



Análisis econométrico de la producción de pacú y patinga en Brasil: evidencias espacio-temporales

Murilo Henrique Tank Fortunato^{1*}  Karoline Moreira Barbuio²  & Julia Aparecida Tameirão³ 

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil.

Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil.

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil.

Recebido 3 fevereiro 2026 / Aceito 26 fevereiro 2026

Resumen

La piscicultura brasileña de especies nativas de alto valor comercial, con énfasis para el pacú (*Piaractus mesopotamicus*) y el híbrido patinga (*P. mesopotamicus* × *P. brachypomus*), desempeña un papel estratégico desde las perspectivas productiva, económica y ambiental. Este estudio tuvo como objetivo analizar la dinámica espacio-temporal de la producción de estas especies en Brasil entre 2013 y 2023, identificando patrones regionales asociados a variables socioeconómicas y ambientales. Se utilizaron datos públicos del IBGE (Sidra - Tabla 3940), analizados en el entorno R mediante procedimientos de depuración de datos, estandarización estadística (Z-score), clusterización mediante el método K-means y modelización econométrica basada en regresión lineal. Los resultados indican que la producción de pacú y patinga presentó un comportamiento no lineal a lo largo del período, con una expansión inicial seguida de una retracción en regiones tradicionalmente productoras, especialmente en el Centro-Oeste. Factores ambientales, como el estrés térmico y la disponibilidad hídrica, junto con limitaciones estructurales y económicas, explican parte de esta inestabilidad. El análisis de clúster reveló la existencia de nichos productivos diferenciados, que varían entre sistemas intensivos basados en el uso de híbridos y sistemas extensivos orientados a la producción local. Las proyecciones econométricas sugieren la continuidad de la retracción productiva hasta 2028, acompañada de una tendencia positiva y estadísticamente significativa del precio medio unitario, lo que evidencia la valorización económica de las especies. Se concluye que la piscicultura de especies nativas avanza hacia un modelo orientado a la calidad, la diferenciación y la sostenibilidad, más que a la expansión volumétrica.

Palabras-clave: Acuicultura de especies nativas, Análisis espacio-temporal, Modelación econométrica.

Resumo - Análise econométrica da produção de pacu e patinga no Brasil: evidências espaço-temporais

A piscicultura brasileira de espécies nativas de alto valor comercial, com destaque para o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e o híbrido patinga (*P. mesopotamicus* × *P. brachypomus*), desempenha um papel estratégico sob as perspectivas produtiva, econômica e ambiental. Este estudo teve como objetivo analisar a dinâmica espaço-temporal da produção dessas espécies no Brasil entre 2013 e 2023, identificando padrões regionais associados a variáveis socioeconômicas e ambientais. Foram utilizados dados públicos do IBGE (Sidra - Tabela 3940), analisados no ambiente R por meio de procedimentos de depuração de dados, padronização estatística (Z-score), clusterização pelo método K-means e modelagem econométrica baseada em regressão linear. Os resultados indicam que a produção de pacu e patinga apresentou comportamento não linear ao longo do período, com uma expansão inicial seguida de retração em regiões tradicionalmente produtoras, especialmente no Centro-Oeste. Fatores ambientais, como o estresse térmico e a disponibilidade hídrica, aliados a limitações estruturais e econômicas, explicam parte dessa instabilidade. A análise de clusters revelou a existência de nichos produtivos distintos, que variam entre sistemas intensivos baseados no uso de híbridos e sistemas extensivos para produção local. As projeções econométricas sugerem a continuidade da retração produtiva até 2028, acompanhada de uma tendência positiva e significativa do preço médio unitário, evidenciando a valorização econômica das espécies. Conclui-se que a piscicultura de espécies nativas avança em direção a um modelo orientado à qualidade, à diferenciação e à sustentabilidade, mais do que à expansão volumétrica.

Palabras clave: Aquicultura de espécies nativas, Análise espaço-temporal, Modelagem econométrica.

*Autor Correspondente M.T. Fortunato: mtank6691@gmail.com

Abstract - Econometric analysis of pacu and patinga production in Brazil: spatial-temporal evidence

Brazilian aquaculture of native high-value species, particularly pacu (*Piaractus mesopotamicus*) and the hybrid patinga (*P. mesopotamicus* × *P. brachypomus*), plays a strategic role from productive, economic, and environmental perspectives. This study aimed to analyze the spatiotemporal dynamics of the production of these species in Brazil between 2013 and 2023, identifying regional patterns associated with socioeconomic and environmental variables. Public data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), obtained through the Sidra system (Table 3940), were analyzed using the R software, applying data cleaning procedures, statistical standardization (Z-score), K-means clustering, and econometric modeling based on linear regression. The results indicate that pacu and patinga production exhibited a non-linear behavior over the analyzed period, with an initial expansion followed by a contraction in traditionally important producing regions, particularly in the Midwest of Brazil. Environmental factors, such as thermal stress and water availability, combined with structural and economic constraints, help explain part of this instability. Cluster analysis revealed the existence of distinct productive niches, ranging from intensive systems based on the use of hybrids to extensive systems oriented toward local production. Econometric projections suggest a continuation of the downward production trend until 2028, accompanied by a positive and statistically significant trend in the average unit price, indicating economic valorization of these species. It is concluded that native-species aquaculture in Brazil is moving toward a model focused on quality, product differentiation, and sustainability rather than on volumetric expansion.

Keywords: Native species aquaculture, Spatiotemporal analysis, Econometric modeling.

Introdução

La piscicultura brasileña de especies nativas de alto valor comercial se inserta en un sistema productivo de elevada complejidad biológica, económica y ambiental, teniendo como principales representantes al pacú (*Piaractus mesopotamicus*) y al híbrido patinga (*Piaractus mesopotamicus* × *Piaractus brachypomus*). El pacú, especie endémica de la cuenca del Plata, presenta reconocida relevancia ecológica y productiva, además de atributos zootécnicos y sensoriales ampliamente valorados por el mercado nacional, como un perfil lipídico equilibrado, carne de sabor suave y buena adaptación a las condiciones ambientales brasileñas. La patinga, por su parte, resulta del cruzamiento interespecífico y aprovecha el fenómeno de la heterosis, expresado en mayores tasas de crecimiento, mejor eficiencia alimentaria y mayor aprovechamiento de la proteína bruta de la dieta, lo que contribuye a la reducción del tiempo del ciclo productivo y al uso más eficiente de los recursos naturales (Ostrensky & Borghetti, 2008).

La producción de especies nativas, en este contexto, asume un papel estratégico no solo desde la perspectiva económica, sino también ambiental. El cultivo de peces nativos está alineado con los principios de la conservación de la biodiversidad acuática, la reducción de riesgos ecológicos asociados a escapes y una mayor compatibilidad con los ecosistemas locales, especialmente en cuencas hidrográficas sensibles. Además, los sistemas acuícolas basados en especies nativas tienden a presentar mejor adaptación a las variaciones climáticas regionales, mayor resiliencia fisiológica y potencial de integración con sistemas productivos de base familiar y regional, fortaleciendo el desarrollo sostenible en el medio rural (Valenti et al., 2021).

Aunque la piscicultura nacional está fuertemente influenciada por cadenas productivas consolidadas y eficientes, como la de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), la diversificación productiva con especies nativas representa una estrategia complementaria y necesaria para ampliar la sostenibilidad ambiental y la resiliencia económica del sector acuícola. La coexistencia entre diferentes especies cultivadas contribuye a la reducción de la dependencia de monocultivos, a la mitigación de riesgos sanitarios y económicos y al fortalecimiento de los mercados regionales, respetando las particularidades ecológicas de cada territorio. En este sentido, la valorización del pacú y la patinga no se contraponen a otros sistemas productivos, sino que refuerza la importancia de un modelo acuícola plural, ambientalmente responsable y alineado con las directrices de uso sostenible de los recursos hídricos (FAO, 2024; PeixeBr, 2025).

Adicionalmente, factores como la volatilidad de los precios de los insumos, las presiones sobre los recursos hídricos y los efectos del cambio climático, incluidos los cambios en el régimen de lluvias, el aumento de la temperatura del agua y la mayor frecuencia de eventos extremos, refuerzan la necesidad de enfoques analíticos basados en datos. La comprensión integrada de los aspectos productivos, económicos y ambientales se vuelve esencial para orientar inversiones, políticas públicas y estrategias de manejo que promuevan la eficiencia productiva sin comprometer la integridad de los ecosistemas acuáticos (FAO, 2024).

Ante este escenario, el objetivo del estudio fue analizar la dinámica espacio-temporal de la producción brasileña de pacú y patinga en el período de 2013 a 2023, con énfasis en la identificación de patrones regionales de desempeño asociados a variables socioeconómicas y ambientales.

Materiales y Métodos

El análisis se realizó utilizando el software R, a partir de datos públicos proporcionados por el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), obtenidos a través del sistema SIDRA. Se utilizaron específicamente los datos de la Tabla 3940, que reúne información sobre la producción acuícola y abarca el período de 2013 a 2023. El estudio consideró la producción nacional de pacú y patinga, expresada en kilogramos y valor en reales.

Todo el código utilizado para el desarrollo de los análisis está disponible en el repositorio público de GitHub: <https://github.com/mtank6691-coder/Artigo-Pacu-e-Patinga/blob/main/C%C3%B3digo>.

Arquitectura de Datos y Funciones en R

Los datos brutos fueron inicialmente sometidos a un procedimiento sistemático de depuración, organización y verificación de consistencia, con el objetivo de identificar y corregir inconsistencias, tratar valores ausentes y mitigar posibles distorsiones que pudieran comprometer la robustez de los análisis posteriores. Esta etapa de preprocesamiento se llevó a cabo en el entorno estadístico R, utilizando principalmente los paquetes `dplyr` y `tidyr`, ampliamente empleados en análisis estadísticos y econométricos para la manipulación eficiente de bases de datos.

En el marco de este tratamiento, la función `mutate()` fue utilizada para la construcción de la variable econométrica Precio Medio Unitario (PMU), definida como la razón entre el Valor Total de la Producción (en reales) y el volumen producido (en kilogramos). Esta transformación permitió la estandarización del valor económico del pescado, posibilitando comparaciones consistentes entre diferentes regiones geográficas y períodos temporales, independientemente de la escala productiva observada.

Considerando la marcada heterogeneidad de escala entre las variables analizadas, especialmente entre los volúmenes de producción, expresados en millones de kilogramos, y las variables monetarias— se procedió a la normalización estadística de los datos mediante la estandarización Z-score, implementada con la función `scale()`. Dicho procedimiento se define formalmente como:

$$z = \frac{(x - \bar{x})}{s}$$

donde $\bar{x}$ representa la media muestral y s el desvío estándar de la variable. La estandarización garantiza que todas las variables presenten media cero y varianza unitaria, reduciendo la influencia desproporcionada de variables con mayor magnitud absoluta sobre los modelos estadísticos y los algoritmos de análisis multivariado.

De este modo, se promueve un mayor equilibrio, estabilidad numérica y comparabilidad entre los distintos componentes del modelo analítico, conforme lo recomendado en la literatura econométrica y de análisis multivariado (Hair et al., 2009).

Clusterización Jerárquica y Particional (K-means)

Para la clasificación regional, se empleó el método de clusterización particional K-means, implementado en el entorno R mediante la función `kmeans()`, con el objetivo de agrupar las unidades regionales a partir de patrones de similitud estadística multivariada. El algoritmo busca minimizar la variabilidad interna de los grupos, maximizando la homogeneidad intra-cluster y la heterogeneidad inter-cluster, mediante la minimización de la suma de los cuadrados intra-grupo (*Within-Cluster Sum of Squares – WCSS*).

La determinación del número óptimo de clusters (k) se realizó con base en el Método de la Silueta Media, utilizando la función `fviz_nbclust()` del paquete `factoextra`. Este criterio evalúa simultáneamente la cohesión interna y la separación entre los clusters, midiendo el grado de similitud de cada observación con respecto a su propio grupo en comparación con los demás, conforme a lo propuesto por Kaufman y Rousseeuw (1990). Valores más elevados del índice de silueta indican una estructura de agrupamiento más consistente y bien definida.

El procesamiento del algoritmo K-means se configuró con el parámetro `nstart = 25`, lo que implica la ejecución de veinticinco inicializaciones distintas de los centroides iniciales, seleccionándose aquella que presenta el menor valor de WCSS.

Modelado Predictivo (Regresión Lineal e Inferencia)

La tendencia temporal de la producción fue estimada mediante regresión lineal simple, utilizando la función `lm()` del software R, en la cual el tiempo fue especificado como una variable continua. Este enfoque permitió identificar patrones sistemáticos de crecimiento, estabilidad o declive a lo largo del período analizado. La significancia estadística de los modelos estimados se evaluó mediante el Test F de Snedecor, así como a través del análisis de los valores p asociados a los coeficientes de regresión, adoptándose como criterio de evidencia estadística valores de $p < 0,05$, conforme a los procedimientos estándar en análisis econométrico (Wooldridge, 2020).

La calidad del ajuste de los modelos se midió mediante el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado), el cual expresa la proporción de la variabilidad de la producción explicada por la tendencia temporal, corrigiendo el efecto del número de parámetros estimados. El uso del R^2 ajustado permite una evaluación más parsimoniosa del desempeño del modelo, evitando la sobreestimación del ajuste (Montgomery, Peck y Vining, 2021). Este procedimiento metodológico posibilitó distinguir fluctuaciones puntuales o estacionales de tendencias estructurales de largo plazo, otorgando mayor robustez y consistencia a la interpretación de los resultados econométricos.

Resultados y Discusión

Evolución Temporal: Clima y Producción

El análisis temporal (Figura 1) evidencia que la dinámica productiva del pacú (*Piaractus mesopotamicus*) y de la patinga (*P. mesopotamicus* × *P. brachypomus*) no presenta un comportamiento lineal a lo largo del período evaluado. Se observa una fase inicial de expansión productiva hasta aproximadamente 2015, seguida de un proceso de retracción en polos tradicionalmente relevantes de la piscicultura continental brasileña, con especial énfasis en la región Centro-Oeste. Este patrón sugiere la actuación concomitante de factores ambientales, tecnológicos y económicos que afectan la estabilidad y la previsibilidad de la producción acuícola de especies nativas, especialmente en sistemas semi-intensivos dependientes de embalses y estanques excavados.

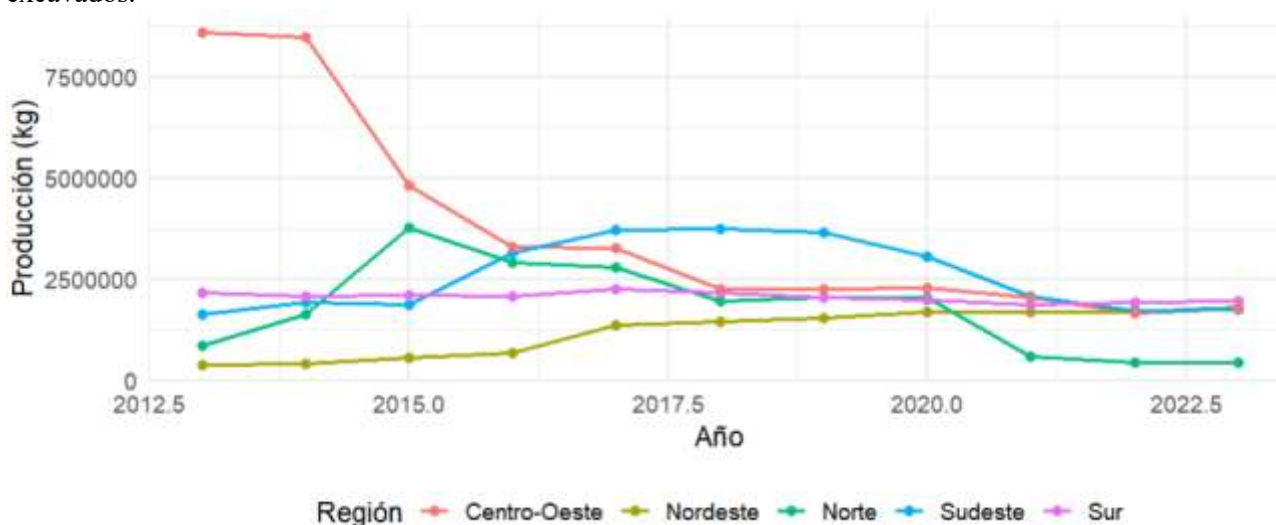


Figura 1. Evolución temporal de la producción.

Desde la perspectiva ambiental, el pacú presenta una elevada sensibilidad a las condiciones térmicas y a la calidad del agua, con un rango óptimo de desempeño fisiológico situado entre 24 °C y 28 °C. Desviaciones prolongadas de este intervalo afectan negativamente el metabolismo energético, reducen el consumo alimentario y comprometen la eficiencia de conversión alimenticia, además de aumentar la susceptibilidad al estrés y a enfermedades (Pinto et al., 2022).

Eventos de estrés térmico asociados a períodos de sequía prolongada y a la reducción del volumen útil de los embalses tienden a alterar la dinámica del oxígeno disuelto y la capacidad de carga de los sistemas de cultivo, impactando directamente la densidad de siembra y el desempeño zootécnico (Bicudo et al., 2010).

En el caso de los híbridos, como la patinga, aunque el fenómeno de la heterosis resulta en mayores tasas de crecimiento y mejor eficiencia alimenticia en comparación con las líneas puras, estos organismos también presentan respuestas fisiológicas sensibles a oscilaciones ambientales abruptas, especialmente cuando son

manejados fuera de condiciones ideales de temperatura y calidad del agua (Abimorad & Carneiro, 2007; Neto et al., 2020).

Además de los factores ambientales, aspectos estructurales como la dependencia de insumos proteicos de alto costo, las limitaciones en el acceso a raciones formuladas específicamente para especies nativas, las variaciones en el nivel tecnológico de los productores y los cambios en los patrones del mercado regional también contribuyen a la inestabilidad observada en los volúmenes producidos. Estos elementos, cuando se combinan, ayudan a explicar las fluctuaciones productivas registradas a lo largo de la serie histórica, reforzando la necesidad de análisis integrados que consideren simultáneamente variables ambientales, zootécnicas y económicas.

Clusterización

Con base en los patrones identificados en la etapa analítica anterior, la aplicación de algoritmos de clusterización permitió agrupar las regiones productoras brasileñas en nichos biotecnológicos diferenciados, reflejando distintos niveles de intensificación productiva, estrategias de manejo e inserción económica de la piscicultura de pacú (*Piaractus mesopotamicus*) y patinga (*P. mesopotamicus* × *P. brachypomus*). Estos agrupamientos evidencian que regiones geográficamente distintas pueden presentar comportamientos similares en términos de volumen producido y precio medio unitario, en función de características estructurales y tecnológicas compartidas.

El primer agrupamiento corresponde a un cluster de alta intensidad productiva, en el cual predomina el uso de la patinga como estrategia zootécnica para sostener mayores densidades de siembra, especialmente en sistemas intensivos y semi-intensivos, como jaulas flotantes instaladas en embalses de gran porte. En estas regiones, la adopción de híbridos está asociada a la búsqueda de mayor ganancia de peso diario, mejor eficiencia alimenticia y mayor previsibilidad productiva, características deseables en sistemas fuertemente dependientes de la escala y de una logística integrada. Estudios recientes indican que híbridos como la patinga presentan un desempeño superior en ambientes de alta densidad, siempre que estén asociados a un manejo alimentario adecuado y al control de la calidad del agua, lo que se refleja en una mayor estabilidad económica y menor sensibilidad a fluctuaciones del precio unitario (Neto et al., 2020).

En contraste, un segundo agrupamiento se caracteriza como un cluster de subsistencia o producción local, en el cual predominan sistemas extensivos o de baja intensidad tecnológica, basados mayoritariamente en el cultivo de pacú en estanques excavados. En estas regiones, la inversión en insumos, aireadores y raciones especializadas es limitada, lo que hace que los sistemas sean más dependientes de las condiciones ambientales naturales y más susceptibles a factores como la depredación, las variaciones térmicas y las oscilaciones en la disponibilidad hídrica. Si bien estos sistemas presentan una menor productividad por unidad de área, desempeñan un papel relevante en la seguridad alimentaria local y en el mantenimiento de cadenas cortas de comercialización, especialmente en contextos de agricultura familiar y economías regionales menos capitalizadas (Valenti et al., 2021).

La visualización gráfica de los agrupamientos, presentada en la Figura 2, refuerza la coherencia estadística de los clusters al evidenciar la proximidad entre regiones que comparten patrones similares de precio medio unitario y volumen de producción. Esta representación explica por qué determinadas regiones “evolucionan conjuntamente” a lo largo de la serie histórica, aun cuando no sean geográficamente contiguas, demostrando que el desempeño productivo de la piscicultura de especies nativas en Brasil está fuertemente condicionado por factores tecnológicos, ambientales y económicos, más que por la localización espacial en sí misma (Marques et al., 2020). Estos resultados corroboran la literatura reciente, que señala la heterogeneidad estructural de la acuicultura brasileña como uno de los principales desafíos y, simultáneamente, una oportunidad para el desarrollo sostenible y regionalmente equilibrado del sector (Yakupitiyage et al., 2013).

Proyecciones Econométricas (2024-2028)

Las proyecciones econométricas indican que, si se mantienen las condiciones actuales de manejo, estructura productiva y adopción tecnológica, la producción de pacú y patinga tiende a continuar su movimiento de retracción hasta el horizonte de 2028. Este comportamiento sugiere limitaciones estructurales persistentes en la cadena productiva, tales como la reducción del número de productores, mayor aversión al riesgo en sistemas más sensibles a variables ambientales y la migración gradual hacia especies con mayor estandarización productiva.

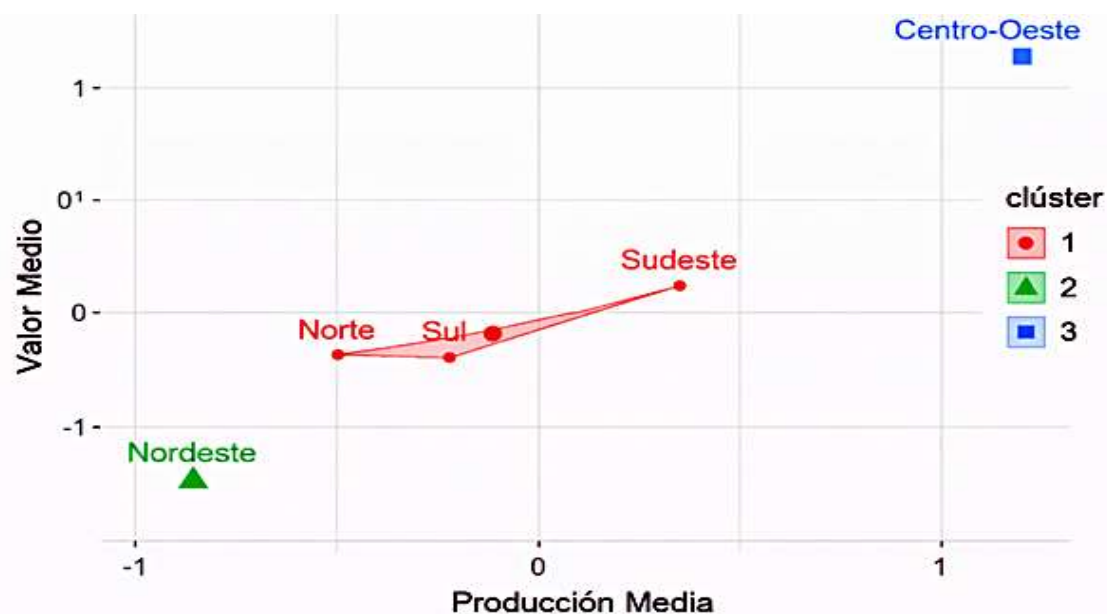


Figura 2. Clusterización entre las regiones productivas.

En contraste, el análisis de la tendencia del Precio Medio Unitario (PMU) revela una inclinación positiva estadísticamente significativa, expresada por un elevado coeficiente de determinación (R^2), indicando que la valorización del producto ocurre de manera consistente a lo largo del tiempo, independientemente de la reducción del volumen ofertado.

Desde la perspectiva económica y de mercado, esta disociación entre cantidad producida y precio unitario sugiere un cambio estructural en el posicionamiento del pacú en el mercado consumidor. Tradicionalmente asociado a una fuente de proteína de menor valor agregado, el pacú empieza a ocupar, de forma creciente, un nicho vinculado a la gastronomía regional, la identidad cultural y la valorización de atributos sensoriales superiores, como sabor, textura y perfil lipídico diferenciado. Estudios sobre consumo de pescado en Brasil indican que las especies nativas presentan mayor aceptación en mercados regionales y especializados, en los cuales el consumidor está dispuesto a pagar precios más altos por productos asociados a calidad, tradición y sostenibilidad ambiental (Sonoda et al., 2016; Valenti et al., 2021).

Desde el punto de vista biológico y productivo, el aumento del precio unitario también puede interpretarse como un efecto indirecto de la reducción de la oferta, asociada a la migración de parte de los productores hacia sistemas más intensivos y previsibles, frecuentemente basados en especies con mayor estandarización tecnológica. Sin embargo, lejos de indicar una pérdida de relevancia económica, este fenómeno parece reforzar la escasez relativa de las especies nativas, contribuyendo a su valorización en el mercado. La evidencia sugiere que el consumidor brasileño asocia los peces nativos a atributos de calidad superior y menor impacto ambiental, factores que influyen positivamente en su disposición a pagar, especialmente en circuitos cortos de comercialización, restaurantes regionales y mercados especializados (Brabo et al., 2016).

La tendencia positiva del precio, ilustrada en la Figura 3, donde se observa la línea de regresión ascendente ajustada a los datos históricos, constituye una evidencia estadística robusta de la valorización económica del pacú y la patinga en el mediano plazo. Este resultado refuerza la interpretación de que, aunque la producción total pueda enfrentar limitaciones cuantitativas, el valor agregado de las especies tiende a aumentar, abriendo espacio para estrategias productivas centradas en calidad, diferenciación y sostenibilidad, en lugar de enfocarse únicamente en volumen. Este escenario sugiere la necesidad de reorientar la planificación acuícola, integrando ganancias zootécnicas, manejo ambientalmente responsable y estrategias de mercado capaces de capturar el valor creciente atribuido a las especies nativas por el consumidor final (Fortunato, 2026).

manejo ambientalmente responsable y estrategias de mercado capaces de capturar el valor creciente atribuido a las especies nativas por el consumidor final (Fortunato, 2026).

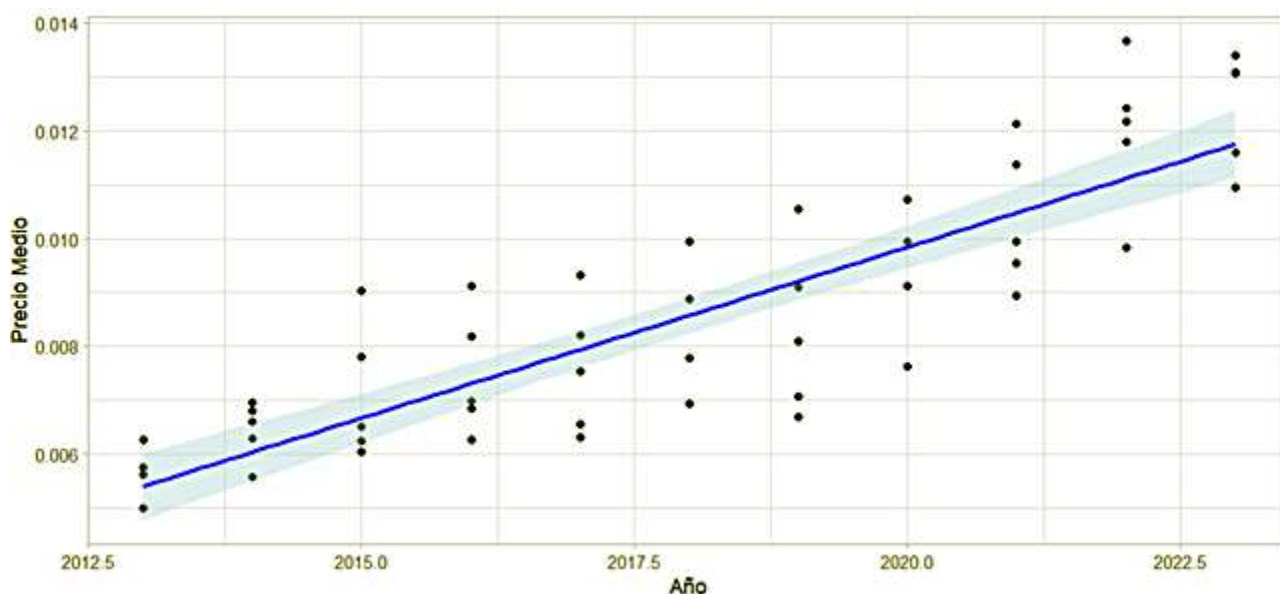


Figura 3. Pronóstico del precio mediante regresión lineal.

Conclusiones

Este estudio evidenció que la producción brasileña de pacú (*Piaractus mesopotamicus*) y patinga (*P. mesopotamicus* × *P. brachypomus*) presentó un comportamiento espacio-temporal heterogéneo y no lineal durante el período 2013-2023, reflejando la interacción entre factores ambientales, productivos y económicos. Los principales hallazgos indican una expansión inicial de la producción, seguida de una retracción en regiones tradicionalmente productoras, especialmente en el Centro-Oeste, asociada a limitaciones estructurales, mayor sensibilidad a las variaciones climáticas y cambios en el perfil tecnológico de los sistemas de cultivo. El análisis de cluster reveló la existencia de nichos productivos distintos, diferenciando regiones con sistemas más intensivos, frecuentemente basados en el uso de híbridos, de aquellas caracterizadas por producción extensiva orientada a mercados locales. Adicionalmente, las proyecciones econométricas señalaron una tendencia de continuidad de la retracción productiva a mediano plazo, en contraste con la valorización consistente del precio medio unitario, lo que sugiere un reposicionamiento de estas especies en mercados de mayor valor agregado, orientados a la calidad, identidad regional y sostenibilidad.

A pesar de los resultados, el estudio presenta limitaciones relevantes. Destaca la dependencia de datos secundarios agregados, que no capturan variaciones intrarregionales, diferencias de manejo entre productores ni aspectos cualitativos de los sistemas productivos, como sanidad, densidad de siembra y estrategias alimentarias. Además, la modelación econométrica adoptada se basó en regresiones lineales simples, lo que puede no capturar completamente relaciones no lineales más complejas o efectos rezagados entre variables ambientales, económicas y productivas.

En vista de ello, estudios futuros podrían avanzar mediante la incorporación de datos primarios y de escala más desagregada, la inclusión explícita de variables climáticas e hidrológicas y la aplicación de modelos econométricos y espaciales más sofisticados, como modelos de panel, regresiones espaciales o enfoques basados en aprendizaje automático. Estas estrategias pueden contribuir a una comprensión más amplia de la dinámica productiva de las especies nativas y al diseño de políticas públicas y estrategias de manejo más eficientes, resilientes y ambientalmente sostenibles.

Referencias

Abimorad, E. G., & Carneiro, D. J. (2007). Digestibility and performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) and pacu-tambaqui hybrid fed different protein levels. *Aquaculture Nutrition*, 13(1), 1-9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00438.x>

- Bicudo, A. J. A., Sado, R. Y., & Cyrino, J. E. P. (2010). Growth performance and body composition of pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) in response to dietary protein and energy levels. *Aquaculture Nutrition*, 16(2), 213–222. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00653.x>
- Brabo, M. F., Pereira, L. F. S., Santana, J. V. M., Campelo, D. A. V., & Veras, G. C. (2016). Cenário atual da produção de pescado no mundo, no Brasil e no estado do Pará: Ênfase na aquicultura. *Acta of Fisheries and Aquatic Resources*, 4(2), 50–58. <https://doi.org/10.2312/Actafish.2016.4.2.50-58>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *The state of world fisheries and aquaculture 2022*. FAO.
- Fortunato, M. H. T. (2026). Modelagem tecnológica e governança da bioeconomia do pirarucu *Arapaima gigas*. *Actapesca*, 24, 34–44. <https://doi.org/10.46732/Actafish.24.34-44>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2009). *Multivariate data analysis* (7th ed.). Pearson.
- Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (1990). *Finding groups in data: An introduction to cluster analysis*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470316801>
- Marques, F. B., Watterson, A., da Rocha, A. F., & Cavalli, L. S. (2020). Overview of Brazilian aquaculture production. *Aquaculture Research*, 51(12), 4838–4845. <https://doi.org/10.1111/are.14828>
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons.
- Neto, R. V. R., Hashimoto, D. T., Corrêa, C. F., Enke, D. B. S., Gervaz, W. R., & Lattanzi, G. R. (2020). Performance of tambacu hybrid (σ *Piaractus mesopotamicus* $\times$ ϕ *Colossoma macropomum*) and its parental pacu (*Piaractus mesopotamicus*) evaluated in cages under different feeding programmes. *Aquaculture Reports*, 17, 100355. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100355>
- Ostrensky, A., Borghetti, J. R., & Soto, D. (Eds.). (2008). *Aquicultura no Brasil: O desafio é crescer*. FAO/SEAP.
- Peixe BR - Associação Brasileira da Piscicultura. (2025). *Anuário Peixe BR da piscicultura 2025*. Peixe BR.
- Pinto, D. D. S. B., Pellegrin, L., Nitz, L. F., Monserrat, J. M., & Garcia, L. (2022). Blood parameters and oxidative stress responses in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) reared at different temperatures. *Aquaculture International*, 30(6), 2901–2918. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00937-0>
- Sonoda, D. Y., França, E. D., & Cyrino, J. E. P. (2016). Modelo de preço de ração para peixe no período de 2001 a 2015. *Revista IPecege*, 2(3), 57–71. <https://doi.org/10.22167/r.ipecege.2016.3.57>
- Valenti, W. C., Barros, H. P., Moraes-Valenti, P., Bueno, G. W., & Cavalli, R. O. (2021). Aquaculture in Brazil: Past, present and future. *Aquaculture Reports*, 19, 100611. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611>
- Wooldridge, J. M. (2020). *Introductory econometrics: A modern approach* (7th ed.). Cengage Learning.
- Yakupitiyage, A. (2013). On-farm feeding and feed management strategies in tropical aquaculture. In M. R. Hasan & M. B. New (Eds.), *On-farm feeding and feed management in aquaculture* (pp. 361–376). FAO.

Como citar o artigo:

Fortunato, M.H.T., Barbuio, K.M. & Tameirão, J.A. (20226). Análisis econométrico de la producción de pacú y patinga en Brasil: evidencias espacio-temporales. *Actapesca*, 24, 70-77.