

https://doi.org/10.24245/rev_hematol.v26i1.25

La prueba χ^2 en el área de la salud

χ^2 test in health area.

Amado Jiménez Ávila,^{1,2} Cinthia Denisse Pérez Carrillo,² Dilan Daniel Guerra Zepeda²

Resumen

La prueba χ^2 se usa comúnmente para el análisis de variables cuantitativas o categóricas en conjuntos de datos en los que las observaciones se agrupan en categorías. Esta prueba evalúa las diferencias estadísticas entre un evento o enfermedad y una exposición asociada. En las ciencias de la salud, se aplica con frecuencia para analizar enfermedades comparando porcentajes esperados y observados. La hipótesis nula (H_0) no plantea diferencias entre los porcentajes observados y esperados, mientras que la hipótesis alternativa sugiere una diferencia significativa. Este artículo proporciona una visión general de la prueba χ^2 , sus principios fundamentales, los criterios para la selección de variables y sus posibles aplicaciones en la investigación en ciencias de la salud.

PALABRAS CLAVE: Ciencias de la salud; análisis cuantitativo; diferencias estadísticas; hipótesis nula.

Abstract

The χ^2 test is commonly used for the analysis of quantitative or categorical variables in datasets where observations are grouped into categories. This test evaluates statistical differences between an event or illness and an associated exposure. In the health sciences, it is frequently applied to analyze diseases by comparing expected and observed percentages. The null hypothesis (H_0) posits no difference between observed and expected percentages, while the alternative hypothesis suggests a significant difference. This article provides an overview of the χ^2 test, its fundamental principles, the criteria for variable selection, and its potential applications in health science research.

KEYWORDS: Health sciences; Quantitative analysis; Statistical differences; Null hypothesis.

¹ Universidad de la Salud del Estado de Puebla (USEP), México.

² Estudiante de maestría en Ciencias en Epidemiología, Instituto Nacional de Salud Pública.

Recibido: 3 de marzo 2025

Aceptado: 14 de abril 2025

Correspondencia

Amado Jiménez Ávila
j_avila_87@hotmail.com

Este artículo debe citarse como: Jiménez-Ávila A, Pérez-Carrillo CD, Guerra-Zepeda DD. La prueba χ^2 en el área de la salud. Hematol Mex 2025; 1: 1-6.

INTRODUCCIÓN

La χ^2 de Pearson es una prueba estadística de contraste de hipótesis que se aplica para analizar datos recogidos en forma de número de observaciones de cada categoría; sirve para analizar variables cuantitativas o categóricas y para comparar proporciones (porcentajes). Se requiere una cantidad suficiente de observaciones para que sea válida (limitación de la prueba).¹ Tiene como objetivo evaluar el comportamiento del fenómeno esperado contra el comportamiento real.² Forma parte de una familia de distribuciones, donde cada distribución se define por los grados de libertad. Este tipo de prueba se considera de bondad de ajuste de las frecuencias observadas a las frecuencias que se esperarían si los datos fueran generados bajo alguna hipótesis general.³ Este tipo de prueba se requiere con frecuencia en la práctica de la investigación y desarrollo de diversas áreas donde existen conjuntos de datos reales.

La distribución de χ^2 es una familia de distribuciones que se usa para probar la asociación entre dos variables y para evaluar en qué medida se ajusta la distribución de frecuencia medida con los datos de una muestra.⁴

ANTECEDENTES

La prueba χ^2 es una de las pruebas de hipótesis más antiguas; la inventó Karl Pearson (1857-1936) a principios del siglo XX. Es el exponente de la escuela estadística anglosajona y autor de esta distribución y de la revista *Biometrika*.⁵ Pearson encontró una distribución asintótica cuando se conocen los parámetros, pero al tener parámetros desconocidos y reemplazarlos por sus estimativos, la distribución asintótica era la misma. Fisher introdujo la noción de grados de libertad y su teoría de máxima verosimilitud que Pearson nunca aceptó porque él usaba el método de momentos, permitiendo encontrar la distribución asintótica correcta de la χ^2 con

parámetros desconocidos. La aplicación de la χ^2 en la inferencia estadística forma parte de los 20 descubrimientos del siglo XX; se considera la epifanía de la disciplina (estadística). Sir Ronald Aylmer Fisher (1890-1962), cuyas ideas y conceptos consolidaron el estado científico de la estadística, le hizo correcciones.

En el campo de la hematología, la prueba χ^2 se ha utilizado para estudios de asociación genética, para identificar la relación entre polimorfismos genéticos y trastornos hematológicos. Se hizo un estudio de casos y controles que incluyó 98 casos de leucemia mieloide aguda y 112 controles sanos; los polimorfismos rs1799930 y rs1799931 del gen NAT2 se genotiparon por secuenciación directa. Se hizo la prueba χ^2 para comparar las diferencias en la distribución de genotipos y alelos entre los grupos; los hallazgos sugirieron que los polimorfismos del gen NAT21799931 se asociaron con menor riesgo de leucemia mieloide aguda y, probablemente, sea un factor protector contra ésta.⁶ En el área de la hematología el investigador observa los hechos de la práctica clínica sobre los que formula una pregunta para determinar el efecto causa-consecuencia.⁷

Fundamentos de la prueba

En la rama de las ciencias de la salud es frecuente trabajar con variables cualitativas o categóricas. Estas variables se expresan en proporciones o porcentajes a diferentes niveles de categorías de una variable.⁸ Un ejemplo de ello enfocado a ciencias de la salud sería la proporción de pacientes que requieren ingreso hospitalario; esta variable sería dicotómica nominal debido a que se categoriza en si ingresan o no ingresan.⁹

La prueba χ^2 analiza y compara la relación entre las variables mencionadas. Específicamente, compara las diferencias entre los porcentajes esperados y los observados sobre el supuesto de las hipótesis:

H_0 : "Igualdad entre la distribución de los datos en las dos variables" ($f_o = f_e$). En palabras coloquiales: las diferencias entre las frecuencias observadas y las esperadas son muy pequeñas y, por ello, el estadístico χ^2 también tendrá un valor pequeño.

H_a : "Ausencia de igualdad" ($f_o \neq f_e$). Es decir, que el estadístico χ^2 también tendrá un valor bastante grande y, por ende, las diferencias serán grandes. Esto indica que el azar no es la razón que explica las diferencias.

Expresión inicial de donde parte la prueba χ^2 de Pearson:

$$\chi^2 = \frac{\sum^2 (f_o - f_e)^2}{f_e}$$

f_o : Frecuencia observada de cada categoría.

f_e : Frecuencia esperada de cada categoría y se define como la suma de las frecuencias de todas las categorías o número de categorías.

Supuestos: cumplimiento para el uso de χ^2 en relación con sus variables

1. Medida en escala nominal.
2. De naturaleza discreta (números enteros, no fraccionarios).
3. Debe ser dicotómica o admitir una determinada cantidad de categorías.
4. Cuando las frecuencias esperadas son menores a 5 (< 5) en un 25% de los casos se puede causar una alteración en el resultado obtenido. Por ello, si esto sucede, no se aconseja el uso de χ^2 .⁹

Prueba de bondad de ajuste

La prueba de bondad de ajuste compara las frecuencias observadas con las esperadas bajo una distribución teórica específica. Se utiliza para evaluar si un conjunto de datos sigue una

distribución particular; a esto se le llama evaluar la bondad de ajuste.¹⁰

Primero se definen las hipótesis de estudio, se usa la hipótesis nula y la alterna.

H_0 : ($f_o = f_e$)

H_a : ($f_o \neq f_e$)

Después, mediante la tabla de contingencia se calculan las frecuencias esperadas, la prueba χ^2 , los grados de libertad y, finalmente, se hacen las comparaciones entre el valor obtenido de la prueba χ^2 y el valor crítico para rechazar o no la H_0 .

El **Cuadro 1** representa una tabla de contingencia en la que se analiza qué son las frecuencias observadas, las esperadas, las marginales y los grados de libertad.

Frecuencias observadas

Cantidad de veces que se presenta la combinación de niveles (categorías) de cada variable 1 y 2. En este caso están representadas por las letras a, b, c, y d y las celdas de color amarillo.

Frecuencias esperadas

Son el resultado de dividir el producto de cada marginal de fila y columna por el total de las frecuencias observadas.

Frecuencias marginales

Son la suma por filas y columnas de las frecuencias observadas; en el ejemplo están representadas por las celdas de color rosa (fila) y verde (columna).

Grados de libertad

Es el producto de la cantidad de filas menos uno por la cantidad de columnas menos uno, es decir, $GL = [(filas-1) * (columnas-1)]$.^{8,9}

Cuadro 1. Representación de la distribución de las características de χ^2 en una tabla de 2 x 2, basada en Rodríguez Sabiote (2007)⁹

	Variable 2			
		Categoría (variable 2)		Marginales
Variable 1	Categoría (variable 1)	X	Y	
	X	a	b	Marginal horizontal fila 1
	Y	c	d	Marginal horizontal fila 2
	Marginales	Marginal vertical columna 1	Marginal vertical columna 2	Total

Selección de variables

En el ambiente clínico la selección de variables puede darse por el desenlace de un trastorno o enfermedad de forma categórica. Un ejemplo es el dolor de cabeza que puede clasificarse en diferentes grados; aun así, si la medida de la variable es cuantitativa, por ejemplo, la presión arterial, puede clasificarse en una categoría como hipertensión sí o no según el punto de corte que se asigne. Esto quiere decir que cualquier variable puede categorizarse siempre y cuando existe una plausibilidad biológica o esté sustentada en la bibliografía.

Para la prueba χ^2 es necesario generar la hipótesis de investigación de las variables que queremos relacionar, por ejemplo: “El consumo de sal se asocia con la hipertensión”. Observamos que las variables de la hipótesis son el consumo de sal y la hipertensión, donde el consumo de sal es la exposición y la hipertensión es el desenlace. Aunque el consumo de sal se mide de forma cuantitativa, pueden categorizarse los datos en alto consumo de sal y bajo consumo de sal según el punto de corte que se le asigne; al igual que en la hipertensión, el punto de corte es una presión arterial mayor a 140-90 mmHg.¹¹ Categorizar las variables permite interpretar cómo los diferentes grados de consumo de sal afectan la prevalencia de la hipertensión, lo que proporciona información para intervenciones en salud.

Cómo se realiza la prueba

Lo más importante es hacer la tabla de contingencia para identificar a los sujetos según la existencia o ausencia de la hipertensión o el consumo de sal; es decir, cuántos pacientes tienen hipertensión con un consumo alto de sal, quiénes no tienen hipertensión con un bajo consumo de sal, quiénes no tienen hipertensión con un alto consumo de sal y, por último, quiénes no tienen hipertensión con un consumo alto de sal.

El **Cuadro 2** muestra un ejemplo hipotético.¹¹

Para la χ^2 primero debemos calcular los valores esperados de cada una de las celdas con las siguientes fórmulas:

Valores esperados celda a =
$$\frac{e * g}{Total} = \frac{60 * 65}{125} = 31.2$$

Cuadro 2. Elaboración de la tabla de contingencia con datos hipotéticos

	Consumo de sal		Totales marginales filas
Hipertensión	Alto	Bajo	
Sí	50 (a)	10 (b)	60 (e)
No	15 (c)	50 (d)	65 (f)
Totales marginales columnas	65 (g)	60 (h)	Total: 125

$$\text{Valores esperados celda } b = \frac{e * h}{\text{Total}} = \frac{60 * 60}{125} = 28.8$$

$$\text{Valores esperados celda } c = \frac{e * g}{\text{Total}} = \frac{65 * 65}{125} = 33.8$$

$$\text{Valores esperados celda } d = \frac{e * h}{\text{Total}} = \frac{60 * 65}{125} = 31.2$$

Una vez calculados los valores esperados, se aplica la fórmula de la χ^2 a cada celda y, por último, se suman.

$$\frac{(O - E)^2}{E} = \frac{(50 - 31.2)^2}{31.2} + \frac{(10 - 28.8)^2}{28.8} +$$

$$\frac{(15 - 33.8)^2}{33.8} + \frac{(50 - 31.2)^2}{31.2} = 45.38$$

Otra manera de obtener el valor de χ^2 y los valores esperados de cada una de las celdas es usando el programa Stata, mediante el comando **tabi**, como se muestra a continuación:

tabi 50 10\15 50, expected χ^2 , del cual se obtiene la tabla que se muestra en la **Figura 1**.

En tablas 2 x 2 y en el programa Stata χ^2 mayor a 3.83 se considera el punto de corte para rechazar la hipótesis nula de que no existe diferencia entre el consumo de sal y la hipertensión; es decir, al tener un valor de χ^2 de 45.38 puede asegurarse que existe evidencia estadísticamente significativa de que la hipertensión se asocia con el consumo de sal; es decir, que la diferencia del consumo de sal en los pacientes influye en la aparición de hipertensión. Es necesario observar el valor p: un valor p menor de 0.05 es un punto de corte para el rechazo de la hipótesis nula. Este tipo de procedimientos estadísticos puede calcularse en programas como Stata® o Rstudio®. χ^2 no solo se utiliza en tablas 2 x 2, sino que puede elaborarse con más categorías de la exposición y del evento; sin embargo, el

Key			
frequency expected frequency			
row	col		Total
	1	2	
1	50 31.2	10 28.8	60 60.0
2	15 33.8	50 31.2	65 65.0
Total	65 65.0	60 60.0	125 125.0

Pearson chi2(1) = 45.3854 Pr = 0.000

Figura 1. Salida de Stata® usando el comando tabi.

punto de corte para rechazar o no rechazar la hipótesis nula es diferente.

Limitaciones

A pesar de la utilidad de la prueba χ^2 en el análisis de datos en la hematología, su aplicación tiene algunas limitaciones que deben considerarse en la interpretación de los resultados:

Tamaño de muestra y frecuencias esperadas: la prueba χ^2 asume que las frecuencias esperadas en cada celda de la tabla de contingencia sean adecuadas (> 5) para garantizar la validez de los resultados; si las frecuencias esperadas son pequeñas (< 5) la prueba χ^2 puede ser inadecuada, lo que aumenta el riesgo de error tipo I o II, por lo tanto, las aproximaciones no son válidas y se opta por el uso de pruebas alternativas, como la exacta de Fisher o la corrección de Yates.

Interdependencia de los datos y su efecto en la prueba: χ^2 asume su independencia entre las observaciones, lo que significa que cada sujeto o muestra debe contribuir solo a una celda de la tabla. La violación a esta suposición puede sesgar los resultados y aumentar la tasa de error.

La prueba χ^2 requiere que las categorías sean mutuamente exclusivas: si las categorías no están claramente definidas, los resultados pueden ser sesgados. Para solucionar esta limitación, pueden aplicarse modelos estadísticos que ajusten por correlación, como modelos de regresión multi-nivel o el uso de medidas repetidas.

Dificultades en la interpretación de la magnitud de la asociación: aunque la prueba χ^2 permite determinar si existe una asociación entre variables, no proporciona información directa de la magnitud ni la dirección del efecto, por lo que es decisivo interpretar los *odds ratio* (OR) o razones de prevalencia, que ofrecen una estimación más precisa de la repercusión clínica de las asociaciones encontradas.

Por último, la prueba χ^2 puede obtenerse en diferentes paquetes estadísticos, como Stata, en los que se utiliza el comando *tabulate*, que permite evaluar la asociación entre dos variables categóricas, por ejemplo, para analizar la relación entre el polimorfismo genético (polimorfismo) y leucemia (leucemia) se usa en Stata *tabulate polimorfismo leucemia, χ^2* .

Otro paquete estadístico es Rstudio; se usa la función *chisq.test()*, si se tiene una tabla de contingencia (tabla), creada con *table(variable1, variable2)*, la prueba se ejecuta así: *chisq.test(tabla)*. El resultado nos muestra la χ^2 , los grados de libertad y el valor p.

REFERENCIAS

1. Martínez González MA, Sánchez Villegas A, Toledo Atucha E, Javier A, Faulin Fajardo J. Bioestadística amigable. Barcelona, España; 2014.
2. Sáenz López K, Tamez González G. Métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas aplicables a la investigación en Ciencias Sociales. México; 2014.
3. Badillo Sánchez H, Velasco Luna F, Cruz Suárez HA, Tajonar Sanabria FS. Distribución Ji-Cuadrada: Teoría y Aplicaciones. Puebla, México; 2021.
4. Quevedo Ricardi F. The chi-square. Medwave 2011; 11 (12): e5266-e5266.
5. Yáñez Canal S. La estadística una ciencia del siglo XX. R. A. Fisher, el genio. Colombia; 2000; 23.
6. Zou Y, Dong S, Xu S, et al. Genetic polymorphisms of NAT2 and risk of acute myeloid leukemia. Medicine 2017; 96 (42): e7499. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000007499>
7. Monleón-Getino T. Uso de la estadística en la oncología y la hematología. <https://diposit.ub.edu/dspace/bits-tream/2445/12195/1/Metodologia%20estadistica%20en%20Oncologia.pdf>
8. Ortega Páez E, Ochoa Sangrador C, Molina Arias M. Comparación de proporciones. Prueba de χ^2 . Evidencias en pediatría 2005.
9. Rodríguez Sabiote C, Gutiérrez Pérez J, Pozo Llorente T. Fundamentos conceptuales de las principales pruebas de significación estadística en el ámbito educativo. 2007.
10. Romero Saldaña M. La prueba chi-cuadrado o ji-cuadrado (χ^2). Enfermería del Trabajo 2011; 1 (31): 31-8.
11. Rosner B. Fundamentals of biostatistics. 8th ed. Cengage Learning 2015; 245-248.