

# VALORIZACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ARENA ECOLÓGICA

## VALORIZATION OF SUGARCANE BAGASSE AS A MATERIAL FOR THE CONSTRUCTION OF ECOLOGICAL SAND

Daisy Albacura<sup>1</sup>

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

[daisy.albacura@epoch.edu.ec](mailto:daisy.albacura@epoch.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-3007-9392>

Fecha de recepción: 02-08-2024

Fecha de aceptación: 14-08-2024

Fecha de publicación: 15-09-2024

### RESUMEN

El propósito de este trabajo es explorar la reutilización del bagazo de caña de azúcar, un subproducto agrícola, en aplicaciones ecológicas, específicamente como arena sanitaria para gatos. El problema principal radica en la necesidad de encontrar alternativas sostenibles a los productos tradicionales de arena, que generan un alto impacto ambiental. El objetivo de esta investigación fue analizar las propiedades del bagazo, compararlo con arenas convencionales, y desarrollar un prototipo de arena sanitaria ecológica. La metodología utilizada incluyó una revisión sistemática de la literatura científica, basada en fuentes de bases de datos reconocidas como Scopus y Scielo. Se analizaron estudios previos sobre las propiedades fisicoquímicas del bagazo y su aplicabilidad como material biodegradable. Además, se realizaron pruebas comparativas entre la capacidad de absorción y aglutinación del bagazo frente a las arenas tradicionales. Los resultados indicaron que el bagazo de caña de azúcar presenta una capacidad de absorción superior (85%) y una mayor biodegradabilidad (95%) en comparación con la arena convencional (15%). Además, se logró reducir los olores en un 65%, lo que demostró su efectividad como arena sanitaria ecológica. En conclusión, el uso del bagazo de caña de azúcar como arena ecológica ofrece una alternativa sostenible y económicamente viable, reduciendo el impacto ambiental de las arenas tradicionales y contribuyendo a la economía circular mediante la reutilización de desechos agrícolas.

### Palabras clave

Biomateriales, residuos, bagazo, caña de azúcar, cama sanitaria, ecológico

### ABSTRACT



The purpose of this work is to explore the reuse of sugarcane bagasse, an agricultural by-product, in ecological applications, specifically as litter for cats. The main problem lies in the need to find sustainable alternatives to traditional sand products, which generate a high environmental impact. The objective of this research was to analyze the properties of bagasse, compare it with conventional sands, and develop a prototype of ecological sanitary sand. The methodology used included a systematic review of the scientific literature, based on recognized database sources such as Scopus and Scielo. Previous studies on the physicochemical properties of bagasse and its applicability as a biodegradable material were analyzed. In addition, comparative tests were carried out between the absorption and agglutination capacity of bagasse compared to traditional sands. The results indicated that sugarcane bagasse has a higher absorption capacity (85%) and higher biodegradability (95%) compared to conventional sand (15%). In addition, it was possible to reduce odors by 65%, which demonstrated its effectiveness as an ecological sanitary sand. In conclusion, the use of sugarcane bagasse as ecological sand offers a sustainable and economically viable alternative, reducing the environmental impact of traditional sands and contributing to the circular economy through the reuse of agricultural waste.

### Keywords

Biomaterials, waste, bagasse, sugarcane, sanitary bedding, ecological

## INTRODUCCIÓN

Este estudio se enfoca en una búsqueda exhaustiva valiéndose de citas bibliográficas sobre el aprovechamiento y la sostenibilidad mediante la búsqueda de nuevas aplicaciones para el bagazo de caña de azúcar sin la necesidad de agregar aditivos o productos químicos. Resaltando el aprovechamiento para lechos o arenas sanitarias para felinos domésticos. Este subproducto también puede usarse en la fabricación de papel, bioplástico, alimentos para animales etc. Desarrollado alternativas que reemplacen o sean más útiles que otros materiales ampliamente utilizados pero que causan impactos negativos en el medio ambiente.

En la sociedad actual, tener mascotas como perros y gatos es una práctica cada vez más extendida entre las familias. Sin embargo, los gatos enfrentan dificultades significativas al buscar un espacio adecuado para sus necesidades biológicas. La eliminación de orina y heces puede generar olores desagradables que afectan la salud, aumentan los niveles de ansiedad, impactan la personalidad y disminuyen el confort del hogar. Este problema se agrava debido a la falta de areneros con un sistema efectivo de control de olores. La escasez de desodorizadores o extractores adecuados y asequibles contribuye a la persistencia de esta situación, sin justificar los costos invertidos en soluciones ineficaces (1). Sin embargo, el uso de desperdicios de la caña de azúcar como arenas sanitarias ofrece una alternativa prometedora y sostenible. Estos materiales no solo son biodegradables y absorbentes, sino que también pueden ayudar a reducir los malos olores de manera efectiva. Integrar esta práctica no solo beneficia el ambiente doméstico, sino que también apoya la economía circular al reutilizar recursos agrícolas de manera innovadora y responsable.



La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) pertenece a la familia poacea, más conocida como gramíneas, es uno de los cultivos más extensivos de las zonas tropicales por su alto contenido de azúcar y un jugo espeso muy cotizado por las personas. A nivel mundial, se estima que la producción de caña de azúcar asciende a 1,700 millones de toneladas anualmente. Este cultivo de gran importancia mundial se utiliza para producir azúcar, etanol y panela. Según la FAO STAT, los principales países productores son Brasil, India, China, Tailandia y Pakistán, que representan el 74.42% de la superficie cultivada (2).

Según (3) el bagazo de caña de azúcar junto con el almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca*) puede utilizarse para generar un bioplástico. Este material beneficia la conservación de los ecosistemas y promueve el desarrollo sostenible al reducir la contaminación por desechos plásticos y fomentar el cuidado ambiental. El producto resulta en un biopolímero natural para sustituir el plástico convencional desechable que contamina el agua, suelo y aire. Comprobaron diferentes concentraciones de estos materiales, junto con aditivos, para mejorar la compactación, dureza y descomposición del producto.

Teniendo en cuenta que la caña de azúcar es ampliamente utilizada para el consumo humano, se cultiva extensamente en las zonas tropicales del país. Sin embargo, el residuo generado tras su uso, conocido como bagazo, suele desecharse de manera inapropiada. Este desecho provoca problemas como enfermedades, malos olores, descomposición, y atrae roedores y otros animales peligrosos, afectando a las comunidades cercanas. Esta situación plantea la necesidad de desarrollar nuevos métodos para aprovechar el bagazo de caña de azúcar de manera más efectiva y sostenible (4).

Durante años recientes, la industria azucarera ha enfrentado un entorno de inseguridad debido a las fluctuaciones en el mercado internacional. En respuesta, los países productores de caña de azúcar han buscado mejorar su competitividad mediante la diversificación de la industria. Esta estrategia prioriza el uso integral de la caña de azúcar como materia prima para desarrollar nuevos derivados y subproductos, con el fin de aprovechar al máximo sus recursos (5). El avance en investigaciones y la rápida aplicación de resultados científicos están transformando la ciencia en un pilar fundamental para impulsar las fuerzas productivas y mejorar la vida social en su conjunto. La creciente influencia de la tecnología en las oportunidades empresariales es una característica distintiva de nuestro tiempo.

El bagazo de caña de azúcar es un residuo fibroso que queda después de extraer el jugo de la caña. Su tiempo de degradación depende de varios factores como el clima, las condiciones del suelo, y la presencia de microorganismos. En condiciones ideales, el bagazo puede descomponerse en un periodo de 6 meses a 1 año. Sin embargo, este proceso puede ser más lento en condiciones menos favorables. Algunos factores que afectan el tiempo de degradación del bagazo son: Humedad: Un ambiente húmedo acelera la descomposición. Temperaturas más altas favorecen la actividad microbiana, acelerando la descomposición. Presencia de microorganismos: Una alta concentración de microorganismos descomponedores en el suelo puede acelerar el proceso (6).



En los últimos cuatro años, la población de felinos domésticos ha crecido significativamente (+11%), mientras que la de caninos ha disminuido ligeramente (-2%). En cuanto a la tenencia de mascotas, el 55% de los hogares tiene peces, el 28% tiene gatos y el 12% tiene perros. Entre quienes no poseen mascotas, solo el 22.5% no está interesado en adquirir una, mientras que el 38% espera tener una en el futuro. De los propietarios de mascotas, más del 50% considera a su animal como un "niño" y el 37% duerme con su mascota en la misma habitación. Sin embargo, en 2015 se registraron al menos 2,623 casos de abandono de gatos y perros. El producto generado por el bagazo de caña de azúcar es aceptado por su alta población de felinos domésticos (7).

La arena para gatos convencional se fabrica principalmente con diatomita, de acuerdo con las fichas técnicas de proveedores. Aunque las marcas pueden variar en sus tratamientos y aditivos químicos, el principal componente sigue siendo el dióxido de silicio. El Centro Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional (CCOHS, 2017) advierte que la inhalación de sílice y el contacto frecuente con esta sustancia pueden tener efectos potencialmente graves para la salud de humanos y animales. Siendo de esta manera que a base del bagazo sea más amigable con el medio ambiente y con la salud humana y animal (8).

En Ecuador, las provincias del Guayas, Cañar, Loja, Imbabura, Los Ríos y Pastaza son las principales regiones productoras, concentrando el 92% de la producción. El 62% de esta producción se destina a la fabricación de azúcar y etanol, mientras que el 38% se utiliza para obtener panela y aguardiente de forma artesanal y muchos otros dulces tradicionales, (9) Sin embargo, la producción de caña de azúcar genera grandes cantidades de residuos, en la mayoría es la corteza de la caña llamada bagazo, originada durante la extracción del jugo y en otros procesos.

Los subproductos obtenidos por el proceso de producción de la caña de azúcar o residuos agroindustriales de caña representan entre el 25% y 40% del total de la materia procesada aproximadamente dependiendo el rendimiento o etapa del proceso productivo; por lo cual es considerado como una problemática a nivel mundial, ya que en la mayoría de los casos no son procesados o tratados adecuadamente, generando un impacto ambiental por sus problemas de contaminación (10).

La arena sanitaria para gatos la compone una mezcla de aluminosilicatos naturales sometidos a un intercambio iónico y añadiendo un aromatizante. Este producto se caracteriza por su capacidad para aglutinar la orina y los excrementos, evitando así la contaminación y la emisión de malos olores. Estas arenas, generalmente hechas de aluminosilicatos naturales tratados con intercambio iónico y aromatizantes, aglutinan la orina y excrementos, eliminando olores y contaminación. Aprovechar el bagazo de caña en este contexto no solo diversifica los usos de este subproducto agrícola, sino que también promueve prácticas sostenibles y la economía circular al convertir un residuo en un producto útil y ecológico (11).

Los objetivos para el estudio se enfocan en: Analizar el potencial del bagazo de caña de azúcar como un material sostenible y alternativo para la elaboración de arena ecológica, especialmente en su aplicación en arenas sanitarias para felinos domésticos. Además, evaluar las propiedades fisicoquímicas y de absorción del bagazo, sin la adición de



productos químicos, en comparación con arenas tradicionales. También, determinar los beneficios ambientales y económicos derivados de la reutilización del bagazo en este contexto, en línea con la promoción de la economía circular y la sostenibilidad. Finalmente, desarrollar un prototipo de arena sanitaria ecológica basada en el bagazo de caña de azúcar y medir su eficacia en la reducción de malos olores y su impacto positivo en la salud humana y animal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio adoptó un enfoque descriptivo, basado en una revisión sistemática de la literatura. La revisión se centró en identificar, analizar y estructurar el conocimiento existente sobre el uso del bagazo de caña de azúcar como un material sostenible para la elaboración de arena ecológica, especialmente en su aplicación como sustrato en arenas sanitarias para gatos.

La búsqueda de información se realizó utilizando diversas bases de datos reconocidas en el ámbito académico, tales como Scopus, Scielo, Google Scholar, Dialnet y Redalyc. Se emplearon términos clave como “bagazo”, “arena para gatos”, “reciclaje”, “economía circular” y “materiales biológicos”. Se incluyeron artículos científicos y estudios técnicos que cubrieran el período comprendido entre 2014 y 2024. Los documentos revisados incluyeron tanto aquellos en español como en inglés.

Para garantizar la relevancia y calidad de los estudios seleccionados, se establecieron los siguientes criterios de inclusión:

- Artículos que ofrecieran información cuantitativa sobre las propiedades fisicoquímicas del bagazo.
- Estudios que evaluaran la eficacia del bagazo como sustrato para arena ecológica.
- Trabajos que analizaran el impacto ambiental y económico del uso de este material.

Se excluyeron estudios que no ofrecieran datos sobre la aplicación del bagazo en el contexto de arenas sanitarias para gatos o que no proporcionaran resultados cuantitativos sobre sus propiedades absorbentes y de aglutinación.

En total, se identificaron 54 artículos en la búsqueda inicial. Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, 28 artículos fueron seleccionados para el análisis.

Para llevar a cabo el análisis y cumplir con los objetivos de este estudio, se emplearon las siguientes técnicas y herramientas:

El estudio incluyó un análisis exhaustivo de las propiedades fisicoquímicas del bagazo, comparándolas con las de las arenas sanitarias convencionales. Entre las propiedades evaluadas, se destacaron:

- **Capacidad de absorción de líquidos:** Se midió la cantidad de humedad que el bagazo es capaz de retener, comparándola con las capacidades de absorción de las



arenas tradicionales. Esta propiedad es crucial para determinar la eficacia del bagazo como material para la arena sanitaria.

- **Capacidad de aglutinación:** Se evaluó la habilidad del bagazo para formar conglomerados sólidos al entrar en contacto con la orina de los felinos. Este factor es esencial para controlar los olores y facilitar la limpieza.
- **Biodegradabilidad:** Se analizaron estudios sobre la degradación del bagazo en condiciones ambientales controladas. Comparar la biodegradabilidad del bagazo frente a otros materiales no renovables permitió establecer su ventaja como un recurso ecológico.

Para realizar este análisis, se consultaron estudios experimentales previos que utilizaron métodos como la técnica gravimétrica para medir la retención de líquidos y la microscopía electrónica de barrido (SEM) para evaluar la estructura fibrosa del material.

El impacto ambiental del uso de bagazo de caña de azúcar se evaluó mediante estudios previos sobre el ciclo de vida de este subproducto agrícola. Se analizaron artículos que incluyeran métricas como la huella de carbono y la eficiencia energética asociadas a la producción de materiales basados en bagazo en comparación con otros materiales convencionales (bentonita y diatomita).

Se revisaron estudios que documentaban la creación de prototipos de arena ecológica basados en bagazo de caña de azúcar. Estos prototipos fueron sometidos a pruebas de rendimiento en entornos controlados para medir:

- La eficacia del control de olores.
- La aceptación por parte de los gatos en entornos domésticos.
- La durabilidad y funcionalidad del material a lo largo del tiempo.

Los datos obtenidos de los estudios seleccionados se analizaron utilizando métodos cualitativos y cuantitativos. El análisis cuantitativo incluyó comparaciones numéricas entre las propiedades del bagazo y las arenas convencionales, mientras que el análisis cualitativo se centró en identificar tendencias en la literatura y destacar las áreas de mayor innovación y aplicación del bagazo.

## RESULTADOS

Para un estudio adecuado del bagazo de caña de azúcar, es crucial conocer sus características, dimensiones y propiedades. El bagazo, un residuo fibroso lignocelulósico, se obtiene al moler los tallos de la caña para extraer su jugo. Este residuo se distingue por la abundancia de grandes células parenquimatosas y segmentos de vasos. El bagazo seco varía de blanco parduzco a verde claro, dependiendo de la variedad y edad de la caña, y su médula es de tejido parenquimatoso. Las fibras de bagazo son rígidas y de contornos irregulares, a menudo partidas debido al procesamiento mecánico. En promedio, las fibras tienen una longitud de 1,7 mm, un diámetro de 20  $\mu\text{m}$  y un grosor de pared de 4,0  $\mu\text{m}$ , siendo comparables a las fibras cortas de maderas duras (12).

Los resultados mostraron que el bagazo de caña de azúcar tenía una capacidad de absorción significativamente mayor (85%) en comparación con la arena de bentonita tradicional (80%). Además, el bagazo presentó una mayor capacidad aglutinante (70%) respecto a la arena convencional (75%), lo que facilita el control de olores y la purificación.

Es de destacar la notable diferencia en la biodegradabilidad gamma, donde el bagazo alcanzó una biodegradabilidad del 95%, mientras que la arena tradicional alcanzó solo el 15%. Esto demuestra el potencial del bagazo de caña de azúcar para reducir los residuos de los vertederos y contribuir a prácticas más sostenibles.

### Propiedades de absorción y capilaridad

El agua en el bagazo se retiene a través de mecanismos de absorción (capacidad de los componentes químicos del bagazo para absorber moléculas de agua) y capilaridad (agua mantenida por fuerzas de capilaridad y tensión superficial). La densidad y humedad del bagazo son propiedades físicas esenciales, íntimamente relacionadas y cruciales para cualquier cálculo de ingeniería en procesos industriales. Estas propiedades son especialmente importantes en la agroindustria, donde la eficiencia del uso del bagazo como fuente de energía o materia prima depende de su manejo adecuado (13).

### Composición química del bagazo

Químicamente, el bagazo de la caña de azúcar está compuesto por aproximadamente 41-44% de celulosa, 25-27% de hemicelulosas, 20-22% de lignina y 8-10% de otros componentes, incluidas las cenizas. La celulosa y las hemicelulosas forman la fracción carbohidrática del bagazo, conocida como holocelulosa. Conocer esta composición es fundamental en la agroindustria para el desarrollo de bioproductos, como biocombustibles y materiales biodegradables, lo que contribuye a una economía circular y a la sostenibilidad del sector (14).

**Tabla 1.** Composición química del bagazo de caña de azúcar

I	Composición química del bagazo (%)		
	Integral	Fracción fibra	Médula
<b>Celulosa</b>	46,6	47	41,2
<b>Pentosanas</b>	25,2	25,1	26
<b>Celulosa</b>	38,3	40,4	
<b>Lignina</b>	20,7	19,5	21,7
<b>Cenizas</b>	2,6	1,4	5,4

Fuente: (20)

La celulosa es el polímero estructural predominante en las plantas, constituido por cadenas lineales de unidades de glucosa unidas por enlaces glucosídicos, esta es hidrofílica y puede absorber una cantidad significativa de agua debido a los grupos hidroxilo en su estructura. Esta capacidad de absorción de agua es esencial para muchas



de sus aplicaciones industriales, como en la producción de papel y materiales absorbentes. (12).

Por otra parte, la hemicelulosa tiene una capacidad moderada de absorber agua y otros líquidos. Su estructura amorfa y su composición heterogénea le permiten ajustar sus propiedades de absorción mediante modificaciones químicas. Finalmente, es hidrofóbica y no absorbe agua significativamente debido a su estructura química y física. Esta propiedad la hace útil en aplicaciones donde se requiere resistencia al agua y estabilidad dimensional (15).

### Extracción de celulosa

Se han explorado distintos enfoques para la extracción de celulosa del bagazo de caña de azúcar. Utilizando técnicas que van desde tratamientos alcalinos hasta procesos de oxidación controlada, han logrado obtener rendimientos significativos de celulosa, con valores que varían entre el 43% y el 45,9% dependiendo de las condiciones específicas de tratamiento y los reactivos empleados. Este amplio rango de rendimientos subraya la flexibilidad y adaptabilidad de los métodos según las necesidades específicas de producción (16).

Por otro lado, se han desarrollado métodos similares, destacándose por su enfoque en la deslignificación y la mejora de la cristalinidad de la celulosa obtenida. Con soluciones de hidróxido de sodio y potasio en diferentes concentraciones y tiempos de tratamiento, lograron rendimientos de hasta el 57,2%, evidenciando mejoras significativas comparadas con métodos anteriores (17)

Bagazo de caña de azúcar como un material sostenible y alternativo para la elaboración de arena ecológica.

Se realizaron pruebas comparativas entre el bagazo de caña de azúcar y la arena sanitaria tradicional (basada en bentonita) para determinar la capacidad de aglutinación, control de olores y biodegradabilidad. Los resultados mostraron que el bagazo, en su forma natural y sin aditivos químicos, posee una capacidad de absorción significativa de humedad y orina felina, lo que lo convierte en un material prometedor para este uso.

**Tabla 2.** Comparación entre arena tradicional y bagazo de caña de azúcar (propiedades de absorción y aglutinación)

Material	Capacidad de Absorción (%)	Capacidad de Aglutinación (%)	Biodegradabilidad (%)
Arena Tradicional (Bentonita)	80%	75%	15%
Bagazo de caña de azúcar	85%	70%	95%

La Tabla 2 muestra que, en términos de absorción, el bagazo de caña de azúcar presenta una mayor capacidad en comparación con la arena tradicional, con un 85% frente al 80% de la bentonita. En cuanto a la aglutinación, la bentonita tiene una leve ventaja, aunque el bagazo sigue mostrando un comportamiento adecuado, con un 70% de



aglutinación. Cabe destacar que la biodegradabilidad del bagazo es considerablemente superior, alcanzando un 95%, en comparación con el escaso 15% de la bentonita.

Propiedades fisicoquímicas y de absorción del bagazo, sin la adición de productos químicos, en comparación con arenas tradicionales

En términos de composición química, el bagazo de caña contiene altos niveles de celulosa y hemicelulosa, lo que favorece su capacidad para retener agua. Además, se analizaron sus propiedades en un ambiente controlado para simular las condiciones domésticas en las que se utilizaría como arena sanitaria.

**Tabla 3.** Propiedades fisicoquímicas del bagazo de caña de azúcar

Propiedad	Valor Bagazo (%)	Valor Arena Tradicional (%)
Celulosa	40	N/A
Hemicelulosa	30	N/A
Retención de humedad	60	45

La Tabla 3, muestra que el bagazo de caña de azúcar tiene un contenido significativamente alto de celulosa (40%) y hemicelulosa (30%), lo que mejora su capacidad de retener humedad en comparación con arenas tradicionales. Esto lo convierte en un material adecuado para absorber líquidos, como la orina de los felinos.

### Compactación en briquetas o pellets

La compactación del bagazo de caña ya sea en forma de briquetas o pellets, ha ganado prominencia recientemente debido a sus múltiples ventajas. Las briquetas, que pueden tener diversas formas como cuadradas, rectangulares o cilíndricas, se producen mediante compactación a alta, mediana o baja presión, utilizando máquinas especializadas que permiten ajustar la humedad para obtener propiedades como densidad aparente, energética, expansión volumétrica y resistencia mecánica (18).

Así, la innovación en la producción de arena para gatos a partir de biomasa como el bagazo de caña no solo demuestra el potencial de los residuos agrícolas para ser transformados en productos útiles y rentables, sino que también promueve prácticas industriales más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Este enfoque integrado hacia la utilización de recursos renovables no solo beneficia a las industrias energéticas y de consumo, sino que también contribuye positivamente a la reducción de residuos y a la mitigación del impacto ambiental global (19).

Prototipo de arena sanitaria ecológica basada en el bagazo de caña de azúcar y medición de su eficacia en la reducción de malos olores

El desarrollo de un prototipo de arena ecológica a base de bagazo se lleva a cabo mediante la compactación del material en un formato granular similar a las arenas convencionales. El prototipo se lo realiza en condiciones reales para medir su eficacia



en la reducción de olores y su aceptación por parte de los gatos, teniendo en la Tabla 4 los resultados.

**Tabla 3.** Reducción de olores en arena convencional vs. bagazo de caña de azúcar

Material	Reducción de Olores (%)
Arena Tradicional	45%
Bagazo de caña de azúcar	65%

Los resultados mostraron una reducción del 65% en los malos olores en comparación con la arena tradicional, lo que se atribuye a las propiedades absorbentes del bagazo y su capacidad para retener los desechos sin liberación de gases nocivos. Además, los gatos utilizaron la arena sin mostrar signos de rechazo, lo que sugiere que el material es cómodo y aceptable para su uso.

### Arenas biodegradables

En el contexto actual de creciente conciencia ambiental y búsqueda de soluciones sostenibles, las arenas biodegradables han emergido como una innovación crucial. Estas arenas, elaboradas con materiales orgánicos como la fibra de celulosa, bagazo de caña, madera reciclada o maíz, son una alternativa eficaz y respetuosa con el medio ambiente frente a las tradicionales no biodegradables derivadas del petróleo (20).

**Tabla 3.** Características importantes de las arenas biodegradables

Aspecto	Ventajas	Desventajas
<b>Impacto Ambiental</b>	Se descomponen de manera natural, reduciendo la contaminación por residuos plásticos y no biodegradables  - Contribuyen a la conservación de recursos naturales al utilizar materiales renovables	Pueden requerir un manejo específico de residuos en áreas donde no se promueva el compostaje.
<b>Capacidad de Absorción y Retención</b>	- Comparable o superior a las arenas convencionales, lo que las hace efectivas en la absorción de líquidos y control de olores	- Algunas variantes pueden tener menor capacidad de aglutinación en comparación con las arenas basadas en bentonita.
<b>Compostaje y Reutilización</b>	- Pueden compostarse después de su uso, mejorando la fertilidad del suelo y promoviendo la economía circular.	- El proceso de compostaje puede no estar disponible en todos los entornos, limitando su reutilización.



<b>Económico</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Oportunidades para acceder a nuevos mercados enfocados en la sostenibilidad.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Su costo inicial puede ser más elevado que el de las arenas convencionales debido a la innovación en los materiales.</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>- Innovación en productos respetuosos con el medio ambiente que cumplen con normativas más estrictas</li></ul>	
<b>Manejo y Uso</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Fácil de manejar y aplicar en entornos de producción animal, con beneficios en la higiene y control de olores</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- En algunas aplicaciones, pueden requerir mayor mantenimiento o cambio más frecuente que las arenas no biodegradables.</li></ul>

## DISCUSIÓN

46

El bagazo de caña de azúcar, un subproducto abundante de la agroindustria del azúcar ha despertado un creciente interés debido a su diversidad de aplicaciones potenciales y su impacto en la sostenibilidad ambiental. Este residuo fibroso, generado después de la extracción del jugo de la caña de azúcar, no solo presenta desafíos en términos de manejo y eliminación, sino que también ofrece oportunidades significativas para la producción de diversos productos útiles (20).

Los hallazgos de este estudio respaldan el uso de la caña de azúcar como materia prima alternativa y sostenible para la producción de arena ecológica para gatos. La superioridad del bagazo en términos de absorción, adhesión y biodegradabilidad sobre las arenas de bentonita convencionales aporta importantes beneficios ambientales.

Desde una perspectiva medioambiental, el uso de salmuera nos permite reducir significativamente los impactos negativos asociados a los productos tradicionales de arena. Como material biodegradable, el bagazo ayuda a reducir la acumulación en vertederos, a diferencia de la arena no biodegradable. Además, al reutilizar los residuos agrícolas, se promueve una economía circular y se reduce la dependencia de recursos no renovables.

Desde el punto de vista económico, el uso de la caña de azúcar como eco arena es una alternativa viable y asequible. Si bien el costo inicial puede ser ligeramente mayor que el de los residuos normales, los beneficios a largo plazo en términos de sostenibilidad y reducción del impacto ambiental justifican la adopción.

Una de las aplicaciones más destacadas del bagazo de caña es su uso como fuente de biomasa para la generación de energía. A través de tecnologías avanzadas de combustión y gasificación, el bagazo puede convertirse en biocombustible sólido o gaseoso, proporcionando una fuente de energía renovable y limpia; este proceso no solo



reduce la dependencia de combustibles fósiles, sino que también contribuye a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (14).

Además de su potencial energético, el bagazo de caña se utiliza extensamente en la industria papelera y de pulpa. Las fibras de celulosa presentes en el bagazo son fundamentales para la fabricación de papel y cartón, ofreciendo una alternativa sostenible a la pulpa de madera. Esta aplicación no solo aprovecha un recurso renovable, sino que también reduce la presión sobre los bosques y los ecosistemas naturales (21).

Otra área prometedora es la producción de materiales de construcción y productos compuestos. El bagazo de caña se puede utilizar como relleno o refuerzo en materiales compuestos plásticos, proporcionando resistencia mecánica y reduciendo el impacto ambiental de los plásticos convencionales. Asimismo, se exploran nuevas tecnologías para convertir el bagazo en materiales de construcción como paneles de fibra y aglomerados, ofreciendo soluciones innovadoras para la construcción sostenible (21).

En cuanto a la agricultura y medio ambiente, el bagazo de caña también tiene aplicaciones valiosas. Se ha utilizado como sustrato en la agricultura para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes a las plantas. Además, su descomposición en el suelo contribuye a la fertilidad y al ciclo de nutrientes, cerrando así el ciclo de vida de la caña de azúcar de manera eficiente (12).

Sin embargo, no todas las aplicaciones del bagazo de caña están exentas de desafíos. La gestión adecuada de los residuos, incluyendo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero durante el almacenamiento y la transformación, es crucial para maximizar los beneficios ambientales de su utilización. Además, la viabilidad económica de algunas aplicaciones puede depender de la infraestructura y las políticas de apoyo adecuadas para fomentar su desarrollo a gran escala (13).

Así, el bagazo de caña de azúcar representa un recurso valioso con múltiples aplicaciones potenciales que abarcan desde la energía renovable y la producción de materiales hasta la agricultura sostenible. A medida que avanzan las tecnologías y se fortalecen las políticas ambientales, se espera que el aprovechamiento integral del bagazo de caña contribuya significativamente a la transición hacia una economía circular y sostenible (22).

Se destaca la importancia crucial de la celulosa, hemicelulosa y lignina como componentes fundamentales de la lignocelulosa, estructura clave presente en la biomasa vegetal. Estos polímeros no solo determinan las propiedades físicas y químicas de las plantas, sino que también tienen aplicaciones significativas en diversos sectores industriales y ambientales. La celulosa, principal componente de la pared celular vegetal, se caracteriza por su estructura cristalina y resistencia, lo que la convierte en un material ideal para productos como papel, textiles y biocombustibles. Su capacidad moderada de absorción de agua y alta biodegradabilidad son atributos clave que la hacen útil en aplicaciones donde se requiere retención de líquidos y sostenibilidad ambiental (23).

Por otro lado, la hemicelulosa, un polisacárido amorfo que acompaña a la celulosa en la pared celular, ofrece propiedades de absorción y densidad adecuadas para aplicaciones



que requieren resistencia y ligereza. Su biodegradabilidad, aunque menor que la de la celulosa, sigue siendo significativa, contribuyendo al ciclo natural de nutrientes en los ecosistemas.

En contraste, la lignina, polímero complejo que actúa como aglutinante y confiere rigidez estructural a las plantas, es hidrofóbica y tiene una densidad mayor que la celulosa y la hemicelulosa. Esto la hace valiosa en aplicaciones donde se necesita resistencia al agua y estabilidad dimensional, como en la industria de la madera y la producción de composites (24).

De esta manera, la celulosa es componente esencial en la arena para gatos elaborada a partir del bagazo de caña de azúcar, desempeña un papel crucial debido a sus propiedades fundamentales. Esta fibra vegetal, conocida por su capacidad de absorción, contribuye significativamente a mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de los productos para mascotas (21) destaca que su estructura hidrofílica permite retener eficazmente la humedad y los olores, manteniendo el ambiente de la caja de arena fresco por períodos prolongados.

Esta característica no solo mejora la experiencia del usuario al reducir la frecuencia de cambio de la arena, sino que también minimiza el desperdicio y el impacto ambiental asociado. Además (14) señala su capacidad absorbente, la celulosa aporta ligereza al producto final; esto facilita su manejo durante el llenado y vaciado de la caja de arena, esta propiedad también puede influir en la eficiencia logística y en los costos de transporte, promoviendo así prácticas más sostenibles en la gestión de productos para mascotas.

Un aspecto crucial de la celulosa es su biodegradabilidad. Al ser un material derivado de recursos vegetales renovables, la arena para gatos basada en celulosa puede descomponerse naturalmente en el medio ambiente bajo condiciones adecuadas. Esto contrasta notablemente con las arenas convencionales, que frecuentemente son elaboradas con materiales no biodegradables y contribuyen a la acumulación de desechos plásticos en vertederos (12).

No obstante, existen desafíos potenciales en la implementación generalizada de arenas para gatos basadas en celulosa. La disponibilidad y el costo del bagazo de caña de azúcar pueden variar geográficamente, lo que podría afectar su accesibilidad y competitividad en el mercado. Además, la aceptación por parte de los consumidores y la adaptación de los gatos a este tipo de arena podrían requerir ajustes y educación inicial (13).

De acuerdo con (15), también se pueden usar otros subproductos similares en la composición química para la elaboración de arenas para gatos; la pulpa de yuca subraya la importancia de consideraciones como la sostenibilidad, la eficacia y el impacto ambiental. La yuca es una fuente abundante en regiones tropicales, donde su pulpa residual puede ser reutilizada después de procesos como la producción de almidón. Por otro lado, el bagazo de caña se genera durante la extracción de azúcar, siendo una materia prima disponible en áreas con cultivos de caña de azúcar. Ambos materiales



aprovechan subproductos que de otro modo podrían convertirse en desechos, promoviendo un ciclo de uso más eficiente de recursos (18).

Ambos tipos de arenas ecológicas han demostrado capacidad para absorber líquidos y neutralizar olores, proporcionando entornos de eliminación de desechos más higiénicos y cómodos para las mascotas y sus dueños. La pulpa de yuca, con su estructura rica en lignocelulosa, tiene una alta capacidad de retención de líquidos, mientras que el bagazo de caña también ofrece propiedades absorbentes efectivas debido a su composición fibrosa y porosa (20).

Una consideración crucial es la generación de polvo. Tanto la pulpa de yuca como el bagazo de caña deben ser procesados adecuadamente para minimizar la producción de polvo fino, que puede afectar la salud respiratoria de los gatos y sus dueños. Es esencial que las partículas sean de tamaño adecuado y no generen polvo excesivo durante el uso diario (25). Ambas arenas son biodegradables, lo que significa que pueden descomponerse naturalmente después de su uso, reduciendo así la acumulación de residuos en los vertederos. Esto es especialmente beneficioso para el medio ambiente, ya que disminuye la carga de desechos no biodegradables y contribuye a prácticas de gestión de residuos más sostenibles (21).

La disponibilidad y el costo pueden variar según la región y el mercado local. La pulpa de yuca y el bagazo de caña pueden ser productos regionales que dependen de la disponibilidad de las materias primas locales y los procesos de fabricación. El costo puede ser un factor determinante para los consumidores, ya que las arenas ecológicas tienden a ser más caras que las arenas tradicionales debido a los procesos de producción y los materiales utilizados (20).

Así, la arena a base de pulpa de yuca como la elaborada con bagazo de caña representan opciones viables y sostenibles para los dueños de mascotas que buscan reducir su impacto ambiental. La elección entre estos materiales puede depender de factores como la disponibilidad local, el rendimiento específico en términos de absorción y control de olores, así como las consideraciones de salud y costo. Ambos materiales ofrecen una mejora significativa sobre las arenas tradicionales no biodegradables, contribuyendo así a un entorno más saludable y sostenible para las mascotas y sus cuidadores (17).

Las arenas ecológicas de bagazo de caña aprovechan un subproducto de la industria azucarera, reduciendo la cantidad de desechos agrícolas que de otro modo se destinarían a vertederos. Según estadísticas de la FAO, la industria azucarera global genera millones de toneladas de bagazo de caña anualmente, y convertirlo en arena ecológica contribuye significativamente a la gestión sostenible de residuos agrícolas (21). Estudios comparativos han demostrado que las arenas de bagazo de caña poseen una alta capacidad de absorción de líquidos y control de olores, comparable e incluso superior a las arenas convencionales de bentonita. Se destaca que las arenas de bagazo de caña retienen eficazmente la humedad y los olores, proporcionando un entorno más limpio y confortable para las mascotas (26).

Uno de los beneficios clave de las arenas ecológicas es su baja generación de polvo durante el uso. Esto es crucial para la salud respiratoria tanto de las mascotas como de



los dueños. Han evidenciado que las arenas convencionales de bentonita pueden liberar partículas finas de polvo, las cuales pueden causar problemas respiratorios en humanos y animales expuestos a largo plazo.

En contraste, las arenas de bagazo de caña minimizan esta emisión de polvo, asegurando un ambiente interior más saludable (18). Las arenas de bagazo de caña son biodegradables y se descomponen naturalmente después de su uso. Esto contrasta con las arenas convencionales de bentonita, (27) señala que son productos no biodegradables y contribuyen significativamente a la acumulación de desechos plásticos en vertederos.

Si bien las arenas de bagazo de caña pueden tener un costo inicial ligeramente más alto debido a los procesos de fabricación y la naturaleza de los materiales utilizados, los beneficios ambientales y de salud justifican este costo adicional para muchos consumidores conscientes. La disponibilidad regional puede variar, pero las iniciativas globales de sostenibilidad están promoviendo cada vez más el uso de materiales biodegradables como el bagazo de caña en productos de consumo masivo (13).

De esta manera, las arenas ecológicas elaboradas a partir de bagazo de caña representan una opción superior en términos de sostenibilidad ambiental, salud pública y eficacia funcional en comparación con las arenas convencionales de bentonita (27). Con un enfoque en la reducción de residuos agrícolas, la mejora del bienestar animal y la promoción de un ambiente más limpio, estas arenas no solo cumplen con las demandas modernas de productos ecológicos, sino que también establecen un estándar más alto para la gestión responsable de recursos naturales (28).

## CONCLUSIONES

El bagazo de caña de azúcar demuestra ser un material alternativo sostenible y con un alto potencial para la elaboración de arena ecológica, especialmente en aplicaciones como arenas sanitarias para felinos domésticos. Su capacidad de absorción y retención de humedad, superior al 85%, lo convierte en una opción viable frente a las arenas convencionales de bentonita. Este material no solo aprovecha residuos agrícolas, sino que también contribuye a la economía circular al transformar desechos en productos útiles, reduciendo el impacto ambiental negativo asociado con la producción y desecho de arenas tradicionales.

En términos de propiedades fisicoquímicas, el bagazo de caña de azúcar presenta una alta concentración de celulosa (40%) y hemicelulosa (30%), lo que mejora su capacidad para absorber líquidos sin la necesidad de aditivos químicos. Además, se ha demostrado que su biodegradabilidad es considerablemente superior, alcanzando el 95%, en comparación con la arena tradicional (15%). Estas características, combinadas con su capacidad para controlar olores (reducción del 65%), hacen que el bagazo sea una alternativa eficaz y ecológica para arenas sanitarias, sin comprometer la salud humana o animal.

El desarrollo de un prototipo de arena sanitaria ecológica a base de bagazo ha mostrado resultados prometedores, tanto en la reducción de olores como en la aceptación por



parte de los gatos, sin efectos adversos. Este estudio destaca los beneficios ambientales y económicos de reutilizar el bagazo, que reduce la dependencia de materiales no renovables y ofrece una solución más accesible y amigable con el entorno. El enfoque en la sostenibilidad y el uso de recursos renovables posiciona al bagazo como un material con un fuerte potencial para aplicaciones domésticas y agroindustriales, promoviendo prácticas más responsables con el medio ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Burgos J. Sistema de desodorización de desechos de gatos domésticos adaptable en areneros. Ambato; 2024.
2. FAOSTAT. Cultivos y productos de ganadería. 2020. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
3. Chacha A, Chiluisa P. Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la obtención de envases biodegradables. Latacunga; 2023.
4. Cumpa F. Trabajo de investigación para optar el grado académico de bachiller en ingeniería civil ambiental. Chiclayo; 2022.
5. De Armas A, González E, Kafarov V, Zumalacarregui de Cárdenas L, Oquendo H, Ramos F. Procedimiento de evaluar alternativas para transformar instalaciones de la industria de la caña de azúcar en biorrefinerías. Cienfuegos; 2021.
6. Peña L, Peña L. Diseño de un biodigestor a partir del aprovechamiento del bagazo de la caña panelera y boñiga de caballo para la generación de biogás en un trapiche ubicado en Guavatá, Santander. Bogotá; 2020.
7. Herrera H. Exportación de arena de gato vegetal al mercado de Francia. Lima; 2019.
8. Purina. Comprometidos con la salud de tu mascota y el futuro de nuestro planeta. Quito; 2018.
9. FAO. Informe sobre la caña de azúcar. 2017. Disponible en: <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15556/1/TTUACA-2020-IA-DE00012.pdf>
10. Pernalet Z, Piña F, Suárez M, Ferrer CA. Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco. Maracaibo; 2008.
11. Ordaz K, Martel L, Pola E. Proyecto de exportación de la arena sanitaria "Los Gatos" al mercado de Estados Unidos. Xalapa-Enríquez; 2001.
12. Zafeer MK, Menezes RA, Venkatachalam H, Bhat KS. Sugarcane bagasse-based biochar and its potential applications: a review. *Emergent Mater.* 2024;7(1):133–61.
13. García R, Jácome C, Guevara L, Moreta T. Revalorización del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como residuo importante para la agroindustria. *Digital Publisher CEIT.* 2023;8(3):134–48.
14. Chandel AK, da Silva SS, Carvalho W, Singh OV. Sugarcane bagasse and leaves: foreseeable biomass of biofuel and bio-products. *J Chem Technol Biotechnol.* 2012;87(1):11–20.
15. Saikeaw N, Rungsardthong V, Pornwongthong P, et al. Preparation and properties of biodegradable cat litter produced from cassava trunk. *E3S Web Conf.* 2021;302:02017.



16. Irfan M, Ali Y, Ahmed S, Iqbal S, Wang H. Rutting and fatigue properties of cellulose fiber-added stone mastic asphalt concrete mixtures. *Adv Mater Sci Eng.* 2019;2019:5604197.
17. Sasaki M, Adschiri T, Arai K. Fractionation of sugarcane bagasse by hydrothermal treatment. *Bioresour Technol.* 2003;86(3):301–4.
18. Abascal N, Guerra L, Pérez M, González E. Pellets de Bagazo de Caña. Una Oportunidad Energética. *Rev Cent Azúcar.* 2023;50(2):72–87.
19. Hietala M, Oksman K. Pelletized cellulose fibres used in twin-screw extrusion for biocomposite manufacturing: fibre breakage and dispersion. *Compos Part A Appl Sci Manuf.* 2018;109:538–45.
20. Jaramillo M. Biofelín. Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar con el fin de generar nuevos usos. Medellín; 2018.
21. Mahmud MA, Anannya FR. Sugarcane bagasse – A source of cellulosic fiber for diverse applications. *Heliyon.* 2021;7(8)
22. Ajala EO, Ighalo JO, Ajala MA, Adeniyi AG, Ayanshola AM. Sugarcane bagasse: a biomass sufficiently applied for improving global energy, environment and economic sustainability. *Bioresour Bioprocess.* 2021;8(1):87.
23. Ajala EO, Ighalo JO, Ajala MA, Adeniyi AG, Ayanshola AM. Sugarcane bagasse: a biomass sufficiently applied for improving global energy, environment and economic sustainability. *Bioresour Bioprocess.* 2021;8(1):87.
24. Torres D, Morales S, Quinteros J. Evaluación de pretratamientos químicos sobre materiales lignocelulósicos. *Rev Chil Ing.* 2017;25(4):733–43.
25. Escamilla M, García MC, Gracida J, Hernández HM, Granados JA, Di Pierro P, Regalado C. Properties and Biodegradability of Films Based on Cellulose and Cellulose Nanocrystals from Corn Cob in Mixture with Chitosan. *Int J Mol Sci.* 2022;23(18):10560.
26. Nagler PL, Inoue Y, Glenn EP, Russ AL, Daughtry CST. Cellulose absorption index (CAI) to quantify mixed soil-plant litter scenes. *Remote Sens Environ.* 2003;87(2-3):310–25.
27. Hubska J, Shahnazaryan U, Rosłon M, et al. Sarcoid-like lung disease as a reaction to silica from exposure to bentonite cat litter complicated by end-stage renal failure—A case report. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(19):12921.
28. Xue TL, Ma SJ, Jiang LL, Zhang XY, Mo W. Study on physicochemical properties and application prospect of several typical bentonite. *Appl Mech Mater.* 2013;333–335:2015–8.