de símbolos para genes, alelos y genotipos para organismos diploides y haploides. Una de las nominaciones más aceptada entre los genetistas es la utilización de una letra mayúscula en itálica para el alelo dominante y minúscula para su alternativa recesiva. La letra elegida para un gen conocido es usualmente representativa para un rasgo dominante, tal como *A*, *a* para el alelo dominante de pigmentación normal y recesivo para albinismo, respectivamente. Los genotipos diploides posibles para tal par de gen pueden ser *AA*, *Aa* y *aa*. Para el caso de la mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster*) se emplea también la información acerca de la dominancia y recesividad descrita; además, en esta especie toda la nomenclatura genética es derivada de las siglas

en inglés. Los genes en esta especie están designados por una letra en minúscula para representar un rasgo mutante cuando es recesivo con respecto al silvestre. Ejemplo de esto es el gen *bw*, que confiere el color café al ojo de la mosca, mientras que el alelo más común para el gen café en las poblaciones es *bw*, es decir el tipo silvestre. El superíndice + indica el alelo para el tipo silvestre de un gen que, como se comentó, se usa si el rasgo mutante es dominante o recesivo. Los símbolos, por lo tanto, indican si la forma mutante es dominante o recesiva y cuál alelo es de tipo silvestre. Para el caso de los múltiples alelos de un gen, estos se distinguen por los superíndices, tales como los alelos en el *locus* de ojos blancos en *Drosophila*, *white* cuyo símbolo es *w*. El alelo tipo silvestre w^+ que codifica un color de ojo silvestre es dominante sobre el gen *w* que tiene ojo blanco. El alelo silvestre para los genes en *Drosophila* y otros organismos es usualmente abreviado como +, y el gen mismo se identifica por el alelo mutante presente, tal como *w* o *b*. Las moscas silvestres tendrían genotipos homocigoto (++) o heterocigoto (+*w*) si el alelo silvestre es dominante, o solamente homocigoto (++) si el alelo silvestre es recesivo para sus alternativas mutantes. El genotipo diploide es usualmente indicado como +/+, +/*w* o alguna notación similar. La diagonal indica que los dos alelos de un gen están presentes en el par de cromosomas que tienen el mismo juego de genes (cromosomas homólogos). Esta notación es particularmente útil al distinguir genes en el mismo cromosoma de genes que se encuentran en diferentes cromosomas. Usando los genes hipotéticos *c* y *d*, las notaciones de genotipos *cd*/++ o *c*+/*d* indican que los genes *c* y *d* están presentes en el mismo cromosoma. Si estos dos genes se encuentran en diferentes cromosomas, el genotipo se escribiría como *c/c d/d*, *c/+ d/+*, o alguna otra combinación de los dos pares de alelos de un individuo en particular. Las diagonales muestran inmediatamente si los genes están o no presentes en el mismo cromosoma. Si la ubicación de los genes es desconocida, los genotipos se pueden escribir como *ccdd*, *c+d+*, *ccd+* y así para especies diploides, ya que sus genes y cromosomas se presentan en parejas. La notación que se utiliza para el caso de los alelos codominantes es la identificación por superíndices. En los humanos, los genes se simbolizan de varias maneras. El ejemplo más utilizado se muestra en los grupos sanguíneos ABO, donde dos alelos son codominantes y son I^A e I^B , más un tercer alelo recesivo a ambos, *i*. Para el caso de otros organismos como bacterias y otros microorganismos eucariontes, se utilizan los superíndices alélicos + y – que indican la presencia o ausencia de una molécula o de una función. Por ejemplo, las células que crecen independientemente de la arginina en medio de cultivo son arg^+ , y aquellas que requieren arginina para crecer se designan como arg^- . Estas notaciones de superíndices no implican dominancia o recesividad.

GENES LETALES

Un genotipo que causa la muerte es letal por definición. Algunos genes alteran la viabilidad en los individuos portadores, si el gen en cuestión es dominante el homocigoto morirá, situación que también puede ocurrir cuando el gen en

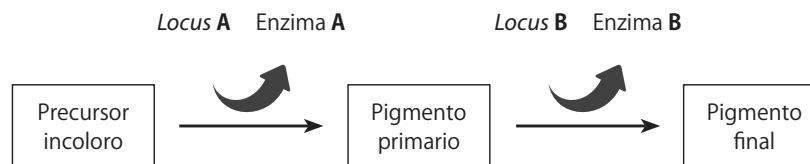
cuestión es recesivo; es decir, existen genes letales dominantes y recesivos. En el caso de los genes letales, estos suelen expresarse en los heterocigotos, en los que disminuyen la viabilidad de la descendencia. Uno de los cambios más importantes es la modificación en la proporción mendeliana, que de 3:1 pasa a 2:1 ya que desaparece de la población el 25% de los individuos.

La muerte originada por enfermedades genéticas puede ocurrir en cualquier etapa del desarrollo. Ejemplo de esto es la enfermedad de Tay-Sachs, que es letal a la edad de tres o cuatro años; otro ejemplo es la enfermedad de Huntington, que es letal hasta una edad avanzada. Sin embargo, en sentido evolucionista, en una población un genotipo letal tiene un significado específico y se refiere a la muerte antes de que el individuo se pueda reproducir, lo cual previene que los genes pasen a la siguiente generación.

Un ejemplo descrito recientemente sobre genes letales es el caso del perro mexicano xoloitzcuintle, donde un alelo dominante codifica perros con poco pelo (hairless), pero al presentarse los dos alelos dominantes causa la muerte del embrión. Los criadores han optado por cruzar ejemplares de xoloitzcuintle con poco pelo, porque a pesar de que se pierde un cuarto de la progenie se mantiene la línea de perros con poco pelo de acuerdo con el estándar racial.

INTERACCIÓN GÉNICA Y EPISTASIS

Una vez redescubiertas las leyes de Mendel se observó que al hacer cruzamientos dihíbridos en la generación F_2 aparecían proporciones fenotípicas distintas de la clásica 9:3:3:1, o que tal proporción 9:3:3:1 ocurría sólo para un carácter, como por ejemplo el tipo de crestas en las gallinas y no para la combinación de dos caracteres independientes, como color y textura de la semillas de alverjas estudiadas por Mendel. Este fenómeno, denominado interacción génica, ocurre cuando dos o más genes no alélicos (loci) determinan una sola característica fenotípica. Por ejemplo, cuando dos loci actúan en la misma vía metabólica, en la que para obtener un fenotipo final funcional se requiere que participen varias enzimas sobre precursores derivados de reacciones enzimáticas previas. En la siguiente figura hay dos loci (A y B), la enzima codificada por el *locus* A transforma un precursor incoloro en un pigmento primario, el que es transformado por la enzima B (codificada por el *locus* B) en el pigmento final.



De este modo, la presencia de alelos dominantes en ambos loci (genotipo 1) va a determinar la producción del pigmento final negro. Esto se muestra en la tabla derivada de un cruzamiento entre dos individuos, F_1 doble heterocigotos $Aa Bb \times Aa Bb$.

Genotipo	Proporción esperada	Fenotipo	Proporción esperada
1) $A_B_$	9		9
2) A_bb	3		3
3) $aaB_$	3		4
4) $aa\ bb$	1		

En el genotipo 2 el alelo dominante en el *locus A* hace que el precursor incoloro sea transformado al pigmento primario, pero la presencia de alelos recesivos en el *locus B* produce una enzima B no funcional, que no puede catalizar la síntesis de pigmento final al partir del pigmento primario, acumulándose de este modo el pigmento primario gris. En los genotipos 3 y 4 la falla la producción de una enzima funcional ocurre antes en la vía metabólica, en el *locus A*, por lo tanto no se produce el pigmento primario y solo hay acumulación de precursor incoloro, produciéndose un fenotipo blanco, desviando la proporción F_2 desde 9:3:3:1 para cuatro fenotipos a 9:3:4 para tres fenotipos. Esta proporción de 9:3:4 se conoce como epistasis recesiva y es una de las interacciones génicas más comunes. En las epistasis, los alelos de un gen (*locus*) enmascaran o suprimen la expresión de alelos ubicados de otro gen (*locus*) diferente. El gen que produce tal supresión se llama gen epistático, mientras que el suprimido se llama hipostático. Si el alelo que suprime la expresión es dominante, el fenómeno se llama epistasis dominante; por el contrario, si el alelo que produce la supresión es recesivo la interacción se llama epistasis recesiva. Algunas veces, en ambos loci los alelos dominantes son epistáticos, dando lugar a la epistasis dominante doble (algunas veces llamada genes dominantes duplicados), o en ambos loci los alelos recesivos son los epistáticos para dar lugar a la epistasis recesiva doble (también llamada genes recesivos duplicados). En la siguiente tabla se muestran las principales interacciones génicas descubiertas al trabajar con dos genes (loci) independientes (dihibridismo).

Tabla 1. Interacción génica. Adaptada de W. Stansfield 1989. *Teoría y Problemas de Genética*. Editorial McGraw-Hill Interamericana, página 57.

Interacción	Fenotipos			
	$A_B_$	A_bb	$aaB_$	$aabb$
Proporción clásica	9	3	3	1
Epistasis dominante	12		3	1
Epistasis recesiva	9	3	4	
Genes con efecto acumulativo	9	6		1
Epistasis dominante doble - Genes dominantes duplicados	15			1
Epistasis recesiva doble - Genes recesivos duplicados	9	7		
Interacción dominante - recesivo	13		3	0

CODOMINANCIA EN PLANTAS

Sistema de autoincompatibilidad en angiospermas

¿Cómo es posible que las plantas, al ser organismos sésiles que no pueden ir al encuentro de su pareja y en general con características tan diferentes a las de los animales, puedan elegir con quién tener descendencia?

Las plantas evitan tener descendencia con individuos genéticamente muy relacionados (*e.g.* entre individuos provenientes de los mismos progenitores o entre ellas mismas, lo cual es posible debido a la condición hermafrodita de la mayoría de las angiospermas), promoviendo así la fecundación cruzada y aprovechando al máximo la ventaja biológica de la reproducción sexual que favorece el aumento de la variabilidad genética a lo largo de las generaciones. Esta característica es posible gracias a que las plantas son capaces de reconocer y discriminar "lo propio" de "lo no propio", rechazando al primero; es decir, las plantas son capaces de identificar y distinguir a un polen que proviene de la misma planta (con información genética muy similar), sobre el cual se desencadenará una respuesta de rechazo, de otro polen proveniente de un individuo diferente (*i.e.* con una carga genética distinta), al cual aceptará y por lo tanto podrá llevar a cabo la fecundación. A este fenómeno se le conoce como autoincompatibilidad (AI) sexual.

La AI es uno de los sistemas más importantes utilizados por muchas angiospermas para evitar la autofecundación, promoviendo así la generación y el mantenimiento de la diversidad genética dentro de una especie. Una característica principal de los sistemas de AI es el gran número de alelos, pero aún más interesante es la presencia de la acción individual o codominancia de dichos alelos en los estilos diploides.

La base de los sistemas de AI es el reconocimiento entre la parte femenina de la flor (pistilo) y la parte masculina (polen). Ambos expresan una determinante de especificidad, denominada determinante S. Estos genes se encuentran estrechamente ligados en el llamado *locus S* y, por lo tanto, segregan como unidad mendeliana. La determinante de especificidad femenina, producto del *locus S* en el pistilo, interacciona e identifica a su contraparte, la determinante de especificidad masculina, como propia o no. Esta última determinante es el producto S del polen y, como se mencionó, también está codificada en el *locus S*.

Actualmente se han descrito dos sistemas generales de AI homomórficos: el esporofítico y el gametofítico. De este último se conocen dos mecanismos, el que se basa en la función de las ribonucleasas del *locus S* (S-RNAsas) y el de la familia *Papaveraceae* (Tabla 1).

Tabla 2. Determinantes masculinas y femeninas de la especificidad alélica en las diferentes familias y en los sistemas de AI homomórficos.

Tipo de AI	Familias donde se presenta	Determinante masculina	Determinante femenina
Esporofítico	Brassicaceae	SCR	SRK
Gametofítico	Solanaceae, Rosaceae, Scrophulariaceae	SLF	S-RNasa
	Papaveraceae	PrpS	PrsS

En el sistema de AI esporofítico, el fenotipo de identificación de los granos de polen está determinado por el genotipo diploide de la planta que los produce. La determinante S del polen se expresa en el tapetum, tejido esporofítico (2n) de la pared de la antera. En contraste con este sistema, en la AI gametofítica es el fenotipo haploide de los granos de polen al que identifica la parte femenina. Esto ocurre porque la determinante S del polen se expresa exclusivamente en el gametofito masculino, una vez que la meiosis ha finalizado y las microsporas están formadas (genotipo haploide). En el caso de las solanáceas (*e.g. Nicotiana glauca*; Figura 1A) este reconocimiento, y en su caso rechazo, ocurre en el estilo, mientras que en las papaveráceas (*e.g. Papaver rhoeas*; Figura 1B) y brasicáceas, se lleva a cabo a nivel estigmático.

De acuerdo con la información anterior, en ambos sistemas una planta S_1S_2 expresará en el pistilo a las determinantes S_1 y S_2 (*i.e.* codominancia), por lo que será capaz de reconocer como propio y rechazar a los granos de polen S_1S_n y S_nS_2 (donde n es cualquier alelo) en el caso del sistema esporofítico, y S_n (donde $n = 1$ o 2) en el caso del gametofítico.

Desde el punto de vista del reconocimiento alélico, la AI esporofítica es mucho más restrictiva que la gametofítica, en la que se pueden dar cruza semi-compatibles o parcialmente compatibles. Por ejemplo, en una cruza $S_1S_2 \times S_1S_3$, la planta aceptará (*i.e.* no rechazará) a los granos de polen S_3 , teniendo en la progenie a los genotipos S_1S_3 y S_2S_3 . Estas cruza son imposibles en el sistema esporofítico; es decir, $S_1S_2 \times S_1S_3$ es una cruza incompatible porque el pistilo S_1S_2 rechaza a los granos de polen S_1S_3 debido al reconocimiento del alelo S_1 . Por lo tanto, para que la planta S_1S_2 pueda ser fecundada deberá ser polinizada por una planta S_nS_p , donde tanto n como $p \neq 1$ o 2 ; es decir, ningún alelo debe coincidir con alguno de los dos de la planta receptora. De esta manera, en ambos casos la progenie es genéticamente diferente a ambos progenitores. Sin embargo, se ha observado que algunos alelos en el sistema de AI esporofítico se comportan como dominantes sobre otros en el polen, y en algunos casos en el pistilo, dándose como resultado la presencia de homocigotos en la población. Por ejemplo, si el alelo S_1 es dominante sobre el S_2 en el polen, la cruza $S_2S_3 \times S_1S_2$ es compatible y se obtendrían los genotipos S_1S_2 , S_1S_3 y S_2S_2 en la progenie. Esto da como resultado que el sistema de AI gametofítico sea más estricto debido a que esta relación de dominancia-recesividad no se observa en el polen ni en el pistilo de las plantas que lo presentan.



Figura 1. Dos especies que presentan el sistema de AI gametofítico: *Nicotiana glauca* (A; cortesía de F. Cruz-García, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México) y *Papaver rhoeas* (B; cortesía de V.E. Franklin-Tong, Department of Biosciences, University of Birmingham, Reino Unido).

B. Serie de problemas

1. Dos loci controlan el color de los bulbos de cebolla. Una variedad roja pura se cruza con una blanca pura produciendo una progenie F_1 totalmente roja. La F_2 obtenida consistía en 47 bulbos blancos, 38 amarillos y 109 rojos.

a) ¿Cuál es la proporción F_2 esperada?

b) ¿Cuál es el nombre de esta interacción génica?

c) Si otra F_2 fuese derivada de este cruzamiento, y 5 bulbos F_2 fueran de genotipo doble recesivo ¿Cuántos bulbos se esperarían en cada clase fenotípica (roja, blanca y amarilla)?

2. En el frijol dulce *Lathyrus odoratus* los loci L y Lb interactúan epistáticamente afectando la longitud internodal. En el locus L el alelo dominante determina plantas altas, mientras que su alelo recesivo determina plantas enanas. Por otro lado, en el locus Lb el alelo recesivo (lb) determina plantas semienanas sin importar qué alelo esté presente en el locus L (Ross *et al.*, 1990). Se cruzaron plantas semienanas con plantas enanas, ambas líneas puras, la F_1 fue de sólo plantas altas, mientras que en la F_2 se obtuvo la siguiente distribución de fenotipos: 53 plantas altas, 24 semienanas y 18 enanas. Con los datos precedentes plantee un modelo genético para la herencia de la altura en el frijol dulce:

3. Un tipo de sordera en humanos es causada por dos loci no ligados (D y E) que interactúan entre sí. El gen recesivo (d) determina el nervio auditivo dañado y el gen recesivo (e) determina huesos auditivos anormales. Los alelos dominantes en ambos loci determinan nervio y huesos auditivos normales, respectivamente. Considere un matrimonio compuesto por individuos normales doble heterocigotos para estos loci y responda las siguientes preguntas:

a) Complete el cuadrado de Punnett para este matrimonio.

b) ¿De qué tipo de interacción génica se trata?

c) ¿Cuál es la probabilidad de obtener un descendiente sordo en un nacimiento asilado?

d) ¿Cuál es la probabilidad de tener un descendiente normal en un nacimiento asilado?

Si el matrimonio planea tener cinco hijos:

e) ¿Cuál es la probabilidad de que dos descendientes sean sordos?

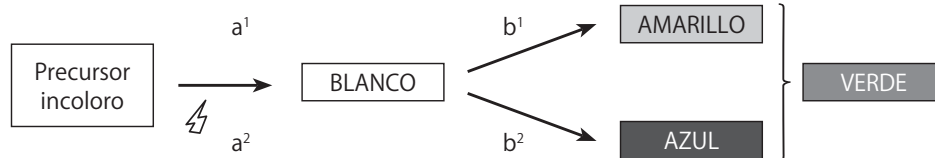
f) ¿Cuál es la probabilidad de que todos los descendientes escuchen?

4. En el pez dorado (*Carassius auratus*) la herencia del fenotipo albino se debe a la interacción de los loci M y S. Al cruzar peces oscuros (*MMss*) con peces claros (*mmSS*), ambas líneas puras, la F_1 es de color oscuro (*MmSs*). En la F_2 se obtuvo: 230 peces oscuros, 67 peces claros y 23 peces albinos.

a) ¿Qué tipo de interacción génica presenta la herencia del fenotipo albino en el pez dorado

b) Calcule mediante una prueba de bondad de ajuste la proporción fenotípica esperada para la interacción génica elegida por usted.

5. El color de las flores de una planta está determinada por la acción de dos enzimas, con dos variantes cada una, como se muestra en la figura:



La enzima a_1 permite la formación del precursor incoloro, y su variante a_2 no permite tal reacción (la flor es entonces blanca). Si a_1 está presente existe la posibilidad de la acción de la enzima b_1 que produce pigmento amarillo, o bien de la enzima b_2 que produce pigmento azul, o bien de las dos enzimas produciendo ambos pigmentos (la flor es entonces verde). Si los alelos asociados a la síntesis de las enzimas a_1 , a_2 , b_1 y b_2 se simbolizan como A , a , B_1 y B_2 respectivamente,

- a) Escriba el (o los) genotipo(s) de plantas de flores blancas, amarillas y azules.

- b) Rellene el tablero de Punnett e indique la proporción fenotípica obtenida de un cruzamiento entre dos dobles heterocigotos.

6. En la vía metabólica de los antígenos de superficie que determinan el grupo sanguíneo ABO en humanos hay un intermediario, el antígeno H, necesario para la producción de los antígenos A o B producidos por el *locus I*. La síntesis del antígeno H está bajo el control del *locus H*, donde el alelo recesivo (*h*) determina la no producción de tal antígeno, y por lo tanto la no producción posterior de los antígenos A y B. Por lo tanto, individuos de genotipo $hh I^A_-$, $hh I^B_-$ y $hh I^{AB}$, no presentan antígenos, y en las pruebas sanguíneas con anticuerpos aparecen como de grupo sanguíneo cero (O) a pesar de no ser de genotipo *ii*. Este es el llamado Fenotipo Bombay.

a) Si dos individuos de grupo sanguíneo A y doble heterocigotos para los loci de los antígenos A y H tienen descendencia, ¿cuál será la proporción fenotípica de la progenie?, ¿de qué interacción génica se trata?

b) Si en el ejemplo anterior uno de los individuos, también doble heterocigoto para estos loci, presentaba el grupo sanguíneo B, ¿cuál será la proporción fenotípica de la descendencia?

- c) Si ambos individuos son de grupo sanguíneo AB y también heterocigotos para H, ¿cuál será la proporción fenotípica en los hijos?

56

7. Recientemente se documentó que la ardilla gris (*Sciurus carolinensis*) presenta tres tipos de coloración del pelaje, gris E^+E^+ , negro $E^B E^B$ y café oscuro E^+E^B . (McRobin *et al.*, 2009). Al cruzar individuos con pelaje café oscuro de esta especie de ardilla cuál será la probabilidad de obtener crías con los siguientes fenotipos:
- a) gris
 - b) negro
 - c) café oscuro

8. Si se cruzaran ardillas de pelaje gris con ardillas de pelaje café oscuro, ¿cuál sería el porcentaje de hijos de coloración negra?

9. Cuando se cruzan ardillas de pelaje negro con ardillas de pelaje gris, qué porcentaje de la F_1 tendrán coloración gris y negra.

10. La ardilla gris presenta tres fenotipos en la coloración del pelaje, ¿cuántos alelos esperarías que estuvieran involucrados en este gen?, ¿por qué?

11. El perro chino crestado presenta diferentes cantidades de pelaje, en su mayoría son animales sin pelaje H^+H^E y sólo presentan un poco en la zona de la cabeza, estos ejemplares son heterocigotos, mientras que cuando presentan un genotipo homocigoto dominante son perros con pelaje H^+H^+ (Drögemüller *et al.*, 2008), por lo cual se determinó que la herencia que determina la cantidad de pelaje de esta raza es dominancia incompleta. Al cruzar dos perros, uno con genotipo heterocigoto H^+H^E , es decir con poco pelaje, con un perro con pelaje completo H^+H^+ , ¿qué porcentaje de la descendencia tendría pelaje silvestre?

12. Al cruzar plantas de líneas puras de boca de dragón de flores rojas con flores de blancas, ¿qué porcentaje de su descendencia tendrá flores de la coloración de alguno de sus progenitores?

13. ¿Cuál será el resultado de cruzar plantas de flores rosas con plantas de flores blancas?

58

14. El *locus* *L* codifica para antígenos eritrocíticos, los alelos L^M y L^N presentes en este *locus* exhiben codominancia. A continuación se muestran cruces en las que se pide señalar los genotipos, fenotipos y las proporciones esperadas en la descendencia:

a) $L^M L^N \times L^M L^N$

b) $L^M L^M \times L^M L^N$

c) $L^N L^N \times L^M L^N$

15. La síntesis de la hemoglobina es determinada por el gen $Hb\beta$ y cuenta con dos alelos Hb^A , que se considera como el más común, y el Hb^S ; estos dos alelos muestran codominancia a nivel molecular, pero a nivel fenotípico el alelo Hb^A se comporta dominante; en condición homocigota el alelo Hb^S produce anemia falciforme, que da como resultado la formación de grumos que obstruyen los capilares. Describe el efecto de codominancia a nivel molecular y fenotípico de las siguientes cruza:

a) $Hb^A Hb^S \times Hb^S Hb^S$

b) $Hb^A Hb^A \times Hb^A Hb^S$

c) $Hb^A Hb^S \times Hb^A Hb^S$

16. El grupo sanguíneo ABO también exhibe codominancia en sus alelos I^A y I^B , lo que conduce al genotipo $I^A I^B$ a la producción de antígenos A y B en los eritrocitos. Determina los genotipos y qué tipo de antígenos producirá la descendencia de la cruce entre individuos con genotipos $I^A i \times I^B i$.

17. Si una planta de *Nicotiana glauca* $S_1 S_2$ es polinizada con una planta $S_2 S_3$:

a) ¿Cuáles son los genotipos/fenotipos esperados en la progenie en cuanto a su haplotipo S ?

b) ¿Qué genotipos/fenotipos se esperan en la progenie de la cruce anterior si la especie fuera *Brassica sp.*?

18. ¿Cuáles serían las clases genotípicas y cómo se comportarían fenotípicamente en cuanto a la especificidad S de los granos de polen producidos por una planta S_2S_3 de las siguientes especies?

- a) *Brassica napus*
- b) *Petunia inflata*
- c) *Papaver rhoeas*
- d) *Solanum lycopersicum*
- e) *Arabidopsis lyrata*

19. Una manera de saber si una especie presenta el sistema de AI esporofítico o gametofítico es realizando autocruzas y retrocruzas para evaluar si se produce una cruce compatible (+), incompatible (-) o parcialmente compatible (\pm). Si la cruce inicial es $S_1S_2 \times S_3S_4$, conteste las siguientes preguntas:
- ¿Cuáles serán los genotipos/fenotipos de la progenie? (apuntarlos en las casillas correspondientes en cada tabla).
 - Rellena en la tabla el resultado esperado en cuanto al tipo de cruce en cada caso para cada uno de los sistemas de AI (+: compatible; -: incompatible; \pm : parcialmente compatible).

Sistema de AI esporofítico

		Padres		Progenie			
		S_1S_2	S_3S_4				
♀	♂						
♀	♂						
♀	♂						
♀	♂						

Sistema de AI esporofítico

		Padres		Progenie			
		S_1S_2	S_3S_4				
♀	♂						
♀	♂						
♀	♂						
♀	♂						

i) Si la especie anterior presentara AI gametofítica, ¿cuántas cruzas compatibles se esperarían?

ii) Si la especie anterior presentara AI gametofítica, ¿cuántas cruzas incompatibles se esperarían?

iii) Si la especie anterior presentara AI esporofítica, ¿cuántas cruzas compatibles se esperarían?

iv) Si la especie anterior presentara AI esporofítica, ¿cuántas cruzas incompatibles se esperarían?

v) ¿Bajo cuál sistema hay menos posibilidad de cruzas? Explique brevemente.

20. Se ha observado que en la AI esporofítica algunos alelos pueden actuar independientemente en el estigma y en el polen, y presentar incluso dominancia completa. Una consecuencia de esta dominancia es que se presenten homocigotos recesivos en la población. Por ejemplo, si el alelo S_1 es dominante al S_2 en el polen, a partir de la cruda $S_2S_3 \times S_1S_2$, que ahora es compatible, se espera obtener homocigotos S_2S_2 en la progenie. ¿Cómo quedaría entonces la tabla de cruzas del ejercicio anterior si se diera esta misma relación de dominancia entre los alelos S_1 y S_2 ?

Cruza: $S_1S_2 \times S_3S_4$ (S_1 dominante sobre S_2 en el polen)

		Padres		Progenie				
		S_1S_2	S_3S_4					
♀	♂	S_1S_2						
		S_3S_4						
♀	♂	Padres	S_1S_2					
			S_3S_4					
		Progenie	S_1S_2					
			S_3S_4					

21. Un caso clásico en el que hay dominancia incompleta (otra variante de la dominancia) en plantas es el color de los claveles. Una planta homocigota con flores rojas ($C^R C^R$), cuando se cruza con una planta con flores blancas ($C^B C^B$), produce una progenie con el 100% de plantas con flores rosas. Si se permite que la F_1 se autofecunde se obtienen plantas de los tres fenotipos.

a) ¿Qué genotipo tienen los individuos de la F_1 ?

b) Esquematice las cruzas mencionadas hasta la F_2 y determine las proporciones fenotípicas y genotípicas esperadas en esta última generación.

c) Si a los individuos de la F_1 se les realiza una retrocruza con los progenitores de flores rojas, ¿qué proporción de la progenie se espera que produzcan flores blancas?

d) ¿Cuáles serían las clases fenotípicas (y sus proporciones) esperadas de la cruce del inciso c?

22. Los patrones de la coloración de las plumas del pato de collar (*Anas platyrhynchos*) están determinados por la presencia de tres alelos en un *locus* (sólo hay dos alelos de estos tres en un organismo diploide). El alelo M^A codifica un patrón de coloración ánadea real silvestre, M^R , que presenta un patrón denominado restringido, y M^O que presenta un patrón denominado oscuro. En esta serie alélica se establece la jerarquía $M^A > M^R > M^O$. Determina los patrones de coloración de los patos de collar de las siguientes cruces:

a) Cruza 1: $M^R M^R \times M^O M^O$

b) Cruza 2: $M^A M^O \times M^R M^O$

c) Cruza 3: $M^R M^O \times M^O M^O$

d) Cruza 4: $M^A M^R \times M^R M^O$

23. Una de las series alélicas más documentadas es la del *locus* para los grupos sanguíneos ABO. Los tres alelos para el *locus* ABO son: I^A , que codifica para el antígeno A; I^B , que codifica para el antígeno B; y el alelo i , que no codifica para ningún antígeno. Pero además serie alélicas se presenta codominancia cuando el alelo I^A e I^B se encuentran en el mismo individuo y se da la expresión de los antígenos A y B de manera simultánea. De las siguientes cruza determina qué tipos de antígenos se producen de la progenie resultante:

a) Cruza 1: $I^A i \times I^B i$

b) Cruza 2: $I^A I^A \times ii$

c) Cruza 3: $I^A I^B \times ii$

24. El pato de collar (*Anas platyrhynchos*) es una especie endémica y considerada como especie amenazada en México. En esta especie el patrón de la coloración de las plumas está determinado por la presencia de tres alelos ($M^A > M^R > M^O$) en un *locus*. El alelo M^A codifica un patrón de coloración anadea real silvestres, M^R presenta un patrón denominado restringido y M^O presenta un patrón denominado oscuro.

a) ¿Cuál es el máximo de posibilidades de genotipos esperados?

b) Determine el número máximo de homocigotos esperados en esta serie alélica.

C. Ejercicios de opción múltiple

1. Proporción característica en la F_2 de la herencia intermedia a partir de progenitores de líneas puras:

- a) 1:2:1
- b) 2:1:1
- c) 2:2:1
- d) 2:1:2

2. Al cruzar un organismo heterocigoto de flores rosas con una planta de flores blancas se obtiene la siguiente progenie:
 - a) 50% rosas y 50% blancas
 - b) 100 % rojas
 - c) 50% rojas y 50% blancas
 - d) 100% blancas

3. Al cruzar gallos y gallinas de plumaje gris se obtienen la siguiente descendencia: 312 con plumaje negro, 597 con plumaje gris y 289 con plumaje blanco. ¿A qué tipo de herencia corresponden estas proporciones?
 - a) Epítasis recesiva simple
 - b) Dominancia completa
 - c) Herencia intermedia
 - d) Epítasis dominante simple

4. El plumaje en las aves de corral está relacionado con herencia intermedia. ¿Cuál es la descendencia que se obtiene al cruzar un gallo con plumaje negro con gallinas blancas?
 - a) 100% grises, 100% blancos
 - b) 100% grises, 50% negros y 50% grises
 - c) 100% negros, 50% grises y 50% negros
 - d) 100% blancos, 100% grises

5. La ardilla gris (*Sciuris carolinensis*) presenta tres tipos de coloración del pelaje, que son: gris E^+E^+ , negro $E^B E^B$ y café oscuro E^+E^B , ¿qué porcentaje de ardillas negras se obtendrá en la F_1 a partir de un progenitor café oscuro E^+E^B y uno negro $E^B E^B$?
 - a) 0%
 - b) 25%
 - c) 75%
 - d) 50%

6. Describe los genotipos y los porcentajes que se obtienen en la F_2 a partir de una hembra de ardilla con coloración gris E^+E^+ y un macho de coloración negra $E^B E^B$:
 - a) 100% E^+E^+
 - b) 50% E^+E^+ y 50% $E^B E^B$
 - c) 100% E^+E^B
 - d) 50% E^+E^+ , 50% E^+E^B

7. Descendencia que se obtiene en la F_1 a partir de una ardilla (*Sciuris carolinensis*) hembra café oscuro (E^+E^B) con un macho de coloración gris (E^+E^+):
 - a) 50% $E^B E^B$, 50% E^+E^B
 - b) 100% E^+E^B
 - c) 50% E^+E^+ , 50% E^+E^B
 - d) 100% $E^B E^B$

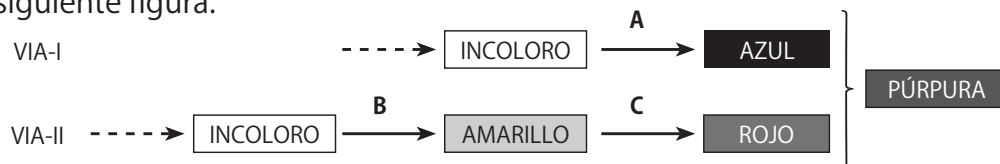
8. Al cruzar flores de boca de dragón de líneas puras de flores blancas con flores rojas, cuál es la proporción fenotípica esperada en la F_1 :
- 100% rosas
 - 50% blancas y 50% rojas
 - 100% blancas
 - 50% rojas y 50% blancas
9. El fenotipo del heterocigoto es intermedio entre los fenotipos de los dos homocigotos:
- Epítasis
 - Codominancia
 - Genes letales
 - Herencia intermedia
10. Se obtienen datos de una pareja de ardillas durante cinco años consecutivos y se registra una progenie de 40 crías, de las cuales 21 fueron café oscuro, 9 negras y 11 grises, ¿cuál es el fenotipo de los progenitores?:
- $E^B E^B$ y $E^B E^B$
 - $E^+ E^B$ y $E^B E^B$
 - $E^+ E^B$ y $E^+ E^B$
 - $E^+ E^B$ y $E^+ E^+$
11. Las flores de camelias pueden ser de varios colores, rojas, blancas y rojas con blanco. Cuando se cruzan plantas de camelia de líneas puras con flores rojas con plantas de flores blancas se obtienen flores que presentan ambos colores, lo cual es característico de:
- Codominancia
 - Herencia intermedia
 - Dominancia
 - Recesividad
12. El único genotipo del grupo sanguíneo del sistema ABO que produce dos antígenos por codominancia es:
- $I^A i$
 - $I^B i$
 - $I^A I^B$
 - ii
13. ¿Cuál es la probabilidad de que una pareja heterocigota con anemia falciforme tenga su primer hijo con este padecimiento?:
- 100%
 - 75%
 - 25%
 - 50%

14. Los gatos atigrados son el resultado de la codominancia de dos alelos que codifican la pigmentación (A^b) y café claro (A^t). Marca las proporciones genotípicas y fenotípicas de los descendientes de la cruce de gatos atigrados que tienen genotipos A^bA^t .
- 50% negros y 50% café claro
 - 25% negros, 50 atigrados y 25% café claro
 - 25% atigrados, 50% negros y 25% café claro
 - 50% atigrados y 50% negros
15. Número de fenotipos que se obtienen en la F_2 al cruzar individuos con genotipos $L^M L^M \times L^N L^N$.
- 3
 - 2
 - 4
 - 1
16. Porcentaje de gatos color negro ($T^N T^N$) que se obtienen al cruzar gatos atigrados ($T^N T^C$) con gatos color café claro ($T^C T^C$).
- 0%
 - 75%
 - 100 %
 - 50%
17. Proporción fenotípica de gatos atigrados que se obtiene en la F_2 al cruzar individuos negros con café claro
- 2:1:2
 - 2:1:1
 - 1:1:2
 - 1:2:1
18. ¿Qué fenotipos se esperaría obtener a partir de la autopolinización de flores de camelia rojas con blanco?
- blancas
 - rojas
 - rojas con blanco
 - rojas, rojas con blanco y blancas
19. ¿Cuáles son los fenotipos que se esperarían obtener a partir de la cruce de dos organismos heterocigotos para el grupo sanguíneo A y B?
- A, B y O
 - AB, A, B y O
 - A y O
 - B y O

20. ¿Cuál es la probabilidad de que una mujer con genotipo $I^A I^A$ tenga un hijo con un hombre $I^B I^B$?:
- 75%
 - 0%
 - 100%
 - 50%

21. Un gen epistático es:
- aquel que afectará más de una característica fenotípica.
 - el que es enmascarado o suprimido por alelos ubicados en un *locus* diferente.
 - aquel cuyo grado de expresión es diferente al observar los distintos individuos que lo portan.
 - el que enmascara o suprime la acción de alelos ubicados en otro *locus*.
 - el que no se expresa en el fenotipo de todos los individuos que lo portan.

22. Suponga que dos pigmentos, rojo y azul, se mezclan para dar el color púrpura típico de los pétalos de las petunias. Dos vías bioquímicas independientes están involucradas en la síntesis de estos pigmentos, como se muestra en la siguiente figura.



Incoloro se refiere a ausencia total de pigmentos que resultan en flores blancas. Un tercer color, gris, se produce debido a la mezcla de amarillo con azul. Las letras del diagrama representan enzimas que corresponden a genes que segregan en forma independiente, donde cada *locus* existen alelos para una forma normal dominante ($A_$, $B_$ y $C_$) y una forma no funcional recesiva de estas enzimas (aa , bb y cc). Si se cruzan individuos F_1 , hijos de padres homocigotos, y dan una F_2 con una proporción de fenotipos 9 púrpura : 3 gris : 4 azul ¿Cuál de los siguientes genotipos corresponde a los padres líneas puras de la F_1 usados para obtener la F_2 ?:

- $AA BB CC \times aa bb cc$
 - $AA Bb Cc \times AA Bb Cc$
 - $AA BB cc \times AA bb CC$
 - $AA BB CC \times Aa bb cc$
 - $Aa BB Cc \times AA bb Cc$
23. En la arveja dulce la síntesis del pigmento púrpura antocianina de los pétalos está controlada por dos genes, B y D , que están asociados a la síntesis de dos enzimas, como se muestra a continuación:



- Si se autofecundan plantas F_1 , obtenidas de cruzar plantas homocigotas incapaces de sintetizar la enzima B (y por lo tanto son blancas ya que no catalizan la primera reacción), con plantas homocigotas incapaces de sintetizar la enzima D (no pueden catalizar la segunda y por lo tanto son azules), ¿cuál será la proporción de fenotipos encontrada en la F_2 ?:
- a) 9 púrpura : 4 azul : 3 blanco
 - b) 9 púrpura : 6 azul : 1 blanco
 - c) 12 púrpura : 3 azul : 1 blanco
 - d) 9 púrpura : 3 azul : 4 blanco
 - e) 9 púrpura : 7 blanco
24. En el maíz el carácter albino es determinado por dos loci que interactúan, C y D. Si se cruza una planta homocigota albina (*ccdd*) con una planta homocigota normal (*CCDD*), toda la descendencia es normal. Al autofecundar este individuo se obtuvieron, 893 plantas normales, 297 plantas verde claro y 410 plantas albinas. Estos resultados indican que existe:
- a) interacción dominante-recesivo
 - b) epistasis recesiva simple
 - c) epistasis recesiva doble
 - d) epistasis dominante simple
 - e) epistasis dominante doble
25. Para determinar si la cruce es compatible, semicompatible o incompatible, se considera:
- a) el promedio de semillas producidas en cada cruce
 - b) el genotipo (determinado por PCR) de toda la progenie
 - c) los individuos que llegan a la edad adulta de la progenie
 - d) la tasa de recombinación entre los dos genes del *locus S*
26. En el sistema de AI esporofítico el fenotipo de AI del polen se determina por:
- a) el haplotipo S del grano de polen haploide.
 - b) los haplotipos S de la planta diploide donadora del polen.
 - c) el haplotipo S del grano de polen diploide.
 - d) los haplotipos S de la planta haploide donadora del polen.
27. En el sistema de AI gametofítico el fenotipo de AI del polen está determinado por:
- a) el haplotipo S del grano de polen haploide
 - b) los haplotipos S de la planta diploide donadora del polen
 - c) el haplotipo S del grano de polen diploide
 - d) los haplotipos S de la planta haploide donadora del polen
28. El *locus S* determina el haplotipo S del individuo. En él están codificadas ambas determinantes S, la masculina y la femenina, las cuales se expresan específicamente en:

- a) los cuatro verticilos de la flor
- b) cualquier órgano de la planta
- c) el polen o en el pistilo, respectivamente
- d) los gametos masculino y femenino, respectivamente

D. Ejercicios de falso/verdadero

Indique en cada uno de los siguientes enunciados si es falso o verdadero:

	Falso	Verdadero
1. La autoincompatibilidad se define como la incapacidad de una planta hermafrodita fértil de producir cigotos después de la autopolinización.	()	()
2. La clasificación de los sistemas de AI en gametofítico y esporofítico refleja la similitud que hay en los mecanismos dentro de cada categoría.	()	()
3. Mientras que en Papaveraceae y en Brassicaceae se habla de un sistema de reconomiento de lo propio, en Solanaceae se trata de un reconocimiento de lo no propio.	()	()
4. En una cruz incompatible en <i>Papaver rhoeas</i> , el crecimiento del tubo polínico se detiene por un efecto citotóxico en la célula.	()	()
5. La clasificación de los sistemas de AI en gametofítico y esporofítico refleja el hecho de que si la determinante S masculina es producida en el polen haploide o en la antera diploide.	()	()
6. En los alelos múltiples siempre hay dominancia entre los alelos de un <i>locus</i> .	()	()
7. Individuos con fenotipo O tienen hijos con fenotipo AB.	()	()
8. Las series alélicas se caracterizan por presentar sólo dos alelos para un gen.	()	()
9. Una pareja de conejos con el mismo genotipo $c^{ch} c$ tienen el 25% de probabilidad que su descendencia sea blanca.	()	()
10. Bajo condiciones normales, sin epistasis, es posible que un hombre con fenotipo AB que procrea con una mujer con fenotipo AB tenga hijos con fenotipo O.	()	()
11. En los alelos múltiples siempre se establecen jerarquías de dominancia entre los alelos.	()	()
12. El <i>locus</i> ABO que determina el fenotipo de los grupo sanguíneo es una excepción a la fórmula $n(n+1)/2$ para estimar el número de posibles genotipos.	()	()

13. En la serie alélica de color de los conejos, que está codificada por 4 alelos, el número de genotipos homocigotos es 4. () ()
14. En un gen con d diferentes alelos el número máximo de fenotipos esperados es de 4. () ()

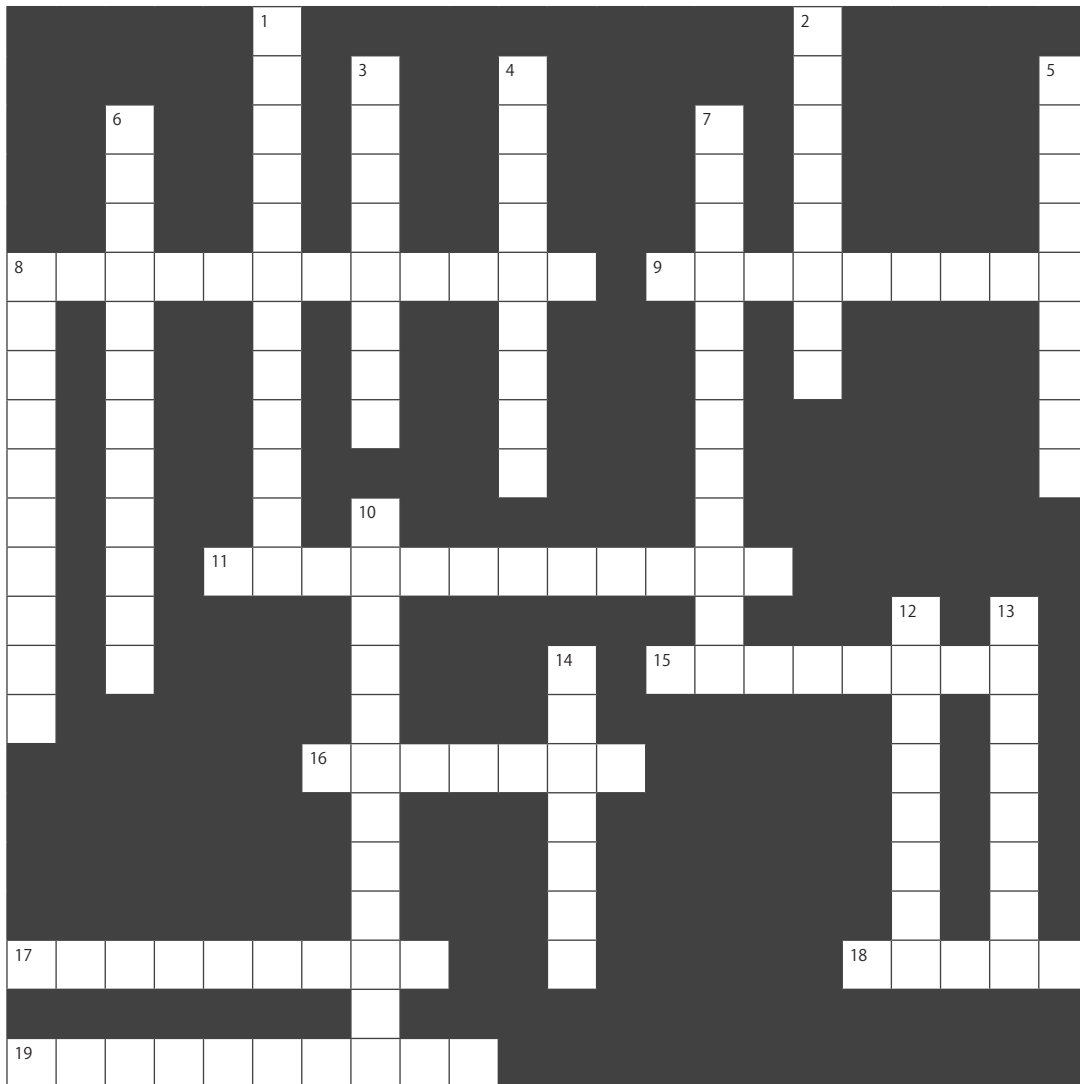
E. Relacionar columnas

Relacione las dos columnas:

72

- | | |
|--|--|
| () Proteína del polen de <i>Brassica</i> sp. que está codificada en el <i>locus S</i> . | 1. Polen |
| () Morfo floral de las poblaciones distílicas con estilo largo y anteras cortas. | 2. Saco embrionario |
| () Verticilo reproductivo masculino. | 3. Androceo |
| () Tejido donde principalmente se expresa la S-RNasa. | 4. Gineceo |
| () Sistema de AI en el que el fenotipo haploide del polen haploide es el que se reconoce como propio o no. | 5. Pin |
| () Morfo floral de las poblaciones distílicas con estilo corto y anteras largas. | 6. Thrum |
| () Gametofito masculino de las angiospermas. | 7. Receptor con actividad de cinasa del <i>locus S</i> (SRK) |
| () Verticilo reproductivo femenino. | 8. S-RNasa |
| () Tejido donde principalmente se expresa <i>SCR</i> . | 9. Tapetum |
| () Tipo de dominancia que se presenta cuando el fenotipo del heterocigoto es más o menos el intermedio de los fenotipos de los homocigotos. | 10. Estilo |
| () Tejido donde principalmente se expresa la determinante <i>S</i> femenina de <i>Papaver rhoeas</i> . | 11. Estigma |
| () Tipo de dominancia que generalmente se presenta en la parte femenina en los sistemas de AI homomórficos. | 12. Codominancia |
| () Gametofito femenino de las angiospermas | 13. Incompleta |
| () Sistema de AI en el que el fenotipo diploide en el polen haploide es el que funciona como de reconocimiento. | 14. Esporofítico |
| () Enzima glicosilada con actividad de ribonulceasa del <i>locus S</i> en Solanaceae. | 15. Gametofítico |

F. Crucigrama



HORIZONTALES

8. Condición genética en la que el individuo tiene alelos distintos para un gen en particular provenientes de cada uno de sus progenitores.
9. Tipo de alelo que determina el fenotipo en un heterocigoto.
11. Tipo de dominancia que se presenta cuando claramente se observa la expresión de ambos alelos y es evidente en el heterocigoto.
15. Tipo de dominancia que se presenta cuando el heterocigoto no se puede distinguir del homocigoto dominante.

16. División celular en la que ambas células hijas son idénticas a la progenitora.

17. Tipo de interacción alélica que ocurre para el mantenimiento de la tristilia.

18. Gametofito masculino de las angiospermas.

19. El *locus S* contiene dos genes que segregan como unidad mendeliana, por lo que son genes con ___ completo.

VERTICALES

1. Sistema de AI homomórfico en el que el fenotipo haploide del polen es el

- que se reconoce como propio o no propio.
2. Célula u organismo que tiene cromosomas en pares, uno de cada padre.
 3. Condición en la que en una población hay dos morfos florales.
 4. Condición en la que hay tres morfos florales en una población.
 5. Gameto femenino de las angiospermas.
 6. Condición en la que hay más de dos variantes de un gen.
 7. Sistema de Al homomórfico en el que el fenotipo diploide de la planta donadora es el que se reconoce como propio o no propio.
 8. Condición genética donde un individuo hereda los mismos alelos para un gen en particular de ambos progenitores.
 10. Proceso que abarca desde la liberación del polen hasta que se lleva a cabo la fecundación en el óvulo.
 12. Constitución genética de un organismo.
 13. Célula u organismo que tiene un juego cromosómico, como el de las células gaméticas.
 14. División celular por medio de la cual se forman los gametos a partir de células diploides.

G. Completar definiciones

Complete los enunciados con la palabra que considere correcta:

parentales
incompleta
codominancia

intermedio
completa
fenotipo

heterocigoto
dominante

Hay cuatro tipos de relación dominancia: recesividad.

1. Dominancia _____. Es la descrita por Mendel y se presenta cuando la progenie de una cruce entre dos individuos distintos "se parece tanto a uno de los progenitores que no pueden distinguirse con certeza" (Mendel, 1866); es decir, cuando el _____ del _____ no se puede distinguir del progenitor _____.

2. La _____. Ocurre cuando claramente se observa la expresión de ambos alelos y es evidente en el _____.

3 Dominancia _____. Se presenta si el heterocigoto manifiesta un fenotipo más o menos, pero no exactamente, intermedio a los dos fenotipos _____, como es el caso clásico de la cruce de claveles blancos con rojos y la progenie son claveles rosas (Klug y Cummings, 1986).

4. Falta de dominancia. Si el _____ del heterocigoto es precisamente el _____ entre los dos caracteres de los progenitores (revisado en Heim, 1991).

H. Estudio de caso

1. En el *locus S* de *Papaver rhoeas* (la amapola silvestre) están codificadas las determinantes *S* del polen, PrpS, una proteína transmembranal y del pistilo; PrsS, una proteína secretada. Cuando ambas proteínas interactúan en una cruce incompatible, se produce una cascada de señales dependiente de Ca^{2+} intracelular, la cual aumenta en los primeros instantes posteriores a dicha interacción. Como resultado se inhibe el crecimiento del tubo polínico, se producen alteraciones en el citoesqueleto, y finalmente ocurre la muerte celular programada.

Se generaron plantas transgénicas de *Arabidopsis thaliana* (una especie autocompatible) utilizando el gen *PrpS* fusionado a la proteína verde fluorescente (GFP) bajo un promotor específico de polen (de Graaf *et al.*, 2012). Cuando los granos transgénicos de polen fueron expuestos a la proteína PrsS se generaron respuestas notablemente similares a las observadas en el polen incompatible de la amapola, tales como la inhibición *S* específica y las características típicas de la respuesta de AI de *P. rhoeas*. Estos datos sugieren que el sistema de las papaveráceas utiliza blancos celulares que quizá son comunes a todas las eudicotas, y que los componentes de señalización en una especie lejana se puedan reclutar de tal manera que se genere una respuesta jamás operada antes. Este es un dato de gran interés en las áreas de evolución de las redes de señalización en plantas superiores. Además, la funcionalidad del sistema de AI de la amapola en un género diferente abre la posibilidad de que PrsS sea también funcional, y que se pueda transferir el sistema de AI de *Papaver* a especies de importancia económica.

- a) De las líneas transgénicas que se generaron de *A. thaliana* (Col-0) se tuvieron en cuenta aquellas que en la generación T₂ se presentó una segregación de 3:1 en cuanto al carácter de resistencia a kanamicina (*i. e.* son transgénicas), y fueron en las que se analizó la expresión de GFP en el polen. ¿Qué fracción de las plantas transgénicas se esperaba que fueran positivas en cuanto a la expresión de GFP?

- b) De las plantas transgénicas analizadas de manera individual, los granos de polen segregaron con el 50% o con el 100% para la expresión de GFP, lo cual es consistente con el hecho de que las plantas eran _____ y _____, respectivamente, para el inserto.

- c) Se generaron dos líneas transgénicas de *A. thaliana* Col-0. Una que expresó en el polen a PrpS₁-GFP y otra a PrpS₃-GFP. Cuando los granos de polen con PrpS₁ fueron expuestos a la proteína PrsS₁, se inhibió el crecimiento del tubo polínico *in vitro*. Sin embargo, esta inhibición no se observó cuando se agregó al medio a la proteína PrsS₃ ni a la PrsS₈. Lo mismo ocurrió con los granos de polen que expresaron a PrpS₃; es decir, su crecimiento se inhibió con PrsS₃ pero no con PrsS₁ o PrsS₈. Esto se explica porque:

- d) De las líneas transgénicas generadas, los granos de polen que expresaron a PrpS₁ no se inhibieron cuando fueron tratados con la proteína PrsS₁ preincubada a 94°C por cinco minutos. Lo mismo ocurrió con los granos de polen que expresaron a PrpS₃ y fueron tratados con la proteína PrsS₃ preincubada a 94°C por 5 min. Una explicación a este resultado es...

2. Los sistemas de AI esporofítico y gametofítico se presentan en poblaciones homomórficas; es decir, en poblaciones cuyas flores son iguales. Por otro lado, hay especies que tienen como estrategia para evitar la autofecundación el uso de sistemas heteromórficos, de los cuales Darwin fue el primero en describir y diferenciar en dos tipos: distilia y tristilia (Figura 2). En el primer caso hay dos morfos florales: 1) *pin*, en el que las flores cuentan con estilos largos y estambres cortos; y 2) *thrum*, en el que los estilos son cortos y los estambres largos (Figura 2A). En las poblaciones tristílicas hay flores con estilos largos (*longistilo*), estilos medios (*mediastilo*) y estilos cortos (*brevistilo*) (Figura 2B). En todos los morfos los estambres son de dos tipos, sin coincidir con el nivel del gineceo. Por ejemplo, una flor longistilica tiene estambres cortos y medios (*i.e.* nunca largos como el estilo).

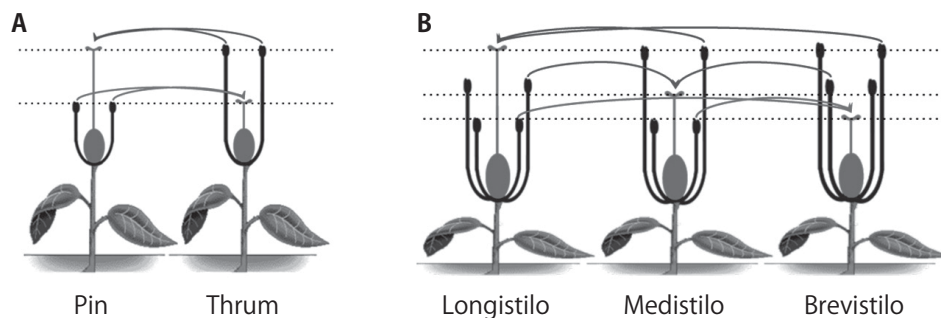


Figura 2. Morfos florales presentes en los sistemas de AI heteromórficos. **A.** Distilia. Se presentan dos morfos florales en las poblaciones con este tipo de AI; el morfo pin cuenta con los estambres cortos y el estilo largo mientras que el morfo contrario es el thrum; los estilos cortos del morfo thrum sólo se pueden fecundar con polen proveniente de flores pin y viceversa. **B.** Tristilia. Hay tres morfos florales en las poblaciones con este tipo de AI. Longistilo, con estilos largos, y estambres cortos y medios; medistilo, con estilos medios, y estambres largos y cortos; y brevistilo, que cuenta con estilos cortos, y estambres largos y medios. La fecundación sólo puede ocurrir entre órganos del mismo nivel (e.g. los pistilos con estilos cortos sólo aceptan a los granos de polen provenientes de estambres cortos).

Se sabe que es un gen el involucrado en mantener a las poblaciones distílicas. El alelo dominante (*S*) produce el morfo thrum.

- a) Explica cómo es que las poblaciones mantienen una proporción 1:1 de ambos morfos florales.

- b) ¿Qué ocurre con las cruzas $ss \times ss$ y $Ss \times Ss$?

3. En el caso de la tristilia son dos loci los involucrados en los fenotipos florales, el *s* (*short*) y el *m* (*medium*). Cuando ambos genes están en condición homocigótica recesiva se obtiene el morfo longistilo; cuando es homocigoto recesivo del gen *s*, y uno de los alelos del gen *m* es dominante, se obtiene el morfo medistilo. Si uno de los alelos del gen *s* es dominante, entonces es el fenotipo brevistilo el que se produce.

- a) ¿Qué tipo de interacción alélica ocurre en estos genes para mantener la tristilia en estas poblaciones?

- b) Determine los genotipos para cada uno de los morfos florales.

I. Referencias

- Bosch, M., Franklin-Tong, V.E., 2008. Self-incompatibility in Papaver: signalling to trigger PCD in incompatible pollen. *J. Exp. Bot.* 59: 481-490.
- De Graaf, B.H. *et al.*, 2012. The Papaver self-incompatibility pollen S-determinant, PrpS, functions. *Arabidopsis thaliana. Curr. Biol.* 22: 154-159.
- Kao, T.-H. y Tsukamoto, T., 2004. The molecular and genetic bases of S-RNase-based self-incompatibility. *Plant Cell* 16: S72-S83.
- McClure, B.A., Franklin-Tong, V., 2006. Gametophytic self-incompatibility: understanding the cellular mechanisms involved in "self" pollen tube inhibition. *Planta* 224: 233-245.
- McClure, B., Cruz-García, F., Romero, C., 2011. Compatibility and incompatibility in S-RNase systems. *Ann. Bot.* 108: 647-658.
- Ross, J. J., Murfet, I. C. y Reid J. B., 1990. Internode length in *Lathyrus odoratus* L.: The expression and interaction of genes L and Lb. *J. of Heredity* 81: 201-204.
- Stansfield, W. D., 1989. *Teoría y Problemas de Genética*. Segunda Edición. Editorial McGraw-Hill. 405 pp
- Takayama, S., Isogai, A., 2005. Self-incompatibility in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 56: 467-489.

Horacio Valdemar Bárcenas Rodríguez

Universidad Nacional Autónoma de México, México • bioila@yahoo.com.mx, ilacho@hotmail.com

Javier Andrés Juárez Díaz

Universidad Nacional Autónoma de México, México • j.a.juarezdiaz@ciencias.unam.mx

Cristian Araneda Tolosa

Universidad de Chile, Chile • craraned@uchile.cl