

Tipo de artículo: Artículo original

# **Análisis computacional para determinar la durabilidad de adoquines peatonales fabricados con mezcla de plástico polipropileno reciclado y semilla entera de *Mauritia flexuosa* L. f. (aguaje)**

## ***Computational analysis to determine the durability of pedestrian pavers made with a mixture of recycled polypropylene plastic and whole seed of *Mauritia flexuosa* L. f. (water)***

Aparicio Limache Alonzo<sup>1\*</sup> , <https://orcid.org/-0001-6760-1642>

Isaías Alberto Salinas Andrade<sup>2</sup> , <https://orcid.org/0000-0002-5468-7560>

Guillermo Augusto Pastor Picón<sup>3</sup> , <https://orcid.org/0000-0002-3490-1646>

Walter Lauro Pérez Terrel<sup>4</sup> , <https://orcid.org/0000-0003-0269-167X>

Lenin Vladimir Vargas Villa<sup>5</sup> , <https://orcid.org/0000-0002-5900-3818>

Rosa Eva Arenales López<sup>6</sup> , <https://orcid.org/0000-0001-8001-8718>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Ucayali, Perú. Correo electrónico: [aparicio\\_limache@unu.edu.pe](mailto:aparicio_limache@unu.edu.pe)

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Ucayali, Perú. Correo electrónico: [Isaias\\_salinas@unu.edu.pe](mailto:Isaias_salinas@unu.edu.pe)

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Ucayali, Perú. Correo electrónico: [guillermo\\_pastor@unu.edu.pe](mailto:guillermo_pastor@unu.edu.pe)

<sup>4</sup> Universidad Nacional de Ucayali, Perú. Correo electrónico: [w\\_perezl@unu.edu.pe](mailto:w_perezl@unu.edu.pe)

<sup>5</sup> Universidad Nacional de Ucayali, Perú. Correo electrónico: [lenin\\_vargas@unu.edu.pe](mailto:lenin_vargas@unu.edu.pe)

<sup>6</sup> Universidad Nacional de Ucayali, Perú. Correo electrónico: [rosaevaarenaleslopez08@gmail.com.pe](mailto:rosaevaarenaleslopez08@gmail.com.pe)

\* Autor para correspondencia: [aparicio\\_limache@unu.edu.pe](mailto:aparicio_limache@unu.edu.pe)

### **Resumen**

El objetivo consistió en describir la durabilidad de unos adoquines peatonales compuesto por mezcla de plástico polipropileno de alta densidad (PEAD) reciclado y diluido con extrusora artesanal a 180 °C que fue vertido en un molde metálico con semillas enteras de aguaje que se consideró como componente sólido para ganar volumen. Dicho material se obtuvo en octubre del año 2017, en seguida se colocó en una vereda por donde transita con regularidad los peatones. Como resultado después de cinco años de pisoteo constante los adoquines peatonales permanecieron intactos. No se observó deterioro alguno por el uso, solo mostró un ligero cambio de coloración por la insolación. Se comprobó que la semilla de aguaje se amoldó con el plástico diluido y se prevé larga duración del producto. Con ello se demostró la posibilidad de reciclar simultáneamente ambos insumos en adoquines peatonales.

**Palabras clave:** Adoquín peatonal - Mezcla - plástico PEAD, semilla de aguaje.

### **Abstract**



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

*The objective was to describe the durability of some pedestrian pavers composed of a mixture of recycled high-density polypropylene plastic (HDPE) diluted with an artisanal extruder at 180 °C, which was poured into a metal mold with whole aguaje seeds, which was considered as a component. solid to gain volume. This material was obtained in October 2017, and was immediately placed on a sidewalk where pedestrians regularly pass by. As a result, after five years of constant trampling the pedestrian pavers remained intact. No deterioration was observed due to use, it only showed a slight change in color due to exposure to sunlight. It was verified that the aguaje seed was molded with the diluted plastic and a long duration of the product is expected. This demonstrated the possibility of simultaneously recycling both inputs in pedestrian pavers*

**Keywords:** *Pedestrian paver - Mixture - PEAD plastic, aguaje seed.*

**Recibido:** 18/01/2022

**Aceptado:** 22/05/2022

**En línea:** 26/06/2022

## Introducción

En todas las ciudades del trópico húmedo, especialmente en Pucallpa la *Mauritia flexuosa* L. f. conocido como aguaje produce un fruto que consume toda la población sin distinción de edad ni sexo. Lo negativo es que la semilla luego del consumo es arrojada al suelo sin consideración alguna. Igual ocurre con el plástico de todo tipo que abunda como residuo sólido en calles y parques. Así, ambos recursos se desperdician y contaminan el ambiente. Por otro lado, el suelo amazónico es arcilloso. En la estación de verano en los Asentamientos Humanos con el rozamiento que producen los vehículos motorizados las calles generan una polvareda insostenible. En invierno el peatón no puede transitar con tranquilidad por el lodazal que se forma a falta de veredas.

Aquí surgió la idea de aprovechar los plásticos y semillas de aguaje en la fabricación de adoquines peatonales para construir veredas en todos los Asentamientos Humanos en alianza con los gobiernos locales (Municipalidades). Para obtener un adoquín peatonal de mayor garantía se practicó diversas proporciones de mezcla que variaron por el número de semillas enteras de aguaje que se introdujo en cada adoquín como componente para ganar volumen y reducir el peso. En seguida se sometieron a ensayos en Laboratorio determinado las propiedades como resistencia a la compresión y dureza de cada tipo de adoquín peatonal.

A pesar del esmero puesto en la fabricación del adoquín peatonal, se consideró como inoportuno proponer el uso inmediato en la construcción de las veredas por ende masificar la fabricación de los adoquines peatonales. Tampoco la bibliografía mostró una referencia válida que facilite la toma de decisiones. En efecto, en ese momento el adoquín peatonal era un producto no convencional. Para convertirse en un producto comercial necesitaba un trabajo demostrativo adicional como fue el ensayo de la durabilidad.



En este contexto, surgieron diversas preguntas que merecieron consideración: ¿Cuál es la durabilidad de los adoquines peatonales compuesto de la mezcla de plástico PEAD y semillas enteras de aguaje? Otra pregunta importante fue ¿Si el adoquín peatonal era apto para construir veredas? ¿Cuál es la posibilidad para reciclar simultáneamente tanto el plástico como la semilla de aguaje? Así el objetivo consistió en comprobar la durabilidad de adoquines preparados a partir de la mezcla de plásticos reciclados con semillas de aguaje que fueron improvisados como vereda en un pasadizo de tránsito obligado de peatones. Los resultados corresponden a cinco años de exposición de los adoquines a la intemperie.

## **Materiales y métodos**

El estudio consistió en evaluar la durabilidad de adoquines peatonales obtenidos mediante una mezcla de plástico reciclado de tipo PEAD debidamente diluido en una extrusora con semilla entera de *Mauritia flexuosa* L. f. (aguaje). Los trabajos se realizaron en el marco de una investigación con enfoque cuantitativo por expresar la durabilidad en cantidad. Nivel experimental por introducir diversas cantidades de semillas en cada adoquín y tipo aplicativo porque se demostró un supuesto planteado como hipótesis.

La variable se representó por el número de semillas que se utilizó en cada adoquín a efectos de visibilizar la duración y la resistencia al pisoteo. Para evaluar resultados se utilizaron el Diseño Completo al Azar con 3 repeticiones y 5 tratamientos representados por la cantidad de semillas que fueron 00, 15, 20, 25 y 30 respectivamente. Para procesar la ANOVA se utilizó el programa Excel. Para la interpretación de la información se adoptó las recomendaciones de (Calzada, 1975) y (Hernández, 1997) respectivamente.

Los trabajos de campo se iniciaron con el reciclaje o acopio, selección y trituración del plástico de tipo PEAD. Este material ingresó a una extrusora cuya función fue diluir el plástico a una temperatura de 180 °C. El plástico diluido ingresó por un conducto a un molde de 5 x 10 x 10 cm. En cada molde se colocaron las semillas enteras de aguaje y sobre ésta se inyectaron el plástico diluido.

Una parte de estos adoquines se utilizó en los ensayos de dureza y resistencia respectivamente. El resto fue colocado en un lugar estratégico adyacente a una vereda que es paso obligado de todos los transeúntes. De este modo las muestras estuvieron expuestas por 60 meses al ambiente y a un pisoteo permanente e intenso.

Para expresar en forma numérica a los resultados se aplicó el artificio que recomienda (Hernández, 1997). Esta consistió en poner números a los resultados observados así al estado y color de los adoquines se calificó de 0 a 25



cuando se visualizó muy degradado y/o muy decolorado, de 26 a 50 cuando fue degradado, de 51 a 75 cuando era bueno y de 76 a 100 cuando se encontró intacto o no presenta degradación. Los datos fueron copiados en el formato del Diseño Completo al Azar. En seguida se hizo el análisis de varianza, se consideró como significativo cuando el F calculado resultó mayor que el F tabulado. Los datos de resistencia y dureza fueron estimados en el año 2017.

## Resultados y discusión

### Durabilidad de los adoquines peatonales

Conforme se demuestra con la tabla 1, los adoquines peatonales después de cinco años de exposición al ambiente no se han deteriorado significativamente. Si bien es cierto que algunas semillas dejaron un hoyo visible al descomponerse, el adoquín permaneció intacto y siempre conservó su forma original. El pisoteo constante de los transeúntes no ha causado daño notorio. Aparentemente su durabilidad será apto para muchos años adicionales. Esto demuestra que el material es recomendable para la construcción de veredas.

**Tabla 1.** Estado de conservación de adoquines peatonales (Datos en porcentaje)

| Repetición | N° de semillas por adoquín |     |     |                   |                 |
|------------|----------------------------|-----|-----|-------------------|-----------------|
|            | 0                          | 15  | 20  | 25                | 30              |
| I          | 82                         | 85  | 88  | 87                | 85              |
| II         | 88                         | 86  | 85  | 83                | 86              |
| III        | 87                         | 84  | 86  | 84                | 83              |
| Suma       | 257                        | 255 | 259 | 254               | 254             |
| Promedio   | 86                         | 85  | 86  | 85                | 85              |
|            |                            |     |     | <b>TC =</b>       | <b>109056.1</b> |
|            |                            |     |     | <b>Promedio =</b> | <b>85</b>       |

En efecto, la tabla 2 del ANVA indica que los cinco tipos de adoquines peatonales tienen un comportamiento similar como material para la construcción de veredas. Así, el adoquín que no tiene semillas se comporta igual al que tiene 30 semillas. La diferencia es que el primero pesa mucho más por tener como estructura al plástico, en cambio el de 30 semillas pesa menos. Otra ventaja es la cantidad menor de plástico que exige el adoquín con 30 semillas. En resumen, la semilla de aguaje en este caso demostró que es un componente apropiado.

**Tabla 2.** ANVA del estado de conservación de adoquines peatonales.

| <i>Fte de variación</i> | <i>SC</i> | <i>Gl</i> | <i>CM</i> | <i>Fc</i> | <i>Ft</i> | <i>Sig 95%</i> |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| Tratamientos            | 6.2667    | 4         | 1.56667   | 0.39      | 3.48      | NS             |



|       |        |    |         |
|-------|--------|----|---------|
| Error | 40.667 | 10 | 4.06667 |
| Total | 46.933 | 14 |         |

---

En cuanto a antecedentes bibliográficos sobre durabilidad de adoquines peatonales no convencionales como la que se muestra en este experimento no se encontró información que pudiera servir para comparar resultados. Eso sí en los últimos años se ha publicado numerosas iniciativas para reciclar el plástico en adoquines. Como aglomerantes utilizaron diversidad de materiales novedosos.

Así se tiene el trabajo por ejemplo de (Arévalo & Arévalo, 2021), quien investigó la influencia del uso de micro y nano partículas de sílice como sustituto parcial del cemento sobre las propiedades físico-mecánicas de adoquines de hormigón. Reemplazaron porcentajes de microsílíce (5%, 10%, y 15%) y nanosílíce (1%, 1.5% y 3%) por cemento al peso. En comparación con la mezcla control, el microsílíce al 15% y nanosílíce al 3% y la combinación de ambos aumentó la resistencia a la compresión en un 28%, 12% y 23%, respectivamente.

(Limache, 2021), obtuvo adoquines peatonales a partir del plástico poliestireno (Tecnoport, platos y vasos descartables) diluidos con gasolina que fueron vertidos en moldes de plástico de 5 x 5 x 10 cm conteniendo escoria de cobre acopiada en la Oroya (Junín). La mezcla fue preparada en cuatro dosis de 00/100; 25/75; 50/50, 75/25. Como resultado a la prueba de fragilidad en la caída libre desde una altura de 3 m ninguno de los adoquines se partió o se rajaron. Las propiedades en promedio fueron: Densidad = 0.86 g/cm y dureza = 29 kg<sup>3</sup> resistencia a la compresión = 254 kg/cm<sup>2</sup>.

Por su parte (Sinarahua, 2020), elaboró adoquines de tipo II con incorporación de escoria de horno artesanal al 5%, 10%, 15% y 20 %. Al realizar las evaluaciones encontró que la resistencia a compresión es óptima al incorporar un 10% de escoria de horno artesanal demostrando que a mayor cantidad de escoria se reduce la resistencia a compresión del adoquín.

De igual modo, (Aguilar & Mamarandi, 2020), fabricaron adoquines con ceniza volcánica, que reemplazó al cemento en proporciones de: 7%,10%, 20% y 30%. Su utilidad determinó mediante la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista establecidas por la norma NTE INEN 488. Con ello buscaron un producto competitivo con uso prioritario de materiales convencionales del mercado, basados en la norma NTE INEN 3040. Como resultado el reemplazo al 10% en la composición del adoquín; incrementó la resistencia a la compresión a 7 MPa.



### La decoloración de los adoquines peatonales

Los adoquines peatonales no se desgastaron, pero perdió el color original por permanecer expuesto a la insolación. En este caso de un color azul celeste se tornó blanquecino. El número de semillas que contiene el adoquín peatonal no ejerció influencia en la conservación del color. En otras palabras todos los tratamientos se comportaron de manera similar por tanto, no es importante decir si el adoquín con 00 y/o 30 semillas pierde el color más rápido que el otro.

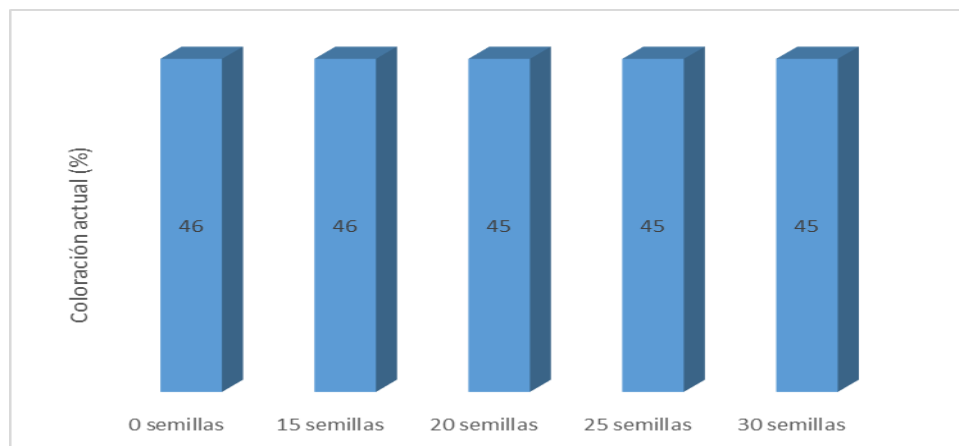


Figura 1. La decoloración de los adoquines.

Tampoco se encontró bibliografía sobre decoloración de adoquines peatonales por efecto de la insolación. Mucho menos tratándose de un producto no convencional por estar fabricado con plástico diluido y vertido en molde con semilla entera de aguaje. Las informaciones al respecto o son sesgadas o simplemente no existen.

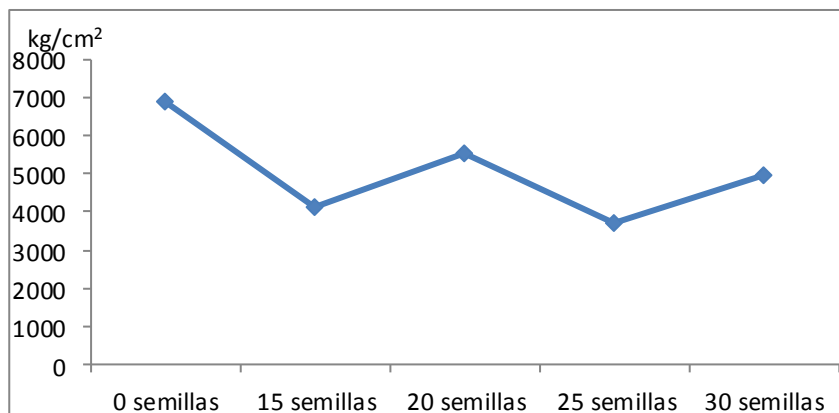
Así, por ejemplo, (Lazar & Emery, 2009), experimentó in situ a las señales reflectivas permanentes sobre superficies de pavimentos de concreto y de asfalto, como un método para estimar su durabilidad. Afirma que estos productos requieren mantenimiento, se aplica fácilmente, proporciona señales durables, visibles con claridad, tanto en la noche como y bajo todas las condiciones meteorológicas.

(Najar & Huamán, 2021), aplicó 0, 3, 7 y 12 % de porcentaje de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub> al peso de cemento HE Yura en la fabricación de adoquines tipo II de resistencia 420 kgf/cm<sup>2</sup> de 200 x 100 x 60 mm. Como tratamiento óptimo resultó el 7% de TiO<sub>2</sub>, por mostrar un equilibrio entre las dos variables evaluadas (a) resistencia a la compresión a la edad de 3,7 y 28 días. (b) capacidad fotocatalítica con Rodamina B. A mayor cantidad del fotocatalizador TiO<sub>2</sub> no es directamente proporcional con la capacidad fotocatalítica.



### Efecto de la resistencia y la dureza en la durabilidad del adoquín peatonal

La determinación de la resistencia a la fuerza de compresión perpendicular de los adoquines peatonales corresponde a un producto fresco hecho en el 2017. Como se verifica en la figura 2 los valores varían según el número de semillas que contiene cada adoquín. En efecto, la resistencia del adoquín sin semilla llega a 6913 kg/cm<sup>2</sup> y del adoquín con 30 semillas se estabiliza en 4977 kg/cm<sup>2</sup> lo que indica que los datos menores corresponden al mayor número de semillas. Esto indica que la variación de la resistencia estaba en el rango de duración correcta que se atribuyó a los adoquines al momento de su fabricación.



**Figura 2.** Resistencia de los adoquines a la fuerza de compresión perpendicular.

Igual las tablas 3 y 4 referidos a la dureza de los adoquines peatonales demuestran un resultado variado con una seguridad estadística de 5%. Esta dureza fluctúa entre 766 kg/cm<sup>2</sup> para el adoquín sin componente o sin semilla y 519 kg/cm<sup>2</sup> para el adoquín con 30 semillas enteras de aguaje. Esta información muestra que los adoquines peatonales de mayor dureza son las que tienen menor número de semillas.

Sin embargo, en el ensayo de durabilidad la dureza de ningún adoquín demostró repercusión alguna. En otras palabras, todos los adoquines peatonales permanecieron intactos en igual condición física. Eso sí, todos muestran una decoloración por efecto de la insolación. En consecuencia, con esta investigación quedó comprobado que la dureza también es un buen indicador de durabilidad para el caso de los adoquines peatonales.

**Tabla 3.** Dureza de los adoquines peatonales expresado en kg/cm<sup>2</sup>

| Repetición | N° de semillas por adoquín |     |     |     |     |
|------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|
|            | 0                          | 15  | 20  | 25  | 30  |
| I          | 708                        | 617 | 581 | 497 | 457 |
| II         | 814                        | 667 | 517 | 652 | 591 |



|      |      |      |      |      |      |     |
|------|------|------|------|------|------|-----|
| III  | 776  | 928  | 624  | 568  | 510  |     |
| Suma | 2298 | 2212 | 1722 | 1717 | 1558 |     |
| Prom | 766  | 737  | 574  | 572  | 519  | 634 |

**Tabla 4.** ANVA de la dureza de los adoquines

| <i>Fte de variación</i> | <i>SC</i> | <i>Gl</i> | <i>CM</i> | <i>Fc</i> | <i>Ft</i> | <b>Sig. 95%</b> |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| Tratamientos            | 145958.4  | 4         | 36489.6   | 4.12      | 3.48      | *               |
| Error                   | 88496     | 10        | 8849.6    |           |           |                 |
| Total                   | 234454.4  | 14        |           |           |           |                 |

**Propuesta de uso futuro según resultados de la durabilidad**

El hecho de que la resistencia a la compresión perpendicular no demuestra efecto en la durabilidad del adoquín peatonal, da a entender que la propuesta de uso como adoquín peatonal hecho al momento de obtener el producto fue correcto. Al respecto, (Caivinagua, 2018), afirma lo mismo. Dice que la mejor opción para las construcciones emergentes es el ladrillo derivado del plástico tipo PEAD por cumplir el 95% de los requisitos mínimos exigidos de resistencia a la flexión, compresión establecida en la norma ISO 178. La diferencia es que los citados ladrillos están hechos con 100% de plástico reciclados mientras que los adoquines contienen semillas de aguaje reciclado como componente para ganar volumen.

Por otro lado, a través de la dureza promedio del adoquín peatonal que según la tabla 3 es 634 kg/cm<sup>2</sup> se dedujo que el número de semillas de aguaje contenidas como componente tienen efectos iguales. Por lo mismo los adoquines peatonales pueden reemplazar al adoquín convencional fabricado de piedra caliza, arcilla, madera y otros insumos. A esta propuesta el constructor podrá elegir según el peso. Si desea un adoquín de mayor peso utilizará aquella sin semilla o sin componente. Si desea un producto liviano utilizará adoquín con 30 semillas.

La bibliografía, cita numerosos emprendimientos de plástico reciclado en reemplazo de los adoquines convencionales. Por ejemplo (Borrayes & Peña, 2001), demostraron la posibilidad de sustituir una especie maderable conocido como: Abarco de río (*Cariniana pyriformis*), utilizada en la construcción de carrocerías tipo estacas, por un material plástico reciclado. (Gomez & Tigre, 2012), desarrollaron un estudio de factibilidad socio económico para producir madera de plástico. La planta lo ubicó junto a un relleno sanitario con capacidad de producción de 3,840 tableros en el año 1 y con una inversión de 61.003,73 dólares. También (Medina & Vera, 2015), propone reducir la deforestación a través de la producción de madera sintética aglomerada a base de plásticos reciclados.





(Penadillo, 2020), demostró que es posible fabricar listones de diversas dimensiones aptas para carpintería a partir de semilla molida y acompañada de la palma aceitera con el plástico diluido a proporciones conocidas. Obtuvo postes medianos ideales para alambrado de potreros, vigas para dinteles en construcción de viviendas rurales y otros. Afirma que la forma y dimensión del producto depende del molde que se utiliza. También obtuvo productos afines como losetas de colores y dimensiones deseadas para decorar interiores.

De igual modo, (Victoria, et al, 2012), reporta que, en Colombia, existen plantas de manejo de residuos sólidos (PMRS) considerados como ambientalmente amigables. Los residuos sólidos municipales (RSM), proporcionan un 13,7% de los materiales reciclables con los cuales desarrollan una línea de producción de alta rentabilidad. Así, las PMRS y su valorización resuelve problemas como falta de empleo y manejo inadecuado de los RSM en vertederos. En este contexto, (Rincón, et al, 2016), dice que la madera plástica es un producto innovador, ecológico y con propiedades mecánicas que permiten su aplicación en diferentes ambientes y para cualquier tipo de construcción constituyéndose en un sustituto de la madera.

### **Posibilidad de reciclar el plástico en la Región Ucayali**

La mayoría de los municipios o gobiernos locales ubicados en la Región Ucayali de manera reiterada manifiestan conflictos ambientales entre los vecinos sobre todo de aquellos AAHH localizados cerca a los vertederos municipales. La razón del conflicto es el manejo deficiente de los RRSS. Los vertederos con frecuencia rebasan su capacidad y constituye un foco de enfermedades por convertirse en criadero de animales menores como los roedores y de infinidad de insectos que son vectores de los males que afecta a la salud.

Los alcaldes optan por controlar este mal por la vía fácil que es prender fuego. Así provoca contaminación del ambiente por el CO<sub>2</sub> que emite en gran volumen debido al humo que genera la quema de decenas de toneladas de plástico cada semana. Si no manda quemar el RRSS se fermenta y produce metano lo cual según (De la Cruz, 2017), provocan asma y otras enfermedades respiratorias especialmente a las personas de alto riesgo como son los niños y aquellos de la tercera edad

El otro problema es el dineral que gastan la Municipalidades por el trabajo de acopiar los RRSS que producen las amas de casa y las industrias de la Región. En efecto, estas entidades gastan enormes sumas de dinero en el rubro de la limpieza pública por mantener un batallón de obreros que se dedica limpiar los residuos sólidos y movilizar todos los días del año una flota de vehículos que trasladan los RRSS de la ciudad al vertedero.



Estas entidades si adoptan la política de producir adoquines peatonales a través de la mezcla de plástico reciclado con componente de semilla entera de aguaje podría ahorrar toda la suma que gasta de una manera irracional en el acopio de los RRSS. También podría comercializar no solo adoquines sino materiales útiles como listones, postes de alumbrado, losetas para zócalos y otros que enumeran (Penadillo, 2020), (Rincón, et al, 2016), (Victoria, et al, 2012) y otros investigadores. Generaría fuente de trabajo e ingreso económico de manera sostenida a favor de los pobladores de su respectiva comuna porque la producción de la materia prima se produce todos los días del año.

Otra contribución de los adoquines peatonales es la posibilidad de permitir la construcción sostenida de las veredas para mejorar no solo el ornato de la ciudad sino para mejorar el tránsito obligado de los peatones. En efecto, este material prácticamente solucionaría de inmediato el problema de acopio y manejo de RRSS porque se convertiría en una actividad de alta rentabilidad. Inclusive acopiaría plásticos de distritos vecinos tornándose en un negocio lucrativo y no en un problema de nunca acabar como ocurre en la actualidad.

Experiencias al respecto son frecuentes. Por ejemplo, es el caso de (Gaggino, 2006). Cuenta que en los años 2003 y 2004 transfirió la tecnología de fabricar ladrillos y placas de ladrillos con plásticos reciclados. Para ello seleccionó a 6 jóvenes jefes de familia con escasos recursos económicos y les propuso mejorar sus condiciones de vida. Acto seguido los capacitó en la construcción de viviendas con plásticos reciclados. Al final todos presentaron viviendas idénticas al tipo tradicional ejecutadas con mamposterías de ladrillo común.

Otro caso no menos importante es el de (Angumba, 2016). Su reporte indica que investigó el uso de plástico reciclado para la fabricación de ladrillos para construcción de mampostería no portante. Para ello utilizó mezcla de plástico de tipo Polietilen Tereftalato (PET) con cemento y agua más agregado fino. La dimensión de los ladrillos fueron 20 x 10 x 6 cm con adición de PET al 10, 25, 40, 55, 65 y 70%. (Alesmar, et, al., 2008), mezcló plástico triturado de botellas de gaseosa del tipo Tereftalato de Polietileno (PET) con cemento conformadas por 5%, 10% y 15% utilizó a la arena y piedra en proporciones que dependieron del tipo de mezcla, si es para mortero o concreto. Ambos, dicen que lograron productos de plástico recomendables para uso como mampostería.

### **El reciclaje de la semilla de aguaje y la Bioética**

Al fabricar los adoquines peatonales a través de la mezcla de plástico reciclado con semilla entera de aguaje como aglomerante nace una industria de tipo no convencional. Ésta por resolver un problema ambiental como es el reciclaje de residuo sólido no colegió con la Bioética. Al contrario, se visualizó la posibilidad de generar fuente de trabajo e ingreso económico adicional que contribuirá al bienestar de la población pues todas las personas que viven en



Pucallpa o aquellos que visitan la ciudad ya sea directa o indirectamente consumen aguaje sea en fruto, cremoladas, refresco, chupete u otra forma de uso. Lo malo de todo ello es que las semillas son arrojadas al suelo en especial a los desagües ésta es arrastrada por la escorrentía donde provoca inundaciones. En estas condiciones no se afecta a la BIOÉTICA.

La *Mauritia flexuosa* L. f. (aguaje) es una palmera de la familia de las Arecaceae muy arraigada en el trópico especialmente en selva baja donde ocupa zonas inundables con escaso drenaje llamado localmente como aguajal de allí su nombre del aguaje. (Rojas, et al., 2001), describe la parte comestible del fruto como una capa delgada de 3 a 5 mm de espesor según la variedad. La persona después de consumir el fruto arroja la semilla al suelo.

El rendimiento de un árbol de aguaje en promedio anual es 300 kg de fruto. (Bejar, 2014), afirma que el aguaje fructifica todo el año. Los meses de mayor producción y cosecha son diciembre hasta fines de febrero y junio a fines de agosto. (González, et al, 2006), asegura que el IIAP en Allpahuayo (Iquitos) tiene un banco de germoplasma de aguaje con 30 introducciones de 33 individuos cada uno. No se cuenta con estudios específicos sobre los sub producto que se deriva del fruto, pero se estima que los pucallpeños consumen unas 500 toneladas/año. Esta misma cantidad de semillas se arroja anualmente al suelo.

Un problema serio por la que no se fomenta las plantaciones de aguaje es el desconocimiento de la técnica del sexaje por la cual es difícil lograr plantaciones de aguaje de sexo femenino que son las productoras de frutos. Otro problema es la dificultad para obtener plantones en vivero pues el momento de la geminación se inicia a 12 meses después de la siembra. Cuando la semilla del aguaje está expuesto al ambiente por efecto de la insolación se descompone en tres años.

### **Temas de investigación pendiente**

Un tema importante a investigar es la reducción del costo del producto. Se ha comprobado que el costo de un adoquín de cerámica es S/ 0.80 cts. El adoquín peatonal propuesto en esta cuesta aproximadamente S/ 0.60 cts. Si se diseña una extrusora con capacidad de dilución de todo tipo de plásticos para posibilitar una producción industrial se reducirá el costo. La extrusora actual es pequeña, apenas diluye plástico de tipo PEAD. No es posible diluir altos volúmenes salvo en un tiempo prolongado. En el mercado internacional existen prototipos como los descritos por (Magos, et, al 2018), (Mamani, 2013), (Arias & Chavez, 2011) y otros que tienen características especiales para reciclar altos volúmenes de plástico.



Otra posibilidad de uso que merece una investigación es la producción de adoquines de plástico diluido con mezcla del aserrín de diversas especies forestales maderables. La Región Ucayali cuenta con una industria maderera destacada a nivel nacional. Se aprovecha intensivamente más de 30 especies forestales que implica igual número posibilidades de uso. Debe quedar claro que cada especie tiene una densidad básica y un pH distinto por ello varían sus propiedades físicas y mecánicas, por tanto, se supone que cada uno tiene un comportamiento distinto en la mezcla.

Los estudios de (Penadillo, 2020), (Dávila, 2017), (Zegarra, 2018), (Záes & Urdaneta, 2014) (García & Hilario, 2011) y otros han demostrado que los residuos sólidos que produce Pucallpa se compone de materia orgánica en mayor grado seguido de plástico y de otros materiales como son fierros, latas y vidrios. Si se pretende disfrutar de una ciudad saludable se tendrá que desarrollar investigaciones para aprovechar la materia orgánica que muy bien podría convertirse por ejemplo en abono para fertilizar cultivos.

También urge la investigación sobre obtención de adoquines de plástico triturado y de semilla de aguaje utilizando al cemento como aglutinante. Como antecedente se cuenta con la experiencia de (Díaz & Hernández, 2018), que fabricó ladrillos, bloques y contra pisos con agregados de Polietileno de Alta y de Baja Densidad (PEAD) y Finos de Perlita. Las dosificaciones con 19% de agregado plástico superaron la mínima requerida para la resistencia a la compresión. De igual modo, (Grassi & Forte, 2001), dan cuenta de un polímero de alto impacto mezclando poliestireno (PS) con jebe o borracha (polibutadiénica derivada de *Hevea brasilienses*) cuyas aplicaciones son diversas. (Más & Kirschbaum, 2011), fabricaron bloquetas con la mezcla de suelo y cemento para construir una vivienda y estudiar el efecto de la presión de fabricación.

### **La recompensa esperada**

En caso de adoptar los resultados del estudio, la recompensa es la posibilidad de lograr cero plásticos en el ambiente por limpia espontánea con participación plena de la población. Otro beneficio es la recompensa socio económica de la actividad por las operaciones de acopio, selección, lavado, empaclado, transformación, comercialización de los subproductos. El plástico hipotéticamente se convierte en un recurso de uso permanente como insumo principal de los adoquines y éstas en elementos de construcción de las veredas en calles y parques.

De igual modo la producción sostenida de adoquín peatonal contribuye a un ambiente sano con cero semillas que contamina el entorno del vecindario. Si se considera que el consumo per cápita del fruto de aguaje es un kg por cada poblador es fácil imaginar el volumen de este recurso que se desperdicia. La semilla se encuentra disperso en las calles y parques – a veces están amontonados en bermas y cunetas donde permanecen como basurales. Si se pone un



precio de este producto para efectos de fabricación de adoquines, los pobladores aprenderán a acopiar, almacenar y comercializar espontáneamente dicho insumo.

El ambiente saludable significa menos contaminación más naturalidad abundante oxígeno – salud garantizada para los pobladores. Si a ello se suma las veredas transitables construidas con adoquines peatonales propuestos en este estudio se evitará problemas de tránsito para los peatones sobre todo en periodos de lluvia. Como comentan (Záes & Urdaneta, 2014), para lograr mejoras en el manejo de residuos sólidos, en América Latina y el Caribe, se requiere voluntad por parte de los gobernantes, fuertes inversiones, así como educación continua de la ciudadanía en el tema del aprovechamiento de los residuos sólidos.

## Conclusiones

Los adoquines peatonales, después de permanecer cinco años consecutivos expuestos al pisoteo intenso de los transeúntes a la fecha se encuentran físicamente intacto. Eso sí perdió ligeramente el color, pero da a entender que su duración será ilimitada. Así queda demostrado su aptitud para la construcción de veredas.

En cuanto a la coloración, por permanecer expuesto a la insolación ha perdido el color inicial que fue azul claro volviéndose más blanquecino. Sin embargo, conserva la estética. En este caso lo que importa es el uso y el beneficio que reporta al transeúnte en su recorrido sobre las veredas. Mejor si esta es en adoquines peatonales propuestos en este estudio.

La resistencia del adoquín peatonal con cinco proporciones de mezcla de semilla de aguaje en promedio fue 4214 kg/cm<sup>2</sup> al inicio, tomando como base a este indicador se propuso a dicho adoquín como apto para la construcción de veredas. La durabilidad encontrada comprueba que la decisión fue correcta.

De igual modo, la dureza del adoquín peatonal fue 634 kg/cm<sup>2</sup>. Con base a esta información se deduce que la decisión de haber destinado a este adoquín para la construcción de veredas fue correcta. En otras palabras, el valor de la dureza es un buen indicador para asignar el uso futuro de los materiales no convencionales como en este caso que se trató del adoquín peatonal propuesto.

El estudio permite visualizar la posibilidad de reciclar los residuos sólidos entre ellos los plásticos y las semillas de aguaje, a través de la producción industrial de los adoquines peatonales. Además, la actividad constituye una alternativa de reducción de costos para las Municipalidades en las labores de acopio y manejo posterior de la basura en los vertederos, limpieza de desagües y caños naturales o quebradas.



Las futuras líneas de investigación derivadas del estudio constituyen entre otros, la producción industrial de los adoquines peatonales con un costo asequible en el mercado. Ello permitirá construir masivamente las veredas principalmente de los AA HH de la ciudad donde se necesita con mayor frecuencia este servicio. Las autoridades que dirigen los gobiernos locales de la toda la Región Ucayali y del trópico en general tienen la palabra.

## Conflictos de intereses

Los autores no poseen conflictos de intereses.

## Contribución de los autores

1. Conceptualización: Aparicio Limache Alonzo, Isaías Alberto Salinas Andrade, Guillermo Augusto Pastor Picón, Walter Lauro Pérez Terrel, Lenin Vladimir Vargas Villa, Rosa Eva Arenales López.
2. Curación de datos: Aparicio Limache Alonzo, Isaías Alberto Salinas Andrade
3. Análisis formal: Guillermo Augusto Pastor Picón, Walter Lauro Pérez Terrel
4. Investigación: Aparicio Limache Alonzo, Isaías Alberto Salinas Andrade
5. Metodología: Aparicio Limache Alonzo, Isaías Alberto Salinas Andrade
6. Recursos: Guillermo Augusto Pastor Picón, Walter Lauro Pérez Terrel
7. Software: Guillermo Augusto Pastor Picón, Walter Lauro Pérez Terrel
8. Supervisión: Aparicio Limache Alonzo, Isaías Alberto Salinas Andrade
9. Validación: Walter Lauro Pérez Terrel, Lenin Vladimir Vargas Villa, Rosa Eva Arenales López.
10. Visualización: Walter Lauro Pérez Terrel, Lenin Vladimir Vargas Villa, Rosa Eva Arenales López.
11. Redacción – borrador original: Aparicio Limache Alonzo, Isaías Alberto Salinas Andrade, Guillermo Augusto Pastor Picón, Walter Lauro Pérez Terrel, Lenin Vladimir Vargas Villa, Rosa Eva Arenales López.
12. Redacción – revisión y edición: Aparicio Limache Alonzo, Isaías Alberto Salinas Andrade, Guillermo Augusto Pastor Picón, Walter Lauro Pérez Terrel, Lenin Vladimir Vargas Villa, Rosa Eva Arenales López.

## Financiamiento

La investigación no requirió fuente de financiamiento.

## Referencias



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

- Aguilar, M., & Mamarandi, J. (2020). El presente proyecto de investigación tiene como finalidad la fabricación de adoquines con la inclusión de ceniza volcánica, que reemplazará al material cementante en diferentes proporciones de: 7%,10%, 20% y 30%, los cuales se determinan mediante la resi. Quito - Ecuador: Universidad Central de Ecuador.
- Alesmar, L. R. (et, al., 2008). Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (pet) – cemento. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela Vol 23 N° 1.
- Angumba, P. (2016). Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para mampostería no portante. Cuenca - Ecuador: Tesis de Maestría en Construcciones de la Universidad de Cuenca.
- Arévalo, B., & Arévalo, J. (2021). Adoquines de hormigón eco-amigables fabricados con la incorporación de una mezcla de micro-nano sílice. Quito - Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Arias, J., & Chavez, A. (2011). Diseño y construcción de una máquina extrusadora de plásticos para peletizar polímeros reciclados mediante el uso de microcontroladores. Ecuador: repositorio Institucional de la Universidad "EL Chimborazo".
- Aróstegui, A., & Sato, A. (1970). Estudio de propiedades mecánicas de 16 especies forestales tropicales del Perú. Revista Forestal del Perú Vol 4 N° 1 - 2, 1 - 13.
- Bejar, A. (2014). Evaluación de rodales naturales de aguaje "Mauritia flexuosa L.f" con fines de aprovechamiento sostenido en la comunidad Cametsa Quipatsi - Suaya en la region Ucayali. Iquitos - Perú.: Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Borrayes, H., & Peña, A. (2001). Estudio de factibilidad económico técnico para determinar la viabilidad de implementar la sustitución de abarco de rio por materiales plásticos en las carrocerías para automotores y el desarrollo del proceso productivo para la empresa Carrocerías Apolo. Bogotá - Colombia: Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Libre.
- Caivinagua, D. (2018). Mampostería en seco, tipo lego con ladrillo de plástico reciclado aplicado para fines de construcción emergente. Loja - Ecuador: Repositorio Institucional de Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL).
- Calzada, B. J. (1975). Métodos Estadísticos. Lima - Perú: LIMUSA.
- Dávila, F. (2017). Caracterización de los residuos solidos domiciliarios en el distrito de Manantay, provincia de Coronel Portill, Región Ucayali, Perú, 2015. Pucallpa, Perú.: Tesis de la Unidad de Posgrado, Universidad Nacional de Ucayali.



- De la Cruz, K. (2017). Emisión de metano en la incidencia de enfermedades respiratorias en la población circundante al vertedero municipal de residuos sólidos De Pucallpa, Ucayali - 2017. Pucallpa, Perú.: Tesis de pregrado, Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad Nacional de Ucayali.
- Díaz, A., & Hernández, A. (2018). Ensayo de dosificaciones para bloques, ladrillos, contrapisos de hormigón con desechos plásticos y finos de perlitas. cta de la XLI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol 6.
- Gaggino, R. (2006). Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción. Revista INVI Vol 23 N° 63, 137 -163.
- García, E., & Hilario, J. (2011). Caracterización socioeconómica de la actividad del reciclaje de residuos sólidos en los distritos de Callería, Yarinacocha, Manantay y Campo verde, provincia de Coronel Portillo-Ucayali. Investigación Universitaria Vol 5 N° 1, 86 - 93.
- Gomez, O., & Tigre, J. (2012). Proyecto de factibilidad para la implementación de una empresa recicladora de polietileno y polipropileno para la producción de madera plástica en el cantón de Loja. Loja - Ecuador: Facultad de Ingeniería Comercial de la Universidad Nacional de Loja.
- Gonzáles, A. J. (et al, 2006). Colección y evaluación de germoplasma de (*Mauritia flexuosa* L. F) aguaje en la amazonía peruana. Revista Folia Amazónica Vol. 15 N° 1 y 2.
- Grassi, V., & Forte, M. (2001). Aspectos Morfológicos e Relação Estrutura - Propriedades de Poliestireno de Alto Impacto. Ciência e Tecnologia Vol. 11, N° 3, 158 - 168.
- Hernández, R. F. (1997). Metodología de la Investigación. Mexico, Buenos Aires, Caracas, Guatemala, Lisboa, Madrid y otros: MCGRAW-HILL.
- Lazar, M., & Emery, J. (2009). Señales reflectivas permanentes para superficies de pavimentos. Buenos Aires - Argentina: 9a. Conferencia Internacional sobre Pavimentos de Adoquines de Hormigón.
- Limache, M. (2021). Dosificación de adoquín peatonal compuesto de poliestireno reciclado - escoria de la fundición de cobre de la Oroya – Pucallpa – 2021. Callao . Perú.: Universidad César Vallejo.
- Magos, M. L. (et, al 2018). Automatización de la etapa de corte de una extrusora de plástico termofijo. Revista Pistas Educativas Vol 40 N° 130.
- Mamani, E. (2013). Diseño y automatización de una planta de extrusión de plástico reciclado utilizando PLC micrologix 1100 de Allen- Bradley. Puno - Perú.: Tesis de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas de la Universidad Nacional del Altiplano.





- Más, J., & Kirschbaum, C. (2011). Ensayos de resistencia a la compresión de bloques de suelo cemento. *Informes de la Construcción* Vol. 63, N° 524. , 43 - 48.
- Medina, B., & Vera, W. (2015). Estudio de factibilidad para la fabricación y comercialización de madera sintética aglomerada en la parroquia Atahualpa, provincia de Santa Elena, para disminuir la Deforestación en Ecuador. Guayaquil - Ecuador: Facultad de Ciencias Administrativas de la Universidad de Guayaquil.
- Najar, S., & Huamán, F. (2021). Evaluación de características fotocatalíticas de adoquines para obras de infraestructura vial adicionado con TiO<sub>2</sub> (Dióxido de titanio) en Arequipa 2021. Arequipa, Perú.: Universidad Católica de San Pablo, .
- Penadillo, A. (2020). Evaluación de granulometría y proporción de mezcla en las propiedades físicas y mecánicas de material compuesto por cuesco de palma aceitera del género *Elais* con plástico tipo polipropileno reciclado (Ppr). Pucallpa - Perú.: Repositorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali.
- Rincón, L. R. (et al, 2016). Madera plástica. Un producto amigo del planeta. *Revista Semilleros*, Vol. 3 N° 5, 41 - 48.
- Rojas, R. R. (et al., 2001). Comercialización de masa y fruto verde de *Mauritia flexuosa* (Aguaje) en Iquitos - Perú. *FOLIA AMAZÓNICA* VOL. 12 , 1 - 12.
- Sinarahua, L. (2020). Diseño y evaluación del esfuerzo a compresión del adoquín tipo II con incorporación de escoria de horno artesanal, Soritor 2020. Moyobamba - Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Victoria, F. M. (et al, 2012). Alternativas para fortalecer la valorización de materiales reciclables en plantas de manejo de residuos sólidos en pequeños municipios. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* Vol. 22, N°. 1.
- Záes, A., & Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Revista Omnia* Vol 20 N° 3, 121 - 135.
- Zegarra, M. (2018). Caracterización socioeconómica de la actividad del reciclaje de residuos sólidos en los distritos de Callería, Yarinacocha, Manantay y Campo verde, provincia de Coronel Portillo-Ucayali. Pucallpa, Perú.: Tesis de la Unidad de Posgrado, Universidad Nacional de Ucayali

