



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i5.2240>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de investigación

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

Mechanical behavior of the concrete paver adding organic residues from the corn
Atividade física em idosos

Comportamento mecânico do pavimentador de concreto adicionando resíduos orgânicos do milho

Jonathan Bolívar Varas-Ramírez ^I
jonathanvaras_31@hotmail.com
<http://www.orcid.org/0000-0002-9193-7215>

Javier Nicolás Areche-García ^{II}
jarecheg@ulvr.edu.ec
<http://www.orcid.org/0000-0002-0985-9482>

Correspondencia: jonathanvaras_31@hotmail.com

***Recibido:** 23 de julio 2021 ***Aceptado:** 20 de agosto de 2021 * **Publicado:** 09 de septiembre de 2021

- I. Estudiante en la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Laica (Egresado), Residente de Obra en la empresa JCDecaux Ecuador S.A.
- II. PhD en Ciencias para el Desarrollo Estratégico, Magíster Scientiarum en Gerencia Empresarial, Ingeniero Civil, Abogado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción, Carrera de Ingeniería Civil, Docente investigador.

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

Resumen

Los adoquines de hormigón son piezas para la construcción de pavimentos, colocadas en vías vehiculares urbanas, mercados, áreas residenciales y para tránsito peatonal, en aceras, jardines, plazas públicas, entre otros. Son unidades elaboradas con cemento, arena, agua y otros materiales naturales. Uno de estos materiales es la fibra de la hoja de la mazorca de maíz. Luego de la incorporación de la viruta de la hoja de la mazorca de maíz, al adoquín de hormigón, resulta ser un producto de calidad y ecológico. El objetivo general de este artículo, es analizar el comportamiento mecánico del adoquín de hormigón con residuos orgánicos del maíz. Esta investigación es de tipo experimental, con enfoque cuantitativo. Se fabricaron 48 adoquines distribuidos uniformemente con resistencias $f'c=250\text{kg/cm}^2$ y $f'c=300\text{kg/cm}^2$. Bajo las especificaciones de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3040-2016 sobre Adoquines de hormigón y Norma INEN 1485 Adoquines. Determinación de la Resistencia a la compresión. Luego de la incorporación de las virutas de la hoja de la mazorca de maíz se determinó que a medida que disminuye la cantidad de estos residuos, las muestras presentaron buena apariencia visual, en relación a su forma y dimensión, la adherencia entre los materiales también aumentó. Como resultado del comportamiento mecánico del adoquín arrojó los siguientes valores: 24,54 Mpa y 250,25kg/cm², con un índice de absorción de 6,08 % y peso de 1,3 kg, es decir, el adoquín tiene un valor de rotura y resistencia a la compresión, dentro de las especificaciones técnicas de las normas ecuatorianas, siendo unas piezas de calidad, más livianas y ecológicas.

Palabras claves: Resistencia a la compresión; adoquines; hormigón; hoja de maíz; dosificación.

Abstract

Concrete pavers are pieces for the construction of pavements, placed in urban vehicular roads, markets, residential areas and for pedestrian traffic, on sidewalks, gardens, public squares, among others. They are units made with cement, sand, water and other natural materials. One of these materials is the fiber of the corn cob leaf. After the incorporation of the chip of the corn cob leaf, to the concrete paving stone, it turns out to be a quality and ecological product. The general objective of this article is to analyze the mechanical behavior of concrete pavers with organic residues from corn. This research is experimental, with a quantitative approach. 48 evenly distributed pavers were manufactured with strengths $f'c = 250\text{kg} / \text{cm}^2$ and $f'c = 300\text{kg} / \text{cm}^2$. Under the specifications of the Ecuadorian Technical Standard NTE INEN 3040-2016 on Concrete Pavers and INEN 1485 Pavers. Determination of compressive strength. After incorporating the corn cob leaf chips, it was determined that as the amount of these residues decreases, the samples presented good visual appearance, in relation to their shape and dimension, the adherence between the materials also

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

increased. . As a result of the mechanical behavior of the paving stone, it yielded the following values: 24.54 MPa and 250.25kg / cm², with an absorption rate of 6.08% and a weight of 1.3 kg, that is, the paving stone has a value of breakage and resistance to compression, within the technical specifications of Ecuadorian standards, being quality pieces, lighter and more ecological.

Keywords: Compressive strength; paving stones; concrete; corn husk; dosage.

Resumo

Os pavimentadores de concreto são peças para a construção de pavimentos, colocados em vias urbanas de veículos, mercados, áreas residenciais e para circulação de pedestres, em calçadas, jardins, praças públicas, entre outros. São unidades feitas com cimento, areia, água e outros materiais naturais. Um desses materiais é a fibra da folha do sabugo de milho. Após a incorporação do cavaco da folha do sabugo de milho à laje de concreto, torna-se um produto de qualidade e ecológico. O objetivo geral deste artigo é analisar o comportamento mecânico de pavimentadoras de concreto com resíduos orgânicos de milho. Esta pesquisa é experimental, com abordagem quantitativa. Foram fabricadas 48 pavimentadoras uniformemente distribuídas com resistências $f'c = 250\text{kg} / \text{cm}^2$ e $f'c = 300\text{kg} / \text{cm}^2$. De acordo com as especificações da Norma Técnica Equatoriana NTE INEN 3040-2016 para Pavimentadoras de Concreto e INEN 1485 Pavimentadoras. Determinação da resistência à compressão. Após a incorporação dos cavacos da folha do sabugo de milho, constatou-se que à medida que a quantidade desses resíduos diminui, as amostras apresentam bom aspecto visual, em relação à sua forma e dimensão, a aderência entre os materiais também aumenta. Como resultado do comportamento mecânico da pedra de pavimentação, foram encontrados os seguintes valores: 24,54 MPa e 250,25kg / cm², com índice de absorção de 6,08% e peso de 1,3 kg, ou seja, a pedra de pavimentação possui um valor de quebra e resistência à compressão, dentro das especificações técnicas das normas equatorianas, sendo peças de qualidade, mais leves e ecológicas.

Palavras-chave: Resistência à compressão; pedras de pavimentação; concreto; palha de milho; dosagem.

Introducción

El empleo de adoquines para la pavimentación de vías de comunicación es muy antiguo, desde más de 20 siglos, cuando el poderío militar tenía la necesidad de crear carreteras seguras, limpias y rápidas; con la finalidad de desplazar los productos, de avivar el comercio y facilitar el transporte de las tropas

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

del ejército. Es necesario nombrar que la primera calzada construida fue de piedra basáltica de forma poligonal con una longitud de un metro de ancho (Cortabarra, 2016).

Los primeros adoquines, eran piedras en estado natural, sin tallar, provocando incomodidades en el transporte. Posteriormente, se seguían utilizando adoquines de piedra, pero talladas, pero por su complejidad se comenzaron a sustituir por adoquines de arcilla cocida, y algunas veces por tabloncillos de madera, pero fueron descartados por su pronto desgaste de la superficie. En el inicio de la Segunda Guerra Mundial se comenzaron a utilizar moldes individuales para fabricar adoquines de arcilla y hormigón. En los años siguientes, en Alemania comenzaron a observar que el adoquín de hormigón era más eficiente que el de arcilla, debido a la capacidad de resistencia y durabilidad, motivo por el cual se comenzó a industrializarlos y fabricar a mayor escala, en diferentes formas y tamaños utilizando máquinas fibrocompresoras (Cortabarra, 2016).

Durante muchos años, se han construido caminos de adoquines de hormigón, para pavimentar carreteras, de tránsito pesado como para otras vías de comunicación, para áreas industriales, debido a su alta resistencia al impacto y que no sufre daños estructurales por causa de derrames de aceites. Martínez (2016) indica que en zonas donde se producen asentamientos diferenciales, la superficie construida con adoquines tiende a “tener un comportamiento flexible sin dejar su continuidad, y si el hundimiento local es excesivo existe la ventaja que los adoquines pueden ser levantados y ser colocados nuevamente para la inmediata circulación de vehículos” (p.1).

En la actualidad, los profesionales de la ingeniería, han estado desarrollando acciones técnicas para el sector de la construcción. Andrade y Quiroz (2020) revelan que se están aplicando nuevas tecnologías, materiales y herramientas de uso ecológico que ayudan a obtener mejores resultados en los procesos de fabricación de los adoquines de hormigón, siendo este uno de los más utilizados en la pavimentación de calzadas durante los últimos años, y se ha incrementado considerablemente su uso por su fácil maniobrabilidad, disminución de costos, menor tiempo de fabricación y colocación, entre otros factores.

En los procesos de fabricación de los adoquines de hormigón, deben optar por la utilización de materiales convencionales y ecológicos para que alcancen los parámetros de calidad. Gracias a investigaciones realizadas por ingenieros civiles para el diseño de dosificaciones de la mezcla en la fabricación de adoquines que se elaboren a un bajo costo, pero que resulten un producto de calidad, que cumpla con las normas ecuatorianas.

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

Estas dosificaciones en los materiales, son para lograr un producto de calidad, ecológico y amigable con el medio ambiente. Castillo et al. (2015), manifiestan que “actualmente la preocupación por la relación entre el hombre y el entorno ambiental ha puesto el interés de muchos ingenieros en realizar un producto diferente y ecológico con el manejo de residuos en el sector constructor” (p.6).

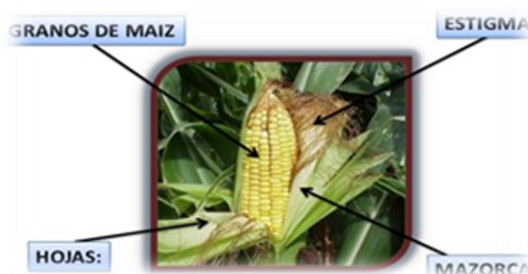
Por otro lado, Poveda et al. (2015) señalan que se han desarrollado numerosos estudios para obtener un beneficio en el sector construcción en el empleo de agregados no convencionales en la elaboración de mezclas de hormigón, para disminuir el sobreconsumo de agregados como de cemento y arena. Estos autores afirman que entre los materiales orgánicos analizados previamente se encuentran el bagazo de caña y la estopa de coco; aprovechando estas materias primas que anteriormente eran descartados, desconociendo que estos residuos mejoran las propiedades del hormigón.

Por ello, esta investigación analiza como agregado orgánico a la fibra de la hoja de la mazorca de maíz (*Zea Mays*), ya que es una planta que se produce en todo el territorio ecuatoriano, a excepción de los páramos. En las diversas regiones se cultivan 29 variedades de maíz (El Telégrafo, 2020). En la actualidad en el Ecuador, se generan grandes desperdicios de las hojas de la mazorca de maíz, debido al gran crecimiento de la producción y cosecha agrícola, se genera grandes desechos que no son reutilizados y son causantes de la contaminación del medio ambiente.

La mazorca o fruto del maíz está comprendida por los estigmas, hojas, granos y el corazón de la mazorca también llamada olote, las cuales cuando la planta madura se hace la recolección de mazorcas. El grano o semilla es el fruto de la mazorca los cuales se encuentran conectados con el olote o raquis cilíndrico (MAGYP, 2017). A continuación en la figura 1, se muestra las partes de la mazorca de maíz.

Figura 1.

Partes de la mazorca de maíz.



Fuente: MAGYP, 2017.

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

La hoja del maíz, expresan Domínguez y Loor (2018), son “secas, rugosas y frágiles que cubre o protege la parte exterior de la mazorca de maíz y además son residuos agrícolas que generaran grandes cantidades después de la cosecha del maíz” (p.8). Los residuos orgánicos del maíz poseen gran cantidad de fibras naturales, las cuales crean una opción ecológica al momento de elaborar un material de construcción sostenible, con la finalidad de que pueda ser utilizado en los espacios de circulación en una ciudad.

MAGYP (2017), manifiestan que esta fibra es considerada como un material base del futuro para la construcción. Debido a que la composición de los “monocristales de celulosa” que provienen de los desechos, son ligeros, resistentes a la tracción, menos contaminantes y más baratos haciéndolo sostenible para elaborar nuevos materiales más resistentes que el acero.

Generalmente, luego de limpiar la mazorca de maíz, queman los rastrojos o residuos de maíz provenientes de los cultivos, afectando directamente a las propiedades químicas, físicas, biológicas y minerales del suelo. De la misma manera, afecta a la contaminación ambiental con la generación de humo y liberando grandes cantidades de gases como el monóxido de carbono, compuestos nitrogenados, hidrocarburos, y otros materiales que contaminan la atmósfera, aumentando el calentamiento global, acrecentando la polución ambiental perjudicando al medio ambiente y la salud del ser humano (Domínguez y Loor, 2018).

A partir de esta investigación, se busca mitigar el impacto ambiental que causa los residuos de la hoja de mazorca de maíz al no ser reciclados, especificando el proceso productivo, constructivo y ambiental con la intención de transformar esta materia prima en un material de construcción ecológico y resistente.

El objetivo general de este artículo es analizar el comportamiento mecánico del adoquín de hormigón con la adicción de residuos orgánicos del maíz, a través de la identificación de las características físicas de la hoja de maíz, determinar la dosificación adecuada de la viruta de la hoja de la mazorca de maíz para la elaboración de un adoquín de hormigón y la elaboración de un prototipo de adoquín de hormigón fabricado con residuos orgánicos de maíz y se planteó la siguiente hipótesis: ¿la adición de la viruta de la hoja de la mazorca de maíz mejorará la resistencia a la compresión y rotura con respecto al adoquín tradicional?.

Dentro de la normativa legal, la Constitución de la República del Ecuador (2008), avala la investigación de nuevas técnicas para la fabricación de elementos para la construcción de obras, aplicando residuos orgánicos agroalimentario. En la sección octava, en el apartado Ciencia,

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

tecnología, innovación y saberes ancestrales en el artículo 385, en relación al marco del respeto al medio ambiente, a las culturas, la naturaleza y la vida, expresa: que se pueden “generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos” (p.173). Del mismo modo, se puede “desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir” (p.173).

La incorporación de estos residuos orgánicos del maíz, en el adoquín de hormigón trae consigo múltiples ventajas, entre ellas se encuentran: Escasos gastos de conservación y mantenimiento; resistencia a combustibles, aceites, grasas; elemento constructivo ecológico y resistente a las diferentes cargas. Los adoquines son piezas prismáticas fabricadas de hormigón y en este caso con adicción de fibra de la hoja de la mazorca de maíz, posee una geometría que permite el ensamblaje con otras piezas similares para obtener una superficie estable (IECA, 2014).

Materiales y métodos.

La presente investigación corresponde a una metodología experimental, ya que se manipulan las variables independientes de manera intencional, las variables dependientes son medibles, llevan un control y se validan a través de instrumentos (Hernández, Fernández, y Baptista, 2012). A través de la experimentación, se analiza el comportamiento mecánico del adoquín de hormigón con la adición de los residuos orgánicos de la mazorca del maíz, con la finalidad de ensayar la dosificación de los materiales para fabricar los prototipos y determinar las resistencias mediante ensayos manuales y de laboratorio. Además de generar comparaciones entre un adoquín tradicional y el experimental. El enfoque utilizado es cuantitativo ya que el objetivo es analizar y demostrar el comportamiento mecánico de las muestras ensayadas.

Para el proceso de elaboración de los prototipos de adoquines con la adición de la viruta de la hoja de la mazorca de maíz se empleó para ello la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3040-2016 sobre Adoquines de hormigón, en relación a la Resistencia a la compresión y rotura y Absorción de agua. Los instrumentos utilizados para los ensayos fueron la Máquina Universal (Resistencia a la compresión y rotura) y un Recipiente con agua (Absorción de agua).

La confiabilidad de los resultados obtenidos, se debe a los ensayos fueron realizados en máquinas totalmente calibradas y equipos que eficaces que garantizan la veracidad. Los ensayos fueron ejecutados en la empresa GEOCIMIENTOS S.A. contando con los certificados y permisos para ofrecer resultados exactos.

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

La población, formada por un conjunto de prototipos de adoquines tradicionales. Por otro lado, se fabricaron 48 adoquines con la adición de la viruta de la hoja de la mazorca de maíz. Para un diseño de resistencia a la compresión de $f'c=250$ kg/cm², se produjeron 24 ejemplares de adoquines, divididos para 4 dosificaciones distintas. Del mismo modo, utilizando para el ensayo a la compresión a los 7, 14 y 28 días luego de elaborados, dejando otra muestra para los ensayos de absorción de agua. Para la resistencia a la compresión de $f'c=300$ kg/cm², se emplearon otros 24 muestras, con la misma disposición para ellos como se explicó anteriormente. La muestra para este ensayo será igual que la utilizada en la población por ser extremadamente pequeña.

En relación al proceso de producción de los prototipos, es necesario recolectar primeramente la materia prima. El acopio de las mazorcas de maíz se realizó en la hacienda La Esperanza, ubicada en el cantón Quevedo en la provincia de Los Ríos. El proceso de extracción de la viruta comienza con la separación de la mazorca, las espigas y las hojas del maíz, verificando cuidadosamente que cada unidad no tenga hongos o plagas. Una vez separadas las hojas se colocan al sol por 72 horas para eliminar toda la humedad que contenga. Luego del secado al sol, las hojas se colocan en un triturador hasta obtener la viruta deseada.

Inmediatamente, se lava la viruta con suficiente agua para eliminar todas las impurezas que pueda contener. Luego, se coloca nuevamente al sol sobre un plástico de color negro durante 24 horas más, para obtener una fibra seca y limpia, es decir, en condiciones óptima para ser utilizada en el proceso de elaboración de los adoquines. En la figura 2, se puede observar el proceso de extracción óptima de la viruta para utilizarla en los adoquines.

Figura 2

Proceso de extracción de la viruta de la hoja de la mazorca de maíz.



Fuente: Varas, 2021.

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

Luego del proceso para la obtención de la fibra, se registraron las características más relevantes de la viruta (tamaño, color y aspecto). En la tabla 1, se exponen las particulares significativas de la fibra de la hoja de la mazorca de maíz al finalizar cada uno de los procesos.

Tabla 1. Características físicas de la viruta.

CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
Tamaño	20 a 30 mm
Color	Crema claro
Aspecto	Liviano y resistente.

Fuente: Varas, 2021.

Para la fabricación de los prototipos de adoquines, se implementó las especificaciones y normas técnicas de acuerdo a la Norma NTE INEN Adoquines de hormigón 3040 2016. Elaborándose 2 diseños de resistencia a la compresión, con la intención de obtener y analizar el comportamiento de adherencia de la viruta en el proceso de fabricación de los adoquines. Los adoquines fueron producidos en el taller artesanal MAGACALIZAS TSA. Los materiales convencionales fueron extraídos de la cantera San Luis.

En la preparación de la mezcla, se debe seleccionar los materiales idóneos para el proceso de elaboración, los cuales son: la viruta de la hoja de la mazorca de maíz, arena volcánica, cemento y agua libre de impurezas, con la finalidad de que los agregados puedan adherirse sin ningún inconveniente, y resulte un producto de calidad.

Para la fabricación de los prototipos, se diseñaron 2 resistencias ($f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$), con 4 dosificaciones diferentes para cada uno, para un total de 24 prototipos de adoquines para cada resistencia. En la tabla 2 se presenta la dosificación para $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 2. Dosificación de los prototipos de adoquines con $f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$, adicionándole la viruta de la hoja de la mazorca de maíz.

Resistencia 250 kg/cm ²				
Cantidad M2	60U			
Peso por Unidad	1.30 Kg			
	Cemento	Arena Volcánica	Agua	Residuo del maíz
Dosificación 1	1	2,5	0,5	0,06%
	50 kg	0.055 M3	0,50 L	0,06%
Dosificación 2	1	3,5	0,75	0,10%

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

	50 kg	0.077 M3	0,75 L	0,10%
Dosificación 3	1,5	4	1	0,15%
	75 kg	0.088 M3	1,00 L	0,15%
Dosificación 4	1	3	0,75	0,07%
	50 kg	0.066 M3	0,75 L	0,07%

Fuente: Varas, 2021.

La dosificación presentada en la tabla 1, son para elaborar 60 unidades de adoquines con una resistencia de $f'c=250\text{kg/cm}^2$. En la tabla 3, se muestra la dosificación para fabricar 50 unidades de resistencia de $f'c=300\text{ kg/cm}^2$.

Tabla 3. Dosificación de los prototipos de adoquines con $f'c$ 300 Kg/cm², adicionándole la viruta de la hoja de la mazorca de maíz.

Resistencia 300 kg/cm ²				
Cantidad M2	50U			
Peso	1.30 Kg			
	Cemento	Arena Volcánica	Agua	Residuo del maíz
Dosificación 1	1	3	0,5	0,08%
	50 kg	0.066 M3	0,50 L	0,08%
Dosificación 2	1	4	0,75	0,20%
	50 kg	0.088 M3	0,75 L	0,20%
Dosificación 3	1,5	3,5	1	0,10%
	75 kg	0.077 M3	1,00 L	0,10%
Dosificación 4	1	2	0,5	0,15%
	50 kg	0.044 M3	0,50 L	0,15%

Fuente: Varas, 2021.

Una vez establecidas las dosificaciones de cada uno de los materiales para la construcción de adoquines, se procede a colocar los materiales en un cajón para mezclar de una manera envolvente hasta que los materiales están debidamente unidos, sin grumos y completamente en estado suelto. En la figura 3, se observa el proceso de mezclado realizado manualmente.

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

Figura 3

Proceso de mezclado de los materiales



Fuente: Varas, 2021.

Luego de obtenida la mezcla, se procede al moldeado, el cual consiste en verter uniformemente la mezcla suelta en el molde hasta el nivel superior del marco del adoquín para posteriormente vibrarlo, eliminar el aire y los vacíos que pueda contener la muestra. Con el uso de una regla metálica, se nivela y se retiran los excesos de material, como se observa en la figura 4:

Figura 4.

Moldeado del material.



Fuente: Varas, 2021.

Luego se coloca el tapón en el marco y se presiona con la finalidad de que la mezcla se vaya compactando, y llenarlo hasta completar el molde. Es indispensable realizar este procedimiento las

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

veces que sean necesarias hasta que la mezcla compactada este al nivel del marco de adoquín. En la figura 5 se observa este procedimiento:

Figura 5.

Compactado del material dentro del molde de adoquín.



Fuente: Varas, 2021.

Para finalizar con el proceso de fabricación de las prototipos, el molde compactado es llevado a la prensa hidráulica donde recibirá el prensado final con una fuerza de compresión de 2000 PSI. En la figura 6 se observa el proceso de prensado del adoquín:

Figura 6.

Prensado del adoquín dentro de su molde.



Fuente: Varas, 2021.

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

Terminado el proceso de prensado, se ejecuta el almacenamiento de los adoquines, el cual consiste en ubicar las muestras en un lugar protegido del sol, agua y vientos, preferiblemente bajo cubierta, es decir, con un material plástico durante el tiempo de espera para realizar los ensayos de resistencia que por lo general es a los 7, 14 y 21 días. En la figura 7, se encuentran los adoquines durante su almacenamiento.

Figura 7.

Almacenamiento de los adoquines con la adición de la viruta de la hoja de maíz.



Fuente: Varas, 2021.

Finalizado el proceso de elaboración y almacenamiento de los adoquines con residuos orgánicos del maíz, donde se adquieren las resistencias indicadas, se procede a realizar los ensayos de la resistencia a la compresión. Mediante una inspección visual de los 48 adoquines fabricados con las resistencias establecidas y con la adición de las virutas de las hojas de la mazorca de maíz, son idóneos para realizarle los ensayos de laboratorio, de acuerdo a las especificaciones y recomendaciones de la Norma INEN 1485 “Adoquines. Determinación de la Resistencia a la compresión”; y para el ensayo de absorción de agua se adoptó las especificaciones de la Norma INEN 3040 2016 “Adoquín de Hormigón. Requisitos y Métodos de ensayos”.

Resultados y análisis

A continuación, se hizo el proceso de experimentación con las dosificaciones planteadas, con los materiales que componen el adoquín en estudio, cumpliendo con las especificaciones técnicas de la Norma Ecuatoriana INEN 3040 2016.

Los valores de cada dosificación de los prototipos de adoquín de hormigón con adición de la viruta de la hoja de la mazorca de maíz, se diseñaron con referencia a los valores establecidos en el taller artesanal MEGACALIZAS TSA, de acuerdo a las normativas. Durante todo el proceso de

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

fabricación, la dosificación y resultados estuvieron supervisados por un técnico experimentado en esa área.

Análisis físicos de los adoquines en estudio

Los resultados obtenidos luego de la fabricación de los adoquines de hormigón con residuos orgánicos del maíz con $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, se puede observar en la tabla 4:

Tabla 4.

Dosificaciones individuales para cada adoquín.

PROTOTIPO	CEMENTO	ARENA	AGUA	RESIDUO DEL MAÍZ	Peso
1	600g	450g	400 ml	760 g	1532,5 g.
2	450 g	800 g	150 ml	500 g	1276,5 g.
3	700 g	500 g	200 ml	400 g	1204,0 g.
4	700 g.	600 g.	250 ml.	200 g.	1305,5 g.

Fuente: Varas, 2021.

El prototipo 1, luego de finalizado el fraguado dentro del molde, se observó que debido a la dosificación de los materiales: cemento, agua, la cantidad de viruta de la hoja de la mazorca de maíz y la baja cantidad de arena volcánica en el proceso de fabricación del adoquín en estudio, este no fraguó completamente en el momento de desmoldarlo, quedando descartado inmediatamente como parte del estudio.

En relación al prototipo con la dosificación 2, presentó inconvenientes al finalizar el proceso de fabricación, la cantidad de cemento fue menor, se aumentó la cantidad de arena y se redujo la cantidad de agua y de la viruta. La mezcla finalizada resultó de aspecto seco, poca consistencia y sin adherencia entre los materiales. En el tiempo de fraguado, desmolde y almacenamiento los modelos se desintegraban por el contado o choque entre muestras. Esto se debe, porque la muestra tenía bajo volumen de agua, poca cantidad de cemento y alta dosis de arena volcánica, la cual produjo las fisuras y descamaciones en la muestra estudiada.

El prototipo 3, en el momento de desmoldado, no presentó ningún inconveniente de fraguado. Sin embargo, al dosificarlo con esa cantidad de arena, presentan oquedades y porosidades. Este inconveniente se manifiesta por la baja cantidad de arena volcánica y la cantidad de fibra que se adiciona en el proceso de dosificación de las muestras.

Para el prototipo 4, se puede concluir que la dosificación es idónea, ya que las muestras presentaron características visuales satisfactorias, ya que posee excelente consistencia de la pasta, buena

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

adherencia de los materiales, máximo fraguado durante el desmolde, buena apariencia física y excelente forma. Además, comparándolo con un adoquín convencional tiene menor peso. Es por ello, que se toma como referencia las muestras de este prototipo para realizarle los ensayos de calidad. En la figura 8, se puede observar el resultado de los prototipos diseñados.

Figura 8.

Resultado de los prototipos de acuerdo a la dosificación.



Fuente: Varas, 2021.

Para los resultados obtenidos de los adoquines de hormigón con residuos orgánicos del maíz y $f'c=300$ kg/cm², una vez concluido el proceso de elaboración, se evidenció que ninguno de los prototipos para esta dosificación fraguaron. Esto es producto de que, ninguno de las muestras alcanzó la adherencia necesaria para que la pieza permaneciera completa. Motivo por el cual, esta resistencia queda totalmente descartada para realizar los análisis de los resultados en los ensayos de calidad.

Ensayos normalizados de los adoquines en estudio

Al finalizar el desmolde y la inspección visual de las muestras para cada dosificación, se debe esperar el tiempo adecuado para realizarle los ensayos de calidad a los adoquines de acuerdo a su dosificación. Estos ensayos fueron:

1. **Ensayo de absorción de agua:** este ensayo fue realizado bajo las especificaciones técnicas de la Norma INEN 3040 2016, y se tomó las muestras de la dosificación 2, 3 y 4, las mismas que

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

durante las pruebas físicas presentaron distintos valores de peso de masa. Los resultados se puede observar en la tabla 5:

Tabla 5.

Resultados del ensayo de absorción de agua.

DOSIFICACIÓN	PESO NATURAL (g)	PESO SATURADO (g)	PESO SECO (g)	Abs. %
2	1276,5	1384,5	1243,1	11,37
3	1204,0	1329,0	1163,0	14,09
4	1325,5	1381,5	1302,2	6,08

Fuente: Varas, 2021.

En la tabla 5, de acuerdo a los valores obtenidos durante el ensayo de absorción del agua, los modelos con las dosificaciones 2 y 3, el porcentaje del índice de absorción está por encima que el valor normalizado. Este inconveniente se debe a la falta de arena volcánica por ende la presencia de vacíos o de porosidad del mismo material permite que la absorción del agua se exceda. Por otro lado, el prototipo 4, los resultados que determinó la prueba favorecen al proceso de producción, debido a que durante el cálculo matemático el índice de absorción está en el límite de los estándares permitidos que indica la norma. En la figura 9, se demuestra el ensayo de absorción en las muestras seleccionadas:

Figura 9.

Proceso del ensayo de absorción de agua de los prototipos 2, 3 y 4.



Fuente: Varas, 2021.

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

Ensayo de resistencia a la compresión y rotura: finalizado el ensayo anterior, y determinado que la dosificación 2 y 3 superan el índice de absorción establecido por la norma también se descartarán para el ensayo de resistencia a la compresión. Solo a las muestras fabricadas con la dosificación 4, se les aplicaran una fuerza que permite establecer la carga y el esfuerzo que soporta antes de romperse. En la tabla 6, se exhibe los resultados del ensayo a la resistencia a la compresión de acuerdo a la Norma NTE INEN Adoquines de hormigón 3040 2016.

Tabla 6.

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del prototipo 4.

Muestra No.	Ancho mm	Longitud mm	Peso kg	Espesor mm	Fecha de toma	Fecha de rotura	Edad (Días)	Carga Kg	Esfuerzo Kg/cm ²
2	203	98,8	1,178	65.3	1/7/2021	15/7/2021	14	38764	193,15
3	200	100,2	1,300	80.2	1/7/2021	29/7/2021	28	49940	250,25

Fuente: Varas, 2021.

En la tabla 6, se ensayaron 3 muestras de la dosificación 4, en diversas edades de los adoquines, estableciéndose una carga máxima admisible variaba dependiendo de la edad. Cabe mencionar que mientras más transcurrían los días, mayor fue la carga y el esfuerzo de resistencia. La muestra con la dosificación 4, alcanzó satisfactoriamente el ensayo a la compresión. El comportamiento mecánico del adoquín, aumento de acuerdo aumentaban los días de fraguado correspondiente para el ensayo final de los 28 días, alcanzando un resultado satisfactorio. En la siguiente figura 10, se observa el ensayo aplicado a las muestras.

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

Figura 10.

Ensayo de resistencia a la compresión y rotura.



Fuente: Varas, 2021.

Análisis comparativo de los resultados con adoquín tradicional

Como resultado de la dosificación 4, de cemento, arena volcánica, agua y la adición de virutas de la hoja de la mazorca del maíz, se obtuvo un adoquín de forma rectangular, con dimensiones de 20cm de largo, 10cm de ancho y un espesor de 8cm. De acuerdo a su uso y diseño es de Tipo A, con capacidad de tránsito peatonal, con una resistencia de 24,54 Mpa ($250,25 \text{ Kg/cm}^2$), índice de absorción de 6,08% y un peso de 1,300 kg. Mientras que un adoquín tradicional con las mismas características físicas de forma, uso, capacidad y diseño los valores por la norma son de 24,50 Mpa. (250kg/cm^2) para la resistencia, índice de absorción de 7% y peso de 3,5 kg.

En tabla 7, se caracterizan los adoquines comerciales, de acuerdo a los valores establecidos en su ficha técnica, estos presentan similitudes en las dimensiones. En relación del valor de peso unitario es distinto para un adoquín tradicional, es decir, es más pesado que el estudiado. El tradicional presenta un peso de 3,5 Kg, mientras que para para el adoquín en estudio tiene un peso de masa de 1,3 kg. Con respecto a los valores de resistencia a la compresión y rotura la diferencia es mínima; siendo el adoquín con viruta de la hoja de la mazorca de maíz, un poco más resistente (0,25 kg), mientras que el valor del índice de absorción de adoquín tradicional es mayor (7 %) con respecto al estudiado en esta investigación (6,08 %).

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

Tabla 7.

Caracterización de un adoquín tradicional y el estudiado con virutas de hojas de la mazorca de maíz.

FICHA TECNICA

ADOQUÍN PARA TRÁNSITO PEATONAL (TIPO A)		
	TRADICIONAL	ECOLOGICO
DIMENSIONES cm	20x10x8	20x10x8
PESO UNITARIO	3,5 kg	1,3 kg
PESO M2	175 kg	65 kg
CANTIDAD POR M2	50 U	50Uu
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	250 kg/cm ²	250,25 kg/cm ²
ABSORCIÓN	7% menor	6,08%

Fuente: Varas, 2021.

Comportamiento del adoquín de hormigón con la adición del residuo orgánico de la hoja de la mazorca de maíz

La viruta de la hoja de la mazorca de maíz previamente tratada se adiciona a las distintas dosificaciones para la fabricación de un adoquín de cemento, arena volcánica y agua, en la que se evidencia que al colocarle mayor cantidad de fibra a las muestras se observa que la capacidad de adherencia de los materiales disminuye.

En la tabla 8, se observa que a medida que disminuye la cantidad de residuos del maíz, las muestras presentaron buena apariencia visual, en relación a su forma y dimensión, la adherencia entre los materiales también aumenta. Además de que aumenta la resistencia a la compresión.

Tabla 8.

Caracterización física y mecánica de los prototipos de adoquín en estudio.

PROTOTIPO	Residuo del maíz	Peso	% Absorción	Resistencia a la compresión Kg/cm² 28 días
1	760 g	1532,5 g.	-----	-----
2	500 g	1276,5 g.	11,37	-----
3	400 g	1204,0 g.	14,09	-----

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

4	200 g.	1305,5 g.	6,08	250,25
---	--------	-----------	------	--------

Fuente: Varas, 2021.

Conclusiones

En cuanto a las características físicas de la hoja de la mazorca de maíz, se determinó que el mejor procedimiento para obtención de la fibra es a través del lavado, triturado y secado, obteniéndose un color crema, aspecto ligero y resistente, y de tamaño entre 2 y 3 cm, ideal para adicionarlo a la mezcla de cemento, arena y agua, para la elaboración de los adoquines ecológicos. Se determinó a través de la experimentación que al aumentarle la cantidad de fibra en la mezcla, se lograba una pasta seca, con poca adherencia de los materiales y con mayor peso, mientras que al disminuirle la cantidad de la fibra se obtuvo un adoquín compacto. Con respecto a la disminución de la cantidad de cemento y de agua en el proceso de mezclado de materiales, las muestras durante el desmolde, su tendencia fue desintegrarse al contacto con otras muestras, debido a la poca consistencia y a la ausencia de adherencia entre los materiales, además de presentar fisuras y descamaciones durante el tiempo de almacenamiento.

La dosificación adecuada para la fabricación de adoquines de hormigón con la adición de la viruta de la hoja de la mazorca de maíz es: 700 g. de cemento, 600 g. de arena volcánica, 250 ml agua y 200g. de fibra de maíz, resultando un adoquín liviano de 1,3 kg. con respecto a un adoquín tradicional. Se determinó las dimensiones adecuadas estandarizadas de: 20cm de largo, 10 cm de ancho y un espesor de 8cm, según su diseño y uso es Tipo A, para una capacidad de tránsito peatonal.

De acuerdo con la hipótesis planteada, se realizaron los ensayos correspondientes a las normativas ecuatorianas, determinándose que, de la adición de la viruta de la hoja de la mazorca de maíz presenta mejor resistencia a la compresión y rotura en un prototipo de *adoquín ecológico*; además de que el índice de absorción de agua es mejor con respecto a un adoquín tradicional. Con respecto a los valores obtenidos en los ensayos de calidad el comportamiento mecánico medido con la resistencia a la compresión y rotura su valor es de 24,54 Mpa (250,25kg/cm²), con índice de absorción de 6,08 % y peso de 1,3 kg, mientras que un adoquín tradicional de las mismas características en cuanto a su forma, uso, capacidad y diseño los valores establecidos por la norma son de 24,50 Mpa. (250kg/cm²) para la resistencia, índice de absorción de 7% y peso de 3,5 kg.

Para no afectar la dosificación adecuada de la composición del adoquín, durante el proceso de mezclado se debe procurar que los materiales estén libres de impurezas y durante el proceso de mezclado, la materia prima no puede contener grumos, los cuales no permiten que los éstos se adhieran completamente, afectando directamente los valores de resistencia de la compresión, así como también en el índice de absorción de agua.

Referencias

1. Andrade, D. y Quiroz, O. (2020). Diseño y construcción de una bloquera para la fabricación de adoquines de concreto con materiales reciclados.

Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz

- <http://186.28.225.13/bitstream/123456789/2576/1/2020DavidAlejandroAndradeG%c3%b3mez.pdf>
- Castillo, A.; Salazar, J.; Seminario, R.; Tineo, A. y Zapata, J. (2015). Diseño de planta productora de adoquines a base de cemento y plástico reciclado. <https://acortar.link/ZUL2nq>
 - Constitución de la República del Ecuador (2008). Asamblea Nacional. <https://acortar.link/ARxDe>
 - Cortabarra, J. (2016). UF1056: Ejecución de bordes de Confinamiento y Adoquinados. España: Editorial Innovación y Cualificación.
 - Domínguez, S. y Loor, K. (2018). Uso de los residuos del cultivo de maíz (zea mays), como alternativa sostenible para la elaboración de bloques, parroquia Boyacá. <http://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/handle/42000/837>
 - El Telégrafo. (2020). En las diversas zonas de Ecuador se cultivan 29 tipos de maíz en la actualidad. 02 DE JUNIO DE 2020. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/ecuador/1/sierra-zonas-ecuador-cultivan-maiz>
 - Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2012). Metodología de la Investigación. Mexico: McGraw Hill Interamericana.
 - IECA. (2014). Pavimentos con adoquines de hormigón. http://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/adoquines_de_hormigon.pdf
 - MAGYP. (2015). Manejo Integrado del Cultivo de Maíz. Quito: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.
 - Martínez, J. (2016). Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre un adoquín convencional y adoquines preparados con diferentes fibras: sintética (polipropileno), orgánica (estopa de coco), inorgánica (vidrio). <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/24054>
 - NORMA INEN, A. d. (2016). NORMA INEN Adoquin de Hormigón. Ecuador: NORMA INEN.
 - NTE INEN. (2016). Adoquines de Hormigón. Norma Técnica Ecuatoriana.
 - Poveda R; Granja V.; Hidalgo D. y Ávila C. (2015). Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A. <https://acortar.link/PQVvYR>

©2021 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

[\(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).