

Periodicidad: Trimestral Julio-Septiembre, Volumen: 4, Número: 3, Año: 2026 páginas 6-20

## Influencia del enriquecimiento ambiental en la capacidad de resolución de laberintos en ratones (*Mus musculus*)

### *Influence of environmental enrichment on maze-solving ability in mice (*Mus musculus*)*

**Rebecca Moysam Intriago<sup>1</sup>**

Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador  
[rebecca.moysam.intriago@uagraria.edu.ec](mailto:rebecca.moysam.intriago@uagraria.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0006-8348-7855>

**José Rodolfo Narváez Espinoza<sup>2</sup>**

Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador  
[jose.narvaez.espinoza@uagraria.edu.ec](mailto:jose.narvaez.espinoza@uagraria.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0005-7888-8518>

**Luisa Fernanda Toro Oramas<sup>3</sup>**

Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador  
[luisa.toro.oramas@uagraria.edu.ec](mailto:luisa.toro.oramas@uagraria.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0009-0553-6019>

**Paula Alejandra Valarezo Guaranda<sup>4</sup>**

Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador  
[paula.valarezo.guaranda@uagraria.edu.ec](mailto:paula.valarezo.guaranda@uagraria.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0000-0529-3947>

#### Como citar:

Moysam Intriago, R., Narváez Espinoza, JR, Toro Oramas, LF y Valarezo Guaranda, PA (2026). Influencia del enriquecimiento ambiental en la capacidad de resolución de laberintos en ratones (*Mus musculus*). *Pulso Científico*, 4 (3), 6–20.  
<https://doi.org/10.70577/rps.v4i3.222>

**Fecha de recepción: 2026-05-05**

**Fecha de aceptación: 2026-08-12**

**Fecha de publicación: 2026-09-14**

## RESUMEN

El enriquecimiento ambiental es una alternativa para mejorar el bienestar y desempeño conductual de animales de laboratorio; sin embargo, persisten diferencias respecto a su influencia sobre el aprendizaje y la resolución de problemas en ratones mantenidos en condiciones convencionales con limitada estimulación. El objetivo fue evaluar la influencia del enriquecimiento ambiental en la capacidad de resolución de laberintos en ratones (*Mus musculus*), mediante el tiempo empleado y el número de errores. Se desarrolló una investigación cuantitativa, experimental y completamente al azar con 10 ratones machos de tres a cuatro meses, distribuidos en un grupo control y uno experimental de cinco individuos cada uno. Durante cuatro semanas se realizaron tres sesiones semanales y se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis. El grupo enriquecido registró un tiempo medio de 69,1 segundos frente a 143 segundos del control, reduciéndose aproximadamente 51,7%; los errores disminuyeron de 8,95 a 5,22. Se identificaron diferencias significativas para tiempo ( $H=12,65$ ;  $p<0,001$ ) y errores ( $H=9,67$ ;  $p=0,002$ ). Se determinó que el enriquecimiento ambiental favoreció el aprendizaje espacial y mejoró el desempeño conductual.

**Palabras clave:** Aprendizaje espacial, bienestar animal, enriquecimiento ambiental, laberinto, *Mus musculus*.

## ABSTRACT

Environmental enrichment is an alternative for improving the welfare and behavioral performance of laboratory animals; however, differences persist regarding its influence on learning and problem-solving in mice kept under conventional conditions with limited stimulation. The objective was to evaluate the influence of environmental enrichment on maze-solving ability in mice (*\*Mus musculus\**) by measuring the time taken and the number of errors. A quantitative, experimental, and completely randomized study was conducted using 10 male mice (aged three to four months), distributed into a control group and an experimental group of five individuals each. Three sessions per week were held over a four-week period, and the Kruskal-Wallis test was applied. The enriched group recorded a mean time of 69.1 seconds compared to 143 seconds for the control group, representing a reduction of approximately 51.7%; errors decreased from 8.95 to 5.22. Significant differences were identified for time ( $H=12.65$ ;  $p<0.001$ ) and errors ( $H=9.67$ ;  $p=0.002$ ). It was determined that environmental enrichment fostered spatial learning and improved behavioral performance.

**Keywords:** Spatial learning, animal welfare, environmental enrichment, maze, *Mus musculus*.

## INTRODUCCIÓN

El enriquecimiento ambiental es una estrategia orientada a incrementar la complejidad física, sensorial y cognitiva del alojamiento de los animales de laboratorio, permitiendo una mayor expresión de conductas exploratorias y reduciendo las limitaciones propias de ambientes convencionales. En el contexto internacional, su importancia ha aumentado debido a la relación existente entre las condiciones de alojamiento, el bienestar animal y la validez de las respuestas conductuales obtenidas experimentalmente. En este sentido, Olsson y Dahlborn (2002) analizaron 40 estudios publicados entre 1987 y 2000 sobre modificaciones del alojamiento de ratones y determinaron que materiales para la construcción de nidos, refugios y estructuras para trepar constituyen componentes relevantes para mejorar las condiciones de cautiverio. Así mismo, Bayne (2018) destaca que el enriquecimiento realmente normaliza al animal, señalando que los datos obtenidos de ratones mantenidos en ambientes empobrecidos pueden no representar adecuadamente las respuestas biológicas y conductuales esperadas.

De manera complementaria, Dijkhuizen et al. (2024) estudiaron 28 ratones, de los cuales 16 permanecieron en condiciones enriquecidas y 12 en alojamiento estándar; en una prueba motora, los animales enriquecidos alcanzaron 192,25 segundos de permanencia durante el primer día, frente a 108,18 segundos del grupo convencional, observándose diferencias significativas entre grupos con una probabilidad estadística de 0,0046. Sin embargo, los autores también identificaron tareas de aprendizaje en las que el enriquecimiento no incrementó la velocidad de adquisición, lo que demuestra que sus efectos pueden variar según la función cognitiva evaluada. A su vez, Zentall (2021) sostiene que el enriquecimiento ambiental puede producir modificaciones cerebrales relacionadas con aprendizaje y cognición, por lo que su evaluación debe considerar tanto las características de los estímulos como la naturaleza de la tarea conductual empleada.

En el ámbito latinoamericano también se han obtenido resultados que evidencian esta variabilidad, por su parte, Druzian et al. (2015) evaluaron en Brasil 47 ratones hembra Swiss, distribuidos en tres grupos etarios y mantenidos durante 50 días en condiciones convencionales o enriquecidas. El entorno enriquecido incorporó aproximadamente 10 a 15 objetos, además de túneles, material para nidos y estructuras para actividad física, renovados dos veces por semana. Pese a ello, no se observaron diferencias generales en la adquisición final de memoria espacial; únicamente se identificó un efecto entre tratamientos durante el entrenamiento de los animales adultos jóvenes, con una probabilidad estadística de 0,027.

En Ecuador, la investigación con animales de laboratorio todavía enfrenta desafíos relacionados con su manejo, bienestar y estandarización experimental. En esta línea, Rodríguez et al. (2020) realizaron una revisión de 30 estudios y señalaron que la utilización de animales de laboratorio ha ido en paralelo al desarrollo de la biomedicina, destacando la necesidad de garantizar condiciones apropiadas durante la crianza y experimentación. De forma más reciente, Nirchio (2025) advierte que Ecuador aún carece de una regulación explícita y precisa sobre el uso de animales en investigaciones científicas y actividades docentes, aunque desde 2021 existen disposiciones para la conformación de comités de ética y el funcionamiento de

bioterios. Este escenario evidencia la necesidad de producir información experimental que relacione las condiciones de alojamiento con indicadores objetivos del comportamiento y el aprendizaje.

Particularmente, la resolución de laberintos permite valorar procesos vinculados con exploración, habituación, aprendizaje espacial y capacidad de respuesta ante un entorno determinado. De este modo, se plantea precisamente la comparación entre ratones mantenidos en condiciones convencionales y enriquecidas, considerando como indicadores principales el tiempo empleado para completar el laberinto y el número de errores cometidos, bajo un diseño que contempla animales de características etarias y sexuales homogéneas. Por ello, ante la diversidad de resultados reportados internacionalmente y la limitada evidencia experimental disponible en el contexto ecuatoriano, el objetivo del estudio fue evaluar la influencia del enriquecimiento ambiental en la capacidad de resolución de laberintos en ratones (*Mus musculus*), mediante la comparación del tiempo de resolución y el número de errores entre animales alojados en ambientes enriquecidos y convencionales.

### **Neuroplasticidad, memoria espacial y aprendizaje en modelos murinos**

El aprendizaje espacial en los ratones depende de la capacidad del sistema nervioso para adquirir, organizar y recuperar información relacionada con la posición, las características del ambiente y las experiencias previas. Dentro de este proceso, el hipocampo desempeña una función central en la formación de representaciones espaciales y en la adaptación del comportamiento frente a ambientes nuevos. En este sentido, Fredes et al. (2021) demostraron que la novedad ambiental activa una vía funcional entre las regiones ventral y dorsal del hipocampo de los ratones, de manera que la actividad de las células musgosas ventrales favorece la formación de memoria contextual; cuando esta actividad fue inhibida, la adquisición de la memoria asociada al ambiente novedoso se deterioró.

De forma complementaria, Radvansky et al. (2021) determinaron que los ratones pueden construir representaciones espaciales utilizando información visual y olfativa, y comprobaron que las neuronas del hipocampo modifican su patrón de representación en función de la modalidad sensorial que resulta relevante para alcanzar una meta. Esto permite comprender que la resolución de tareas espaciales no responde únicamente al desplazamiento físico, sino también al procesamiento e integración de señales provenientes del ambiente. Por otra parte, Lehr et al. (2023) comprobaron que la región hipocampal denominada área CA2 participa en la flexibilidad del aprendizaje espacial, pues su silenciamiento provocó que los ratones persistieran en buscar una plataforma en su antigua ubicación cuando esta había sido cambiada, evidenciando dificultades para modificar una estrategia previamente aprendida.

La plasticidad neuronal constituye otro elemento necesario para explicar las diferencias observadas durante el aprendizaje. Al respecto, Frechou et al. (2024) evidenciaron mediante imágenes de calcio en ratones que la neurogénesis adulta mejora la codificación de información espacial en el giro dentado del hipocampo; además, cuando se eliminó experimentalmente la neurogénesis, disminuyó la información espacial transmitida por las neuronas, respaldando la relación entre plasticidad cerebral y desempeño cognitivo. En

concordancia, Hendrickx et al. (2022) demostraron mediante pruebas de laberinto acuático y reconocimiento de objetos que los ratones C57BL/6J presentan un deterioro progresivo del aprendizaje visuoespacial y la memoria a partir de aproximadamente los seis meses de edad, poniendo de manifiesto que la edad constituye una variable biológica que puede modificar los resultados de las pruebas cognitivas.

Además de las características neurobiológicas, el aprendizaje puede variar de acuerdo con la estimulación previa y con las exigencias específicas de cada prueba. En esta línea, Bramati et al. (2023) comprobaron que ratones expuestos a condiciones ambientales más estimulantes presentaron un mejor aprendizaje espacial dependiente del hipocampo en pruebas automatizadas basadas en recompensas, resaltando la importancia de combinar estimulación, motivación y exploración durante la evaluación cognitiva. Así mismo, Kikuchi et al. (2022) observaron cambios asociados con la estimulación ambiental en la conducta exploratoria y en diferentes componentes del aprendizaje mediante tareas operantes de tres palancas, demostrando que sus efectos pueden variar según el tipo de aprendizaje evaluado y no limitarse exclusivamente a tareas espaciales.

Según Macartney et al. (2022), mediante una revisión sistemática con metaanálisis, determinaron que las condiciones ambientales estimulantes produjeron una mejora promedio del 19% en aprendizaje y memoria, y observaron que sus beneficios fueron mayores en animales sometidos previamente a estrés. Los autores también comprobaron que variables como la duración de la exposición, el tipo de estímulo y la prueba cognitiva utilizada explican parte de las diferencias existentes entre investigaciones. Estos fundamentos son especialmente pertinentes para el estudio analizado, en el cual el desempeño se determina mediante el tiempo necesario para completar el recorrido y el número de errores cometidos, indicadores conductuales relacionados con la adquisición progresiva de información espacial.

### **Bienestar, condiciones de alojamiento y reproducibilidad en la experimentación con ratones**

Las condiciones de alojamiento representan una variable experimental capaz de modificar el comportamiento, el estrés y las respuestas fisiológicas de los animales, por lo que su control resulta fundamental cuando se estudian procesos cognitivos. En primer lugar, Cait et al. (2022) realizaron un metaanálisis basado en 214 estudios incluidos en 165 artículos y 6495 animales, de los cuales el 59,1% eran ratones, y encontraron que el alojamiento convencional se relacionaba con mayores niveles de morbilidad y mortalidad en comparación con ambientes que proporcionaban mayores recursos para satisfacer las necesidades conductuales de los roedores. De manera similar, Mieske et al. (2022), mediante una revisión sistemática sobre ratones y ratas de laboratorio, identificaron que elementos como materiales para nidos, refugios, objetos manipulables y oportunidades de actividad pueden contribuir positivamente al bienestar, aunque señalaron que los resultados dependen del tipo de recurso, especie, sexo y procedimiento experimental.

El bienestar tampoco depende únicamente de la presencia de objetos, sino de la interacción entre espacio, ventilación, estimulación y características individuales de los animales. En este contexto, Ratuski et al.

(2024) compararon 42 ratones hembra pertenecientes a tres cepas, distribuidos entre un tratamiento con acceso temporal a ambientes amplios y complejos y un grupo control; encontraron efectos dependientes de la cepa sobre agresividad y determinados indicadores de ansiedad, evidenciando que una misma modificación ambiental no genera necesariamente respuestas idénticas en todos los animales. A su vez, Lee et al. (2023) evaluaron diferentes condiciones de manejo y observaron que una mejor circulación del aire y la disponibilidad de materiales de estimulación contribuyeron a disminuir indicadores de estrés, reafirmando que las características físicas del alojamiento constituyen un componente relevante del bienestar de los ratones experimentales.

La estandarización de las condiciones experimentales también guarda relación directa con la confiabilidad de los resultados conductuales. Desde esta perspectiva, Nigri et al. (2022) compararon pruebas conductuales realizadas por distintos experimentadores y en diferentes ambientes de laboratorio, concluyendo que tanto el entorno como la intervención humana pueden modificar el tamaño de los efectos observados en exploración, desempeño motor, aprendizaje y memoria. Por ello, sostienen que la reproducibilidad exige controlar no solamente las características de los animales, sino también las condiciones en las que se desarrollan las evaluaciones.

De igual manera, Love et al. (2022) desarrollaron un protocolo estandarizado para comparar alojamiento convencional, alojamiento con estimulación adicional y condiciones asociadas al ejercicio físico en ratones, destacando que disponer de procedimientos equivalentes entre laboratorios facilita la comparación y reproducción de los resultados experimentales. Por último, Smith et al. (2024) propusieron un diseño reproducible de alojamiento que integra interacción social, ejercicio físico, estimulación cognitiva, objetos manipulables, variabilidad ambiental y estimulación sensorial, argumentando que la estandarización de estos componentes permite combinar bienestar animal con mayor consistencia metodológica.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se desarrolló con un enfoque cuantitativo y mediante el método experimental, debido a que se manipuló deliberadamente la condición de alojamiento de los animales para determinar su efecto sobre el desempeño durante la resolución del laberinto. En concordancia con Percie du Sert et al. (2020), el procedimiento experimental consideró la descripción de las características de los animales, el tamaño de los grupos, las condiciones de alojamiento, las variables de respuesta y el análisis estadístico, elementos necesarios para favorecer la transparencia y reproducibilidad de investigaciones realizadas con animales. La población experimental accesible estuvo constituida por 10 ratones domésticos (*Mus musculus*) machos, con edades comprendidas entre tres y cuatro meses. Debido a que se trabajó con la totalidad de los animales disponibles, la muestra correspondió igualmente a 10 individuos, por lo que se empleó una selección censal de la población experimental. Los animales fueron distribuidos de manera equitativa en dos tratamientos de cinco individuos cada uno; el grupo control o tratamiento uno permaneció bajo condiciones convencionales, mientras que el grupo experimental o tratamiento dos fueron expuestos a enriquecimiento ambiental.

De manera complementaria, Love et al. (2022) señalaron que los protocolos de enriquecimiento aplicados en ratones podían incorporar estímulos físicos, sensoriales y cognitivos dentro del alojamiento para modificar las oportunidades de interacción del animal con su ambiente. Bajo este criterio, los diez ratones fueron alojados en cajas plásticas transparentes con aberturas en la tapa para favorecer la ventilación y se utilizó viruta de madera como material de lecho, la cual fue reemplazada periódicamente. Todos los individuos dispusieron permanentemente de agua potable y recibieron una dieta constituida por pellets de alfalfa y semillas. El grupo control únicamente contó con alimento, agua, lecho y refugio, mientras que el grupo experimental dispuso adicionalmente de túneles, escaleras, refugios y plataformas, que constituyeron los elementos de estimulación ambiental utilizados durante el experimento.

Siguiendo los principios de control experimental descritos por Percie du Sert et al. (2020), se utilizó un diseño completamente al azar con dos tratamientos, con el propósito de comparar la respuesta conductual de los animales sometidos a diferentes condiciones ambientales. El modelo experimental se expresó mediante la ecuación:  $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$  donde  $Y_{ij}$  representó el valor observado de las variables tiempo y número de errores para el tratamiento  $i$  y la repetición  $j$ ;  $\mu$  correspondió a la media general del experimento;  $\tau_i$  representó el efecto atribuible al tratamiento; y  $\varepsilon_{ij}$  correspondió al error experimental asociado con cada observación. Antes de iniciar las evaluaciones conductuales, los animales permanecieron durante cinco días de adaptación en las condiciones de alojamiento asignadas, con la finalidad de reducir la influencia del estrés ocasionado por el cambio de ambiente. Posteriormente, el experimento se desarrolló durante cuatro semanas, con una frecuencia de tres sesiones semanales por cada animal, equivalente a 12 sesiones por individuo y 120 ensayos conductuales programados para los diez ratones.

En cuanto a la obtención de los datos, de acuerdo con Vorhees y Williams (2006), las pruebas de laberinto permitieron evaluar formas de aprendizaje espacial mediante la repetición de recorridos y el registro sistemático del desempeño de los roedores. Por esta razón, se empleó como técnica la observación directa y sistemática, mediante la cual se registraron en cada sesión dos variables cuantitativas: el tiempo requerido para completar el laberinto y el número de errores cometidos durante el recorrido. Se consideró error cuando el animal ingresó por un camino incorrecto, regresó por el trayecto previamente recorrido o permaneció inmóvil durante más de cinco segundos en un mismo punto.

De igual manera, conforme al uso de laberintos como instrumentos para valorar aprendizaje y orientación espacial señalado por Vorhees y Williams (2006), se utilizó el mismo dispositivo para todos los animales con la finalidad de conservar condiciones experimentales equivalentes. El laberinto presentó dimensiones de 50 centímetros de largo por 50 centímetros de ancho y 15 centímetros de altura, y fue construido con policloruro de vinilo debido a su resistencia, facilidad de limpieza y mantenimiento. La utilización de un único diseño permitió que las diferencias registradas entre ambos grupos estuvieran asociadas principalmente con el tratamiento ambiental previamente asignado y no con modificaciones en las características físicas de la prueba.

Para el procesamiento de la información, siguiendo el planteamiento no paramétrico desarrollado por Kruskal y Wallis (1952), se empleó estadística descriptiva y comparativa. Inicialmente se calcularon media, mediana, desviación estándar, valores mínimos y máximos para las variables tiempo y errores. Posteriormente, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para identificar diferencias entre el grupo control y el grupo sometido a enriquecimiento ambiental, considerando como criterio de significancia estadística una probabilidad inferior a 0,05. De esta manera, el procedimiento permitió establecer si las diferencias observadas en el tiempo empleado y en el número de errores estuvieron asociadas con las condiciones de alojamiento experimental.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los registros obtenidos durante las cuatro semanas de experimentación permitió comparar el desempeño de los ratones mantenidos en condiciones convencionales, correspondientes al tratamiento uno, con aquellos sometidos a enriquecimiento ambiental, correspondientes al tratamiento dos. Las variables analizadas fueron el **tiempo empleado para completar el laberinto, expresado en segundos, y el número de errores cometidos durante el recorrido**. En primera instancia se calcularon medidas de tendencia central, dispersión y rango, cuyos resultados se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Estadísticos descriptivos del tiempo y número de errores según el tratamiento*

| Estadístico       | Tratamiento | Tiempo (segundos) | Errores |
|-------------------|-------------|-------------------|---------|
| Media             | T1          | 143,0             | 8,95    |
|                   | T2          | 69,1              | 5,22    |
| Mediana           | T1          | 73,0              | 6,50    |
|                   | T2          | 31,0              | 2,00    |
| Desviación típica | T1          | 173,0             | 8,52    |
|                   | T2          | 91,2              | 7,04    |
| Mínimo            | T1          | 16                | 0       |
|                   | T2          | 6                 | 0       |
| Máximo            | T1          | 1080              | 38      |
|                   | T2          | 451               | 32      |

*Nota.* T1 correspondió al alojamiento convencional y T2 al alojamiento con enriquecimiento ambiental. El tiempo fue registrado en segundos.

Como se observa en la Tabla 1, el tratamiento con enriquecimiento ambiental presentó un desempeño favorable en ambas variables. El tiempo medio disminuyó de 143,0 segundos en T1 a 69,1 segundos en T2, lo cual representó una reducción aproximada del 51,7%. Esta diferencia también se manifestó en las medianas: mientras los animales del tratamiento convencional necesitaron 73 segundos, los individuos del tratamiento enriquecido registraron una mediana de 31 segundos, equivalente a una reducción del 57,5%.

Además, el tiempo mínimo registrado disminuyó de 16 a 6 segundos, mientras que el máximo pasó de 1080 segundos en T1 a 451 segundos en T2. Estos resultados evidenciaron que los animales expuestos al ambiente enriquecido tendieron a completar el recorrido con mayor rapidez.

El comportamiento de los errores presentó una tendencia semejante. El grupo convencional alcanzó una media de 8,95 errores, mientras que el grupo enriquecido registró 5,22 errores, equivalente a una reducción aproximada del 41,7%. La diferencia fue todavía más evidente al considerar la mediana, que disminuyó de 6,50 errores en T1 a 2,00 errores en T2, lo que representó una reducción del 69,2%. En ambos tratamientos existieron recorridos realizados sin errores; sin embargo, el máximo fue de 38 errores en T1 y 32 en T2. Por consiguiente, los resultados descriptivos indicaron que el enriquecimiento no solo estuvo relacionado con una mayor velocidad para alcanzar la meta, sino también con una menor frecuencia de decisiones incorrectas durante el recorrido.

En concordancia con estos hallazgos, Bramati et al. (2023) comprobaron que ratones alojados bajo condiciones de enriquecimiento presentaron mejoras en tareas de aprendizaje espacial dependientes del hipocampo, particularmente cuando las actividades involucraban exploración, búsqueda de recompensas y adaptación a información espacial. Por ello, la reducción conjunta del tiempo y de los errores encontrada en el presente experimento puede interpretarse como evidencia conductual de una mejor adquisición de las características espaciales del laberinto, sin asumir que ambas variables representen por sí solas la totalidad de la función cognitiva.

La dispersión de los datos proporcionó información adicional. La desviación típica del tiempo fue de 173 segundos en T1 y 91,2 segundos en T2, por lo que el grupo convencional presentó una variabilidad considerablemente mayor. Asimismo, en ambos tratamientos la media fue superior a la mediana, particularmente en T1, donde se obtuvo una media de 143 segundos frente a una mediana de 73 segundos. Este comportamiento fue compatible con una distribución asimétrica influenciada por registros elevados. En la variable errores ocurrió algo similar, dado que las medias de 8,95 y 5,22 fueron superiores a las medianas de 6,50 y 2,00, respectivamente. La presencia de dispersión elevada y observaciones extremas respaldó la utilización del procedimiento no paramétrico contemplado en la metodología.

Para determinar si las diferencias descriptivas observadas entre los tratamientos también presentaban significancia estadística, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis a las variables tiempo y número de errores. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Comparación entre tratamientos mediante la prueba de Kruskal-Wallis*

| <b>Variable</b> | <b>H de Kruskal-Wallis</b> | <b>Grados de libertad</b> | <b>Probabilidad estadística</b> |
|-----------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Tiempo          | 12,65                      | 1                         | < 0,001                         |
| Errores         | 9,67                       | 1                         | 0,002                           |

*Nota.* Se consideraron diferencias estadísticamente significativas cuando la probabilidad fue inferior a 0,05.

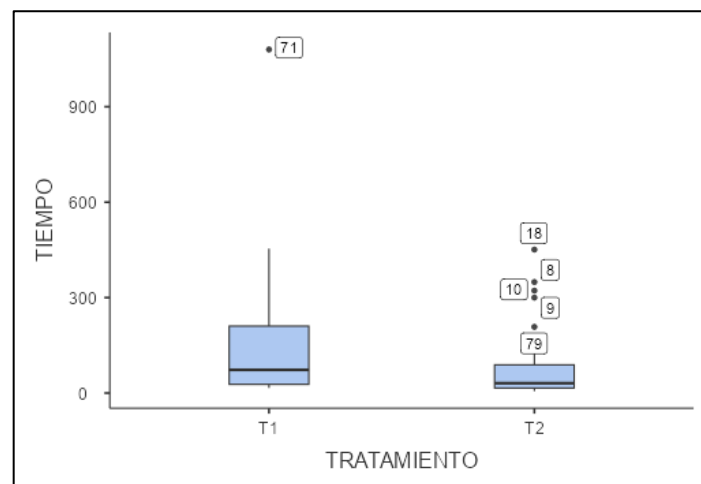
Tal como muestra la Tabla 2, para la variable tiempo se obtuvo un estadístico de 12,65, con un grado de libertad y una probabilidad inferior a 0,001. Por su parte, para el número de errores se obtuvo un estadístico de 9,67, con un grado de libertad y una probabilidad de 0,002. En ambos casos los valores de probabilidad fueron inferiores al nivel de significancia establecido de 0,05, por lo que el análisis aplicado evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos tanto para el tiempo como para el número de errores.

Estos resultados reforzaron la tendencia identificada en la estadística descriptiva: los animales sometidos a enriquecimiento ambiental realizaron el recorrido en menos tiempo y con menos errores. En este sentido, Macartney et al. (2022), mediante una revisión sistemática y metaanálisis sobre aprendizaje y memoria en roedores, determinaron que el enriquecimiento ambiental podía beneficiar el rendimiento cognitivo, aunque la magnitud de sus efectos dependía del tipo de enriquecimiento, la duración de la exposición, las condiciones de estrés y la prueba cognitiva utilizada. Por tanto, los resultados obtenidos en el presente estudio son coherentes con una literatura que reconoce efectos beneficiosos, pero también dependientes del paradigma experimental empleado.

La distribución específica de los tiempos se examinó mediante un diagrama de caja. Como se presenta en la Figura 1, la posición de la mediana, la amplitud de las cajas y la presencia de valores superiores permitieron identificar visualmente diferencias en el comportamiento de ambos tratamientos.

**Figura 1**

*Diagrama de caja de la variable tiempo según el tratamiento*



*Nota.* T1 representa el alojamiento convencional y T2 el alojamiento con enriquecimiento ambiental. Los puntos identificados corresponden a observaciones situadas fuera del comportamiento central de los datos.

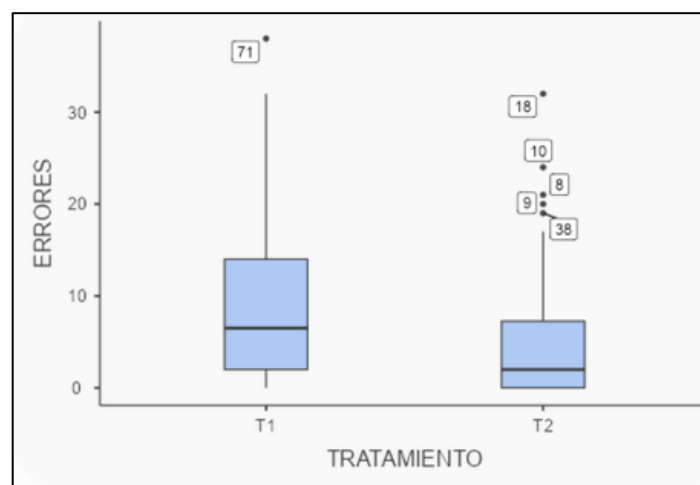
La Figura 1 mostró que la mediana de T1 se situó por encima de la correspondiente a T2, confirmando visualmente que los ratones mantenidos en condiciones convencionales requirieron más tiempo para resolver el laberinto. La caja y los bigotes de T1 también mostraron una mayor amplitud, lo cual fue

consistente con la desviación típica de 173 segundos, frente a 91,2 segundos en T2. Se identificó además una observación extrema en T1 cercana a los 1080 segundos, mientras que en T2 aparecieron algunas observaciones superiores al núcleo central de la distribución, pero el máximo se mantuvo en 451 segundos.

La presencia de estas observaciones elevadas también explicó por qué las medias fueron considerablemente superiores a las medianas. No obstante, aun considerando esta dispersión, la posición central de la distribución permaneció más baja en T2. De manera similar, Dijkhuizen et al. (2024) encontraron que ratones alojados en ambientes enriquecidos mostraron un mejor rendimiento que aquellos alojados en condiciones estándar en determinadas tareas motoras y de aprendizaje frente a circunstancias novedosas o exigentes. Los autores también señalaron que el beneficio no apareció de igual manera en todas las pruebas, aspecto importante porque demuestra que los efectos del enriquecimiento deben interpretarse en función de la tarea evaluada. Posteriormente, se examinó la distribución del número de errores. Como se aprecia en la Figura 2, las diferencias entre los tratamientos también fueron visibles en la posición de las medianas y en la concentración de los datos.

**Figura 2**

*Diagrama de caja de la variable número de errores según el tratamiento*



*Nota.* Los valores superiores a los bigotes representan observaciones atípicas respecto de la concentración principal de errores de cada tratamiento.

De acuerdo con la Figura 2, T1 presentó una mediana de 6,50 errores, mientras que en T2 esta descendió hasta 2,00 errores. La caja correspondiente al grupo enriquecido se concentró en valores inferiores, indicando que una proporción importante de sus observaciones se situó cerca de un número reducido de errores. En T1, por el contrario, se observó una mayor amplitud en la distribución y un valor atípico correspondiente al caso 71, próximo al máximo registrado. En T2 también aparecieron varios valores superiores aislados; entre aproximadamente 18 y 32 errores, pero estos no modificaron la tendencia central, que permaneció por debajo de la observada en el tratamiento convencional.

La reducción de los errores resultó particularmente relevante porque complementó la disminución del tiempo. Un menor tiempo por sí solo podría corresponder a una mayor velocidad de desplazamiento; sin embargo, cuando esta reducción ocurrió paralelamente a una disminución del número de errores, los datos fueron compatibles con un desempeño más eficiente en la tarea. En consecuencia, el grupo enriquecido no solamente completó el recorrido más rápidamente, sino que tomó menos rutas incorrectas, realizó menos retrocesos y presentó menos comportamientos clasificados como errores según los criterios establecidos en la investigación.

Así mismo, Bramati et al. (2023) relacionaron la exposición a entornos enriquecidos con mejoras del aprendizaje espacial en ratones, lo cual coincide con la tendencia observada en T2. Por su parte, Dijkhuizen et al. (2024) demostraron que los beneficios del enriquecimiento podían expresarse mediante un mejor rendimiento frente a determinadas tareas novedosas, aunque advirtieron que no todas las formas de aprendizaje respondían de la misma manera. De forma complementaria, Macartney et al. (2022) establecieron que el efecto del enriquecimiento sobre aprendizaje y memoria depende de múltiples condiciones experimentales, por lo que la interpretación de los resultados debe realizarse considerando la naturaleza de los estímulos y de la prueba conductual empleada.

Los resultados también pueden relacionarse con el bienestar y el estado conductual de los animales. Al respecto, Groneberg et al. (2025) encontraron, aunque en ratas de laboratorio y mediante una prueba diferente, que modificaciones periódicas de los elementos de enriquecimiento se asociaron con respuestas más optimistas frente a estímulos ambiguos, destacando la capacidad del ambiente para modificar componentes emocionales vinculados con el comportamiento. Este antecedente no constituye una comparación directa con la resolución de laberintos en ratones, pero respalda la importancia de considerar el ambiente de alojamiento como una variable capaz de influir en las respuestas conductuales obtenidas experimentalmente.

De esta manera, los resultados del presente estudio evidenciaron un patrón consistente entre los distintos indicadores: T2 registró un tiempo medio 51,7% menor, un promedio de errores 41,7% inferior, una mediana de tiempo 57,5% menor y una mediana de errores 69,2% inferior a T1. Estas diferencias fueron respaldadas por la prueba de Kruskal-Wallis tanto para el tiempo ( $H = 12,65$ ;  $p < 0,001$ ) como para los errores ( $H = 9,67$ ;  $p = 0,002$ ). Por consiguiente, bajo las condiciones experimentales establecidas, los hallazgos respaldaron la hipótesis de que el enriquecimiento ambiental favoreció el desempeño de *Mus musculus* en la resolución del laberinto, al asociarse simultáneamente con una mayor rapidez de ejecución y una menor frecuencia de errores.

## CONCLUSIONES

El enriquecimiento ambiental influyó favorablemente en el desempeño de los ratones *Mus musculus* durante la resolución del laberinto. El grupo sometido a condiciones enriquecidas registró un tiempo medio de 69,1 segundos, frente a 143 segundos en el grupo mantenido bajo condiciones convencionales, lo que representó

una reducción aproximada del 51,7%. Asimismo, la mediana descendió de 73 segundos a 31 segundos, evidenciando una mayor rapidez en la ejecución de la tarea.

El número de errores también disminuyó en los ratones expuestos al ambiente enriquecido. El grupo experimental presentó un promedio de 5,22 errores, mientras que el grupo control alcanzó 8,95 errores; además, la mediana se redujo de 6,50 a 2,00 errores. Estos resultados indicaron que los animales del tratamiento enriquecido no solo resolvieron el laberinto en menor tiempo, sino que también cometieron menos equivocaciones durante el recorrido.

La prueba de Kruskal-Wallis confirmó que las diferencias entre ambos tratamientos fueron estadísticamente significativas tanto para el tiempo de resolución ( $H = 12,65$ ;  $p < 0,001$ ) como para el número de errores ( $H = 9,67$ ;  $p = 0,002$ ). Por tanto, los hallazgos respaldaron que las condiciones de enriquecimiento ambiental favorecieron el aprendizaje espacial y el desempeño conductual de los ratones dentro de las condiciones experimentales establecidas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bayne, K. (2018). Environmental enrichment and mouse models: Current perspectives. *Animal Models and Experimental Medicine*, 1(2), 82–90. <https://doi.org/10.1002/ame2.12015>
- Bramati, G., Stauffer, P., Nigri, M., Wolfer, D. P., & Amrein, I. (2023). Environmental enrichment improves hippocampus-dependent spatial learning in female C57BL/6 mice in novel IntelliCage sweet reward-based behavioral tests. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 17, 1256744. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2023.1256744>
- Cait, J., Cait, A., Scott, R. W., Winder, C. B., & Mason, G. J. (2022). Conventional laboratory housing increases morbidity and mortality in research rodents: Results of a meta-analysis. *BMC Biology*, 20, 15. <https://doi.org/10.1186/s12915-021-01184-0>
- Dijkhuizen, S., Van Ginneken, L. M. C., Ijpelaar, A. H. C., Koekkoek, S. K. E., De Zeeuw, C. I., & Boele, H. J. (2024). Impact of enriched environment on motor performance and learning in mice. *Scientific Reports*, 14, 5962. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56568-3>
- Druzian, A. F., Melo, J. A. O., & Souza, A. S. (2015). The influence of enriched environment on spatial memory in Swiss mice of different ages. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 73(8), 692–697. <https://doi.org/10.1590/0004-282X20150089>
- Frechou, M. A., Martin, S. S., McDermott, K. D., Huaman, E. A., Gökhan, Ş., Tomé, W. A., Coen-Cagli, R., & Gonçalves, J. T. (2024). Adult neurogenesis improves spatial information encoding in the mouse hippocampus. *Nature Communications*, 15, 6410. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50699-x>
- Fredes, F., Silva, M. A., Koppensteiner, P., Kobayashi, K., Joesch, M., & Shigemoto, R. (2021). Ventro-dorsal hippocampal pathway gates novelty-induced contextual memory formation. *Current Biology*, 31(1), 25–38.e5. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.09.074>

- Groneberg, E., Hoppe, L. N., Richter, S. H., & Kaiser, S. (2025). The influence of regularly changing enrichment on the cognitive judgement bias of laboratory rats. *Scientific Reports*, 15, 35049. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-22088-x>
- Hendrickx, J. O., De Moudt, S., Calus, E., De Deyn, P. P., Van Dam, D., & De Meyer, G. R. Y. (2022). Age-related cognitive decline in spatial learning and memory of C57BL/6J mice. *Behavioural Brain Research*, 418, 113649. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2021.113649>
- Kikuchi, Y., Yoneda, M., Nishikawa, K., Noda, T., Hasegawa, H., Fujisaku, T., & Ohno-Shosaku, T. (2022). Effects of environmental enrichment on exploratory behavior, win-stay and lose-shift performance, motor sequence learning, and reversal learning during the three-lever operant task in mice. *Behavioural Brain Research*, 429, 113904. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2022.113904>
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583–621. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>
- Lee, G.-H., Kim, K., & Jo, W. (2023). Stress evaluation of mouse husbandry environments for improving laboratory animal welfare. *Animals*, 13(2), 249. <https://doi.org/10.3390/ani13020249>
- Lehr, A. B., Hitti, F. L., Deibel, S. H., & Stöber, T. M. (2023). Silencing hippocampal CA2 reduces behavioral flexibility in spatial learning. *Hippocampus*, 33(6), 759–768. <https://doi.org/10.1002/hipo.23521>
- Love, C. J., Gubert, C., Renoir, T., & Hannan, A. J. (2022). Environmental enrichment and exercise housing protocols for mice. *STAR Protocols*, 3(4), 101689. <https://doi.org/10.1016/j.xpro.2022.101689>
- Macartney, E. L., Lagisz, M., & Nakagawa, S. (2022). The relative benefits of environmental enrichment on learning and memory are greater when stressed: A meta-analysis of interactions in rodents. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 135, 104554. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104554>
- Mieske, P., Hobbiesiefken, U., Fischer-Tenhagen, C., Heinl, C., Hohlbaum, K., Kahnau, P., Meier, J., Wilzopolski, J., Butzke, D., Rudeck, J., Lewejohann, L., & Diederich, K. (2022). Bored at home?—A systematic review on the effect of environmental enrichment on the welfare of laboratory rats and mice. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 899219. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.899219>
- Nigri, M., Åhlgren, J., Wolfer, D. P., & Voikar, V. (2022). Role of environment and experimenter in reproducibility of behavioral studies with laboratory mice. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 16, 835444. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2022.835444>
- Nirchio Tursellino, M. (2025). Experimentación animal en Ecuador: Cuando la ética precede a la ley. Nota técnica. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 35(2), 7. <https://doi.org/10.52973/rcfcv-e35682>

- Olsson, I. A. S., & Dahlborn, K. (2002). Improving housing conditions for laboratory mice: A review of environmental enrichment. *Laboratory Animals*, 36(3), 243–270.  
<https://doi.org/10.1258/002367702320162379>
- Percie du Sert, N., Hurst, V., Ahluwalia, A., Alam, S., Avey, M. T., Baker, M., Browne, W. J., Clark, A., Cuthill, I. C., Dirnagl, U., Emerson, M., Garner, P., Holgate, S. T., Howells, D. W., Karp, N. A., Lazic, S. E., Lidster, K., MacCallum, C. J., Macleod, M., ... Würbel, H. (2020). The ARRIVE guidelines 2.0: Updated guidelines for reporting animal research. *PLOS Biology*, 18(7), e3000410.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000410>
- Radvansky, B. A., Oh, J. Y., Climer, J. R., & Dombeck, D. A. (2021). Behavior determines the hippocampal spatial mapping of a multisensory environment. *Cell Reports*, 36(5), 109444.  
<https://doi.org/10.1016/j.celrep.2021.109444>
- Ratuski, A. S., Améndola, L., Makowska, I. J., & Weary, D. M. (2024). Effects of temporary access to environmental enrichment on measures of laboratory mouse welfare. *Scientific Reports*, 14, 15143.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-65480-9>
- Rodríguez Duque, R., Valdés Cabodevilla, R. C., & Pino Burgos, S. P. (2020). Manejo de animales de laboratorio. Revisión bibliográfica. *La Ciencia al Servicio de la Salud y Nutrición*, 11(2), 34–42.  
<https://doi.org/10.47187/cssn.Vol11.Iss2.132>
- Smith, K. B., Murack, M., Al Sharani, S., & Ismail, N. (2024). Environmental enrichment cage for laboratory mice: A downloadable alternative. *Current Protocols*, 4(1), e913.  
<https://doi.org/10.1002/cpz1.913>
- Vorhees, C. V., & Williams, M. T. (2006). Morris water maze: Procedures for assessing spatial and related forms of learning and memory. *Nature Protocols*, 1, 848–858.  
<https://doi.org/10.1038/nprot.2006.116>
- Zentall, T. R. (2021). Effect of environmental enrichment on the brain and on learning and cognition by animals. *Animals*, 11(4), 973. <https://doi.org/10.3390/ani11040973>

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

**Financiamiento:**

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

**Nota:**

El artículo no es producto de una publicación anterior.