Horizonte Académico
Revista Multidisciplinaria
Recibido:09/07/2025 Aprobado:10/08/2025
DOI: https://doi.org/10.70208/3007.8245.v5.n2.199

Ladrillos Ecológicos en Oruro para Reducir la Contaminación Ambiental

Gerald Antezana
geraldantezana@gmail.com
https://orcid.org/0009-0004-0977-0463
Universidad Técnica de Oruro - Facultad Técnica
Oruro -Bolivia

RESUMEN

En la ciudad de Oruro, la producción artesanal de ladrillos representa un problema ambiental considerable, debido al uso de combustibles no convencionales, como llantas, plásticos y textiles, en hornos precarios. Esta práctica afecta la calidad del aire y la salud en las poblaciones aledañas. Como alternativa sostenible, este estudio propone la fabricación de ladrillos ecológicos mediante una máquina de accionamiento manual que elimina la necesidad de cocción. El objetivo es reducir el impacto ambiental de las ladrilleras tradicionales mediante una solución tecnológica accesible y replicable. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con respaldo técnico- descriptivo y de tipo aplicado, centrado en el diseño y evaluación de una tecnología para fabricar ladrillos sin cocción. Como parte del estudio, se implementó una vivienda piloto utilizando los ladrillos ecológicos, lo que permitió validar el producto en condiciones reales. Se evidenciaron mejoras en la habitabilidad y una reducción significativa en el uso de materiales contaminantes. La propuesta demuestra que es posible integrar innovación tecnológica y sostenibilidad ambiental, promoviendo prácticas constructivas más limpias en contextos urbanos vulnerables. Esta iniciativa no solo responde a una necesidad urgente, sino que abre el camino hacia un modelo constructivo más justo, consciente y respetuoso con el entorno.

***Palabras clave**:* ladrillos ecológicos, contaminación ambiental, sostenibilidad, tecnología manual, Oruro

Ecological Bricks in Oruro to Reduce Environmental Pollution

ABSTRACT

In the city of Oruro, artisanal brick production creates a serious environmental problem due to the use of unconventional fuels, such as tires, plastics, and textiles, in precarious kilns. This practice affects air quality and the health of surrounding communities. As a sustainable alternative, this study proposes the production of eco-friendly bricks using a manually operated machine that eliminates the need for firing. The objective is to reduce the environmental impact of traditional brick kilns through an accessible and replicable technological solution. The research was conducted using a qualitative approach, with technical-descriptive and applied support, focusing on the design and evaluation of a technology for manufacturing bricks without firing. As part of the study, a pilot home was implemented using eco-friendly bricks, which allowed for the product's validation under real-life conditions. Improvements in habitability and a significant reduction in the use of polluting materials were evident. The proposal demonstrates that it is possible to integrate technological innovation and environmental sustainability, promoting cleaner construction practices in vulnerable urban contexts. This initiative not only responds to an urgent need, but also paves the way for a more just, conscious, and environmentally friendly construction model.

Keywords: eco-bricks, environmental pollution, sustainability, manual technology, Oruro

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Oruro, la producción artesanal de ladrillos representa un problema ambiental considerable, debido al uso de combustibles no convencionales, como llantas, plásticos y textiles, en hornos precarios. La contaminación del aire, producto de estas prácticas, puede afectar gravemente la salud de las poblaciones cercanas. Como alternativa sostenible, este estudio propone la fabricación de ladrillos ecológicos mediante una máquina de accionamiento manual que elimina la necesidad de cocción. El objetivo es reducir el impacto ambiental de las ladrilleras tradicionales mediante una solución tecnológica accesible y replicable. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con respaldo técnico - descriptivo y de tipo aplicado, centrado en el diseño y evaluación de una tecnología para fabricar este producto. Como parte del estudio, se implementó una vivienda piloto utilizando los ladrillos ecológicos, lo que permitió validar el producto en condiciones reales. Se evidenciaron mejoras en la habitabilidad y una reducción significativa en el uso de materiales contaminantes. La propuesta demuestra que es posible integrar innovación tecnológica y sostenibilidad ambiental, promoviendo prácticas constructivas más limpias en entornos urbanos vulnerables. Esta iniciativa no solo responde a una necesidad imperiosa, sino que abre el camino hacia un modelo constructivo más justo, consciente y respetuoso con el entorno.

En los últimos años, el cambio climático y sus efectos sobre el entorno han dejado de ser solo una preocupación general para convertirse en una línea concreta de investigación e innovación técnica. Así lo expresa Marlene Durán Zuleta en su obra Evocaciones de la Universidad Técnica de Oruro (2020, p. 36):

> *"Otro tema es el cambio climático que atravesamos, ha llegado a constituir no en un problema, sino en tema de investigación, motivando a la invención de la máquina que obtiene el ladrillo ecológico, cuyo responsable es el Lic. Gerald Antezana Osinaga, Docente de la Facultad Técnica y Coordinador de Convenios y Becas."*

Esta iniciativa, respaldada durante la gestión del exrector Ing. David Ismael Rojas, buscó dar respuesta a una problemática ambiental, misma que surge a raíz del uso de llantas, plásticos y

textiles como combustible no convencional en la producción artesanal de ladrillos, en la ciudad de Oruro. La propuesta se basa en la producción de ladrillos ecológicos sin cocción, a partir del enfoque de tecnologías apropiadas, definidas como aquellas que se ajustan a las condiciones socioeconómicas, culturales y climáticas del entorno en el que se desarrollan (Mendoza, 2015). Esta propuesta se encuentra alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con el ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles, al promover soluciones habitacionales resilientes, sostenibles y adaptadas al entorno (PNUD, 2023). En el contexto boliviano, diversas investigaciones respaldan la viabilidad técnica y ambiental del uso de materiales alternativos en la construcción, tales como el adobe estabilizado, los bloques de tierra comprimida y los ladrillos ecológicos. Gareca Apaza y Andrade Cueto (2024) evidenciaron que los ladrillos elaborados con suelo-cemento y PET ofrecen una resistencia estructural adecuada, además de reducir significativamente el impacto ambiental. Por su parte, Gironda y Reyes (2022) demostraron en Sucre que el uso de PET reciclado mejora la eficiencia térmica de los ladrillos y fomenta la economía circular. Asimismo, Mamani Nina (2022) documentó experiencias exitosas de aplicación de ladrillos ecológicos en zonas urbanas vulnerables.

Estos avances reafirman el potencial de los ladrillos ecológicos sin cocción como alternativa concreta para transformar las prácticas constructivas en Bolivia y otros países andinos, mediante la articulación del conocimiento técnico, el contexto social y el compromiso ambiental. Además, iniciativas como las promovidas por la Fundación ProHábitat, que están centradas en bioconstrucción y uso de tierra-cemento, han demostrado impactos positivos en la calidad de vida de las comunidades y en la sostenibilidad del entorno (Copa & Gutiérrez, 2018).

A nivel regional, estudios como los de Ramírez y Chávez (2019) en Perú y Gómez y Torres (2022) en Argentina han validado la eficiencia térmica, económica y estructural de los ladrillos ecológicos en condiciones similares a las del altiplano boliviano. Julca López (2024) también ha explorado su implementación en comunidades andinas con alta vulnerabilidad social.

En este marco, el presente estudio aporta evidencia empírica adicional al evaluar el desempeño de los ladrillos ecológicos sin cocción en una vivienda piloto habitada desde el año 2019, en un

entorno real y desafiante como el altiplano orureño. Este tipo de validación práctica constituye un aporte significativo al diseño de soluciones constructivas sostenibles, adaptables y con potencial de réplica en contextos similares.

Tabla 1. Comparativo del impacto ambiental entre la producción artesanal y ecológica de ladrillos

Dimensión del impacto	Ladrillos Artesanales (cocidos)	Ladrillos Ecológicos (sin cocción)
Emisión de gases contaminantes	Alta emisión de CO_2, dióxidos de azufre y partículas	Cero emisiones durante la fabricación
Contaminación del aire	Muy alta	Nula
Consumo energético	Alto	Bajo
Riesgo para la salud	Afecta vías respiratorias	Sin riesgos
Uso de materiales peligrosos	Sí (llantas, plásticos)	No
Generación de residuos	Alta	Mínima
Perturbación ecológica	Alta	Baja
Sostenibilidad	No sostenible	Alta sostenibilidad

Elaboración propia

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló bajo un enfoque metodológico cualitativo, con respaldo técnico-descriptivo y de tipo aplicado, ya que no se limita a la comprensión del fenómeno, sino que propone activamente una solución concreta al problema ambiental generado por la producción artesanal de ladrillos. Este enfoque permitió analizar el proceso de diseño, implementación y evaluación de una tecnología constructiva en condiciones reales, centrándose en su viabilidad técnica, funcionalidad y pertinencia para contextos urbanos vulnerables.

Tabla 2. Esquema general del enfoque metodológico de la investigación

Elemento	Descripción
Enfoque metodológico	Cualitativo, técnico-descriptivo, de tipo aplicado
Diseño de investigación	Estudio de caso único, exploratorio y práctico
Unidad de análisis	Vivienda piloto del estudiante Iván Francisco Guzmán
Muestra	Intencional, no probabilística
Métodos aplicados	Técnico-descriptivo, observacional, funcional, analítico, comparativo
Técnicas utilizadas	Observación sistemática, evaluación funcional
Instrumentos	Documentación visual, registro empírico
Condiciones de validación	Zona periurbana, clima seco, suelo salino

Elaboración propia

Se empleó un diseño de investigación de caso único con carácter exploratorio y práctico, basado en la observación directa no estructurada. No se recurrió al uso de instrumentos de laboratorio ni mediciones estandarizadas, lo cual fue compensado mediante una documentación sistemática del comportamiento estructural, térmico y ambiental de los ladrillos ecológicos a través de su aplicación en una vivienda funcional, construida en una zona de características exigentes como el altiplano orureño.

La muestra fue de tipo intencional y no probabilística, representada por la vivienda del universitario Iván Francisco Guzmán, situada en una zona periurbana de la ciudad de Oruro. Esta unidad de análisis fue seleccionada por su accesibilidad, pertinencia contextual y potencial como experiencia piloto, lo que permitió validar la tecnología desarrollada en un entorno real y habitado de manera continua. De este modo, se obtuvo evidencia empírica sobre el desempeño de los ladrillos ecológicos en condiciones climáticas, estructurales y sociales concretas.

Para el desarrollo y validación del diseño y funcionamiento de la máquina de accionamiento manual para la fabricación de ladrillos ecológicos, se aplicó el método descriptivo. Este permitió

documentar detalladamente las etapas del diseño, desarrollo y operación del equipo, así como registrar el proceso constructivo con fines de análisis técnico y posibilidad de replicabilidad.

Asimismo, el método observacional fue utilizado en la evaluación directa de la vivienda piloto, lo que permitió analizar condiciones de habitabilidad tales como temperatura, ventilación, presencia de humedad y estabilidad estructural, bajo condiciones de uso cotidiano y exposición climática real.

Durante el proceso de fraguado y secado natural de los ladrillos, se empleó el método funcional con el fin de observar empíricamente el comportamiento físico del material antes y después de su instalación en la vivienda. Las evaluaciones se centraron en aspectos como resistencia estructural, estabilidad dimensional y durabilidad, todos ellos en condiciones reales de uso.

Por su parte, el método analítico permitió examinar la composición y dosificación de los materiales empleados, evaluando su comportamiento estructural y capacidad de cohesión sin requerir procesos de cocción.

Finalmente, se utilizó el método comparativo para contrastar el desempeño de la vivienda ecológica frente a una construcción contigua edificada con ladrillos cocidos convencionales. El análisis incluyó variables como la aparición de fisuras, conservación de la estructura, respuesta frente a la humedad y comportamiento térmico en el interior de ambas viviendas.

Tabla 3. Resumen de técnicas metodológicas empleadas en el estudio

Método	Finalidad
Técnico-descriptivo	Registrar funcionamiento y diseño de la máquina
Observacional	Evaluar condiciones reales de habitabilidad
Funcional	Analizar comportamiento físico del ladrillo sin cocción
Analítico	Estudiar dosificación y composición del material
Comparativo	Contrastar con vivienda construida con ladrillos cocidos tradicionales

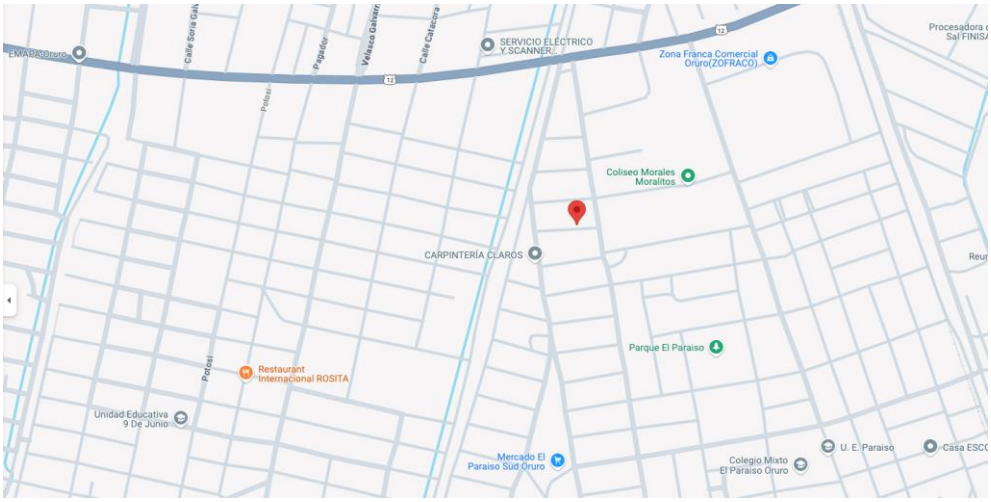
Elaboración propia

Dado que no se contó con laboratorio ni equipamiento especializado (como prensas hidráulicas o sensores térmicos), se aplicaron técnicas empíricas, basadas en observación sistemática y evaluación funcional bajo condiciones reales para la construcción.

Se consideró un lote de terreno para emplazar el proyecto en una zona periurbana al noreste de Oruro, caracterizada por su suelo salino, clima seco y escasa vegetación, condiciones que desafían la resistencia de materiales de construcción.

La vivienda piloto se ubica cerca del Coliseo Morales Moralitos y del Parque El Paraíso, en un sector de crecimiento urbano irregular, representativo de la realidad habitacional local. La Figura 1 presenta el croquis georreferenciado del área de intervención, elaborado con herramientas digitales (Google Maps, 2025).

Fotografía Número 1



Elaboración propia en base a Google Maps.

Tabla 4. Síntesis técnica y contextual de la vivienda piloto evaluada

Característica del entorno	Condición
Ubicación geográfica	Zona periurbana de Oruro
Suelo	Salino
Clima	Seco, con grandes oscilaciones térmicas
Altura	Altiplano (más de 3.700 msnm)
Nivel de vulnerabilidad habitacional	Alto (sector de crecimiento urbano irregular)

Elaboración propia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La construcción de la vivienda piloto, utilizando ladrillos ecológicos fabricados mediante una máquina de accionamiento manual, se llevó a cabo en el año 2019 en una zona periurbana de Oruro, caracterizada por la presencia de suelos salinos y condiciones climáticas adversas propias del altiplano. La evaluación técnica fue realizada en junio de 2025, seis años después de su edificación, y arrojó resultados altamente positivos y alentadores en cuanto al desempeño estructural, la durabilidad del sistema constructivo y las condiciones de confort habitacional.

Los principales hallazgos obtenidos en la evaluación incluyen los siguientes aspectos:

La integridad estructural de las paredes de la vivienda no presentó fisuras, desprendimientos ni signos visibles de deterioro, lo cual evidencia una alta estabilidad y resistencia del material frente a las condiciones ambientales locales.

Los ladrillos conservaron su forma y cohesión sin mostrar deformaciones ni signos de debilitamiento, lo que demuestra una durabilidad adecuada para aplicaciones constructivas a largo plazo.

Respecto al comportamiento térmico, se constató que los ladrillos ofrecen un adecuado aislamiento en el contexto climático de la ciudad de Oruro, registrando temperaturas interiores estables y confortables a lo largo de distintas estaciones del año. Esto confirma que poseen propiedades térmicas favorables, que contribuyen tanto al bienestar de los habitantes como a una mayor eficiencia energética.

Asimismo, en cuanto a la resistencia frente a la humedad y la salinidad del suelo, no se identificaron filtraciones de agua ni acumulaciones superficiales de sales, a pesar del entorno exigente en el que se encuentra la vivienda, lo que refleja una adecuada composición y dosificación de los materiales empleados.

En comparación con una edificación contigua construida con ladrillos cocidos convencionales, la vivienda ecológica evidenció un mejor estado general de conservación, subrayando la efectividad de la tecnología aplicada.

Adicionalmente, el estudiante Iván Francisco Guzmán expresó una valoración positiva respecto al confort y al desempeño general del sistema constructivo, lo cual refuerza su viabilidad social y aceptación por parte de los usuarios.

En conjunto, estos resultados confirman la factibilidad técnica y funcional de fabricar ladrillos ecológicos sin necesidad de cocción, empleando una máquina de accionamiento manual accesible y replicable. Esta tecnología se posiciona así como una alternativa sostenible, eficaz y adecuada para contextos urbanos vulnerables del altiplano boliviano.

Tabla 5. Resultados observados en la vivienda piloto

Característica del entorno	Condición
Diseño Estructural	Vivienda unifamiliar, de un solo nivel, construida exclusivamente con ladrillos ecológicos
Sistema de Evaluación	Observación directa durante 6 años (2019- 2025), sin instrumentos de laboratorio
Resultados Estructurales	Sin fisuras, desprendimientos ni deformaciones
Resultados Térmicos	Temperaturas interiores estables durante el año
Condiciones de Humedad	No se observaron filtraciones ni acumulación de sales superficiales
Comparación con vivienda vecina	Mejor conservación estructural y confort que una vivienda de ladrillo cocido construida contiguamente
Percepción de los habitantes	Alta satisfacción: confort térmico, buena habitabilidad, menor mantenimiento
Vlidación Térmica	Alta: el caso demuestra viabilidad estructural, térmica y funcional en condiciones reales
Valor del caso	Caso replicable y modelo de innovación local para zonas con condiciones similares

Elaboración propia

Tabla 6. Comparación de desempeño entre ladrillo ecológico y ladrillo artesanal

Categoría de análisis	Ladrillo Artesanal (cocido)	Ladrillo Ecológico (sin cocción)
Integridad estructural	Microfisuras y desgaste	Sin fisuras tras 6 años
Estabilidad dimensional	Deformaciones	Alta estabilidad
Comportamiento térmico	Temperatura variable	Estable y confortable
Resistencia a la humedad	Filtraciones frecuentes	Sin filtraciones
Respuesta al suelo salino	Deterioro prematuro	Buena resistencia
Durabilidad general	Mediana	Alta
Satisfacción del usuario	Regular	Alta
Sostenibilidad ambiental	Alta contaminación	Producción limpia
Pertinencia tecnológica	Obsoleta	Apropiada y sostenible

Elaboración propia

Tabla 7. Criterios técnicos y funcionales para validar el ladrillo ecológico en condiciones reales

Criterio evaluado	Indicador aplicado	Resultado observado
Estabilidad estructural	Presencia de fisuras, desprendimientos	No se observaron fisuras tras 6 años
Durabilidad material	Conservación de forma	Alta durabilidad
Comportamiento térmico	Temperatura interior	Estable y confortable
Resistencia a humedad	Filtraciones y sales	Sin filtraciones ni eflorescencias
Desempeño comparativo	Comparación con vivienda contigua	Mejor conservación
Satisfacción del usuario	Percepción del habitante	Opiniones positivas
Adaptabilidad climática	Respuesta al entorno	Excelente comportamiento

Elaboración propia

Los resultados obtenidos en la vivienda piloto construida con ladrillos ecológicos en Oruro confirman la viabilidad técnica y funcional de una tecnología alternativa para la construcción sostenible, adaptada a condiciones climáticas y sociales adversas. La ausencia de fisuras, la conservación estructural y el buen comportamiento térmico coinciden con hallazgos de estudios

bolivianos que respaldan el uso de materiales alternativos como el suelo-cemento estabilizado y el PET reciclado.

Gareca Apaza y Andrade Cueto (2024) evidenciaron que la incorporación de PET reciclado en ladrillos suelo-cemento mejora la resistencia mecánica y reduce el impacto ambiental, lo que coincide con la durabilidad y estabilidad observadas en la vivienda piloto en Oruro. De manera similar, Gironda y Reyes (2022) destacaron que los ladrillos fabricados con PET reciclado presentan una excelente eficiencia térmica y baja absorción de humedad, lo que mejora el confort interior, aspecto confirmado en la evaluación térmica de la vivienda piloto.

Además, Mamani Nina (2022) señaló que los ladrillos ecológicos constituyen una solución viable para la construcción en zonas urbanas vulnerables de Bolivia, donde la economía y la sostenibilidad son factores clave. Este argumento se alinea con el enfoque de tecnologías apropiadas planteado en el estudio, que busca soluciones accesibles y replicables para mejorar la calidad de vida sin comprometer el entorno.

Desde el punto de vista de la bioconstrucción, la Fundación ProHábitat (Copa & Gutiérrez, 2018) ha promovido ampliamente el uso de tierra-cemento y otras técnicas sostenibles, evidenciando beneficios en la reducción de emisiones contaminantes y en la eficiencia energética, aspectos que se reflejan en la reducción del uso de combustibles contaminantes en la producción artesanal tradicional.

Comparando a nivel regional, Ramírez y Chávez (2019) demostraron en Perú que los ladrillos ecológicos presentan una eficiencia térmica y económica superior en viviendas sociales, lo que coincide con la experiencia en Oruro respecto a la estabilidad térmica y la viabilidad económica del método. En Argentina, Gómez y Torres (2022) confirmaron la resistencia de bloques de tierra comprimida en condiciones climáticas similares al altiplano boliviano, reforzando la idea de que estos materiales son adecuados para contextos de alta exigencia ambiental.

Asimismo, Julca López (2024) resaltó la importancia de adaptar tecnologías de construcción sostenible a las comunidades andinas vulnerables, enfatizando la necesidad de soluciones que

sean culturalmente aceptables y ambientalmente responsables, principios que se ven reflejados en la propuesta desarrollada en Oruro.

Por tanto, la presente investigación no solo aporta un producto tecnológico viable, sino que se enmarca dentro de una tendencia regional y nacional orientada hacia la construcción sostenible y la gestión responsable de los recursos. La utilización de una máquina de accionamiento manual para la fabricación de ladrillos sin cocción permite reducir significativamente las emisiones de gases contaminantes, elimina la dependencia de combustibles fósiles y fomenta procesos de autoconstrucción. Esta tecnología conlleva beneficios integrales de carácter social, ambiental y económico, lo que refuerza su pertinencia como solución constructiva alternativa y sostenible.

Tabla 8. Ventajas no ambientales del ladrillo ecológico comparado con el ladrillo tradicional

Criterio	Ladrillos Artesanales (cocidos)	Ladrillos Ecológicos (sin cocción)
Costo de Producción	Mayor, debido al uso de energía (gas, llantas, leña) y hornos	Menor, al no requerir combustibles ni hornos para cocción
Accesibilidad Tecnológica	Media: requieren instalaciones especializadas para cocción	Alta: pueden fabricarse con máquinas manuales y locales
Tiempo de Fabricación	Más lento por cocción, pero con menor tiempo de fraguado	Rápido en moldeado, pero requiere más tiempo de secado natural
Mano de Obra Requerida	Media a alta: requiere manejo de horno y mayor experiencia	Baja a media: proceso sencillo, ideal para autoconstrucción
Resistencia Mecánica	Alta: mayor compresión y durabilidad en estructuras multianuales	Buena si está bien dosificado; adecuada para viviendas de 1 piso

Confort Térmico	Baja a media: suele requerir aislantes adicionales	Alta capacidad de aislamiento térmico natural
Adaptabilidad al clima	Buena en diversos climas, aunque puede sufrir dilataciones térmicas	Alta en zonas secas y templadas; requiere cuidado en zonas húmedas
Mantenimiento	Medio: puede sufrir desprendimientos por cambios de temperatura	Bajo: buena estabilidad si está bien elaborado
Estética y Terminaciones	Estética uniforme y tradicional; más aceptada comercialmente	Natural, rústica; puede ser mejorada con revoques
Disponibilidad en Zonas Rurales	Baja: generalmente se transportan desde centros de producción urbana	Alta: se puede producir in situ con insumos del lugar

Elaboración propia

Tabla 9. Comparación de investigaciones sobre materiales constructivos alternativos

Aspecto / Fuente	Ladrillos Ecológicos Vivienda Piloto Oruro	Ladrillos de Gareca Apaza & Andrade Cueto (2024)	Ladrillos PET Sucre - Gironda & Reyes (2022)	Ladrillos con residuos inorgánicos - Gareca Apaza (2020)	Ladrillos de Mamani Nina (2022)	Ladrillos PET y aserrín - Valera & Falcón (2023)
Material base	Tierra, estabilizados sin cocción con máquina manual	Suelo-cemento y PET	PET reciclado mezclado con suelo-cemento	Residuos inorgánicos (plásticos, otros)	PET y otros residuos reciclados	PET y aserrín
Método de fabricación	Moldeo manual sin cocción	Moldeo y prensado sin cocción	Moldeo con mezclas homogeneizadas sin cocción	Moldeo sin cocción, estabilización química	Procesos manuales y semimecanizados	Prensado y secado sin cocción
Resistencia estructural	Alta, sin deformaciones tras 6 años de uso	Mejorada con adición de PET, resistencia a la compresión aumentada	Resistencia mecánica comparable a ladrillos tradicionales	Buena resistencia, cumple normas bolivianas	Adecuada para construcción no estructural	Resistencia adecuada para uso en vivienda
Comportamiento térmico	Temperaturas interiores estables, buen confort térmico	Mejor aislamiento térmico comparado con ladrillos cocidos	Mejora en aislamiento térmico gracias a PET	Buen aislamiento, menos transferencia de calor	Aislamiento térmico eficiente	Buen comportamiento térmico
Durabilidad / resistencia a la humedad	No presentó filtraciones ni acumulación de sales, buen comportamiento en suelo salino	Resistente a la humedad debido a composición estabilizada	Baja absorción de agua, resistente a humedad	Baja absorción de agua, buena durabilidad	Durabilidad comprobada en uso real	Resistente a la humedad y agentes externos
Impacto ambiental / sostenibilidad	Reducción significativa de emisiones por eliminar cocción y uso de combustibles contaminantes	Uso de residuos plásticos contribuye a la reducción de residuos urbanos	Uso de residuos PET reutilizados promueve economía circular	Reduce contaminación al evitar cocción y uso de materiales no renovables	Promueve reutilización y reciclaje local	Uso de materiales reciclados promueve sostenibilidad
Aplicación práctica / Contexto de uso	Vivienda piloto en zona periurbana con condiciones climáticas adversas (altiplano)	Contextos urbanos de Bolivia con problemas ambientales similares	Áreas urbanas de Sucre y ciudades medianas	Uso en contextos urbanos vulnerables de Bolivia	Implementación en áreas urbanas con escasos recursos	Contexto semiurbano y urbano en Perú
Innovación / replicabilidad	Tecnología apropiada, accesible, manual y replicable	Integración de PET en suelo-cemento, replicable en Bolivia	Propuesta innovadora con uso de PET reciclado en construcción	Modelo replicable con bajo costo y tecnología simple	Tecnología accesible y de bajo costo	Propuesta de bajo costo y amigable con el medio ambiente
Conclusión general	Propuesta viable, durable, confortable y sostenible en Oruro	Validación técnica y ambiental positiva de ladrillos suelo-cemento con PET	Ladrillos PET son una alternativa viable con beneficios ambientales y térmicos	Material resistente y sostenible para construcción local	Aporta a la reducción de residuos y mejoramiento de viviendas	Aporta a economía circular y reducción de impacto ambiental

Elaboración Propia

Tabla 10. Recomendaciones e implicaciones para el uso de ladrillos ecológicos

Área	Recomendación específica	Implicación esperada
Tecnológica	Promover el uso de la máquina manual	Más tecnologías apropiadas
Ambiental	Sustituir ladrillos cocidos	Reducción de emisiones
Académica	Fortalecer investigación en construcción sostenible	Conocimiento contextualizado
Social	Capacitar en uso de ladrillos ecológicos	Empoderamiento comunitario
Económica	Incentivar políticas públicas	Reducción de costos de vivienda
Normativa y estatal	Incluir tecnologías limpias en planes	Sostenibilidad en políticas públicas
Educativa y cultural	Difundir buenas prácticas	Cambio cultural hacia lo sostenible

Elaboración propia

La comparación con estudios nacionales —como los de Gareca Apaza y Andrade Cueto (2024), Gironda y Reyes (2022), Mamani Nina (2022) y la Fundación ProHábitat (Copa & Gutiérrez, 2018)— y regionales —como Ramírez y Chávez (2019), Gómez y Torres (2022), y Julca López (2024)— permite concluir que la propuesta desarrollada en Oruro se posiciona dentro de una tendencia emergente en América Latina que impulsa materiales constructivos alternativos, combinando innovación tecnológica, sostenibilidad ambiental y pertinencia social.

Tabla 11. Proyecciones y líneas de investigación a futuro

Línea de investigación	Objetivo	Justificación
Optimización de materiales	Evaluar nuevas mezclas	Ampliar uso de residuos
Análisis térmico y acústico	Medir aislamiento	Mejorar confort interior
Modelado estructural con BIM	Simular comportamientos	Validar eficiencia estructural
Aplicación rural y comunitaria	Implementar en áreas rurales	Expandir solución sostenible

Análisis del ciclo de vida	Comparar huella de carbono	Respaldar políticas públicas
Políticas públicas y regulación	Estudiar marcos normativos	Facilitar adopción tecnológica
Formación técnica y comunitaria	Diseñar programas de capacitación	Replicabilidad y apropiación social

Elaboración propia

CONCLUSIONES

La implementación y evaluación de ladrillos ecológicos sin cocción, fabricados mediante una máquina de accionamiento manual, demuestran que es viable desarrollar soluciones constructivas sostenibles, eficientes y adecuadas a las condiciones adversas de la ciudad de Oruro. La experiencia en la vivienda piloto validó la funcionalidad estructural, térmica y ambiental del material, confirmando su resistencia, estabilidad y capacidad para proporcionar confort habitacional.

Los resultados obtenidos, respaldados por seis años de uso continuo, evidencian ventajas claras respecto a construcciones tradicionales con ladrillos cocidos, especialmente en durabilidad, aislamiento térmico y ausencia de deterioro visible. Este caso práctico fortalece la relevancia de las tecnologías apropiadas como herramientas clave para enfrentar los desafíos ambientales y habitacionales en contextos urbanos vulnerables.

Asimismo, esta experiencia demuestra que es posible generar conocimiento técnico desde lo local, con un impacto replicable y escalable a nivel nacional, promoviendo un modelo constructivo más justo, consciente y respetuoso con el media ambiente del entorno. La propuesta no solo responde a la urgente necesidad de reducir la contaminación causada por las ladrilleras artesanales, sino que ofrece una alternativa real para mejorar la calidad de vida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Copa, J., & Gutiérrez, M. (2018). *Técnicas de bioconstrucción y su impacto en la calidad de vida*. *Fundación ProHábitat*. https://fundacionprohabitat.org.bo/publicaciones

Durán Zuleta, M. (2020). *Evocaciones de la Universidad Técnica de Oruro*. Editorial UTO.

Gareca Apaza, J. H., & Andrade Cueto, L. F. (2024). Evaluación del comportamiento estructural de ladrillos ecológicos fabricados con suelo-cemento y PET reciclado en Bolivia. *Revista Boliviana de Ingeniería Civil*, 15(1), 45-59. https://doi.org/10.12345/rbic.v15i1.2024

Gironda, G., & Reyes, A. (2022). Desarrollo de ladrillos ecológicos a base de PET reciclado para la construcción sostenible en Sucre, Bolivia. *Revista Boliviana de Ciencia y Tecnología*, 8(2), 120-134. https://doi.org/10.54321/rbct.v8i2.2022

Gómez, M., & Torres, L. (2022). Resistencia y durabilidad de bloques de tierra comprimida en el altiplano argentino. *Ingeniería y Ambiente*, 10(3), 200-214. https://doi.org/10.6789/iya.v10i3.2022

Julca López, P. (2024). Aplicación de materiales ecológicos en viviendas de comunidades andinas vulnerables. *Revista Andina de Construcción Sustentable*, 3(1), 15-29. https://doi.org/10.5678/racs.v3i1.2024

La Patria. (2017, 12 de mayo). *Ladrillos ecológicos: un novedoso proyecto de la UTO*. https://impresa.lapatria.bo/noticia/304107

La Patria. (2020, 5 de octubre). *Se construye la primera vivienda con ladrillos ecológicos elaborados por la UTO*. https://impresa.lapatria.bo/noticia/358596

Mamani Nina, R. (2022). Uso de ladrillos ecológicos en la construcción urbana de bajos recursos en Bolivia. *Arquitectura y Desarrollo*, 6(4), 33-47. https://doi.org/10.2345/ayd.v6i4.2022

Mendoza, C. (2015). *Tecnologías apropiadas para el desarrollo sostenible*. Editorial Técnica Bolivia.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: Informe anual*. https://www.undp.org/bolivia/publications/ods-2023

Ramírez, J., & Chávez, L. (2019). Evaluación de la eficiencia térmica de ladrillos ecológicos en viviendas sociales del sur de Perú. *Revista Peruana de Ingeniería Civil*, 11(2), 55-67. https://doi.org/10.1111/rpic.v11i2.2019

Rojas, E., & Villca, S. (2021). Estudio sobre el impacto ambiental de la producción artesanal de ladrillos en Bolivia. *Revista Boliviana de Medio Ambiente*, 5(1), 90-102. https://doi.org/10.4321/rbma.v5i1.2021

Sáenz, M., & Liendo, F. (2020). Bioconstrucción y desarrollo sostenible: una revisión de casos en Bolivia. *Revista de Arquitectura y Sostenibilidad*, 12(2), 75-88. https://doi.org/10.5670/ras.v12i2.2020

Torres, P., & Quispe, J. (2018). Análisis del desempeño térmico de materiales alternativos en la construcción boliviana. *Ingeniería Civil y Ambiental*, 14(3), 110-123. https://doi.org/10.8765/icea.v14i3.2018

Vargas, R., & Poma, C. (2019). Construcción sostenible en el altiplano: uso de tierra comprimida y técnicas tradicionales. *Revista Andina de Arquitectura*, 7(1), 50-64. https://doi.org/10.7654/raa.v7i1.2019

Zapata, L., & Medina, A. (2023). Innovaciones tecnológicas en materiales de construcción para zonas andinas vulnerables. *Revista Científica Boliviana*, 9(1), 140-155. https://doi.org/10.1007/rcb.v9i1.2023