

Viabilidad Técnico-Económica Para La Fabricación De Bloques De Construcción A Base De Cascarilla De Arroz (Oryza Sativa)

Technical-Economic Feasibility For The Manufacture Of Construction Blocks Based On Rice Husk (Oryza Sativa)

Recibido: 20 de enero del 2025

Aprobado: 10 de junio del 2025

publicación: 01 de septiembre de 2025

Forma de citar: L. T. Picón González, L. F. Villalobos Perez, L. K. Escalante Rincón, and B. A. Barrero Holguín, "Viabilidad técnico-económica para la fabricación de bloques de construcción a base de cascarilla de arroz", Mundo Fesc, vol. 15, no. 33, pp. 98-113 Sep. 2025, doi: 10.61799/2216-0388.2002.

Laura Talia Picón González.



Doctorante en Educación, Magister en Dirección y Gestión de Proyectos.

Profesora de la Universidad Popular de Cesar seccional Aguachica.

ltpicon@unicesar.edu.co.

<https://orcid.org/0009-0006-8082-6946>

Luisa Fernanda Villalobos Perez.



Doctorante en Educación, Magister Finanzas.

Profesora de la Universidad Popular de Cesar seccional Aguachica.

lfvillalobos@unicesar.edu.co.

<https://orcid.org/0009-0008-0499-2808>

Lisbeth Katerine Escalante Rincón.



Especialista en Pedagogía Ambiental,

Profesora de la Universidad Popular del Cesar seccional Aguachica.

lkescalante@unicesar.edu.co.

<https://orcid.org/0009-0009-0835-1271>

Brandon Abdul Barrero Holguín.



Especialista en Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo.

Profesor de la Universidad Popular de Cesar seccional Aguachica.

bbarrero@unicesar.edu.co .

<https://orcid.org/0009-0004-9548-9431>

***Autor para correspondencia:**

Email: lkescalante@unicesar.edu.co



Viabilidad Técnico- Económica Para La Fabricación De Bloques De Construcción A Base De Cascarilla De Arroz (Oryza Sativa)

Resumen

Este estudio analiza la sustitución de arena y gravilla por cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) en la elaboración de bloques de construcción, evaluando tanto su impacto económico en el sector edificador. Para ello, se aplicó un enfoque mixto, donde se diseñaron y probaron seis mezclas diferentes con contenidos de cascarilla que oscilaron entre el 55%, 61% y 67%, alcanzando costos de producción que se ubicaron entre \$1.320 COP y \$1.807 COP por bloque fabricado. Los resultados evidencian que un mayor porcentaje de cascarilla tiende a reducir los costos unitarios, aunque la producción a pequeña escala aún presenta valores elevados frente a los métodos convencionales. No obstante, la propuesta representa una alternativa que permite valorizar un residuo agrícola de difícil disposición, disminuir la extracción indiscriminada de áridos naturales y reducir las emisiones de CO₂ asociadas al sector de la construcción. Para concluir, el escalamiento industrial de esta iniciativa mejoraría la rentabilidad, favoreciendo una construcción sostenible y circular con beneficios sociales, económicos y ambientales, considerándose un producto viable y técnico.

Palabras clave: Bloques, Cascarilla de arroz, Gravilla, Viabilidad técnico-económica.

Technical-Economic Feasibility For The Manufacture Of Construction Blocks Based On Rice Husk (Oryza Sativa)

Abstract

This study analyzes the replacement of sand and gravel with rice husks (*Oryza sativa*) in the production of building blocks, evaluating their economic impact on the construction sector. To this end, a mixed-use approach was applied, where six different mixtures were designed and tested with husk contents ranging from 55%, 61%, and 67%, achieving production costs ranging from \$1,320 COP to \$1,807 COP per manufactured block. The results show that a higher percentage of husks tends to reduce unit costs, although small-scale production still presents high costs compared to conventional methods. Nevertheless, the proposal represents an alternative that allows for the valorization of an agricultural waste that is difficult to dispose of, reduces the indiscriminate extraction of natural aggregates, and reduces CO₂ emissions associated with the construction sector. In conclusion, the industrial scaling of this initiative would improve profitability, promoting sustainable and circular construction with social, economic, and environmental benefits, and would be considered a viable and technical product.

Keywords: Blocks, Rice husk, Gravel, Technical-economic feasibility.

Introducción

La creciente demanda de materiales de construcción choca directamente con la urgencia de preservar los recursos naturales y gestionar los residuos agroindustriales [1]. Para la empresa Residuos de Construcción y Demolición [2], la industria se considera uno de los pilares del desarrollo económico global y también es una de las principales consumidoras de recursos naturales no renovables, como la arena y la gravilla, utilizadas en la fabricación de bloques de concreto. La explotación intensiva de estos materiales genera impactos ambientales significativos, incluyendo la degradación del suelo y la alteración de ecosistemas. Paralelamente, la agroindustria arrocera genera grandes volúmenes de residuos, entre ellos la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*), la cual se quema o dispone inadecuadamente, contribuyendo a la contaminación atmosférica y al deterioro ambiental [3].

Sin embargo, en el sector de la construcción y la agroindustria arrocera, enfrentan crecientes costos operativos asociados a la adquisición de materias primas no renovables y a la gestión de residuos, respectivamente [4]. Esta doble problemática representa una oportunidad estratégica para implementar modelos de negocio circulares que generen ventajas competitivas. La valorización de la cascarilla de arroz “subproducto de bajo costo” como sustituto total de agregados tradicionales en la fabricación de bloques, no solo mitiga riesgos ambientales y regulatorios, sino que potencialmente reduce costos de producción, abre nuevos mercados de materiales sostenibles y responde a la demanda creciente de construcciones eco-amigables, alineándose con estrategias de responsabilidad social empresarial (RSE) y economía circular que crean valor tanto económico como social [5].

Varios estudios han explorado el uso de cascarilla de arroz como agregado en materiales de edificación, destacando su potencial como material puzolánico y su capacidad para mejorar propiedades frente al aislamiento térmico y acústico [6]. Sin embargo, la mayoría de estas investigaciones se han centrado en su uso en forma de ceniza o aditivo parcial, dejando un vacío en la evaluación de su incorporación tanto entera como molida o siendo un sustituto total de los agregados tradicionales.

Además, la cascarilla de arroz presenta propiedades físicas que justifican su estudio como sustituto de materiales convencionales en la elaboración de bloques de construcción. Su bajo peso, su estructura fibrosa y su relativa resistencia permiten considerarla un agregado alternativo para reemplazar parcial o totalmente la gravilla, uno de los componentes esenciales en la mezcla de bloques. De lograrse su incorporación de manera técnica y económicamente viable, se contribuiría a mitigar los impactos ambientales derivados de la acumulación de residuos agrícolas, y se abriría una oportunidad para reducir la dependencia de recursos pétreos, cuyo costo en el mercado local tiende a incrementarse debido a la sobreexplotación y a las dificultades logísticas en su transporte, según Gestión de Residuos, Aguas y Valorización [7].

Adicionalmente, al generar encadenamientos productivos entre el sector agrícola y la industria de la construcción, esto se traduce en beneficios económicos para los productores de arroz, quienes encontrarían un nuevo mercado para un subproducto poco valorizado y en ventajas competitivas para los constructores, al acceder a un insumo alternativo de bajo costo y con potencial para reducir el precio final de los bloques, según exponen reportes del Ministerio de Agricultura [8]. Los impactos ambientales positivos, como la disminución de residuos y la

reducción de la huella ecológica en la construcción, refuerzan la pertinencia de este tipo de investigaciones en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente en lo referente a producción y consumo responsables, acción por el clima y comunidades sostenibles.

Para esta investigación, el objetivo fue evaluar la viabilidad técnica de la sustitución total (100%) de la arena y la gravilla por cascarilla de arroz, tanto entera como pulverizada en la elaboración de bloques para construcción. Para ello, se desarrolló un diseño experimental en el que se consideraron diferentes proporciones de cascarilla de arroz y cemento, y se evaluaron propiedades clave del material, tales como la resistencia a la compresión, la resistencia al fuego y la absorción de agua.

Puesto que, la industria de la construcción enfrenta una crisis ambiental significativa, representando aproximadamente el 40% de las emisiones globales de CO₂ y consumiendo recursos naturales no renovables de manera intensiva [9]. Paralelamente, la industria arrocera genera grandes volúmenes de cascarilla de arroz, que suele manejarse inadecuadamente mediante quema a cielo abierto, liberando contaminantes que deterioran la calidad del aire [10].

Frente a esta problemática, la valorización de residuos agroindustriales en materiales de construcción constituye una estrategia clave dentro de la economía circular [11], al permitir el aprovechamiento de subproductos con alto potencial técnico y ambiental, para esto, la incorporación de la cascarilla de arroz en matrices cementicias surge como una alternativa sostenible frente a la creciente escasez de áridos naturales y al impacto ambiental asociado a su extracción. También, su composición rica en sílice amorfa y su estructura microporosa la convierten en un material innovador para la fabricación de elementos constructivos ligeros con propiedades aislantes, mejorando el desempeño térmico y contribuyendo a la reducción de la huella de carbono del sector de la construcción [12].

Otras investigaciones confirman que la sustitución parcial de áridos tradicionales por este residuo agroindustrial no solo reduce la densidad de los materiales, sino que conserva las propiedades mecánicas adecuadas para aplicaciones no estructurales, alcanzando ahorros significativos en costos de producción [8]; [13]. Estos hallazgos posicionan a la cascarilla de arroz como un insumo estratégico para la transformación sostenible en la industria de la construcción. Su implementación contribuye significativamente a la reducción de emisiones contaminantes, la optimización de recursos naturales y la transición hacia modelos de economía circular comprometida globalmente con el desarrollo sostenible; en especial con los objetivos de industria innovadora, producción responsable y económicamente viable.

En este sentido, la literatura internacional también evidencia que la cascarilla de arroz se ha empleado con frecuencia en forma de ceniza, aprovechando su carácter puzolánico, lo que ha permitido mejorar la resistencia y durabilidad de concretos y morteros. Sin embargo, la mayoría de los estudios se centran en su uso como aditivo parcial y no como sustituto total de arena y gravilla, este vacío de investigación abre un campo prometedor para validar su aplicabilidad en mezclas de construcción que integren cascarilla entera y pulverizada como agregado principal [14].

Por otro lado, las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz poseen atributos que justifican su integración en procesos constructivos sostenibles [15]. Su bajo peso y estructura

fibrosa permiten obtener bloques más livianos que reducen los costos asociados al transporte y la manipulación en obra. De igual forma, su morfología porosa le confiere un valor agregado como material aislante térmico y acústico, alineado con las crecientes exigencias de eficiencia energética en edificaciones urbanas y rurales.

Desde la perspectiva de la economía circular, el aprovechamiento de la cascarilla se configura como un modelo de simbiosis industrial entre el sector agrícola y el de la construcción. Mientras que los productores de arroz encuentran un mercado para un subproducto tradicionalmente desechado, los constructores acceden a un insumo alternativo de menor costo, lo que genera beneficios económicos y sociales. A nivel macroeconómico, esta práctica contribuye a disminuir la presión sobre los recursos pétreos y a promover una construcción responsable con el medio ambiente [16].

Metodología

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo donde se buscan datos cuantificables pretenden alterar o hacer modificaciones en la variable [17], articulando un componente cualitativo para darle profundidad y reflexión a los datos recolectados [18], donde se analizó la pertinencia del aprovechamiento de la cascarilla de arroz como residuo agroindustrial, valorando sus aportes a la sostenibilidad ambiental y social, así como su potencial en la construcción sostenible. Este análisis permitió enmarcar la propuesta en criterios de viabilidad técnico-económica propios de la administración de empresas, considerando la valorización de un subproducto agrícola, la disminución de la presión sobre áridos naturales y la reducción de impactos ambientales asociados al sector edificador.

En la fase cuantitativa se implementó un diseño experimental completamente al azar con siete (7) tratamientos que correspondieron a la sustitución de arena y gravilla por cascarilla de arroz en proporciones del 55%, 61% y 67%, tanto en presentación entera como pulverizada. Se elaboraron 54 bloques en total, los cuales fueron sometidos a pruebas de resistencia a la compresión, absorción de agua y resistencia al fuego conforme a normas técnicas nacionales. De igual forma, se realizó un análisis económico para determinar los costos unitarios de producción por tratamiento, incorporando insumos, mano de obra y procesos. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) complementando los resultados técnicos con criterios de rentabilidad y viabilidad empresarial para su potencial escalamiento productivo.

Resultados y discusión

Se muestra un análisis desde un enfoque administrativo, considerando variables de costo, viabilidad de producción, potencial de mercado y sostenibilidad.

Viabilidad técnica y calidad del producto

Los criterios técnicos del producto evaluados constituyen parámetros determinantes no solo para establecer la calidad del material y su potencial uso en aplicaciones constructivas, sino también para sustentar decisiones desde la perspectiva administrativa. Aspectos como la resistencia, la durabilidad y el comportamiento frente a condiciones ambientales permiten valorar la viabilidad de producción, los costos asociados y las posibilidades de posicionamiento en el mercado [19]. La tabla 1 resume la información acerca de los resultados físico-mecánicos ob-

tenidos en los siete tratamientos evaluados.

Tabla I. Evaluación técnica y de calidad del producto.

Tratamiento	Resistencia a la Compresión (kgF)	Resistencia al Fuego (min)	Absorción de Agua (%)
T1	2401.17 ± 1.01	10.52 ± 0.02	8.19 ± 0.03
T2	1501.10 ± 0.65	10.50 ± 0.01	9.16 ± 0.15
T3	1542.03 ± 0.65	10.47 ± 0.02	12.75 ± 0.06
T4	1906.97 ± 1.10	10.24 ± 0.03	7.64 ± 0.04
T5	604.10 ± 1.73	10.14 ± 0.03	10.75 ± 0.02
T6	1419.57 ± 0.95	10.11 ± 0.04	12.45 ± 0.04
T7 (Bloque Comercial)	5155.70 ± 2.36	15.13 ± 0.49	4.16 ± 0.14

El análisis comparativo de los tratamientos evidencia que el bloque elaborado con 55% de cascarilla entera y 45% de cemento (T1) presentó el mejor desempeño integral, alcanzando una resistencia a la compresión de 2401.17 kgF y una resistencia al fuego de 10.52 minutos, con una absorción de agua moderada de 8.19%. Estos resultados posicionan a T1 como el tratamiento experimental más competitivo desde una perspectiva técnico-administrativo, al ofrecer un equilibrio entre calidad y viabilidad productiva que puede respaldar decisiones gerenciales orientadas a la optimización de recursos y reducción de costos [20]; [21]. De manera complementaria, el tratamiento con 55% de cascarilla molida y 45% de cemento (T4) se destacó por registrar la menor absorción de agua (7.64%), lo que sugiere un mejor comportamiento frente a la humedad y mayor durabilidad del material, condición clave para su aceptación en el mercado.

El análisis estadístico aplicado mediante ANOVA reveló diferencias ($p < 0.05$) entre los tratamientos evaluados, lo que confirma que la variación en los porcentajes de cascarilla y la forma física del material (entera o molida) influyen directamente en las propiedades físico-mecánicas de los bloques. La resistencia a la compresión, la absorción de agua y la resistencia al fuego mostraron comportamientos diferenciales que evidencian la sensibilidad del producto frente a la proporción de sustitución. Los tratamientos con menor proporción de cascarilla (55%) presentaron un desempeño más equilibrado, mientras que los de mayor contenido (67%) mostraron disminución en la resistencia, aunque con una reducción notoria en los costos de producción. Estos resultados sustentan que existe un punto óptimo de sustitución en el que se equilibran las propiedades técnicas y la viabilidad económica del producto [22].

Comparativo de los resultados técnicos y económicos

El análisis comparativo de los tratamientos experimentales (T1–T6) frente al bloque comercial (T7) evidencia una clara diferencia en el desempeño físico-mecánico y en los costos de producción. En términos de resistencia a la compresión, el bloque convencional (T7) alcanzó el valor más alto con 5155.70 kgF, superando ampliamente a los bloques elaborados con cascarilla, dentro de los tratamientos el más competitivo fue T1 (55% cascarilla entera) con 2401.17 kgF, equivalente al 46,5% de la resistencia del bloque comercial. Este nivel resulta aceptable para aplicaciones no estructurales, especialmente en vivienda de interés social o construcciones rurales, donde los estándares son menos exigentes. En contraste, T5 (61% cascarilla entera) mostró el menor desempeño con apenas 604.10 kgF, lo que limita su aplicabilidad práctica.

Respecto a la resistencia al fuego, todos los tratamientos presentaron valores cercanos a los 10 minutos, frente a los 15 minutos del bloque comercial; aunque los resultados experimentales son menores se ubican en un rango funcional para materiales de cerramiento y partición, indicando que la cascarilla no afecta negativamente la capacidad ignífuga del producto.

En cuanto a la absorción de agua, el bloque comercial registró el valor más bajo de 4.16%, evidenciando su mayor impermeabilidad. Entre los tratamientos T4 (55% cascarilla molida) se destacó con el menor valor de absorción (7.64%), lo que sugiere un comportamiento más favorable frente a la humedad y una mayor durabilidad que otros tratamientos como T3 y T6, que alcanzaron niveles superiores al 12%, menos competitivos para condiciones ambientales de alta exposición.

Desde la perspectiva económica, los resultados muestran una ventaja significativa para los bloques experimentales, mientras que el bloque comercial tiene un costo de \$2.500 COP por unidad, los tratamientos con mayor porcentaje de cascarilla reducen sustancialmente el costo unitario. Los más competitivos fueron T3 y T6 (67% cascarilla) con \$1.320 COP por bloque, representando una reducción del 47,2% respecto al convencional. Por su parte, T1 y T4 (55% cascarilla), aunque más costosos (\$1.807 COP) siguen siendo un 27,7% más económicos que el bloque testigo.

El comparativo indica que T1 y T4 representan los tratamientos más equilibrados, al combinar resistencia adecuada, moderada absorción de agua y reducción de costos. T3 y T6, aunque más económicos, sacrifican parte de las propiedades. Por tanto, el valor agregado de los bloques con cascarilla se centra en ofrecer una alternativa sostenible y económica para aplicaciones no estructurales que puede ser escalada industrialmente con ventajas competitivas frente a los bloques tradicionales.

La incorporación de la cascarilla de arroz, especialmente en su forma entera, redujo significativamente el peso total del bloque, obteniéndose un material entre un 15% y 20% más liviano que el convencional, esta característica favorece su manipulación, el transporte y la instalación en obra, reduciendo costos logísticos y de mano de obra. La disminución en la densidad también contribuye a un comportamiento térmico más favorable, al aumentar la cantidad de aire atrapado en la matriz del material. Desde una perspectiva técnica, esta liviandad lo convierte en una alternativa ideal para construcciones rurales y edificaciones de un solo nivel, donde los requerimientos de carga estructural son menores.

La presencia de microcavidades en la estructura de la cascarilla influye directamente en la absorción de agua y en la resistencia del material. A medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de áridos por cascarilla, la matriz se vuelve más porosa, lo que explica el aumento de absorción observado en los tratamientos con 61% y 67% de sustitución. Sin embargo, esta misma característica aporta ventajas térmicas y una mejor adherencia entre partículas, siempre que la mezcla mantenga un equilibrio adecuado de cemento. El tratamiento 4, con 55% de cascarilla molida, evidenció la mejor relación entre porosidad controlada y durabilidad, confirmando que la granulometría fina mejora la compactación y reduce la capilaridad del agua dentro del bloque.

Análisis de costos y rentabilidad

La evaluación económica de los bloques elaborados con diferentes proporciones de cascara de arroz y cemento evidenció una relación directa entre el porcentaje de sustitución y la reducción en el costo unitario de producción. En la Tabla 2, se muestran los tratamientos con mayor inclusión de cascarilla presentaron menores costos por bloque.

Tabla II. Análisis de costos por tratamiento

Tratamiento	Composición	Costo por bloque
T1 y T4	55% cascarilla	1,807.78
T2 y T5	61% cascarilla	1,560.00
T3 y T6	67% cascarilla	1,320.00
T7 (Testigo)	Bloque comercial	2,500.00

El tratamiento T3/T6, registró el menor costo unitario de producción, lo que representa una reducción del 47.2% frente al bloque comercial. Este hallazgo evidencia una viabilidad económica significativa desde la perspectiva de la gestión administrativa, al proponer una estructura de producción con menores requerimientos de capital y un alto potencial de competitividad en mercados sensibles al precio. En contraste, el tratamiento T1, a pesar de presentar un costo superior, representa una alternativa un 27,7% más económica que el bloque convencional.

Desde la perspectiva ambiental, la sustitución total de arena y gravilla por cascarilla de arroz representa una solución ecoeficiente. Cada bloque elaborado evita el uso aproximado de 12 kg de material pétreo y reduce en un 100% la demanda de áridos naturales, lo que contribuye directamente a disminuir la erosión y la explotación de cauces fluviales. Además, se evita la quema de cascarilla, práctica común en la agroindustria arroceras, reduciendo la emisión estimada de 1,2 kg de CO por cada 10 bloques producidos. Estos datos confirman que el proceso de fabricación no solo tiene ventajas económicas, sino también ambientales, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 12 y 13) relacionados con producción responsable y acción por el clima.

Análisis económico de los tratamientos

El análisis de costos revela una tendencia clara de reducción en el valor unitario de producción a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de arena y gravilla por cascarilla de arroz. El bloque comercial (T7) tiene un costo promedio de \$2.500 COP/unidad, mientras que los tratamientos experimentales se ubican entre \$1.807 COP y \$1.320 COP, lo que representa ahorros de entre 27,7% y 47,2%.

Tratamientos más competitivos

T3 y T6 (67% cascarilla): registraron el costo más bajo de \$1.320 COP/unidad, con un ahorro de \$1.180 COP frente al bloque convencional. Desde una perspectiva de mercado, este nivel de reducción permite ampliar márgenes de rentabilidad y competir en sectores altamente sensibles al precio, como vivienda de interés social y autoconstrucción.

T1 y T4 (55% cascarilla): aunque con un costo superior a \$1.807 COP/unidad, siguen siendo más económicos que el testigo, con una reducción del 27,7%. Su ventaja radica en que ofrecen

un mejor equilibrio entre desempeño técnico y costo, lo que los hace más viables para aplicaciones donde la durabilidad y resistencia sean prioritarias.

Relación costo–beneficio

Si bien, T3 y T6 muestran la máxima eficiencia en costos, comprometen parcialmente propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión. Por el contrario, T1 y T4 ofrecen una relación costo–beneficio más estable, al garantizar un producto con resistencia cercana al 50% del bloque comercial, pero con un costo notablemente inferior.

Escalabilidad productiva

Los valores de costo reportados corresponden a una producción experimental a pequeña escala. Al trasladar el proceso a un nivel industrial, con economías de escala y optimización de procesos, los costos unitarios podrían reducirse aún más. La adopción de maquinaria estándar en bloqueras permitiría fabricar estos bloques sin requerir grandes inversiones adicionales, lo que mejora la viabilidad financiera del proyecto.

Asimismo, la infraestructura requerida no demanda grandes inversiones adicionales, ya que puede adaptarse fácilmente a la maquinaria estándar utilizada en las bloqueras convencionales. Este factor incrementa la viabilidad financiera del proyecto, haciendo posible su implementación tanto por pequeñas empresas como por asociaciones comunitarias de producción local.

La estandarización del proceso también abre la posibilidad de desarrollar normas técnicas específicas para bloques ecológicos elaborados con residuos agroindustriales, fortaleciendo la aceptación del producto dentro del sector de la construcción formal y favoreciendo su certificación bajo criterios de sostenibilidad ambiental.

Perspectiva de mercado

El bloque elaborado a base de cascarilla de arroz presenta un alto potencial en mercados emergentes y de bajo costo, donde el precio constituye un factor decisivo de compra, pero la sostenibilidad comienza a adquirir un papel diferenciador. En este contexto, los bloques con sustitución parcial de áridos pueden posicionarse como una solución económica y ecológica para programas de vivienda de interés social (VIS), proyectos institucionales rurales, y edificaciones que promuevan criterios de eficiencia energética y responsabilidad ambiental.

Ventajas competitivas y valor agregado al ofrecer el tratamiento 1 en el mercado.

El Tratamiento 1 (55% cascarilla entera + 45% cemento) ofrece ventajas competitivas que lo posicionan como una alternativa más equilibrada entre el desempeño técnico y su valor económico, puesto que como se mencionó anteriormente representa una disminución de costos de producción del 27.7% frente al bloque convencional, lo que implica un ahorro significativo en la producción a escala.

Desde la gestión administrativa, el proceso de fabricación de este tipo de bloque se posiciona como un recurso estratégico que permite optimizar recursos, mitigar la dependencia de agregados pétreos tradicionales y potenciar el valor ambiental del producto, lo cual permite ampliar

su atractivo comercial en mercados que priorizan soluciones innovadoras, sostenibles y competitivas.

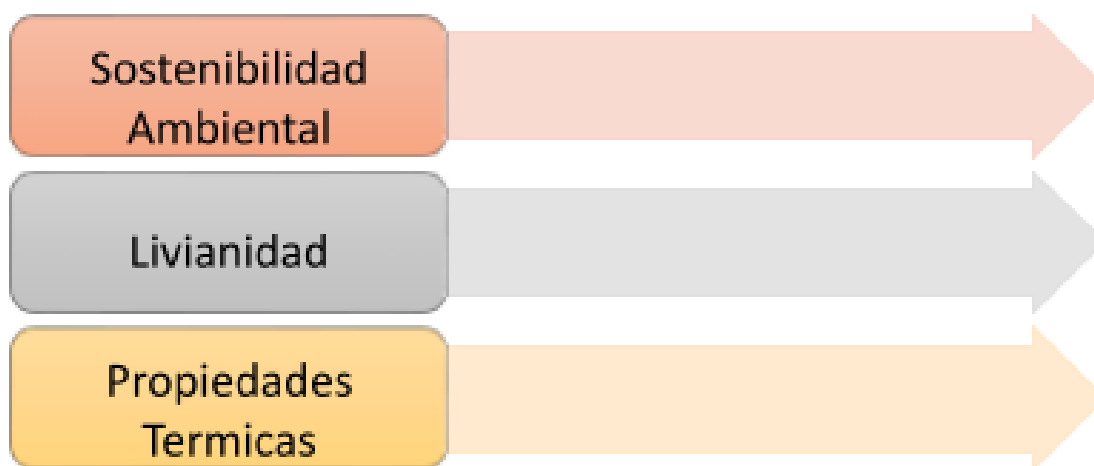


Figura 1. Ventajas en términos administrativos Administrativas

Sostenibilidad ambiental: El residuo agrícola de Cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) suele destinarse a la quema, donde se libera emisiones de CO y otros contaminantes. Frente a esta situación, el bloque de Tratamiento 1 se posiciona como un ejemplo práctico de economía circular, alineado con los principios de la construcción sostenible; convirtiéndose en un valor diferenciador clave, puesto que permite posicionar el producto en un mercado global cada vez más exigentes en materia de responsabilidad socio ambiental.

Livianidad: el bloque elaborado a partir del tratamiento 1 logro un peso que fue inferior al tradicional, lo cual se considera como una característica que aporta a la parte administrativa, ya que permite reducir los costos asociados a la manipulación del material y a su vez facilita la logística del transporte de este material.

Propiedades térmicas: La morfología porosa de la cáscara de arroz otorga al material compuesto un rendimiento termoaislante significativamente mejorado en comparación con los materiales convencionales. Esta característica le ofrece al bloque un valor diferencial estratégico para la competencia en la industria de la construcción sostenible, lográndose posicionar como una solución que logra se innovadora ante la creciente exigencia de eficiencia energética en edificaciones.

Los resultados experimentales, junto con la literatura consultada, permiten inferir que la porosidad natural de la cascarilla de arroz mejora las propiedades de aislamiento térmico y acústico de los bloques. La conductividad térmica de este residuo agrícola es considerablemente menor que la de los agregados pétreos convencionales, lo que favorece el mantenimiento de temperaturas interiores más estables [23]. Este comportamiento sugiere que el bloque elaborado con 55% de cascarilla entera (T1) podría reducir hasta en un 25% las pérdidas de calor, contribuyendo a la eficiencia energética de las edificaciones y mejorando el confort térmico en climas cálidos, como los del Caribe colombiano.

Perspectiva de mercado del bloque del Tratamiento 1.

Con el fin de evaluar la viabilidad comercial del bloque elaborado bajo el Tratamiento 1, se realizó un análisis preliminar de su perspectiva de mercado considerando diferentes variables que permiten contextualizar los resultados técnicos y económicos previamente obtenidos, y así visualizar las oportunidades de inserción del producto en el sector de la construcción; lo anterior se puede observar en la figura 2.

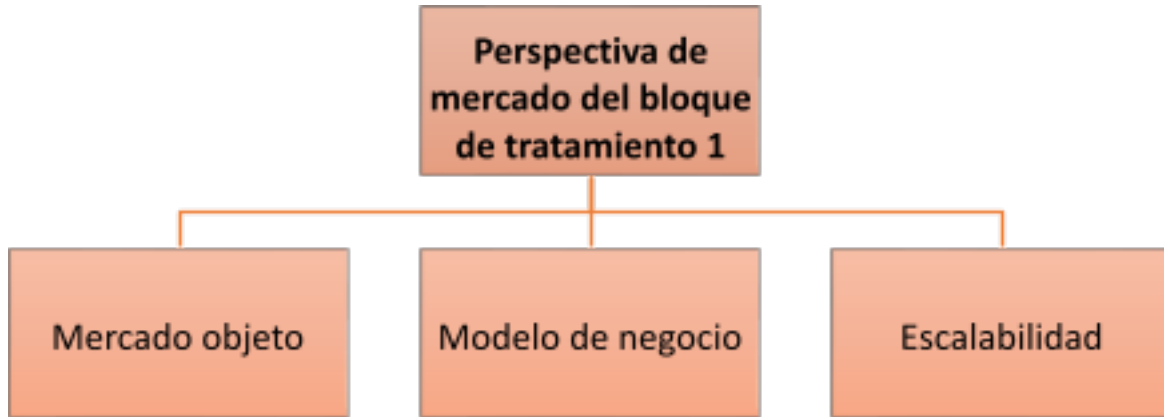


Figura 2. Perspectiva de mercado del bloque de tratamiento 1.

Mercado objetivo: El análisis de mercado del bloque elaborado bajo el Tratamiento 1, sugiere un potencial significativo en segmentos donde el costo y la sostenibilidad constituyen factores decisivos de compra. El mercado objetivo se ubica principalmente en proyectos de vivienda de interés social (VIS) y en construcciones rurales, contextos en los cuales los estándares de resistencia estructural son menos exigentes y la optimización de recursos adquiere especial relevancia.

Modelo de negocio: En cuanto al modelo de negocio, se identificaron dos estrategias complementarias: la comercialización directa del bloque, resaltando sus ventajas competitivas asociadas a la reducción de costos y al valor agregado ambiental, y el licenciamiento de la fórmula y del proceso de fabricación a productores locales, lo que permitiría generar ingresos mediante regalías y, al mismo tiempo, estimular cadenas productivas regionales.

Escalabilidad: El proceso de fabricación utilizado es fácilmente escalable a nivel industrial con la maquinaria estándar existente en las bloqueras, lo que reduce la inversión inicial requerida para su implementación.

Si bien los costos analizados corresponden a una escala experimental, la simulación de un escenario industrial evidencia un potencial de reducción adicional del 30% al 40% en los costos unitarios de producción, gracias a las economías de escala y la automatización de procesos. Esto haría posible ofrecer bloques ecológicos a un precio competitivo sin comprometer su calidad; además, el valor agregado ambiental del producto al convertir un residuo agrícola en materia prima útil puede aprovecharse como estrategia de mercadeo diferenciadora, especialmente en proyectos de vivienda social y edificaciones sostenibles. La adopción de este modelo

productivo podría incentivar cadenas de valor regionales entre productores arroceros y constructoras locales, impulsando el desarrollo rural sostenible.

Los resultados confirman la viabilidad técnica, económica y ambiental del uso de la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) como sustituto parcial de los agregados pétreos en la elaboración de bloques para construcción. En este sentido, el tratamiento con 55% de cascarilla entera (T1) se consolida como la opción más equilibrada, al combinar propiedades mecánicas aceptables con un ahorro económico del 27,7%, lo que lo convierte en un producto competitivo frente al bloque comercial tradicional.

Asimismo, la incorporación de la cascarilla genera ventajas complementarias vinculadas al desempeño físico del bloque. La disminución de la densidad, el comportamiento termoaislante y la mejora en la manejabilidad representan atributos estratégicos para su posicionamiento en mercados sensibles al precio y a la sostenibilidad. Estos resultados evidencian que la sustitución parcial de áridos no solo responde a una necesidad ambiental de reducir la extracción de materiales naturales y mitigar la quema de residuos agrícolas, sino que también promueve un modelo de producción circular alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9, 11, 12 y 13).

Desde la perspectiva económica y de gestión, la reducción proyectada de hasta un 40% en los costos de producción a escala industrial, sumada a la facilidad de implementación en plantas bloqueras convencionales, refuerza el potencial de escalabilidad del proceso. Este aspecto sugiere que la adopción de tecnologías limpias en la fabricación de materiales de construcción puede integrarse a estrategias de desarrollo rural y fortalecimiento de cadenas productivas locales, generando valor compartido entre el sector agrícola y el de la construcción.

En consecuencia, los hallazgos invitan a repensar los modelos tradicionales de producción de materiales de construcción, destacando la importancia de los residuos agroindustriales como recursos estratégicos para la innovación sostenible. A futuro, se recomienda ampliar los estudios hacia la optimización de la mezcla mediante aditivos naturales o minerales, el análisis de comportamiento a largo plazo bajo condiciones climáticas variables y la evaluación del ciclo de vida del producto, con el fin de consolidar su implementación a nivel industrial y normativo.

Conclusiones

Esta investigación permitió reconocer el papel que los residuos agroindustriales pueden desempeñar en la transformación de los modelos productivos tradicionales en la industria de la construcción. Más allá de los resultados técnicos obtenidos, el estudio demostró que es posible replantear la relación entre los sectores agrícola y constructivo, integrándolos bajo un enfoque de economía circular.

La incorporación de la cascarilla de arroz como sustituto de agregados pétreos representa una alternativa técnica viable y a la vez una estrategia que responde a los desafíos estructurales del sector, como lo es la creciente presión sobre los recursos naturales, el incremento de los costos de producción y la necesidad de adoptar prácticas más sostenibles. Por tanto, este tipo de producto con mayor equilibrio entre desempeño y costo se consolida como una opción que

demuestra que los productos sostenibles no siempre sacrifican funcionalidad y competitividad económica.

En el ámbito administrativo los resultados introducen nuevas oportunidades para optimizar procesos, ampliar los portafolios de productos y generar ventajas competitivas basadas en la innovación y el valor ambiental; lo que lleva a mejorar los modelos de gestión pasando de una oportunidad centrada únicamente en la reducción de costos a una estrategia que incorpora la sostenibilidad como eje diferenciador.

La investigación indicó que los beneficios ambientales asociados a la sustitución de los productos pétreos por la cascarilla de arroz contribuyen a objetivos globales relacionados con la producción responsable, la acción por el clima y el desarrollo de ciudades más sostenibles. Por lo que el bloque elaborado con cascarilla de arroz se muestra como un ejemplo tangible de cómo la investigación aplicada puede aportar soluciones coherentes con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, integrando criterios técnicos, económicos y sociales.

Finalmente, los resultados obtenidos abren una línea de reflexión sobre el potencial de escalamiento y apropiación de este tipo de soluciones en contextos regionales; donde la articulación entre pequeños productores agrícolas, empresas constructoras y entidades institucionales podría fortalecer economías locales. Por tanto, esta investigación no solo aporta evidencia técnica, sino que invita a profundizar en el diseño de políticas, normas y estrategias que faciliten la adopción de materiales alternativos y consoliden una transición efectiva hacia una construcción más sostenible.

Referencias

- [1] C. Romero, E. Linares, M. d. C. Cabeza, M. Gaitán, M. I. Sánchez y S. Mojica, “Guía de materiales para la Construcción sostenible” 2022. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/06/Guia-de-materiales-para-la-construccion-sostenible.pdf> [acceso: 15-12-2025].
- [2] K. Trujillo y A. Quintero, “Análisis del manejo de Residuos de Construcción y Demolición Análisis del manejo de Residuos de Construcción y Demolición RCD y sostenibilidad en la construcción en Bogotá D.C.”, tesis Grado, Universidad de La Salle, Colombia, 2021. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/e3b4b219-4929-4530-9d0d-86cb41623da8/content> [acceso: 15-10-2025].
- [3] V. Ojeda, B. Escobar, J. Méndez, N. Vallejo, A. Alvarado y E. Rosas, “Cascarilla de arroz, un residuo agrícola sin ser aprovechado en México”, *TERyS*, vol 3, núm. 1. 2024. [En línea]. Available: DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v3i1.319>
- [4] R. Parra, S. Flórez y D. Rodríguez, “La competitividad de la cadena del arroz en Colombia”, 2022. Disponible en: <https://www.andi.com.co/Uploads/Estudio%20Completo.pdf> [acceso: 10-10-2025].
- [5] E. Molina, “Evaluación del uso de la cascarilla de arroz en la fabricación de bloques

de concreto”, tesis Grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica, 2024. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6262/evaluaciondelusodelacascarilladearrozenlafabricacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [acceso: 10-11-2025].

[6] T. Serrano, V. Borrachero, J. Monzó y J. Payá, “Morteros aligerados con cascarilla de arroz: diseño de mezclas y evaluación de propiedades”, *Dyna rev.fac.nac.minas* vol.79 no.175, 2023. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532012000500015 . [acceso: 11-11-2025].

[7] M. Romero, «Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular», *Revista Tecnológicas*, vol. 25, núm. 54, e23, 2022. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3442/344271354013/html/> [acceso: 18-10-2025].

[8] N. López, “De residuos a recursos: el potencial desaprovechado del arroz,» 18 diciembre 2024. Disponible en: <https://periodico.unal.edu.co/articulos/de-residuos-a-recursos-el-potencial-desaprovechado-del-arroz> [acceso: 19-10- 2025].

[9] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), “Informe sobre la Brecha de Emisiones 2022”, 2022. Disponible en: https://www.unep.org/es/resources/informe-sobre-la-brecha-de-emisiones-2022?utm_source= [acceso: 19-11-2025].

[10] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Resolución 1342 de 2020”, 2020. [En línea]. Disponible en: https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minambientes_1342_2020.htm?utm_source=chatgpt.com [acceso: 19-11-2025].

[11] Fedearroz, “Cascarilla del arroz aumentaría resistencia del cemento,» 2021. Disponible en: <http://fedearroz.com.co/es/cereal-milenario/beneficios-del-arroz/2021/08/11/cascarilla-del-arroz-aumentaria-resistencia-del-cemento/> [acceso: 20 noviembre 2025].

[12] H. Hosseinzadeh, A. Masoud, M. Mehraein y G. Asadollahfardi, “Efectos del acero, el polipropileno y las fibras de macropolipropileno de alto rendimiento en las propiedades mecánicas y la durabilidad del hormigón de alta resistencia”, *Construcción y materiales de construcción*, volumen 386, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131589>

[13] S. Muñoz y J. M. García, “Uso de hormigón reciclado y ceniza de cascarilla de arroz para hormigón: una revisión”, *Revista de investigación aplicada y tecnología*, vol. 22, núm 1, 138-155, 2024. DOI:10.22201/icat.24486736e.2024.22.1.2248

[14] P. Matthey, R. Robayo, j. Díaz y J. Monzó, “Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales”, *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, vol 35, núm 2, 2015. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522015000200015 [acceso: 3-9-25]

[15] O. Llanos, A. Ríos, C. Jaramillo y L. Rodríguez, “La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación”, *Revista producción + Limpia*, vol. 11, núm. 2, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.22507/pml.v11n2a12>

- [16] A. Ortega y M. Quispe, “Alternativas del uso de la cascarilla de arroz como fuente energética”, *Revista Fuentes, el Reventon Energético*, vol. 19, n°úm 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18273/revfue.v19n2-2021005>
- [17] D.C. Rojas Nieves, Y.V. Chirinos Araque, N. Barbera, M.J. Nieves Álvarez “Empleados tóxicos hasta donde son una amenaza para las organizaciones”, *Mundo Fesc*, vol 13, no. 27, pp. 325-340, 2023. <https://doi.org/10.61799/2216-0388.1490>
- [18] M. Nieves, O. Bracho y M. Acurero, “Gestión del talento humano como factor clave para el emprendimiento sostenible”, *Revista Temario Científico*, 4(2). e24415. 2024. DOI: <https://doi.org/10.47212/rtaAlinin.2.224.7>
- [19] F. Amaringo, “Estudio de la adsorción de una mezcla binaria de colorantes de interés industrial sobre cascarilla de arroz”, tesis Maestría, Universidad Nacional de Colombia, 2022. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/354944449_Estudio_de_la_adsorcion_de_una_mezcla_binaria_de_colorantes_de_interes_industrial_sobre_cascarilla_de_arroz
- [20] H. Hosseinzadeh, A. M. Salehi, M. Mehraein y G. Asadollahfardi, “Construcción y materiales de construcción”, Volumen 386, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131589>
- [21] E. López, V. Doko, S. Paz y Edmond, “Estudio de compuestos de cemento mediante la adición de cáscara de arroz”, *Estudios de caso en materiales de construccion*, vol 12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00345>
- [22] D. Henao, L. A. Sánchez-Echeverri y N. J. T. Perilla, “Aprovechamiento potencial de los residuos de arroz en el sector de la construcción: un enfoque de análisis de decisiones multicriterio” 13 (10), 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/resources13100139>
- [23] N. C. Onyenokporo, A. Taki, L. Z. Montalvo y M. Oyinlola, “Caracterización del rendimiento térmico de bloques de mampostería a base de cemento que incorporan ceniza de cascarilla de arroz”, *Construcción y materiales de construcción*, Volumen 398, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132481>