

## Efectos de la cantidad de visitantes y el tiempo meteorológico sobre el comportamiento de sumersión de pingüinos de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) en el Zoológico Nacional La Aurora

José Aguilar<sup>1</sup> / Andrea Moller<sup>1</sup> / Rodrigo Vásquez<sup>1</sup> / José Barillas<sup>2</sup> / Fernanda Roldán<sup>2</sup> / Mariandré Herrera<sup>2</sup> / Jimena García<sup>2</sup> / Adriana Ortega<sup>2</sup>, Orlando Sandoval<sup>2</sup> / Daniel Ariano-Sánchez<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Bioquímica, Microbiología y Biotecnología Molecular, Facultad de Ciencias y Humanidades. Universidad del Valle de Guatemala.

<sup>2</sup> Departamento de Biología, Facultad de Ciencias y Humanidades. Universidad del Valle de Guatemala.

<sup>3</sup> Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad. Universidad del Valle de Guatemala

\*Autor correspondiente: Daniel Ariano-Sánchez, [dariano@uvg.edu.gt](mailto:dariano@uvg.edu.gt) (DAS)

**RESUMEN:** El comprender el efecto de los factores ambientales sobre el comportamiento termoregulatorio de especies en cautiverio es de suma importancia para entender cómo la sinergia entre el estrés causado por la cantidad de visitantes y el cambio climático pueden llegar a afectar el bienestar de los animales. Este estudio es un proyecto en conjunto de estudiantes de los cursos de Biometría y Comportamiento Animal de la UVG. En el presente estudio se evaluó el efecto del tiempo meteorológico y la cantidad de visitantes sobre el comportamiento de sumersión (asociado a termoregulación) de pingüinos (*Spheniscus humboldti*) en cautiverio. El muestreo fue llevado a cabo en el Parque Zoológico Nacional La Aurora. Se analizó la relación entre la abundancia de pingüinos tanto dentro del agua como en el suelo en el recinto con respecto a la temperatura del aire, ruido, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento y la cantidad de visitantes cercanos al recinto por medio de modelos lineales. Encontramos que a mayor humedad relativa y mayor temperatura del aire aumentaba la cantidad de pingüinos sumergidos en el agua del recinto. Así mismo, encontramos que a mayor cantidad de visitantes alrededor del recinto, menor era la cantidad de pingüinos que se sumergían en el agua. Nuestros resultados sientan las bases para posteriores estudios que puedan evaluar como la cantidad de visitantes pueden impactar en las actividades de termoregulación de las especies y cómo esto se relaciona con los niveles de bienestar en animales en situaciones de cautiverio.

**PALABRAS CLAVE:** Comportamiento de sumersión, LM, termoregulación, bienestar animal, cautiverio.

### Effects of Visitor Numbers and Weather Conditions on Diving Behavior of Humboldt Penguins (*Spheniscus humboldti*) at La Aurora National Zoo.

**ABSTRACT:** Understanding the effect of environmental factors on the thermoregulatory behavior of species in captivity is of utmost importance to comprehend how the synergy between stress caused by visitor numbers and climate change can impact animal welfare. This study is a joint project involving students from the courses of Biometry and Animal Behavior at UVG. In this study, we assessed the effect of weather conditions and the number of visitors on the submersion behavior (associated with thermoregulation) of Humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*) in captivity. Sampling was conducted at the National Zoo "La Aurora." We analyzed the relationship between the abundance of penguins both in the water and on land within the enclosure concerning air temperature, noise, relative humidity, atmospheric pressure, wind speed, and the number of visitors near the enclosure using linear models. We found that higher relative humidity and higher air temperature led to an increased number of penguins submerging in the water of the enclosure. Similarly, we observed that a greater number of visitors around the enclosure resulted in fewer penguins submerging in the water. Our findings provide the foundation for future studies that can evaluate how the number of visitors may impact species' thermoregulatory activities and how this relates to the levels of welfare in animals in captivity.

**KEYWORDS:** Diving behavior, GLM, thermoregulation, animal welfare, captivity.

## Introducción

Los pingüinos son aves marinas emblemáticas conocidas por su habilidad para adaptarse a los ambientes acuáticos y su comportamiento de sumersión altamente especializado. Estas se encuentran entre las especies más estudiadas en el campo de la biología y comportamiento animal debido a su notable capacidad para navegar y sobrevivir en aguas frías y desafiantes. Su comportamiento de sumersión es esencial para su alimentación, supervivencia, termorregulación y reproducción (Marisol León Chirinos & Javier Jesús Coasaca-Céspedes, 2014).

La especie *Spheniscus humboldti*, también conocida como pingüino de Humboldt, se distribuye a lo largo de la costa oeste de Sudamérica, desde el norte de Perú hasta el centro de Chile. Sin embargo, debido a la degradación de su hábitat natural y a otras amenazas, como la pesca excesiva y la contaminación, el número de pingüinos de Humboldt ha disminuido considerablemente en las últimas décadas, lo que los coloca en la categoría de especies en peligro de extinción según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (BirdLife International, 2020). Si bien gran parte de la investigación sobre pingüinos se ha centrado en poblaciones silvestres, el estudio de individuos en cautiverio también es de gran importancia debido que según el entorno artificial en el que se encuentran los pingüinos en los zoológicos puede llegar a presentar desafíos y diferencias significativas en comparación con su hábitat natural, en especial en ambientes tropicales. Estas diferencias pueden afectar su comportamiento de sumersión relacionado con termorregulación y tener implicaciones importantes para su bienestar y salud (Shaked Kazas et al., 2017).

Comprender cómo los factores ambientales específicos en el cautiverio, como la calidad del agua, la temperatura, la iluminación, el ruido y la disponibilidad de alimento, influyen en el comportamiento de sumersión de los pingüinos es esencial para mejorar su manejo y proporcionarles las condiciones óptimas para su bienestar. El estudio de los pingüinos en cautiverio no solo contribuye al bienestar individual de estos animales, sino que también desempeña un papel fundamental en la educación y sensibilización del público sobre la importancia de la conservación de estas especies. Los zoológicos y acuarios juegan un papel crucial en la conservación y educación de la vida silvestre, y el estudio de los pingüinos en cautiverio puede brindar información valiosa sobre su biología y comportamiento, así como crear conciencia sobre las amenazas que enfrentan en su entorno natural (Gisele et al., 2019).

La investigación realizada en zoológicos puede contribuir a la gestión y conservación de especies en peligro de extinción, como el pingüino de Humboldt. El zoológico La Aurora, ubicado en la ciudad de Guatemala, alberga una población en cautiverio de pingüinos de Humboldt. Este entorno proporciona la oportunidad de investigar cómo los factores ambientales locales y la cantidad de visitantes afectan el comportamiento de sumersión

de los pingüinos y cómo esto se puede aplicar para mejorar su bienestar en cautiverio. Nuestro objetivo era comprender cómo los efectos de niveles de ruido de los visitantes, ruidos de los aviones provenientes del aeropuerto, cantidad de visitantes y demás factores ambientales como la temperatura y humedad afectan el comportamiento de dicha especie.

## Métodos

### Toma de datos en campo

En los meses de marzo y abril de 2023 se realizó un muestreo con pingüinos en cautiverio, *S. humboldti* en el recinto de pingüinos ubicado en el Parque Zoológico Nacional La Aurora. Para el estudio participaron nueve estudiantes de los cursos de Comportamiento Animal y Biometría de la Universidad del Valle de Guatemala, los cuales trabajaron en grupos de tres personas para realizar las mediciones durante nueve días separados. Se realizó un conteo de la cantidad de pingüinos que se encontraban tanto en agua como en tierra. Además, se realizaba un conteo de la cantidad de visitantes que se encontraban cercanos al recinto. Se realizaron mediciones de los decibeles de ruido alrededor del recinto con la aplicación de teléfono Decibel X: dB Noise Meter, SPL, versión 9.6.1 de SkyPaw Co., Ltd - 10 Ly Van Phuc, Cat Linh, Dong Da, Hanoi, Vietnam. Las mediciones de temperatura (°C), presión (Hg mm), humedad (%) y velocidad del viento (m/s) se realizaron con el equipo Kestrel PROFESSIONAL, modelo 5200, Copyright 20155 Niessen-Kellerman, CO. Las mediciones se realizaron entre las 11:30 a.m. y 2:30 p.m. con un intervalo de cinco minutos entre cada medición y un tiempo de dos horas. Además, se calcularon las fracciones de pingüinos para tener un mejor control, ya que algunos pingüinos se escondían dentro del recinto al momento de realizar las mediciones. Las fracciones se calcularon con la siguiente fórmula:

$$\text{Fracción} = \frac{\text{pingüinos en agua o tierra}}{\text{número total de pingüinos}}$$

### Análisis de la base de datos

Para el análisis se utilizó el software de R y RStudio versión 2022.12.0+353. Los datos recolectados y analizados están disponibles libremente para su consulta y descarga en el repositorio de datos Zenodo: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7972544>. Las variables presentadas en la base de datos fueron: número de grupo que realizó la medición (GRUPO), número de visita realizada (VISITA), hora de la medición (HORA), número de pingüinos en tierra (PIN.TIERRA), número de pingüinos en agua

(PIN.AGUA), número de visitantes (NO.VISITANTES), temperatura en celsius (TEMP.), presión atmosférica en Hgmm (PRESION), porcentaje de humedad relativa del ambiente (HUMEDAD), cantidad de decibeles en áreas cercanas al recinto (DECIBELES), velocidad del viento en m/s (VEL.VIENTO), número total de pingüinos (PIN.TOTAL), fracción de pingüinos en tierra (FRAC.TIERRA) y fracción de pingüinos en agua (FRAC.AGUA).

## Generación y análisis de modelos

Desarrollamos una lista de modelos candidatos basados en nuestras hipótesis para evitar la inclusión de parámetros sin información y el sobreajuste (Fisher et al. 2018, Leroux 2019). Los modelos candidatos fueron analizados con el paquete MASS (Venables y Ripley 2002). Para los LMMs (Modelos Lineales Mixtos), llevamos a cabo la selección del modelo basado en el Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc, Burnham & Anderson 2002) para obtener los modelos más parsimoniosos y las estimaciones de parámetros usando el paquete MuMIn (Barton 2020).

Los parámetros que incluyeron el cero dentro de su intervalo de confianza del 95% (CI) se consideraron no informativos (Arnold 2010, Cremers y Klugkist 2018, Leroux 2019). Los efectos fijos utilizados en todos los análisis no estaban correlacionados (coeficiente de correlación de Pearson < 0.5) y los valores del factor de inflación de la varianza fueron < 3 (Harrison et al. 2018). La variable respuesta de fracción de pingüinos en agua

fue transformada al cuadrado para poder validar los residuales. Los gráficos de residuos fueron analizados utilizando el paquete R DHARMA (Hartig 2020), aprobando todas las pruebas realizadas por lo que el modelo es válido. Los efectos finales de las variables predictoras sobre la fracción de pingüinos en agua fueron analizadas con el paquete effects (Fox y Weisberg, 2019).

## Resultados y discusión

Se evaluaron modelos candidatos para poder explicar el efecto que las variables restantes sobre el comportamiento de sumersión en pingüinos (*S. humboldti*) en cautiverio. Se utilizaron los valores del Criterio de Información de Akaike para muestras grandes (AICc por sus siglas en inglés) para determinar cuál era el modelo más parsimonioso. De los modelos candidatos, se determinó que el mejor modelo era:

$$\text{Fracción de pingüinos en agua} = \beta_1 \text{Humedad relativa} + \beta_2 \text{Cantidad de visitantes} + \beta_3 \text{Temperatura del aire}$$

Este modelo presentaba un delta AICc de 0 y un wAIC de 0.485. Luego de verificar el estimado y los intervalos de confianza, se determinó que temperatura del aire y la humedad relativa presentan un efecto claro positivo sobre la fracción de pingüinos en el agua, mientras que la cantidad de visitantes presenta un efecto claro negativo (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Tamaño del efecto ( $\beta$ ), error estándar y límites inferior (LIC) y superior (LUC) del intervalo de confianza al 95% para las variables predictoras de factores ambientales que afectan la fracción de pingüinos *S. humboldti* en el agua en el recinto del Zoológico Nacional La Aurora. En negritas se resaltan las variables con efectos claros sobre la fracción de pingüinos en el agua.

Variable	Tamaño del efecto ( $\beta$ )	Error estándar	LIC	LUC
Intercepto	-0.5967659	0.3765686	-1.339064409	0.14553265
Humedad relativa	0.0067755	0.0022391	0.002361692	0.01118933
Cantidad de visitantes	-0.0056055	0.0008033	-0.007188959	-0.00402206
Temperatura del aire	0.0325276	0.0112329	0.010385132	0.05467002
Grupo de observación	-0.0333618	0.0266590	-0.085912434	0.01918880
Velocidad del viento	0.0241421	0.0495360	-0.073504016	0.12178827

En la Figura 1 se pueden observar gráficos del efecto de cada variable en el modelo sobre el comportamiento de sumersión en pingüinos (*S. humboldti*) en cautiverio. El efecto de la temperatura sobre la variable dependiente (Fig. 1.C) se puede explicar tomando en cuenta que el aumento de la temperatura genera la necesidad de refrescar y termorregular el cuerpo. El efecto de la humedad sobre la variable

dependiente es directamente proporcional (Fig. 1.A). Es posible que se deba al fenómeno llamado "Heat Index" este indica que mientras más alta es la temperatura del aire y/o más alta la humedad relativa, más alto es el índice de calor y más caliente estará un cuerpo en el exterior (National Weather Service, & National Oceanic and Atmospheric Administration, 2023).

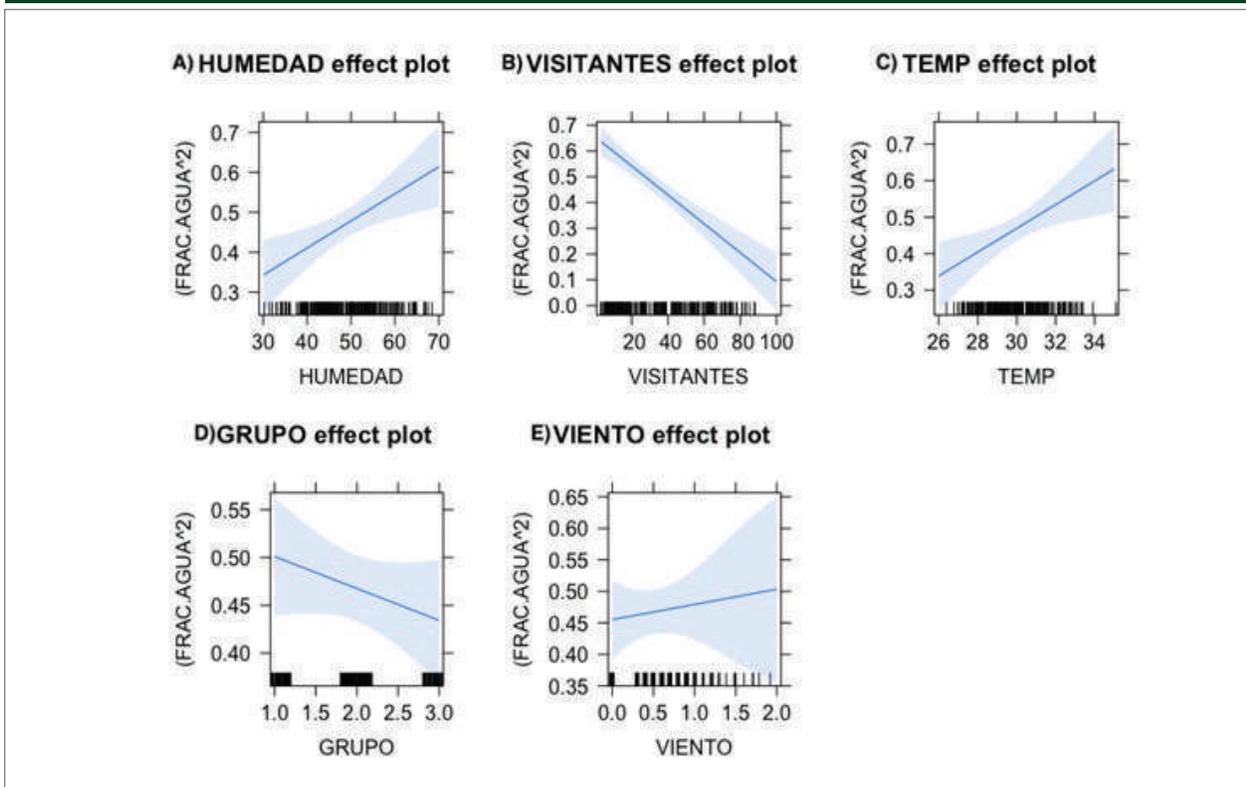


Figura 1. Efecto de la humedad relativa (A), cantidad de visitantes (B), temperatura del aire (C), grupo de observación (D) y velocidad del viento (E), sobre la fracción de pingüinos *Spheniscus humboldti* sumergidos en el agua en el recinto del Zoológico Nacional La Aurora

En cuanto a la cantidad de visitantes (Fig. 1.B), se pudo observar que a medida que la cantidad de visitantes aumentaba alrededor del recinto, más pingüinos se mantenían fuera del agua. Es posible que se deba a la estructura del recinto que comprende de un gran tanque de agua que se encuentra al alcance de los visitantes. A pesar de la existencia de un letrero que indica “No tocar el vidrio, nos molestar”, la mayoría de los visitantes eran niños entre 8 y 12 años aproximadamente y durante las mediciones estos grupos de niños se mantenían tocando el vidrio lo que puede generar estrés en los pingüinos al magnificarse los ruidos bajo el agua y disminuyendo por lo tanto la cantidad de pingüinos sumergidos en el agua para escapar de esta perturbación. Las variables de grupo de observación y la velocidad del viento no presentan un efecto claro sobre la variable de respuesta. Para futuros estudios se recomienda ampliar la muestra de pingüinos, así como evaluar otras posibles variables ambientales.

## Conclusiones

Estos resultados podrían implicar que el comportamiento de sumersión de pingüinos efectivamente funciona como conducta termorreguladora al aumentar la cantidad de pingüinos en el

agua conforme aumenta la temperatura y humedad relativa ambiental. Sin embargo, la cantidad de visitantes y la intensidad de esta visita puede afectar este comportamiento, pues la proporción de pingüinos que se sumergen disminuye conforme aumenta la cantidad de visitantes. Esto puede afectar a largo plazo el comportamiento termorregulador de la especie en cautiverio, en especial teniendo en cuenta el contexto actual del cambio climático y las olas de calor esperadas por este fenómeno. Se recomienda el regular la cantidad de visitantes y la conducta de estos al acercarse al recinto de los pingüinos, en especial durante las horas más cálidas del día, para no afectar su comportamiento.

## Agradecimientos

Agradecemos al departamento de Biología, a Miguel Santos y a Melany Guzmán de la Universidad del Valle de Guatemala por proporcionar material de apoyo, al Lic. Julio del Cid por su apoyo durante la toma de datos y el análisis de estos, a Alejandro Striediner por su apoyo en la logística del ingreso, y al Parque Zoológico Nacional La Aurora por apoyarnos y brindarnos acceso al área de estudio.

## Contribución de los autores

- JA, AM, RV: Redacción del artículo. Análisis de datos. Toma de datos experimentales.
- JB, FR, MH, JG, AO, OS: Toma de datos experimentales en campo. Tabulación de datos.
- DA: Promotor del tópico de investigación y desarrollo de diseño experimental y análisis de datos. Asesor durante el desarrollo de la investigación. Revisión y edición el artículo.

## Bibliografía

- Arnold, T. W. (2010) *Uninformative parameters and model selection using Akaike's Information Criterion*. *Journal of Wildlife Management* 74:1175e1178.
- Barton, K (2022). *MuMIn: Multi-Model Inference*. R package version 1.47.1, <<https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>>.
- BirdLife International. (2020) *IUCN Red List of Threatened Species: Spheniscus humboldti*. *IUCN Red List of Threatened Species*; <https://www.iucnredlist.org/es/species/22697817/182714418>.
- Burnham, K. P., Anderson, D.R. (2002) *Model Selection and Multimodel Inference: a Practical Information-Theoretic Approach*. Springer-Verlag, New York, New York, USA.
- Bates, D. Maechler, M., Bolker, B., Walker, S. (2015). *Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4*. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.
- Rosa, L., Santos, A., Flores, M. M., Alves, D., Simeone, A., González-Acuña, D., Luna-Jorquera, G., Valdés-Velásquez, A., Cerón, M. A., et al. (2019) *Uncovering population structure in the Humboldt penguin (Spheniscus humboldti) along the Pacific coast at South America*. 14(5), e0215293-e0215293. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215293>.
- Fisher, R., Wilson, S. K., Sin, T. M., Lee, A. C., Langlois, T. J. (2018) *A simple function for full-subsets multiple regression in ecology with R*. *Ecology and Evolution* 8:6104-6113.
- Harrison, X. A., Donaldson, L., Correa-Cano, M. E., Evans, J., Fisher, D. N., Goodwin, C. E. D., Robinson, B. S., Hodgson, D. J., Inger, R. (2018) *A brief introduction to mixed effects modelling and multi-model inference in ecology*. *PeerJ* 6:e4794.
- Hartig F (2022) *DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models*. R package version 0.4.6, <<https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>>.
- Fox, J., Weisberg, S. (2019) *An R Companion to Applied Regression*, 3rd Edition. Thousand Oaks, CA <<https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/index.html>>
- Leroux, S. J. (2019) *On the prevalence of uninformative parameters in statistical models applying model selection in applied ecology*. *PLoS ONE* 14:e0206711.
- Marisol León Chirinos, Javier Jesús Coasaca-Céspedes. (2014) *Patrones conductuales en cautiverio de Pingüino de Humboldt (Spheniscus humboldti)* (2014). Academia.edu. [https://www.academia.edu/32517539/Patrones\\_conductuales\\_en\\_cautiverio\\_de\\_Ping%C3%BCino\\_de\\_Humboldt\\_Spheniscus\\_humboldti\\_2014](https://www.academia.edu/32517539/Patrones_conductuales_en_cautiverio_de_Ping%C3%BCino_de_Humboldt_Spheniscus_humboldti_2014)
- National Weather Service, & National Oceanic and Atmospheric Administration. (2023) *Discussion on Humidity*. Weather.gov. <https://www.weather.gov/lmk/humidity>
- Kazas, S., Benelly, M., Golan, S. (2017) *The Humboldt Penguin (Spheniscus humboldti) Rete Tibiotarsale - A supreme biological heat exchanger*. 67, 67-78. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.04.011>
- Venables, W. N., Ripley, B. D. (2002) *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0

# Anexo

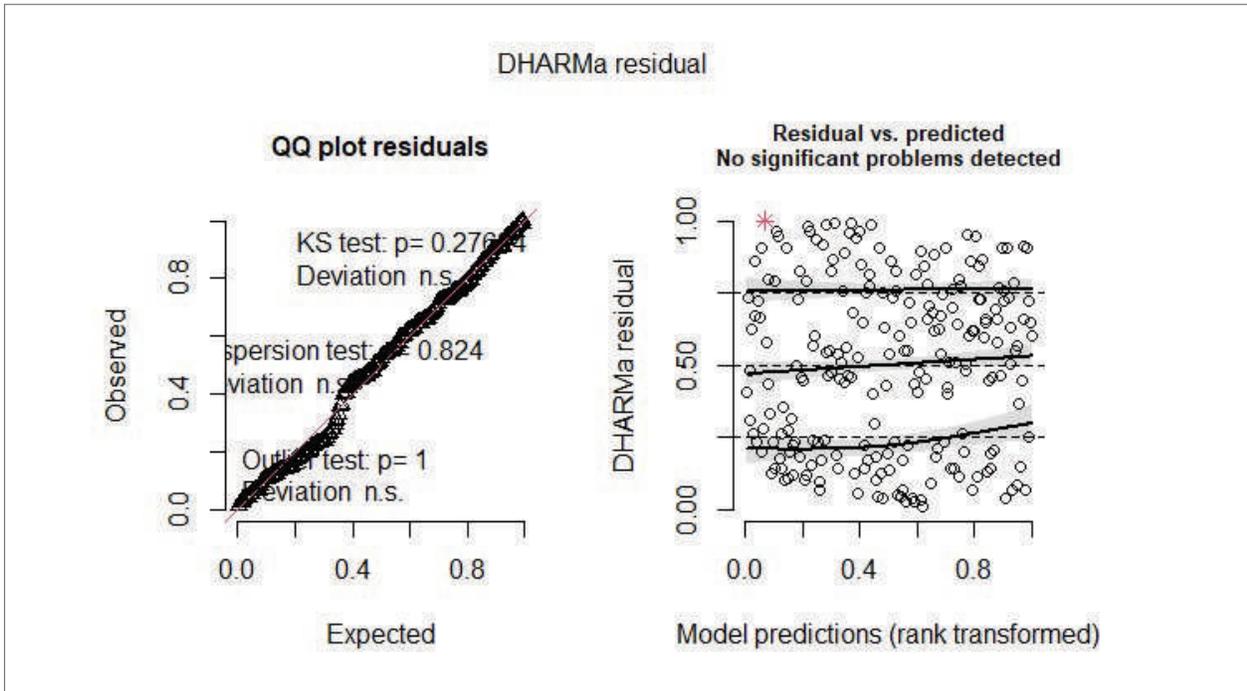


Figura A1. Prueba DHARMa para el modelo candidato con distribución Gaussiana y variable de respuesta FRACAGUA al cuadrado.