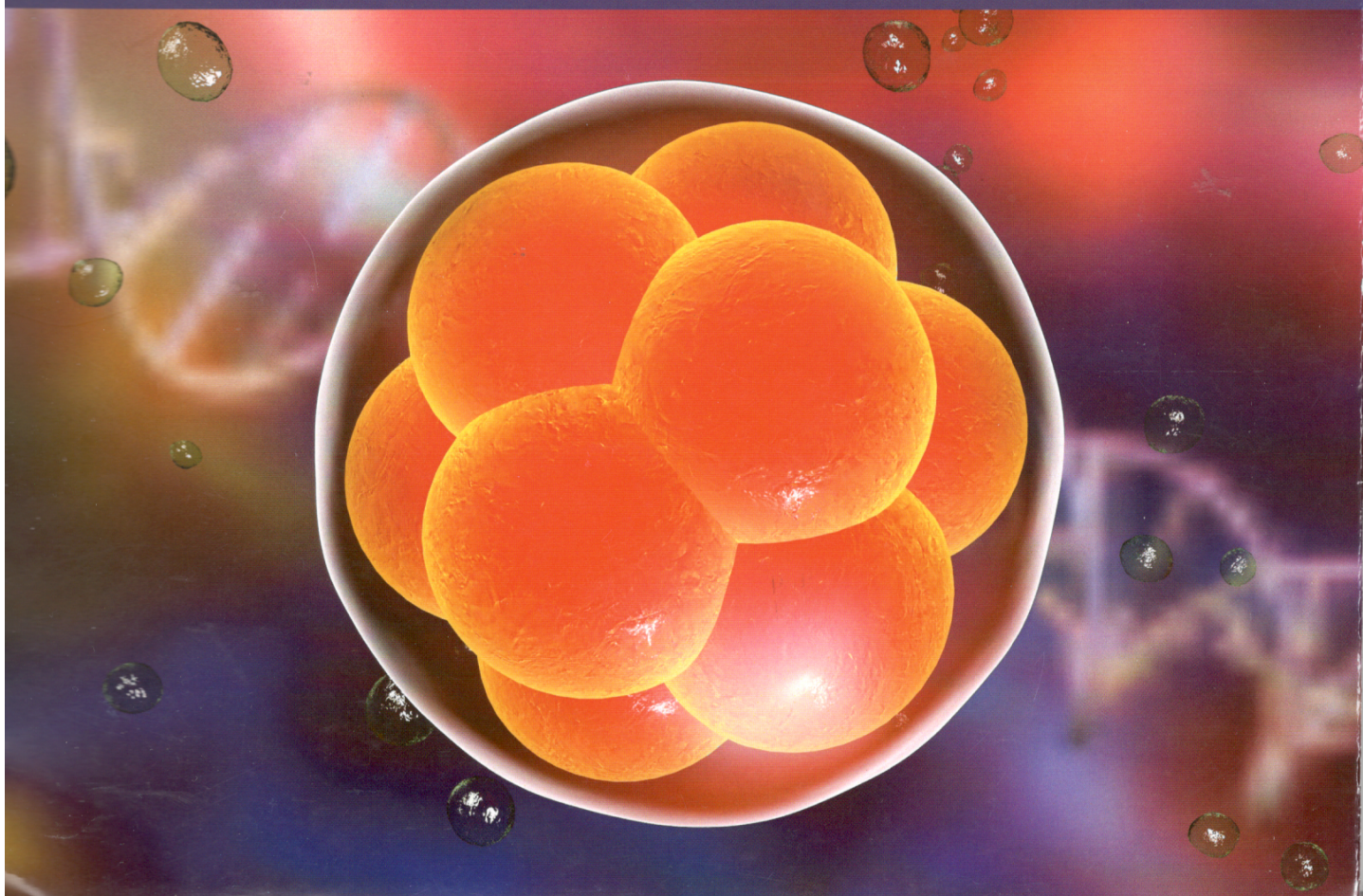




América Nitxin Castañeda Sortibrán
Rosario Rodríguez Arnaiz
COORDINADORAS

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 6. MAPEO GÉNICO EN EUKARIONTES

María de los Ángeles Aguilar Santamaría y Cristian Araneda Tolosa

112

- 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

DOS MARCADORES

La segunda Ley de Mendel no es universal, lo cual se debe a la presencia de cromosomas, también llamados grupos de ligamiento, en las células de los eucariontes donde se ubican físicamente los genes. El lugar que ocupa un gen en un cromosoma se denomina *locus* (su plural es *loci*). Cuando dos o más *loci* se ubican en un mismo cromosoma, los alelos que portan tienden a segregarse juntos y se dice que están ligados. El ligamiento impone una restricción a la segregación independiente, pues cuando éste se presenta, la probabilidad de que un gameto reciba una determinada combinación alélica no es la misma para todas las combinaciones alélicas posibles.

Por ejemplo, en la figura 1 se muestra la formación de los gametos para un individuo doble heterocigoto ($EeDd$) para dos *loci*, E y D, que se ubican en el mismo cromosoma. En el instante previo a la recombinación, cada cromosoma está compuesto por dos cromátidas unidas por un centrómero. Para cada *locus*, toda cromátida porta un alelo de cada par; en ese momento sólo en algunas células (meiosis) ocurre recombinación entre cromátidas no hermanas de cromosomas homólogos, como se observa en la figura 1b, sólo dos de las cuatro cromátidas recombinan; en la mayoría de las meiosis no hay recombinación (figura 1a). El porcentaje de recombinación entre dos *loci* es una medida relativa de la distancia física que los separa, y se expresa en unidades de mapa o centimorgan, de modo que un centimorgan (1 cM) corresponde a un 1% de recombinación entre dos *loci*.

Al formarse los gametos, de las cuatro clases posibles de combinaciones esperadas, dos combinaciones se producen con mayor frecuencia (gametos parentales I y II, en la figura 1a y figura 1b), pues provienen de cromátidas no recombinadas. En una fracción menor de células hubo recombinación, y por lo tanto, las otras dos clases de gametos recombinantes (III y IV, en la figura 1b) se presentan con menor frecuencia.

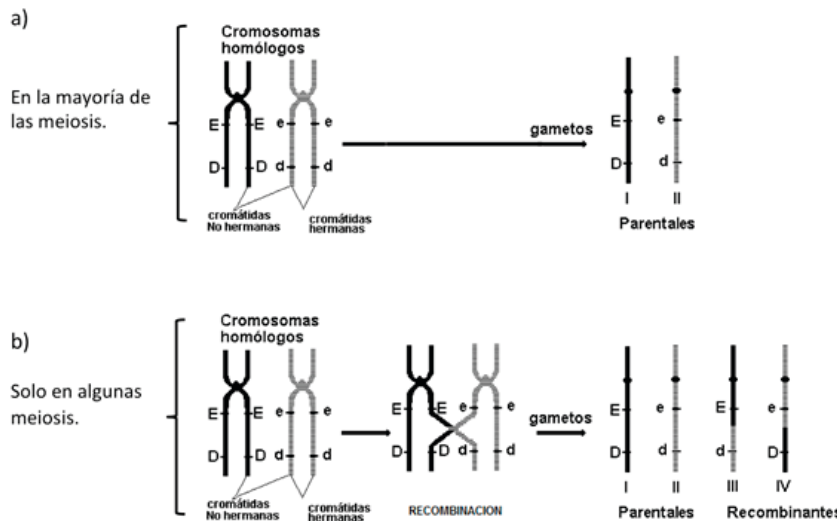


Figura 1. Recombinación entre genes ligados y formación de los gametos.

Los genes ligados tienen una notación diferente de cuando segregan en forma independiente; un heterocigoto $EeDd$ como el de la figura 1 se denota ED/ed , donde el corte separa ambos cromosomas homólogos. Esta separación es importante, pues no es igual un individuo doble heterocigoto ED/ed (posición cis, con ambos alelos dominantes en el mismo cromosoma) que uno eD/Ed (posición trans). En el individuo ED/ed los gametos parentales serán ED y ed (en mayor frecuencia), y los recombinantes serán Ed y eD (en menor frecuencia). Por otra parte, en el individuo eD/Ed los gametos parentales serán: eD y Ed , mientras que los recombinantes serán ED y de . De este modo, las clases parentales y recombinantes se invierten dependiendo de si el individuo doble heterocigoto es cis o trans.

Para calcular la distancia relativa que separa ambos loci, E y D , lo más simple es hacer una cruce de prueba, pues ésta permite observar en la progenie todos los gametos producidos por el individuo heterocigoto ED/ed independiente si existe dominancia que pueda enmascarar algún fenotipo. Supongamos que de este cruzamiento se obtienen los siguientes fenotipos (genotipos) y número de individuos: ED (ED/ed) 150, ed (ed/ed) 120, Ed (Ed/ed) 20 y eD (eD/ed) 40; total 330 individuos:

ED/ed (heterocigoto cis)	×	ed/ed (doble recesivo)	
↓		↓	
gametos		Progenie:	
ED 150	} Gametos Parentales	{ ED / ed	} 270/330 = 0,8182 (81,82 %)
ed 120			
Ed 20	} Gametos Recombinantes	{ Ed / ed	} 60/330 = 0,1818 (18,18 %)
eD 40			

De este cruzamiento se puede observar que las clases parentales corresponden a los fenotipos dominante ED y recesivo ed, pues están con mayor frecuencia. Por otra parte, las clases recombinantes serán entonces los fenotipos Ed y eD. La distancia de mapa se definió como el porcentaje de recombinación, entonces la distancia que separa ambos loci será igual al número de individuos recombinantes dividido por el total de individuos multiplicado por 100 = $(20 + 40)/330 \times 100 = 18,18\%$ de recombinación o 18,18 cM.

MAPEO DE TRES PUNTOS

Para confeccionar mapas genéticos, y determinar el orden y la distancia que separan los loci en un determinado cromosoma, se necesitan trabajar al menos con tres loci ubicados en el cromosoma a menos de 50 cM. De nuevo el método más simple para construir mapas de recombinación es cruzar un individuo triple heterocigoto con un triple homocigoto recesivo, para determinar fácilmente la frecuencia de cada tipo de gameto producido por el individuo heterocigoto.

Para explicar este procedimiento tomemos como ejemplo el siguiente cruzamiento. Se cruzan drosophilas hembras de cuerpo amarillo (y), ojo erizado (ec) y de color blanco (w) con la fórmula genotípica (y y ec ec w w), con machos tipo silvestres ($y^+ y^+ ec^+ ec^+ w^+ w^+$). Las hembras triple heterocigotas F_1 se cruzan con los machos homocigotos recesivos (cruzamiento de prueba). Como resultado de este cruzamiento se obtienen los siguientes números de individuos por fenotipo en una muestra de 1 000 descendientes

<i>Fenotipo:</i>	<i>Número</i>
Tipo silvestre	474
Cuerpo amarillo	8
Cuerpo amarillo, ojos blancos	18
Ojos blancos	1
Cuerpo amarillo, ojos erizados y blancos	468
Ojos erizados y blancos	7
Ojos erizados	23
Cuerpo amarillo y ojos erizados	1
Total	1000

Tabla 1. Resultado del cruzamiento de prueba de los individuos F_1

Para determinar el orden en el que los tres loci (y, ec y w) se ubican en el cromosoma, y dibujar un mapa genético con sus respectivas distancias, se debe identificar qué *locus* está al centro de los otros dos, siguiendo el siguiente procedimiento:

i) Ya sabemos que las clases parentales siempre están en mayor proporción, y que éstas corresponden a los cromosomas del individuo heterocigoto sin recombinar. En este caso el genotipo del individuo heterocigoto F_1 debe ser ($y\ ec\ w / y^+\ ec^+\ w^+$), pues las clases parentales son de cuerpo amarillo, ojos erizados y blancos; e individuos tipo silvestre.

ii) Sin embargo, la secuencia de loci descrita en el punto anterior ($y - ec - w$) puede no ser la correcta. Entonces, debe determinarse cuál de los tres loci; y , ec o w , es el locus central. Para realizar esto fíjese en las clases dobles recombinantes, que son las clases fenotípicas menos frecuentes, pues son producto de dos eventos de recombinación ocurridos entre los sectores del cromosoma que separa los tres loci (entrecruzamiento doble, ED). En la tabla 1 anterior se puede ver que las clases ED corresponden a los individuos de ojos blancos, y de cuerpo amarillo y ojos erizados.

iii) Para determinar cuál es el *locus* central, construya las tres posibles combinaciones de cromosomas parentales y realice hipotéticamente los entrecruzamientos dobles para cada uno de los órdenes posibles. Los gametos resultantes de estos ED hipotéticos se deben comparar con las clases fenotípicas menos frecuentes (ED reales). Los gametos que correspondan con los fenotipos de las clases ED observadas indican cuál es el *locus* central. Todo esto se muestra en la figura 4.

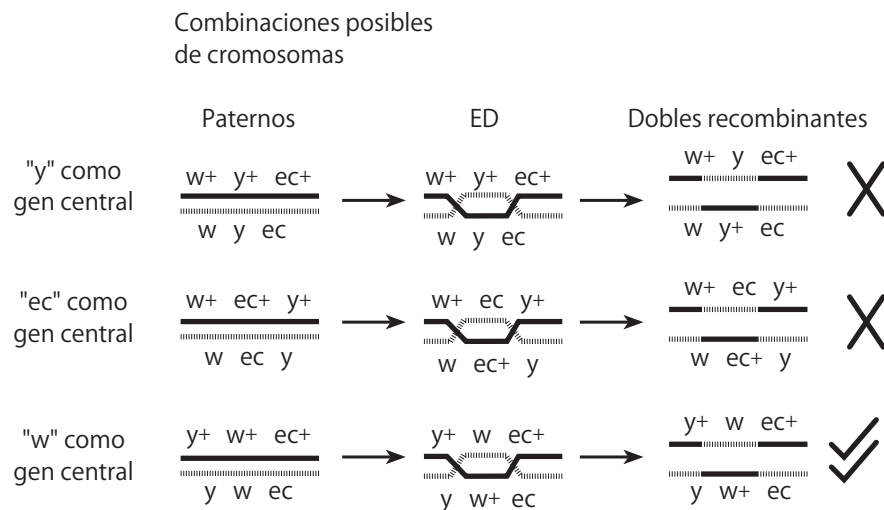


Figura 4. Posibles ED hipotéticos probados para conocer el *locus* central.

Al mirar las clases **ED reales** desde los datos iniciales nos damos cuenta que corresponden a **moscas con ojos blancos** por una parte y **moscas de cuerpo amarillo y ojos erizados** por otra. Ahora, al comparar los resultados de los **ED hipotéticos** con las clases fenotípicas anteriormente mencionadas observamos que **w** debe ser el locus central como se muestra en la figura de arriba.

iv) Una vez determinado al locus central podemos suponer que la verdadera ordenación de los genes será: **y----w----ec** ó **ec----w----y**, dependiendo de cómo se mire el cromosoma.

Retomando nuestro individuo triple heterocigoto su genotipo debe ser:

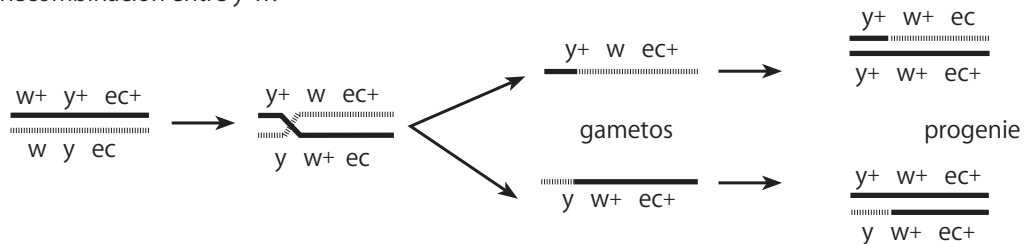
$$y\ w\ ec / y^+w^+ec^+$$

Mientras que, el genotipo del individuo recesivo con quien fue cruzado fue:

$$y^+w^+ec^+ / y^+w^+ec^+$$

v) Para determinar la distancia entre los loci **y-w** debemos contar las recombinaciones ocurridas entre ambos loci. Cuando hay recombinación entre **y** y **w**, se producen las siguientes clases fenotípicas en la progenie: Moscas de **cuerpo amarillo**, que son **8** y moscas de **ojos erizados y blancos**, que son **7**.

Recombinación entre y-w:



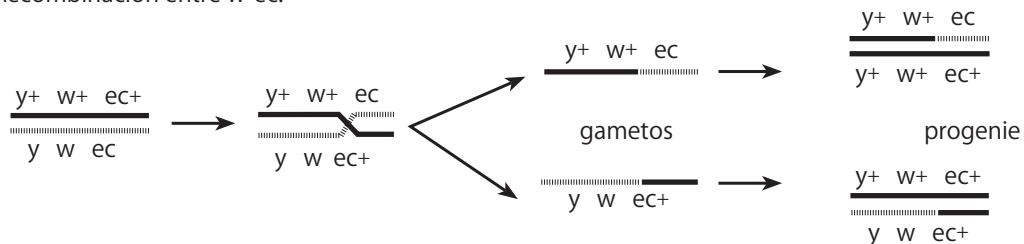
116

Por lo que la frecuencia de recombinación entre **y-w** es: $(8+7)/1000$. Sin embargo, a ésta frecuencia también debe sumarse la frecuencia de entrecruzamiento doble **ED** ($2/1000$), pues al ocurrir este evento, también hay recombinación entre **y-w**. De modo que, la distancia entre **y-w** será:

$$15/1000 + 2/1000 = (17/1000) \times 100 = 1,7\% \text{ ó } 1,7 \text{ cM.}$$

vi) Para determinar la distancia entre los loci **w-ec**, se sigue el mismo procedimiento anterior. Se cuentan las recombinaciones ocurridas entre estos loci. Cuando hay recombinación entre **w** y **ec**, se producen las siguientes clases fenotípicas en la progenie: Moscas de **cuerpo amarillo y ojos blancos**, que son **18** y moscas de **ojos erizados**, que son **23**.

Recombinación entre w-ec:

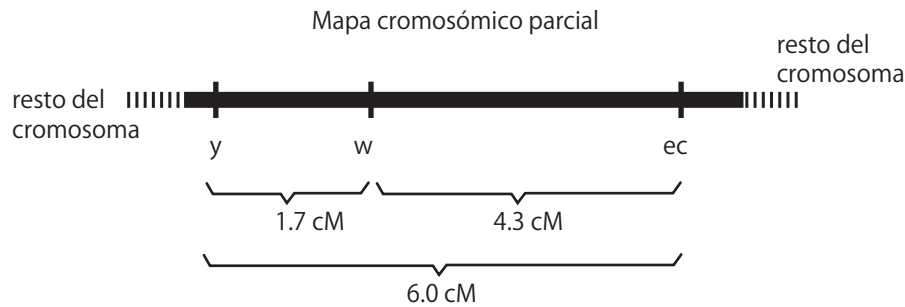


La frecuencia de recombinación entre **w-ec** es: $(18+23)/1000$. También aquí debe sumarse la frecuencia de dobles crossing over ($2/1000$). Por lo tanto, la distancia entre **w-ec** será:

$$41/1000 + 2/1000 = (43/1000) \times 100 = 4,3\% \text{ ó } 4,3 \text{ cM.}$$

vii) Por otra parte, la distancia entre los genes más alejados, es decir, **y-ec** será la suma de las distancias entre **y-w** y **w-ec**, es decir: $1,7 \text{ cM} + 4,3 \text{ cM} = 6 \text{ cM}$.

viii) Finalmente, nuestro mapa cromosómico queda:



Interferencia y Coincidencia

La evidencia obtenidas en la construcción de mapas genéticos indica que la ocurrencia de un entrecruzamiento (recombinación) hace poco probable que ocurra otro en el mismo gameto, este fenómeno es conocido como **interferencia (I)**.

En el mapa de recombinación que acabamos de construir la frecuencia entrecruzamiento simple entre **y-w** fue de **0.017** y la de entrecruzamiento simple entre **w-ec** fue de **0.043**. Por lo tanto, la frecuencia esperada de entrecruzamiento doble (**ED**) entre estos loci debería ser el producto de ambas frecuencias, suponiendo que cada entrecruzamiento es un evento independiente. En este caso $0.017 \times 0.043 = 0.000731$ ó un **0,073%**.

Al comparar esta frecuencia con la frecuencia real de **ED** sacada de nuestros datos (**ED observados**), se detecta una desviación entre estos (0,2%) y los **ED esperados** (0,073%). Para evaluar esta desviación se utiliza el **coeficiente de coincidencia (C)**:

$$C = \text{ED Observados} / \text{ED esperados} = 0.2 / 0.073 = 2.74$$

Cuando el Coeficiente de Coincidencia es mayor que cero, ocurren más **ED observados** que los que se esperarían si estos fueran eventos independientes. Tal es el caso de nuestro ejemplo. Es decir, aquí la ocurrencia de un entrecruzamiento entre estos loci facilitaría la ocurrencia de un segundo entrecruzamiento en la proximidad del primero.

Normalmente, se observan menos ED que los que se esperarían por azar, esto se denomina **interferencia (I = 1 - C)**. Como mencionamos, la interferencia ocurre cuando al producirse un entrecruzamiento simple se reduce la probabilidad de otro entrecruzamiento simple en una región cromosómica cercana. En general la interferencia varía de una región cromosómica a otra y también varía entre cromosomas diferentes. Un mapa cromosómico de recombinación debe además de incluir las distancias entre los genes, indicar la interferencia en las diversas porciones del mapa.

B. Serie de problemas

1. En las aves el carácter que produce plumas crespas o rizadas (plumas rizadas Figura 2) es dominante (T) sobre las plumas normales (t). En otro *locus*, un gen

dominante (I) inhibe la pigmentación, mientras que su alelo recesivo (i) permite el color de las plumas. Entre los loci T e I hay un 19,6% de recombinación.



Figura 2. Gallina plumas crespas (Tt Ii)

118

Un gallo blanco con plumas normales se cruzó con gallinas de plumas crespas con plumas coloradas, todos de líneas puras.

- a) Represente el cruzamiento en notación de ligamiento e ilustre los gametos producidos por cada progenitor.

- b) ¿Qué gametos puede producir la F_1 y en qué proporción?

- c) Si un gallo F_1 se cruza con una gallina doble recesiva, ¿qué descendencia se esperaría y en qué proporción?

d) ¿Es este un ejemplo de posición cis o trans

e) ¿Qué resultado habría obtenido si el gallo F_1 hubiese sido un heterocigoto cis (IT / it)?

2. En varios cruzamientos de hámster se obtuvieron los siguientes resultados: Uno de los progenitores mostraba la condición recesiva para el albinismo y el pelo crespo.

<i>Fenotipo</i>	<i>Observado</i>
Coloreado-liso	150
Coloreado-crespo	70
Albino-liso	60
Albino-crespo	140
Total	420

a) ¿Son estos resultados evidencia de ligamiento? Sustente su conclusión estadísticamente.

b) Haz un diagrama de este cruzamiento usando los símbolos genéticos que desees.

c) ¿Cuál será la distancia entre los genes para el color y textura del pelo?

3. En conejos el color se debe a un gen dominante (C) y el albinismo a su alelo recesivo (c). El negro es el resultado de un gen dominante (N) y el pardo a su alelo recesivo (n). Se cruzaron conejos pardos homocigotos con albinos que llevan el gen para negro en estado homocigoto. Los conejos F_1 se cruzaron con su doble recesivo cc nn. Los resultados, después de muchos cruzamientos, fueron: 34 negros, 66 pardos y 100 albinos. Responda:

b) Si hubiese ligamiento, ¿cuál es el porcentaje de recombinación?

4. Un trihíbrido $AaBbCc$ se cruza con un triple homocigoto recesivo y la F_1 muestra que el trihíbrido produjo los siguientes gametos:

122

28 ABC	abc
230 ABc	220 abC
206 Abc	244 aBC
23 AbC	27 aBc

a) ¿Qué loci están ligados y cuáles segregan en forma independiente?

Lined area for notes or responses.

b) Haga un diagrama que muestre la ubicación de estos genes en los cromosomas.

Lined area for drawing a diagram.

5. En *Drosophila* el color ébano (*e*) del cuerpo y los ojos color rosa (*p*) se encuentran en el cromosoma 4 y son recesivos. Se realizó una cruce de prueba con una hembra heterocigota para ambos genes. La frecuencia más probable de fenotipos entre los descendientes es:

- a) 40% $e^+;p^+$, 38% $e;p$, 10% $e^+;p$, 11% $e;p^+$
- b) 27% $e^+;p^+$, 25% $e;p$, 24% $e^+;p$, 24% $e;p^+$
- c) 30% $e^+;p^+$, 30% $e;p$, 10% $e^+;p$, 24% $e;p^+$
- c) 50% $e^+;p^+$, 5% $e;p$, 22% $e^+;p$, 23% $e;p^+$

6. Una hembra de *Drosophila*, heterocigota para los genes de cuerpo ébano (*e*), los ojos color rosa (*p*) y las alas curvadas (*cy*) se cruzó con un macho homocigoto para esos genes. Alrededor del 60% de los descendientes presentó alguno de los fenotipos progenitores y el resto tenía nuevas combinaciones fenotípicas, ¿están ligados estos genes? Argumente su respuesta.

7. Se tiene un macho de *Drosophila* heterocigoto para tres genes en fase de acoplamiento (*ABC/abc*). Sabiendo que en el sexo masculino de esta especie no ocurre el entrecruzamiento, ¿cuántos y qué tipos de gametos producirá?

8. En una especie vegetal el color rojo (*R*) de los frutos y la forma oval (*O*) del mismo son dominantes sobre fruto amarillo y redondo (*r* y *o*, respectivamente). En la descendencia de una planta heterocigota para estos genes y otra homocigota recesiva, la frecuencia de fenotipos fue: 43 *R;O*, 40 *r;o*, 9 *R;o* y 8 *r;O*. ¿Cuál fue el porcentaje de recombinación?

9. La forma alargada del polen (*A*) es dominante sobre la forma redonda (*a*), el color blanco (*m*) de las flores es recesivo con respecto al color morado (*M*) y la presencia de guías de polen en las flores (*G*) es dominante con respecto a

la ausencia de las mismas (*g*). En la descendencia de la retrocruza se encontraron ocho fenotipos con las siguientes frecuencias:

<i>A;M;G</i>	358
<i>a;m;g</i>	300
<i>a;M;G</i>	34
<i>A;m;g</i>	36
<i>A;m;G</i>	4
<i>a;M;g</i>	2
<i>A;M;g</i>	33
<i>a;m;G</i>	33

a) ¿Cuál es el gene de en medio?

b) ¿Qué distancia en centiMorgans hay entre cada uno de estos genes?

10. Al analizar los resultados de una cruce de prueba en la que se consideraron tres genes ligados, se obtuvo una frecuencia de entrecruzamientos dobles de 0.0075; la frecuencia esperada era 0.0071, ¿cuál fue el coeficiente de coincidencia?

11. Si el coeficiente de coincidencia es 1.030, ¿cuál es el valor de interferencia?

C. Ejercicios de opción múltiple

1. ¿Qué tipo de progenie se encontrará en cruzamientos de prueba donde dos loci que están en un mismo cromosoma presentan ligamiento completo?
- Más recombinantes que parentales
 - Más parentales que recombinantes
 - Solo parentales
 - Parental y recombinantes con igual frecuencia
2. La ceguera de colores rojo-verde o daltonismo es la forma más común de ceguera de colores y se debe a dos genes estrechamente ligados en el cromosoma X humano. La ceguera de rojo (protanopia) y la ceguera de verde (deutanopia) son condiciones recesivas causadas por los alelos p y d respectivamente. Entre estos dos genes reside el *locus* de la glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (G6PD), enzima de los eritrocitos muy importante que tiene una forma defectuosa mutante causada por su alelo recesivo g. Una mujer de fenotipo normal se une con un hombre que padece de protanopia, deutanopia y es G6PD deficiente. Conciben a una hija que tiene ceguera de verde, y un hijo que tiene ceguera de rojo y G6PD deficiente. En este caso el genotipo de la madre y del padre, respectivamente es:
- $pgd/+++$ y pgd/Y
 - $pg+/++d$ y pgd/Y
 - $p+ +/+gd$ y pgd/Y
 - $p+d/+g+$ y pgd/Y
 - pgd/pgd y pgd/Y

Nota: + indica gen normal dominante.

3. ¿Qué tipo de progenie se encontrará en cruzamientos de prueba donde dos loci están a 60 cM de distancia?
- Más recombinantes que parentales
 - Más parentales que recombinantes
 - 60% de parentales y 40% de recombinantes
 - Parental y recombinantes con igual frecuencia
4. En un cruzamiento de tomates se obtuvieron los siguientes resultados: Uno de los progenitores mostraba la condición recesiva para el color amarillo del fruto (r) y flores blancas (w). ¿Cuál es la distancia entre ambos genes y cuál era la fase de los alelos en el cromosoma?

Fruto amarillo y flores blancas	= 187
Fruto rojo y flores blancas	= 56
Fruto amarillo y flores púrpuras	= 44
Fruto rojo y flores púrpuras	= 213
Total	500

- a) 20 cM y posición trans
 - b) 0,2 cM y posición cis
 - c) 0,2 cM y posición trans
 - d) 20 cM y posición cis
5. Al Cruzar una planta heterocigota con una homocigota recesiva se obtuvieron los siguientes genotipos y números de progenie:

ABCD	12	ABCd	8	ABcD	8	ABcd	12
AbCD	3	AbCd	2	AbcD	2	Abcd	3
aBCD	3	aBCd	2	aBcD	2	aBcd	3
abCD	12	abCd	8	abcD	8	abcd	12

Con base en estos datos se puede decir que:

- i. Los loci A,B y D están ligados, y el *locus* C en otro cromosoma.
- ii. Los loci A y B están en un cromosoma, y C y D en otro cromosoma.
- iii. Entre los loci A y B hay un 20% de recombinación.
- iv. Entre los loci A y D hay 35 cM.
- v. Entre los loci C y D hay 40 cM.

Son verdaderas:

- a) Solo i.
 - b) ii, iii y v.
 - c) i, iii y v.
 - d) ii, iv y v.
 - e) i, iv y v.
6. Dos loci (P y S) se ubican muy cerca uno del otro en el mismo cromosoma y no se separan durante la meiosis. Si en una planta heterocigota los alelos están en posición cis, ¿qué fracción de la descendencia expresará el fenotipo recesivo para ambos loci si se produce autofecundación?
- a) 1/16
 - b) Ninguna
 - c) 1/4
 - d) 1/2
7. Cuatro loci se encuentran en un mismo cromosoma en el orden E F G H. Si se cruzan los individuos homocigotos del tipo EEFfggHH x eeffGGHH, el tipo y frecuencia de gametos que se originan en una célula germinal F_1 , si sólo se produce un entrecruzamiento entre los loci G y H, serán:
- a) 100% de tipo parental
 - b) 50% de tipo parental y 50% recombinante
 - c) 50% de tipo parental, 25% EFGH y 25% efgH
 - d) 50% de tipo parental , 25% EfGh y 25% eFgh

8. El entrecruzamiento es la tendencia de los genes a:
- Evitar la recombinación
 - Conservar la combinación progenitora
 - Cambiar continuamente la posición de los genes
 - Transmitirse en diferentes combinaciones a la progenitora E
9. El máximo valor de recombinación es:
- 50
 - 25
 - 75
 - 100
10. La unidad de distancia que separa a los genes en un cromosoma es:
- Micrómetro
 - Centimorgan
 - Milimicra
 - Nanómetro
11. Una característica de la cruce que se emplea para el mapeo cromosómico es que:
- Uno de los progenitores sea heterocigoto y el otro homocigoto recesivo
 - Uno de los progenitores sea heterocigoto y el otro homocigoto dominante
 - Ambos progenitores sean heterocigotos
 - Ambos progenitores sean homocigotos
12. El mapeo de los genes contribuyó a establecer, entre otras cosas, que los genes:
- Ocupan un lugar llamado *locus*
 - Están a la misma distancia uno de otro
 - Tienen un arreglo lineal en el cromosoma
 - Se entrecruzan y recombinan con la misma frecuencia
13. La pérdida de cromosomas humanos en las células híbridas ratón-humano favorece el mapeo de los genes de nuestra especie porque:
- Los genes humanos que se expresan se encuentran en alguno de los cromosomas presentes
 - Los genes de ratón son los únicos que se expresan en las células híbridas
 - Se expresan los genes de ambas especies
 - Algunos genes del ratón inhiben la expresión de los genes humanos
14. El significado biológico más importante del entrecruzamiento es generar variabilidad biológica en:
- los gametos y en las células somáticas
 - las células somáticas

- c. los gametos
 - d. los gametos, células somáticas y células híbridas
15. En las aves de corral (*Gallus gallus*) los loci que codifican para presencia de cresta (C = con cresta, c = sin cresta), color de plumas (B = blancas, b = coloradas) y tipo de plumas (T = plumas crespas, t = Normal) se ubican en el mismo cromosoma. Se cruza un gallo blanco, con cresta y plumas normales, con una gallina colorada, sin cresta y de plumas crespas; ambas aves son homocigotas para los genes bajo estudio. Las pollas F₁ derivadas de este cruzamiento se cruzan con un gallo colorado, sin cresta y de plumas normales, obteniéndose los siguientes pollitos:

Gameto		Gameto	
Blancos, con cresta y normal	27	Colorados, con cresta y normal	1
Blancos, sin cresta y normal	4	Colorados, sin cresta y normal	9
Blancos, con cresta y plumas crespas	8	Colorados, con cresta y plumas crespas	5
Blancos, sin cresta y plumas crespas	1	Colorados, sin cresta y plumas crespas	30

Con base en estos datos, ¿cuál de las siguientes combinaciones es la correcta?

- i. El locus B es el central
 - ii. El locus C es el central
 - iii. El locus T es el central
 - iv. La distancia entre B y C es de 35,29 cM
 - v. La recombinación entre B y C es de un 12,94%
 - vi. La distancia entre B y T es de 22,35 cM
- a) iii, iv, vi
 - b) i
 - c) ii, v, vi
 - d) i, iv, vi
16. En relación con la pregunta anterior, ¿cuál de las siguientes afirmaciones en torno al valor de interferencia es correcta?
- a) La frecuencia esperada de entrecruzamientos dobles es 0,0212.
 - b) Ocurrió un 81,34% menos de entrecruzamientos dobles que los esperados por azar.
 - c) La interferencia fue negativa, por lo tanto hubo más entrecruzamientos dobles que los esperados por azar.
 - d) Ocurrió un 18,66% menos de entrecruzamientos dobles que los esperados por azar.

D. Ejercicios de falso/verdadero

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

- | | Falso | Verdadero |
|---|-------|-----------|
| 1. El estudio de la segregación de los genes ligados al cromosoma X de drosophila contribuyó a establecer la Teoría del Encadenamiento. | () | () |
| 2. La distancia entre los genes ligados se puede estimar a través de la proporción fenotípica en la descendencia. | () | () |
| 3. La estimación de la distancia entre los genes ligados es más precisa en una cruce de tres genes que en otra de dos genes. | () | () |
| 4. El porcentaje de recombinación depende de la distancia entre los genes ligados. | () | () |
| 5. La proporción de entrecruzamientos dobles observada siempre es igual a la esperada. | () | () |
| 6. Los valores del coeficiente de coincidencia son inversamente proporcionales a los de interferencia. | () | () |
| 7. El método del abuelo es el más empleado para mapear genes humanos. | () | () |
| 8. El entrecruzamiento sólo ocurre en células meióticas. | () | () |
| 9. Los intercambios entre cromátidas hermanas no originan combinaciones nuevas. | () | () |
| 10. Un mapa cromosómico es la representación del ordenamiento de los genes en un cromosoma y la distancia relativa entre ellos. | () | () |

130

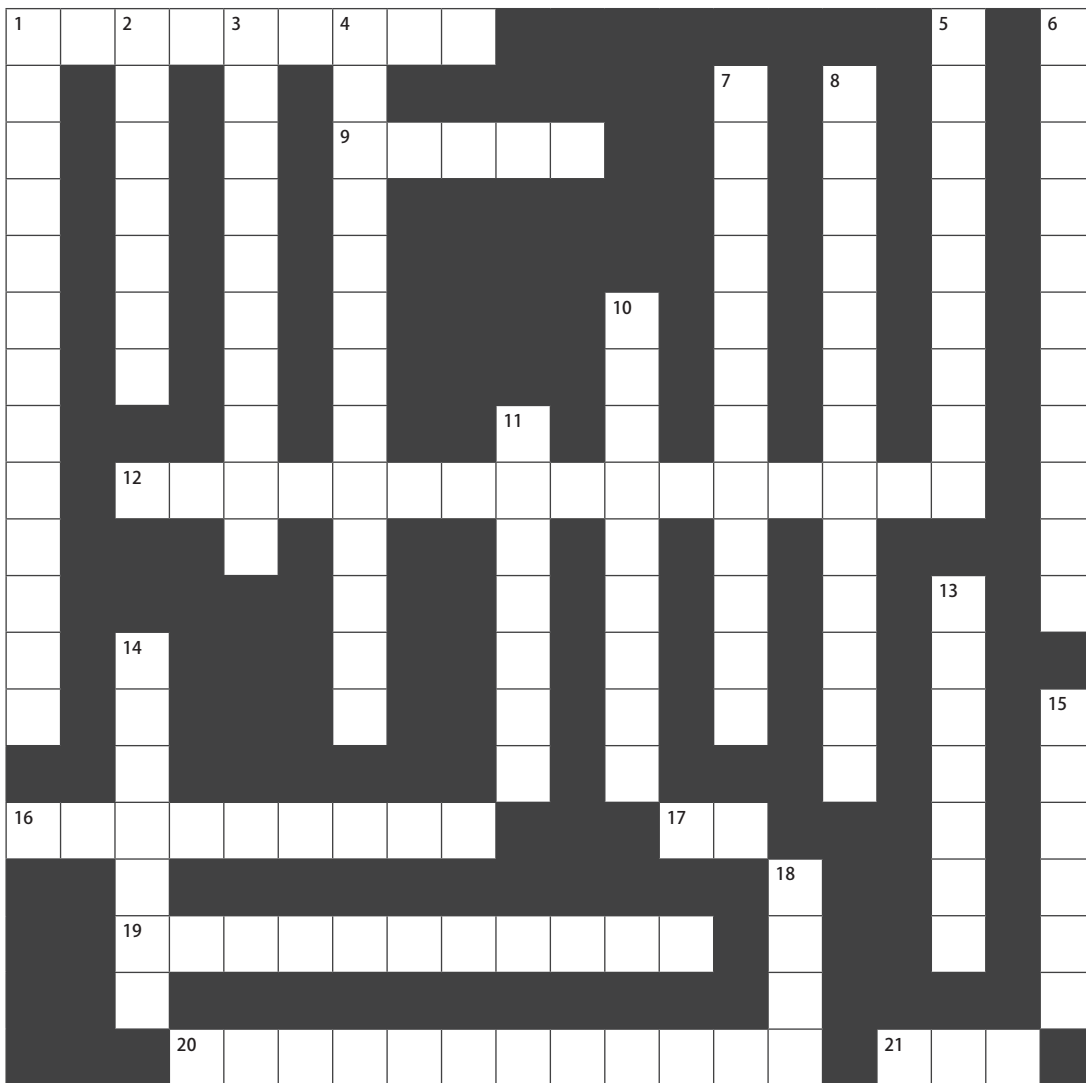
E. Relacionar columnas

Relacione las dos columnas:

- | | |
|---|--|
| () Fenómeno por el cual un entrecruzamiento puede inhibir la ocurrencia de otro en un punto adyacente. | 1. Coeficiente de coincidencia |
| () Estimación de la similitud de la frecuencia de entrecruzamientos dobles observada y la esperada. | 2. Entrecruzamiento |
| () Ocurre excepcionalmente en células somáticas. | 3. Fase de acoplamiento o posición cis |

- () Tendencia de los genes a transmitirse en la misma combinación progenitora.
 - () Condición en que dos genes recesivos ligados pasan juntos a un gameto.
4. Fase de repulsión
 5. Hibridación de células somáticas
 6. Intercambio de cromátidas hermanas
 7. Interferencia
 8. Ligamiento
 9. Mapa cromosómico
 10. Recombinación mitótica

F. Crucigrama



HORIZONTALES

1. Condición en la que uno de los genes ligados es dominante y el otro recesivo.
9. Nombre alternativo de la fase de repulsión.
12. Intercambio de segmentos entre cromosomas homólogos.
16. Género de díptero muy empleado como modelo experimental en genética.
17. Unidad de mapa (abreviatura).
18. Grupo de hongos que producen esporas cuyos cromosomas pueden ser mapeados
19. Coeficiente que compara la frecuencia observada y esperada de entrecruzamientos.
20. Nombre alternativo de la fase de acoplamiento.
4. Cuando un entrecruzamiento interfiere a otro en un sitio adyacente.
5. Etapa de la profase I en la que ocurre el entrecruzamiento.
6. Método por el que se obtienen células heterocariontes.
7. Dos genes recesivos en el mismo cromosoma se transmiten juntos.
8. Complejo proteico que mantiene unidos a los cromosomas homólogos durante la profase I.
10. Tipo de células que se emplean para formar heterocariontes.
11. Evidencia citológica de que ocurrió un entrecruzamiento.
13. División celular que da como resultado cuatro células haploides.
14. Células especializadas de los hongos que tienen el potencial de generar otros individuos de la misma especie (plural).
15. Organismos heterótrofos, en su mayoría pluricelulares, que han contribuido al mapeo cromosómico.
18. Representación gráfica de la secuencia de genes en un cromosoma y de la distancia entre ellos.

VERTICALES

1. Proceso por el que se forman nuevas combinaciones génicas.
2. Fase de la meiosis I que consta de cinco etapas.
3. Tendencia de los genes a transmitirse juntos de una generación a otra.

G. Completar definiciones

Complete los enunciados con la palabra que considere correcta:

A los genes que se encuentran en un mismo cromosoma se les denomina genes _____ y, a diferencia de los que están en cromosomas independientes, tienden a transmitirse _____. En una cruce en la que se consideran dos genes en el mismo cromosoma, si ambos son dominantes o recesivos, se dice que están en la fase de _____ o cis, mientras que si uno es dominante y el otro recesivo, están en fase de _____ o _____. Las nuevas combinaciones génicas, diferentes de las progenitoras, surgen como resultado del _____, el cual ocurre durante la _____ de la división _____. En esa etapa, los cromosomas _____ se aparean e _____ segmentos produciendo así gametos recombinantes.

H. Estudio de casos

1. En el tomate, el alelo recesivo *nt* codifica para fruto alargado y el alelo dominante *C* determina resistencia al hongo de las hojas, ambos loci se ubican en el cromosoma V. Una planta doble heterocigota (*Nt nt C c*) es cruzada con una planta de frutos alargados y susceptible al ataque del hongo (*nt nt c c*).

N. Progenie	Fenotipo
48	Fruto redondo y susceptible
11	Fruto redondo y resistente
47	Fruto alargado y resistente
14	Fruto alargado y susceptible

133

- a) ¿Cuál es la distancia entre estos genes?
-

- b) ¿El heterocigoto cruzado era *cis* o *trans*?
-

2. La distancia que separa los loci A y B autosómicos ligados es de 20%. Si se cruza dos individuos doble heterocigotos, indique:

- a) Las frecuencias fenotípicas esperadas en la descendencia de un cruzamiento *Trans x Trans*:

AB: _____ Ab: _____ aB: _____ ab: _____

- b) Las frecuencias fenotípicas esperadas en la descendencia de un cruzamiento de prueba para un heterocigoto *Cis*:

AB: _____ Ab: _____ aB: _____ ab: _____

3. En los frijoles la planta alta (*T*) es dominante sobre la enana (*t*), flores rojas (*R*) es dominante sobre flores blancas (*r*) y hojas anchas (*A*) es dominante sobre hojas delgadas (*a*). Del cruzamiento entre plantas de frijol alta, roja y ancha x enana, blanca y delgada se obtiene la siguiente progenie:

N. Progenie	Altura	Flores	Hojas
478	alta	blanca	ancha
21	alta	roja	ancha
19	enana	blanca	ancha
482	enana	roja	ancha

- a) ¿Cuál es el genotipo de los padres que originaron la planta enana, blanca y delgada que participa en esta cruce? Use un sistema que denote la posición de los alelos en los cromosomas.
Genotipo: _____ x _____ → enana, blanca, delgada
- b) ¿Cuál es la probabilidad de obtener una planta homocigota alta, roja y ancha si la planta padre alta, roja, ancha se autofecunda?
-
4. En maíz el alelo dominante C produce aleurona coloreada, mientras que su alelo recesivo c la produce sin color. Un segundo gen dominante Wx produce endosperma almidonosa y su alelo recesivo wx endosperma cerosa. Cuando plantas sin color y de semilla almidonosa fueron cruzadas con plantas de semilla coloreada y cerosa, y el F₁ es sometido a un cruzamiento de prueba, se obtuvo la siguiente progenie: 739 sin color-cerosa, 2728 sin color-almidonosa, 2578 con color-cerosa y 717 con color-almidonosa.
- a) Escriba el genotipo del heterocigoto F₁ e indique si está en fase acoplamiento *Cis* o repulsión *Trans*.
-
- b) A qué distancia de mapa se encuentran los loci C y Wx.
-
5. Se cruzan los individuos AAbb x aaBB, ¿qué proporción de los gametos producidos por un descendiente de esta cruce será del tipo AB?
- a) Si los loci A y B se encuentran a 40 cM de distancia en el mismo cromosoma.
-
- b) Si se encuentran en distintos cromosomas.
-
- c) Si en un 40% de las meiosis que los producen ocurre un entrecruzamiento entre A y B.
-
6. La ceguera de colores rojo-verde es la forma más común de ceguera de colores y se debe a dos genes estrechamente ligados en el cromosoma X humano. La ceguera de rojo (protanopia) y la ceguera de verde (deutanopia) son condiciones recesivas causadas por los alelos p y d respectivamente. Entre estos dos genes reside el *locus* G6PD, de la glucosa-6-fosfato deshidrogenasa, enzima de los eritrocitos muy importante, que tiene una forma deficiente

causada por su alelo recesivo g. Una mujer de fenotipo normal se une con un hombre que padece de protanopia, deutanopia y es G6PD deficiente. Conci-ben una hija que tiene ceguera de rojo y G6PD deficiente, y un hijo que tiene ceguera de verde. Con esta información responda:

a) ¿Cuál es el genotipo del padre? Use notación de ligamiento.

b) Escriba el arreglo más probable de los genes en la madre (asigne genotipos que muestren la posición de los genes en el cromosoma).

c) La mujer se separa y tiene un segundo hijo con una nueva pareja que es de fenotipo normal, y su hijo es protanópico, deutanópico y G6PD deficiente; explique cómo pudo ocurrir esto.

7. Se cruzaron moscas (*Drosophila*) machos de cuerpo sin franjas (n = no stripe), peludos (h = hairy body) y ojos normales (+) con hembras de cuerpo normal (+), sin pelos (+) y ojos ásperos (r = rough eyes), ambos líneas puras. Posteriormente se cruzaron hembras F1 con machos de genotipo nn hh rr y se obtuvieron las siguientes proporciones cuando se contó una muestra de 500 descendientes:

Número	Fenotipo	
217	Cuerpo peludo y sin franjas	(h n)
212	Ojos ásperos	(r)
9	Cuerpo peludo y ojos ásperos	(h r)
8	Cuerpo sin franjas	(n)
24	Cuerpo peludo, sin franjas y ojos ásperos	(n, h, r)
25	Tipo silvestre, normal	(+ + +)
2	Cuerpo peludo	(h)
3	Cuerpo sin franjas y ojos ásperos	(n r)

a) ¿Cuáles son las distancias de mapa entre los tres loci?

Distancia entre h- n: _____

Distancia entre n- r: _____

Distancia entre h-r: _____

b) Dibuje el mapa correspondiente.

c) Calcule el valor de coincidencia y de interferencia.

Coincidencia, $C =$ _____

Interferencia, $I =$ _____

d) Explique qué significa el valor específico de interferencia obtenido.

8. En una planta de tomates los siguientes loci están ligados en el cromosoma 2:

Alelo	Rasgo	Alelo	Rasgo
+	planta alta	a	planta enana
+	hojas verdes	m	hojas moteadas
+	fruto suave	y	fruto pubescente

Plantas triple heterocigotas en posición Cis completa se retrocruzan con plantas homocigotas recesivas para los tres loci, y se obtiene los siguientes resultados:

Fenotipo	Número	Gameto	Número
+++	370	a++	23
++y	5	a+y	115
+my	20	a+m+	6
+m+	120	a+my	341

a) ¿Cuáles son los genotipos producto de entrecruzamiento doble?

b) ¿Cuál es el orden correcto de estos loci en el cromosoma?

9. En el tomate se ha encontrado que los loci o (fruto alargado), p (fruto velloso) y s (inflorescencia compuesta) están en el mismo cromosoma. Dos plantas triple homocigotas se cruzaron para obtener un F_1 triple heterocigoto. Se realizó un cruzamiento de prueba para el individuo triple recesivo, obteniéndose la siguiente descendencia:

OPS 73; OPs 340; OpS 2; Ops 96; oPS 110; opS 306; ops 63 y oPs 0.

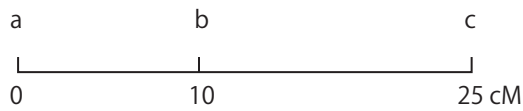
a) El orden de los loci en el cromosoma es : _____ .

b) El genotipo de ambos padres del triple heterocigoto: _____ y _____ .

c) La distancia genética entre los loci P y S: _____ .

Nota: Use una notación que indique la posición de los alelos en cada cromosoma.

10. Hembras de *Drosophila melanogaster*, con genotipo ABC/Abc, para tres loci autosómicos (a, b y c), se cruzan con machos Abc/Abc. El mapa genético para los tres loci se muestra en la figura siguiente, y se sabe además que no hay interferencia en la zona estudiada.



- a) ¿Qué proporción de los gametos producidos por las hembras será del tipo ABC?

- b) ¿Qué proporción de la descendencia será del fenotipo abc?

I. Referencias

Klug, W.S., Cummings, M.R., Spencer, C., 2008. *Concepts of Genetics*. EUA: Benjamin-Cummings Publishing Company.

National Human Genome Research Institute [en línea]. Disponible en: <http://www.genome.gov/10001772>. [consultado el 8 de octubre de 2104].

Perteu, M., Salzberg, S.L., 2010. Between a chicken and a grape: estimating the number of human genes. *Genome Biology* 11(5): 206.

Rodríguez-Arnaiz, R., Castañeda, A.N., Ordaz, M.G., 2016. *Conceptos básicos de genética*. 3ª ed. [e-Book]. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/455>

María de los Ángeles Aguilar Santamaría
Universidad Autónoma Metropolitana, México • maas@xanum.mx
Cristian Araneda Tolosa
Universidad de Chile, Chile • ccraned@uchile.cl