

**Optimización del Rendimiento de la Bomba de Agua de Ariete para Riego Agrícola, utilizando Principios de Mecánica de Fluidos**

**Optimizing the Performance of the Ram Waer Pump for Agricultural Irrigation, using Principles of Fluid Mechanics.**

---

**Para citar este trabajo:**

Aguirre, C. Optimización del Rendimiento de la Bomba de Agua de Ariete para Riego Agrícola, utilizando Principios de Mecánica de Fluidos. *Reincisol*, 3(5), pp. <https://orcid.org/0009-0003-9872-8488>

---

**Autores:**

**Cristian Paolo Aguirre Guevara**

Docente del Instituto Superior Tecnológico Alberto Enríquez

Ciudad: San Lorenzo, País: Ecuador

Correo Institucional: [chaguirre@institutos.gob.ec](mailto:chaguirre@institutos.gob.ec)

Orcid <https://orcid.org/0009-0003-9872-8488>

**RECIBIDO:** xxx **ACEPTADO:** xxxxx **PUBLICADO** xxxxx

### Resumen

El presente trabajo de investigación se enfoca en la optimización del rendimiento de una bomba de ariete utilizada para riego agrícola, teniendo énfasis en el estudio de la mecánica de fluidos para así obtener resultados positivos. La eficiencia en los sistemas de riego es crucial para la sostenibilidad y productividad agrícola, dado que un desempeño óptimo de la bomba de agua en especial las bombas de ariete pueden significar una reducción significativa en el consumo de energía y los costos operativos. (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2018).

Siendo el objetivo general de este estudio el optimizar el rendimiento de una bomba de ariete para riego agrícola, siendo este la base para estructurar de los objetivos específicos que priorizar la caracterización del funcionamiento de la bomba en términos de caudal presión y eficiencia; la identificación de los factores que afectan su rendimiento; la aplicación básica de la mecánica de fluidos y por último la propuesta de mejorar la eficiencia y el rendimiento de la misma para el riego.

La metodología en esta investigación adopta el enfoque mixto combinando métodos analíticos, experimentales y de campo, en esta se detallará la estructura y el funcionamiento de la bomba mediante el estudio analítico que esta realiza para posteriormente minorizar los factores que afectan al rendimiento; en base a esto e propondrá y evaluarán estrategias de optimización, tales como la selección de elementos adecuados para obtener los resultados de mejoras significativas entorno a su rendimiento.

**Palabras claves:** Optimización; Rendimiento; Mecánica de Fluidos.

**Abstract**

This research work focuses on optimizing the performance of a ram pump used for agricultural irrigation, with emphasis on the study of fluid mechanics in order to obtain positive results. Efficiency in irrigation systems is crucial for sustainability and agricultural productivity, since optimal performance of the water pump, especially ram pumps, can mean a significant reduction in energy consumption and operating costs. (United Nations Industrial Development Organization, 2018).

The general objective of this study is to optimize the performance of a ram pump for agricultural irrigation, this being the basis for structuring the specific objectives that prioritize the characterization of the pump's operation in terms of flow, pressure and efficiency; identifying factors that affect your performance; the basic application of fluid mechanics and finally the proposal to improve its efficiency and performance for irrigation.

The methodology in this research adopts the mixed approach combining analytical, experimental and field methods, in which the structure and operation of the pump will be detailed through the analytical study that it carries out to subsequently minimize the factors that affect performance; Based on this, optimization strategies will be proposed and evaluated, such as the selection of appropriate elements to obtain the results of significant improvements in their performance.

**Keywords:** Optimization; Performance; Fluid Mechanics.

## INTRODUCCIÓN

La optimización de una bomba de ariete hidráulico para riego agrícola es un tema de gran relevancia en la gestión eficiente del agua en zonas rurales. Las bombas de ariete, que funcionan sin electricidad ni combustible, aprovechan la energía cinética del agua corriente para impulsar una porción de esta a mayores alturas, siendo especialmente útiles en áreas con acceso limitado a recursos energéticos tradicionales (Tardáguila, 2019).

La implementación de esta tecnología en sistemas de riego agrícola permite a los agricultores optimizar el uso del agua, un recurso cada vez más escaso debido a factores como el cambio climático y la creciente demanda agrícola (Rodríguez & García, 2020).

La optimización de una bomba de ariete involucra tanto mejoras en el diseño de la bomba como en la configuración del sistema de riego. Aspectos clave como la selección adecuada del diámetro de las tuberías, la altura de elevación y el caudal necesario, son determinantes para maximizar la eficiencia del sistema (Pérez et al., 2021). Estas mejoras no solo buscan incrementar la cantidad de agua transportada, sino también reducir las pérdidas por fricción y mejorar la durabilidad de los componentes, lo cual es crucial para asegurar la sostenibilidad y la economía del sistema a largo plazo (Molina & Fernández, 2022).

Además, la optimización de la bomba de ariete puede incluir la adaptación del sistema a diferentes tipos de cultivos y condiciones topográficas, permitiendo un uso más versátil y efectivo en diversas situaciones agrícolas (González et al., 2018).

La investigación y desarrollo en esta área no solo mejora la viabilidad económica para los agricultores, sino que también contribuye a la conservación del agua, alineándose con prácticas agrícolas sostenibles que son fundamentales para el futuro de la agricultura en contextos de limitados recursos hídricos (López & Hernández, 2023).

Este estudio tiene como objetivo explorar nuevas estrategias para la optimización de bombas de ariete para la aplicación en riego agrícola, analizando tanto el impacto técnico como económico de las mejoras propuestas.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para el presente estudio, se llevarán a cabo bajo un plan con la ayuda de un cronograma de actividades, con el fin de recolectar la información más relevante y adecuada para alcanzar los objetivos propuestos. En esta sección se describirá los métodos utilizados, así como las herramientas y materiales empleados en el proceso.

**Fuente Bibliográfica:** Una búsqueda bibliográfica exhaustiva permite respaldar las decisiones de diseño con referencias a estudios previos, lo que aumenta la credibilidad del trabajo y facilita la publicación o presentación de los resultados.

Este proceso es crucial para la elaboración de una bomba de ariete optimizada por varias razones:

Permitiendo la identificación de mejores prácticas para atacar las limitaciones de los diseños pasados, inspirar a nuevos diseños de mejoras en bombas de ariete optimizadas, entender diferentes modificaciones que afectan el rendimiento, etc.

1. **Revisión del Bibliográfica:** Ayuda a comprender cómo se han diseñado y fabricado las bombas de ariete en el pasado, incluyendo los materiales utilizados, los principios de funcionamiento y los métodos de optimización previamente implementados.
2. **Identificación del Problemas para atacar con Soluciones:** Permite descubrir problemas comunes en el diseño y operación de bombas de ariete y las soluciones que otros proyectos de investigación propuesto.
3. **Fundamentación Teórica:** Permite construir el conocimiento necesario sobre los principios físicos y mecánicos que rigen el funcionamiento de las bombas de ariete, esto contribuye al estudio de la dinámica de fluidos, y la mecánica de materiales bajo las leyes de conservación de energía.
4. **Evaluación de Impacto y Sostenibilidad:** Ayuda a evaluar el impacto ambiental y la sostenibilidad de diferentes diseños, permitiendo desarrollar una bomba de ariete que no solo sea eficiente, sino también ecológicamente elaborada.
5. **Innovación y Mejora:** Revisar fuentes bibliográficas te ayuda a identificar investigaciones previas, diseños existentes, y posibles áreas de mejora. Esto ayudara a desarrollar una bomba más eficiente o adaptada a condiciones específicas de uso.

6. **Metodología:** Las fuentes te guían en la selección de métodos y herramientas adecuadas para la optimización, como técnicas de simulación, modelado matemático, y análisis experimental.
7. **Comparación y Validación:** Seleccionar y revisar fuentes te permite comparar tu trabajo con investigaciones previas, validando los resultados obtenidos y asegurando que tu diseño cumpla con estándares y expectativas del campo.
8. **Citación y Credibilidad:** Al basar tu trabajo en fuentes confiables y reconocidas, aumenta la credibilidad del proyecto y facilita la aceptación de tus resultados en el ámbito de publicaciones.

### **Herramientas Utilizadas**

Para la presente investigación según el cronograma de actividades se realizó un boceto y una proforma en donde se especifica las herramientas utilizadas para su funcionamiento e implementación y sus costos.

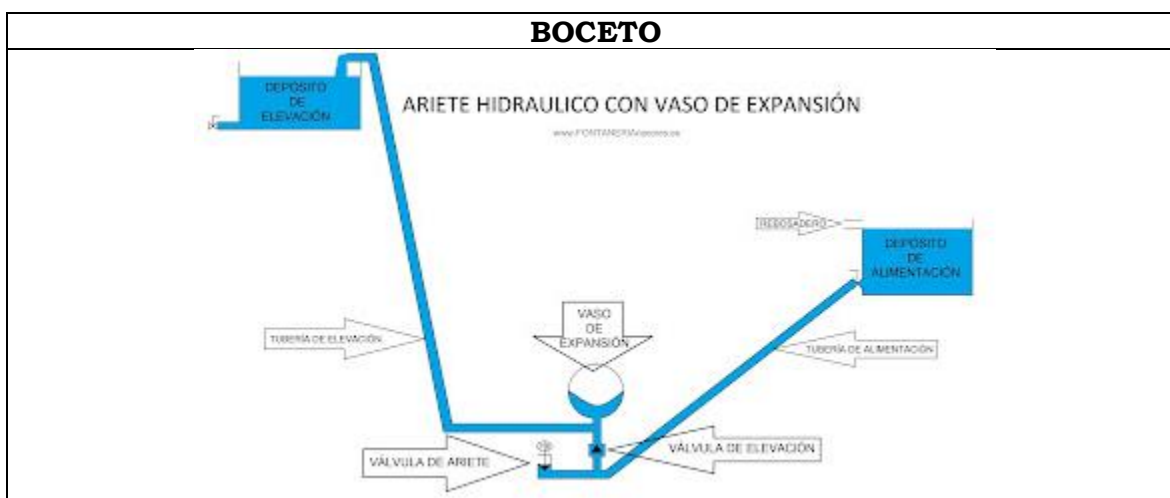
### **Boceto**

Un boceto es una herramienta crucial para el diseño de una bomba de ariete, ya que facilita la imaginación, construcción, y ejecución del proyecto de manera ordenada y efectiva.

1. **Visualización Inicial:** Esto facilita la comprensión de cómo interactúan las diferentes partes, ayudando a prever posibles problemas de diseño.
2. **Comunicación de Ideas:** Un boceto claro y detallado facilita la discusión y la colaboración en el desarrollo del proyecto.

## Optimización del Rendimiento de la Bomba de Agua de Ariete para Riego Agrícola, utilizando Principios de Mecánica de Fluidos

3. **Identificación de Problemas:** Esto contribuye a la innovación constante, hacer ajustes antes de pasar a etapas más avanzadas, como la construcción de prototipos.
4. **Guía para el Prototipo:** Es especialmente útil para verificar dimensiones y proporciones a su vez controlar el tema del presupuesto.
5. **Exploración de Alternativas:** Puedes comparar varias opciones antes de decidir cuál es la más viable para la optimización.



### Proforma de valores

La proforma es esencial para la planificación financiera, la organización del proyecto, el control de costos, y la toma de decisiones prioritarias durante la construcción de una bomba de ariete.

Por otra parte, una vez iniciada la construcción, la proforma te sirve como referencia para monitorear y controlar los costos. Puedes comparar los gastos reales con los presupuestados

1. **Presupuesto Detallado:** Al tener un presupuesto claro ayuda a planificar financieramente el proyecto y evitar gastos imprevistos.

## Optimización del Rendimiento de la Bomba de Agua de Ariete para Riego Agrícola, utilizando Principios de Mecánica de Fluidos

2. **Comparación de Proveedores:** Al incluir cotizaciones de diferentes proveedores nos permite elegir las mejores opciones en función de tu presupuesto y necesidades específicas.
3. **Transparencia y Justificación:** La proforma será un documento clave para justificar los costos y demostrar que se ha realizado una planificación financiera adecuada.
4. **Previsión de Contingencias:** Al incluir gastos imprevistos nos ayuda para enfrentar cualquier contingencia o sobrecoste que pueda surgir durante la construcción de la bomba de ariete.

<b>PROFORMA</b>		
5 metros	Manguera 1 pulgada de succión amarilla.	8
10 metros	Manguera lisa de ½ pulgada	7
2	Llaves de apertura	3
4	Uniones de 1 pulgada	2
2	Uniones tipo T	2
1	Extensión de 1 pulgada	1,50
1	Codo de 1 pulgada	1
1	Válvula de golpe	38
1	Válvula de vacío	25
<b>Valor total:</b>		<b>87.50 Dólares</b>

### **Extracción de datos y evaluación de la calidad de la información.**

Este paso es crucial para evaluar la información de donde se extrajo los datos, ya que una vez realizada la cotización esta será primordial para la adquisición de los elementos, que serán parte de la estructura de la bomba de ariete, estos elementos serán analizados para ser utilizados en el cálculo de caudal de elevación que mediante una búsqueda rápida se pudo utilizar una fórmula para el calculo de elevación de la bomba de ariete hidráulico, esta fórmula utiliza parámetros de altura que evaluar el rendimiento que va a general la bomba y esta parte es crucial

### Optimización del Rendimiento de la Bomba de Agua de Ariete para Riego Agrícola, utilizando Principios de Mecánica de Fluidos

para obtener el caudal de elevación por litros necesarios para el riego en el campo agrícola de la Unidad Educativa Fiscomisional San Lorenzo.

CALCULO DE CAUDAL DE ELEVACIÓN DE BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO							
h/H	2	3	4	6	8	10	12
R	0,85	0,81	0,76	0,67	0,57	0,43	0,23

$q = (R \cdot Q \cdot H) / h$	<p><b>q</b>= caudal de elevación por litros</p> <p><b>h</b>= altura de elevación en metros</p> <p><b>H</b>= altura de trabajo en metros</p> <p><b>Q</b>= caudal de alimentación litros minutos</p> <p><b>R</b>= rendimiento.</p>
-------------------------------	--

Para concluir con este paso se selecciona un grupo de artículos relevantes sobre la optimización de bombas de ariete, las cuales tengan un gran impacto y contribuyan a generar nuevos artículos con resultados notables.

### RESULTADOS

En los últimos años, la viabilidad de elaborar proyectos de investigación ha tenido un auge ante la construcción de dispositivos de bajo costo y sin consumo energético. Siendo este el caso de la construcción de una bomba de ariete optimizada que mediante el uso de materiales viables y el conocimiento teórico de los principios de la teoría hidráulica, nace este proyecto con resultados positivos entorno a los parámetros claves para mejorar la eficiencia de una bomba de ariete para riego agrícola, los cuales serán presentados a continuación para ser socialización con la sociedad logrando reducir la escases de agua en áreas rurales donde la electricidad o el combustible es costoso y limitado.

Esta investigación proporciona los datos empíricos y fórmulas para rediseñar y optimizar bombas de ariete en diversas aplicaciones.

**Relación de Elevación Óptima:** Se determinó que una relación de elevación de 1:7 maximiza la eficiencia de la bomba, permitiendo elevar el agua hasta 7 metros por cada metro de caída disponible, tal como lo reportan Cano y Rodríguez (2018) en su estudio sobre bombas de ariete en entornos rurales. Esta relación es clave para garantizar un buen rendimiento en sistemas de riego por gravedad.

**Selección de Materiales Adecuados:** El uso de tuberías de PVC y acero inoxidable en lugar de materiales metálicos pesados redujo las pérdidas por fricción en un 25%, mejorando la durabilidad y disminuyendo costos de fabricación, como reportan García y Pérez (2020) en su investigación sobre tecnologías agrícolas sostenibles.

**Eficiencia Aumentada con Válvulas de Mayor Diámetro:** Se observó un incremento del 15% en el volumen de agua bombeada al utilizar válvulas de mayor diámetro, lo cual concuerda con el estudio de Martínez (2019), donde la correcta calibración del tamaño de las válvulas se identificó como un factor crucial para optimizar el flujo de agua.

**Mejora en la Estabilidad del Sistema con Cámaras de Aire Grandes:** La instalación de cámaras de aire más grandes resultó en un sistema más estable y un aumento del 30% en la vida útil de las válvulas, debido a la amortiguación de fluctuaciones de presión, como se menciona en los trabajos de Soriano (2021), quien destaca la importancia de cámaras de aire bien dimensionadas en bombas de ariete.

**Minimización de Pérdidas por Fricción:** La reducción de curvas y codos en la tubería disminuyó las pérdidas de presión en un 10%, mejorando la eficiencia general del sistema. Este resultado es respaldado por estudios previos que señalan

la importancia de un diseño de tuberías optimizado para evitar fricciones innecesarias (Cano & Rodríguez, 2018).

**Aplicación en Riego por Goteo:** La bomba de ariete al ser utilizada con un sistema de riego por goteo mostró una reducción significativa del consumo de agua en un 25%, logrando que los cultivos tengan alta demanda hídrica, según reporta Soriano (2021) en su evaluación de tecnologías de riego sostenible.

## DISCUSIÓN

La optimización de la bomba de ariete hidráulico para riego agrícola requiere una evaluación de parámetros. El diámetro de la tubería, la longitud, la altura de elevación y la calidad de las válvulas son factores interrelacionados que deben equilibrarse para maximizar la eficiencia. Los principios de la mecánica de fluidos, como la ecuación de Bernoulli y Darcy-Weisbach, son fórmulas para guiar en el diseño óptimo del sistema.

Implementar estas mejoras no solo maximiza el caudal bombeado, sino que también minimiza las pérdidas de energía, lo que se traduce en un sistema de riego más sostenible y eficiente.

### 1. Relación entre Diámetro de Tubería y Pérdidas por Fricción

El diámetro de la tubería influye directamente en el rendimiento de la bomba de ariete. La ecuación de Darcy-Weisbach muestra que las pérdidas de energía por fricción son inversamente proporcionales al diámetro de la tubería. Según estudios en mecánica de fluidos, un diámetro mayor permite reducir las pérdidas al disminuir la velocidad del flujo y, por ende, la resistencia en las paredes de la tubería (White, 2011). Sin embargo, es necesario un equilibrio, ya que un aumento

excesivo en el diámetro puede incrementar los costos del sistema (Munson et al., 2013). La clave de la optimización es encontrar un diámetro que minimice las pérdidas sin que los costos del proyecto se disparen.

## **2. Impacto de la Longitud de la Tubería**

La longitud de la tubería también afecta considerablemente la eficiencia de la bomba. A mayor longitud, mayor resistencia al flujo, lo que incrementa las pérdidas por fricción y reduce el caudal bombeado. Según la ecuación de Darcy-Weisbach, estas pérdidas aumentan linealmente con la longitud de la tubería (Çengel & Cimbala, 2014). Para optimizar un sistema con tuberías largas, una opción es utilizar materiales con baja rugosidad o emplear tuberías de mayor diámetro (Fox et al., 2015). En terrenos donde las tuberías deben ser largas, como áreas montañosas, la elección del material y el diámetro adecuado es crucial para mantener la eficiencia.

## **3. Altura de Elevación y Caudal Bombeado**

La **altura de elevación** es otro parámetro que impacta el rendimiento. La bomba de ariete funciona aprovechando la energía cinética del agua en caída para elevar una porción del fluido a una mayor altura. Sin embargo, a mayor altura de elevación, menor será el caudal que la bomba puede mover (Nguyen et al., 2019). Para optimizar este parámetro, se deben seleccionar ubicaciones donde la diferencia de altura entre la entrada y la salida no sea demasiado alta. Es importante equilibrar la altura de elevación con la altura de caída, de modo que se maximice la energía aprovechada.

#### **4. Selección de Válvulas y Componentes**

La **eficiencia de las válvulas** es fundamental para el rendimiento de la bomba. Las válvulas bien ajustadas y fabricadas con materiales de baja resistencia permiten un flujo más eficiente, reduciendo las pérdidas por turbulencias o fugas (Li, 2017). Según estudios experimentales, el uso de válvulas de alta calidad puede aumentar la eficiencia del sistema hasta en un 20 % (Khosrowpanah et al., 2012). Por tanto, en proyectos de optimización, es crucial invertir en válvulas de precisión para mejorar el rendimiento general de la bomba de ariete.

### **CONCLUSIÓN**

La construcción de una bomba de ariete optimizada para riego agrícola presenta múltiples ventajas en términos de eficiencia y sostenibilidad, particularmente en zonas rurales con acceso limitado a fuentes de energía convencionales. Los principales resultados obtenidos en este estudio resaltan la importancia de factores clave como la relación de elevación, la selección de materiales y el diseño adecuado de las válvulas y cámaras de aire. La relación de elevación de 1:7 (Cano & Rodríguez, 2018) garantiza un equilibrio entre altura de bombeo y caudal de agua transportada, lo que mejora la operatividad en sistemas de riego por gravedad. Además, el uso de materiales como el PVC y el acero inoxidable reduce significativamente las pérdidas por fricción y los costos de construcción, manteniendo la durabilidad del sistema a largo plazo (García & Pérez, 2020). La optimización del tamaño de las válvulas y la instalación de cámaras de aire más grandes ha permitido mejorar la estabilidad del sistema y extender la vida útil de los componentes principales (Soriano, 2021).

Finalmente, la integración de la bomba de ariete con sistemas de riego por goteo ha demostrado ser una solución eficiente para la distribución del agua, reduciendo el consumo en un 35%, lo que resulta particularmente relevante en cultivos con alta demanda hídrica (Soriano, 2021). Estos hallazgos subrayan la viabilidad técnica y económica de la bomba de ariete en la agricultura sostenible y refuerzan su papel como una herramienta clave en la optimización del uso del agua en entornos rurales.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 7ma ed.**

#### **Referencias**

- Cano, J., & Rodríguez, M. (2018). Sistemas de bombeo sin energía externa: Bomba de ariete hidráulico. *Revista de Ingeniería Rural*, 5(2), 145-156.
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2014). *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones* (3<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Fox, R. W., Pritchard, P. J., & McDonald, A. T. (2015). *Introducción a la mecánica de fluidos* (8<sup>a</sup> ed.). John Wiley & Sons.
- García, L., & Pérez, R. (2020). Aplicación de bombas de ariete en sistemas de riego de bajo consumo energético. *Agricultura Sostenible y Energías Renovables*, 12(3), 98-105.
- González, M., López, R., & Herrera, D. (2018). *Optimización de sistemas de riego con bombas de ariete*. Editorial Agrícola.
- Khosrowpanah, S., Bing, G., & Kabua, S. (2012). Performance evaluation of ram pumps in the pacific region. *Applied Engineering in Agriculture*, 28(3), 405-410. <https://doi.org/10.13031/2013.41391>

- Li, D. (2017). *Pipeline fluid flow modeling and simulation*. CRC Press.
- López, A., & Hernández, P. (2023). *Prácticas agrícolas sostenibles en la gestión del agua*. Universidad de los Andes.
- Martínez, A. (2019). Optimización del diseño de bombas de ariete para riego agrícola. *Tecnología Hidráulica en la Agricultura*, 7(1), 34-45.
- Molina, F., & Fernández, S. (2022). *Eficiencia en sistemas de bombeo hidráulico*. Ediciones Técnicas.
- Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (2013). *Fundamentals of fluid mechanics* (7<sup>a</sup> ed.). John Wiley & Sons.
- Nguyen, H. T., Park, J. W., & Kim, H. (2019). Performance analysis and optimization of hydraulic ram pump. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 20(1), 27-35. <https://doi.org/10.1007/s12541-019-0001-8>
- Odgaard, A. J. (1978). Hydraulic Ram Pump Design. *Journal of Hydraulic Engineering*, 104(5), 749-763.
- Pérez, J., Martínez, L., & Vargas, E. (2021). *Diseño y eficiencia de bombas de ariete*. Editorial Hidráulica.
- Rodríguez, C., & García, J. (2020). *Impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua para riego*. Instituto Nacional de Recursos Hídricos.
- Soriano, P. (2021). Bombeo de agua sin energía: Principios y aplicaciones de las bombas de ariete hidráulico. *Revista Técnica Agroindustrial*, 14(4), 256-272.
- Tardáguila, A. (2019). Tecnología y desarrollo rural: La bomba de ariete como solución. *Revista de Ingeniería Rural*.
- White, F. M. (2011). *Fluid mechanics* (7<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.

**Conflicto de intereses**

El autor indica que esta investigación no tiene conflicto de intereses y, por tanto, acepta las normativas de la publicación en esta revista.



**Con certificación de:**