Datos del estudiante

Nombre y apellidos Ana Sofia Santos Tedim Sousa Pedrosa

Fecha de entrega 09/12/2025

Actividad 2. Resolución de ejercicios de genética de poblaciones

Introducción

La **ley de Hardy-Weinberg (EHW)** establece una relación matemática que permite calcular las frecuencias genotípicas esperadas a partir de las frecuencias alélicas si una población cumple una serie de postulados ideales (ejemplos: población grande, apareamiento al azar, ausencia de mutación, selección o migración, etc).

Para un locus autosómico con dos alelos **A** y **a**, si: *p = f(A)*; *q = f(a)*, en que *f* representa la frecuencia, entonces *p+q* =1. En este caso las **frecuencias genotípicas esperadas** en equilibrio son: AA = p^2, Aa = 2pq, y aa = q^2.

Para comprobar si una población está en equilibrio se comparan las frecuencias genotípicas observadas con las esperadas, y opcionalmente se puede realizar una **prueba χ^2**.

1. En una población, las frecuencias genotípicas para dos *loci* independientes son las siguientes. Determine si la población está en equilibrio para estos *loci:*

- *Locus A,a* → Homocigotos dominantes: 0,09. Heterocigotos: 0,42. Homocigotos recesivos: 0,49.
- *Locus B,b* → Homocigotos dominantes: 0,64. Heterocigotos: 0,32. Homocigotos recesivos: 0,04.

1.1. Verificación de la ley de Hardy-Weinberg para el Locus A,a

Las frecuencias genotípicas observadas para el locus A,a fueron: AA = 0,09; Aa = 0,42; y aa = 0,49.

Primero comprobamos que las frecuencias suman 1:

$$0{,}09 + 0{,}42 + 0{,}49 = 1$$

Para el cálculo de la frecuencia alélica del Aleo A usamos la fórmula:

$$p_A = f(A) = f(AA) + \frac{1}{2} f(Aa)$$

Que traducida a nuestros datos se quedaría:

$$p_A = 0{,}09 + 0{,}5(0{,}42) = 0{,}09 + 0{,}21 = 0{,}30$$

Para el cálculo de la frecuencia alélicas del Aleo a usamos la fórmula:

$$q_a = 1 - p_A$$

Que traducida a nuestros datos se quedaría:

$$q_a = 1 - 0{,}3 = 0{,}70$$

Para el cálculo de las frecuencias esperadas bajo la Ley de Hardy-Weinberg usamos las fórmulas que hemos hablado en la introducción:

$$f(AA) = p_A^2$$
$$f(AA) = (0{,}30)^2 = 0{,}09$$
$$f(Aa) = 2p_A q_a$$
$$f(Aa) = 2(0{,}30)(0{,}70) = 0{,}42$$
$$f(aa) = q_a^2$$
$$f(aa) = (0{,}70)^2 = 0{,}49$$

Tabla 1. Tabla resumen de los resultados frecuencias alélicas locus A,a

Alelos	Frecuencias observadas	Frecuencias esperadas
AA	0,09	0,09
Aa	0,42	0,42
aa	0,49	0,49

Los valores de las frecuencias observados y los valores de las frecuencias esperadas coinciden exactamente. Por lo que podemos afirmar que la población está en equilibrio de Hardy-Weinberg para el locus A.

1.2. Verificación de la ley de Hardy-Weinberg para el Locus B,b

Las frecuencias genotípicas observadas para el locus B,b fueron: BB = 0,64; Bb = 0,32; y bb = 0,04.

Primero comprobamos que las frecuencias suman 1:

$$0{,}64 + 0{,}32 + 0{,}04 = 1$$

Para el cálculo de la frecuencia alélica del Aleo B usamos la fórmula:

$$p_B = f(B) = f(\text{BB}) + \frac{1}{2} f(\text{Bb})$$

Que traducida a nuestros datos se quedaría:

$$p_B = 0{,}64 + 0{,}5(0{,}32) = 0{,}64 + 0{,}16 = 0{,}80$$

Para el cálculo de la frecuencia alélicas del Aleo b usamos la fórmula:

$$q_b = 1 - p_B$$

Que traducida a nuestros datos se quedaría:

$$q_b = 1 - 0{,}80 = 0{,}20$$

Para el cálculo de las frecuencias esperadas bajo la Ley de Hardy-Weinberg usamos las fórmulas que hemos hablado en la introducción:

$$f(BB) = p_B^2$$

$$f(BB) = (0{,}80)^2 = 0{,}64$$

$$f(Bb) = 2p_B q_b$$

$$f(Bb) = 2(0{,}80)(0{,}20) = 0{,}32$$

$$f(bb) = q_b^2$$

$$f(bb) = (0{,}20)^2 = 0{,}04$$

Tabla 2. Tabla resumen de los resultados frecuencias alélicas locus B,b

Alelos	Frecuencias observadas	Frecuencias esperadas
BB	0,64	0,64
Bb	0,32	0,32
bb	0,04	0,04

Los valores de las frecuencias observados y los valores de las frecuencias esperadas coinciden exactamente. Por lo que podemos afirmar que la población está en equilibrio de Hardy-Weinberg para el locus B.

Con los resultados obtenidos en el ejercicio 1 podemos concluir que los Loci A,a y B,b son independientes una vez que ambos se encuentran en equilibrio de Hardy-

Weinberg. También podemos concluir que la población está en equilibrio para ambos loci considerados individualmente.

Podría pensarse que la población está en equilibrio de ligamento para los Loci A,a y B,b ya que la población se encuentra en equilibrio de Hardy–Weinberg para cada uno de ellos y que en el enunciado se especifica que los dos loci son independientes. Sin embargo, no podemos comprobar matemáticamente el equilibrio de ligamento porque no se nos ofrecen las frecuencias de los haplotipos AB, Ab, aB y ab.

2. En una granja de aves, se han encontrado 224 individuos de plumaje rizado fuerte, 500 de tipo liso y 676 de rizado intermedio. Calcule las frecuencias alélicas e indique si esta población de aves se encuentra en equilibrio mediante una prueba χ^2.

2.1. Determinación del genotipo usando de fenotipo:

Dado que hay tres fenotipos y uno de ellos es intermedio, interpretamos que se trata de un locus con dos alelos (R y r) que están en codominancia o dominancia incompleta. Teniendo en cuenta que el fenotipo observado es intermedio lo más probable es que se trate de un caso de dominancia incompleta ya que en estos cados el heterocigoto presenta un fenotipo intermedio.

En esta población las aves con plumaje rizado fuerte serian el homocigoto RR, las aves con plumaje de rizado intermedia sería el heterocigoto Rr y las aves con plumaje liso serian el homocigoto rr. Desde estos fenotipos podemos inferir directamente en genotipo para el loci R: homocigoto RR (rizado fuerte): 224 individuos, heterocigoto Rr (rizado intermedio): 676 individuos, homocigoto rr (liso): 500 individuos.

Podemos asi calcular la población total de aves que tenemos sumando todas las poblaciones:

$$N = 224 + 676 + 500 = 1400 \text{ individuos}$$

2.2. Determinación de la frecuencias alélicas de la población

Para determinar las frecuencias alélicas de la población podemos usar la formula general para el alelo R:

$$p_R = f(R) = \frac{2N_{RR} + N_{Rr}}{2N}$$

Que traducida a nuestras datos quedaría:

$$p_R = \frac{2 \times 224 + 676}{2 \times 1400} = \frac{448 + 676}{2800} = \frac{1124}{2800} = 0{,}40$$

Para determinar las frecuencias alélicas de la población podemos usar la formula general para el alelo r:

$$q_r = f(r) = 1 - p$$

Que traducida a nuestras datos quedaría:

$$q_r = 1 - 0{,}401 = 0{,}599 = 0{,}6$$

Para el cálculo de las frecuencias bajo la Ley de Hardy-Weinberg usamos las fórmulas que hemos hablado en la introducción:

$$f(RR) = p_R^2$$

$$f(RR) = (0{,}40)^2 = 0{,}16$$

$$f(Rr) = 2p_Rq_r$$

$$f(Rr) = 2 \times 0{,}40 \times 0{,}60 = 0{,}48$$

$$f(rr) = q_r^2$$

$$f(rr) = (0{,}60)^2 = 0{,}36$$

2.3. Determinación de la frecuencias alélicas esperadas de la población

Para determinar el número de individuos esperados de cada fenotipo que debería de tener nuestra población multiplicamos las frecuencias alélicas obtenidas por el N total de individuos de la población:

$$E_{RR} = p^2N$$

$$E_{Rr} = 2pqN$$

$$E_{rr} = q^2N$$

Que traducidas a nuestras datos quedaría:

$$E_{RR} = 0{,}16 \times 1400 = 224$$

$$E_{Rr} = 0{,}48 \times 1400 = 672$$

$$E_{rr} = 0{,}36 \times 1400 = 504$$

Tabla 3. Tabla resumen de los resultados de los tipos de plumaje de la población de aves

Fenotipo (Genotipo)	Individuos Observados	Individuos Esperados
Rizado fuerte (RR)	224	224
Rizado intermedio (Rr)	676	672
Lisa (rr)	500	504

Como se pode observar el número de individuos observados para cada tipo de plumaje es muy semejante al número de individuos esperados para ese mismo tipo de plumaje.

2.4. Prueba del χ^2

Utilizamos la prueba de χ^2 de Pearson porque permite comparar de forma objetiva si las frecuencias genotípicas observadas en una población coinciden con las frecuencias esperadas bajo el equilibrio de Hardy–Weinberg (EHW)**.** Esta prueba cuantifica la diferencia entre observado y esperado y determina si dicha desviación puede explicarse por el azar. Si el valor de χ^2 no supera el valor crítico, se acepta que la población está en equilibrio; si lo supera, se concluye que existe desequilibrio y que alguna fuerza evolutiva está actuando. Por ello, la prueba χ^2 es el método estándar para verificar el cumplimiento del EHW en genética de poblaciones.

$$\chi^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E}$$

En el que **O** es la frecuencia o número de individuos que se observa en la población real para cada genotipo y **E** es la frecuencia o número esperado bajo el equilibrio de Hardy–Weinberg, calculado a partir de las frecuencias alélicas.

2.4.1. Calculamos el valor de χ^2 para cada genotipo:

A) Para el genotipo homocigoto RR que corresponde al fenotipo de aves con plumas de rizado fuerte:

$$X_{RR}^2 = \frac{(224-224)^2}{224} = \frac{0^2}{224} = 0$$

B) Para el genotipo heterocigoto Rr que corresponde al fenotipo de aves con plumas de rizado intermedio:

$$X^2_{Rr} = \frac{(676-672)^2}{672} = \frac{4^2}{672} = \frac{16}{672} = 0{,}024$$

C) Para el genotipo heterocigoto rr que corresponde al fenotipo de aves con plumas lisas:

$$X^2_{rr} = \frac{(500-504)^2}{504} = \frac{4^2}{504} = \frac{16}{504} = 0{,}024$$

Sumando:

$$\chi^2 = 0 + 0{,}024 + 0{,}024 = 0{,}048$$

2.4.2. Cálculo de los grados de libertad

Para aplicar la prueba χ^2 al equilibrio de Hardy-Weinberg es necesario calcular los grados de libertad, que indican cuánta información independiente contienen los datos. Según el temario, los **grados de libertad se obtienen mediante la expresión *número de clases - número de parámetros estimados - 1***. En un locus autosómico con tres genotipos (RR, Rr y rr) y un único parámetro estimado a partir de los datos (la frecuencia alélica p, ya que q es 1-p), el valor resultante es 1 grado de libertad. Este valor es el que se utiliza para comparar el χ^2 calculado con el valor crítico correspondiente.

En este caso concreto para un locus con 3 genotipos (RR, Rr y rr) y 2 alelos, estimando *p* a partir de los datos:

$$\text{grados de libertad} = 3 - 1 - 1 = 1$$

El valor crítico de χ^2para $\alpha = 0{,}05$ y 1 grado de libertad es aproximadamente 3,84. El valor que obtuvimos para χ^2 es de 0,048 es decir mucho menor que 3.84. Por tanto, NO rechazamos la hipótesis nula de equilibrio de Hardy-Weinberg, es decir que la población está en equilibrio.

Los números observados son muy próximos a los esperados bajo Ley de Hardy-Weinberg, y la prueba de χ^2 indica que las pequeñas diferencias encontradas pueden atribuirse al azar. Teniendo en cuenta estos resultados podemos afirmar que la población de aves se encuentra en equilibrio según la Ley de Hardy-Weinberg para el locus que determina el tipo de plumaje (rizado fuerte, intermedio o liso).