



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Pavimento permeable como sistema de drenaje pluvial sostenible en
la Avenida Trujillo del distrito de Catacaos, Piura – 2020.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
Bachiller en Ingeniería Civil

AUTORES:

Chanta Zurita, Juan Armin (ORCID: 0000-0001-7388-1951)

Montalban Ancagima, Jean Carlos Ivan (ORCID: 0000-0002-7494-304X)

Sullón Sandoval, Aldair Junior (ORCID: 0000-0003-3626-0122)

ASESORA:

Dra. Figueroa Rojas, Patricia del Valle (ORCID: 0000-0002-933-690X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de obras hidráulicas y saneamiento.

PIURA – PERÚ

2020

Índice de contenido

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. METODOLOGÍA.....	3
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	5
3.1 Características de la composición, y el rendimiento hidráulico de los pavimentos permeables	6
3.2 Beneficios que tendría el pavimento permeable como solución de drenaje pluvial sostenible en la Av. Trujillo del distrito de Catacaos de la región Piura....	14
IV. CONCLUSIONES.....	22
V. RECOMENDACIONES.....	24
REFERENCIAS	26
ANEXOS.....	34

RESUMEN

La investigación “Pavimento permeable como sistema de drenaje pluvial sostenible en la Av. Trujillo del distrito de Catacaos, Piura – 2020”, tiene por finalidad exponer la postura de diversos autores con respecto a las características de la composición, rendimiento hidráulico y beneficios que brinda el pavimento permeable como sistema de drenaje pluvial sostenible. Dentro de la investigación se encontró que el pavimento permeable tiene más de una forma de composición, siendo indispensable que este cuente con capa superficial porosa con material según el tipo de pavimento permeable correspondiente, además, sus capas están separadas por una geomembrana para cumplir su principal función autodrenante. Asimismo, su rendimiento hidráulico varía principalmente debido a la intensidad de la lluvia, condición y material del pavimento. Por otro lado, el propósito principal para la implementación es brindar una solución estructural completa y duradera que ofrezca beneficios como la reducción de la escorrentía, infraestructura de drenaje y contaminantes; el control de inundaciones; la recarga mejorada del agua subterránea; la capacidad para conducir el agua de la lluvia; y su capacidad para combinarse con otros materiales para mejorar sus propiedades, entre otros.

Palabras clave: Pavimento permeable, Rendimiento Hidráulico, Beneficios, Desarrollo sostenible e Implementación.

ABSTRACT

The research "Permeable pavement as a sustainable storm drainage system on Av. Trujillo in the Catacaos district, Piura - 2020", aims to expose the position of various authors with respect to the characteristics of the composition, hydraulic performance and benefits it provides permeable pavement as a sustainable storm drainage system. Within the investigation it is found that the permeable pavement has more than one form of composition, being essential that it has a porous surface layer with material according to the type of corresponding permeable pavement, in addition, its layers are separated by a geomembrane to fulfill its main self-draining function. Also, its hydraulic performance varies mainly due to the intensity of the rain, condition and material of the pavement. On the other hand, the primary purpose for implementation is to provide a comprehensive and durable structural solution that offers benefits such as reduced runoff, drainage and contaminant infrastructure; flood control; improved groundwater recharge; ability to drive rainwater and its ability to combine with other materials to improve its properties, among others.

Keywords: permeable pavement, Hydraulic Performance, Benefits, Sustainable Development and Implementation.

I. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos son estructuras viales fundamentales para el crecimiento y desarrollo de cualquier país, y el hombre desde hace ya muchos años ha venido diseñando y construyendo muchos tipos de estos, cuya finalidad u objetivo sólo era facilitar el acceso vehicular de un lugar a otro, sin importar la sostenibilidad e impacto ambiental que los mismos podían ocasionar al medio natural. Asimismo, las altas e intensas precipitaciones siempre han sido un gran enemigo para cualquier tipo de estructura, sin excepcionar a los pavimentos, los cuales sufren muchos daños como son las grietas, deformaciones, piel de cocodrilo, entre otras más.

A todo lo mencionado se observa que el distrito de Catacaos no es ajeno a esta realidad, donde se percibe que sus calles principales se encuentran en su mayor parte deterioradas, todo esto debido a las intensas lluvias que han ocurrido en los últimos años, dando un mayor énfasis a aquellas ocurridas por el fenómeno del niño costero del año 2017, ya que, según el informe del SENAMHI (2017) en la estación Miraflores de Piura se registró una precipitación acumulada de 884 milímetros de lluvia, valor que representa al tercer más alto de la historia. Por su parte, la Av. Trujillo, la Av. Cayetano Heredia y la Av. Piura, han sido bastante afectadas, las cuales requieren acciones para un mejoramiento, puesto que no presentan un eficiente sistema de drenaje pluvial, dato corroborado por Robledo (2019) en un reporte, donde manifestó que el distrito de Catacaos necesita de un sistema de drenaje pluvial. A esto se le adiciona que, el sistema de agua y alcantarillado del distrito continúa colapsado después del evento antes mencionado.

Por otro lado, es importante reconocer que toda obra de infraestructura vial debe tener un sistema de drenaje pluvial, debido a que, de esa manera se evitará su rápido deterioro, e incluso inundaciones en las mismas, que puedan afectar negativamente el tránsito vehicular y peatonal. Por ello, el tema que se seleccionó en esta investigación intenta proponer al pavimento permeable como sistema de drenaje pluvial sostenible. Asimismo, para ello se planteó la siguiente pregunta: ¿Por qué usar el pavimento permeable como sistema de drenaje pluvial sostenible en la Av. Trujillo del distrito de Catacaos de la región Piura?,. Así pues,

la investigación tuvo como objetivo general describir la postura de diversos autores con respecto a las características que tiene el pavimento permeable como sistema de drenaje pluvial sostenible. Por su parte, los objetivos específicos tratados fueron: identificar las características de la composición, y el rendimiento hidráulico de los pavimentos permeables; y destacar lo beneficioso que sería este pavimento permeable como solución de drenaje pluvial sostenible en la Av. Trujillo del distrito de Catacaos de la región Piura.

Asimismo, dentro de este artículo de revisión literaria, se tiene como variable de estudio, el pavimento permeable, el cual es un tipo de sistema urbano de drenaje sostenible que hace posible el transporte del agua de lluvia a través de dicha infraestructura, para posteriormente ser captada y retenida en capas subsuperficiales, con la finalidad de reutilizarse o evacuarse (Jato e tal, 2019, p.2).

El estudio de esta investigación se justifica teóricamente debido a que en el mismo se informará de una manera más amplia la composición, rendimiento hidráulico, impacto, e inclusive los principales beneficios que ofrece el pavimento permeable. Teniendo en cuenta que hoy en día se necesita desarrollar proyectos viales que sean sostenibles e innovadores. Además, esta investigación ayudaría aportando nuevas ideas y un conocimiento más profundo para futuras investigaciones donde se estudie un proyecto vial sostenible.

Desde el punto de vista práctico, esta investigación sobre pavimento permeable dará solución a dos problemáticas que desde años aquejan a la población del distrito de Catacaos, siendo estas, el rápido deterioro de los pavimentos y la falta de drenaje pluvial. Por lo consiguiente, gracias a este también se podrá mejorar los sistemas de drenaje pluvial, e inclusive darle un mejor aprovechamiento al agua de la lluvia; debido a que dicho recurso que se infiltra dentro de este tipo de pavimentos, se puede utilizar para dotar del servicio básico de agua a aquellos lugares que no cuenten con este, además de poder abastecer a otras actividades como son la agricultura, el riego de parques y jardines, e incluso para la ganadería de los pobladores del lugar.

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este artículo de revisión literaria se escogió artículos científicos, tomando en cuenta que estos son fuentes evaluadas, recomendadas y aprobadas por especialistas, siendo más confiables en comparación a una investigación convencional. Por otra parte, el área de investigación de la Universidad Cesar Vallejo exige que, para el desarrollo de esta revisión literaria, a manera general se consulte 40 artículos científicos, 40% en inglés y 60% en español con un máximo de 5 años de antigüedad. Posteriormente, para la localización y descarga de estos artículos científicos se realizó una búsqueda exhaustiva en las diferentes bases de datos que se disponían en internet, teniendo en cuenta que se consultó en primer lugar el repositorio virtual de la universidad cesar vallejo. Sin embargo, no se tomó en cuenta ningún documento de esta base de datos, ya que, sólo se encontró tesis, más no artículos científicos relacionados con el tema de estudio.

En cuanto a la recopilación de información, se llevó a cabo una revisión sistemática (se recopiló los artículos científicos relacionados con la variable de estudio en las diferentes bases de datos), la cual es una técnica exploratoria y analítica para la recolección de información. Sin despreciar que dicha información relevante está directamente relacionada con los objetivos específicos de la investigación, es decir, el rendimiento hidráulico, componentes, mantenimiento y beneficios del pavimento permeable; desde un marco general hasta un específico.

Se debe agregar que, la búsqueda bibliográfica se realizó de una forma muy dinámica y ordenada. En primer lugar, el equipo de investigación hizo una rigurosa búsqueda, con la finalidad de obtener la mayor parte de archivos científicos vinculados con el tema de estudio en las diferentes bases de datos consultadas como Dialnet, science direct, IOPScience, repositorio UdeC, Springer Link, University of New Hampshire, Scielo, Sci-Hub, ScienceDaily, UNED, ProQuest, Web of Science, EBSCOhost, academic one, y otras más. Sin embargo, se debe destacar que no en todas estas se pudo encontrar los artículos científicos requeridos. Sin embargo, se llegó a obtener 16 artículos científicos de la base de datos de EBSCOhost, 4 de Scopus, 2 de IOPScience , 1 de University of New Hampshire, 2 de ScienceDiret, 3 de Dialnet, 4 de Google

patents, 1 de ProQuest, 1 de UAEH, 2 de ADDI, 1 de REDICUD, 1 de Scielo y 2 de sciencedaily. También cabe enfatizar que, para facilitar la búsqueda se utilizó diferentes herramientas que fueron proporcionadas por las mismas, como son los filtros, que clasificaban los documentos por fechas, periodo de tiempo, autores, texto completo, campo de estudio, etc.

Por otro lado, estas bases también proporcionaron la ventaja de descargar y elegir la carpeta para guardar estos antecedentes, lo cual facilitó el trabajo al momento de realizar la organización de la información; donde una vez obtenidos los artículos científicos requeridos se hizo una revisión para corroborar que la información obtenida por el equipo de investigación no sea la misma. Al mismo tiempo, se organizó los documentos en una sola carpeta considerando la fecha desde el más actualizado hasta el más antiguo, también se subdividió en carpetas dependiendo de su contenido e importancia, teniendo en cuenta su jerarquía, para su correcto uso.

Es necesario resaltar que, debido a que se utilizó artículos en inglés, se buscó la manera de facilitar el proceso de análisis de dichos documentos. Utilizando en primera instancia Google Traductor, sin embargo, dada la complejidad de los archivos obtenidos, se usó otras páginas web como DocTranslator, la cual es una página que te permite traducir en línea los archivos del inglés al español. Esta web permitió traducir los archivos, y el proceso se pudo hacer desde un ordenador.

Por último, se analizó la información obtenida para después señalar datos puntuales como el autor, año, la idea principal, resumen y la conclusión del mismo. Destacando que, su organización también permitió conocer aquellos artículos más beneficiosos para la investigación. De la misma manera, se procedió a determinar a los autores más relevantes dentro de la investigación, al igual que los documentos de mayor interés. Finalmente, para elaborar la revisión bibliográfica sobre el pavimento permeable como sistema de drenaje sostenible se utilizó todos los 40 archivos científicos consultados, de los cuales, más del 40% fueron en inglés.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El pavimento permeable es una tecnología muy recomendada para el desarrollo urbano de bajo impacto, ya que, disminuye el flujo máximo de la escorrentía, proporcionando un mejor control de la calidad del agua pluvial, Razzaghmanesh y Beecham (2018). También es considerado un sistema de drenaje sostenible muy amigable con el medio ambiente, conformado por un sistema complejo que capta, conduce, infiltra y almacena el agua de la lluvia, el cual además de ser efectivo, puede implementarse de manera más práctica en las ciudades, dependiendo si son zonas de tráfico ligero, peatonales y/o estacionamientos que cumplan con las condiciones requeridas, Jato et al. (2019). Permite la infiltración del agua pluvial de manera segura en el suelo para reponer los sistemas locales de agua subterránea y acuíferos como también es dirigida al acuífero, lejos de los desagües pluviales, donde se limpia y almacena de forma natural para su futuro uso, (Liban, 2019).

Por lo consiguiente, los autores Jato et al. (2019) y O'Connor (2017) sostienen que existen tres tipos de pavimentos permeables, siendo estos los pavimentos porosos, pavimentos de adoquines y los pavimentos de césped reforzado. Sin embargo, el primer autor también añade que los diferentes tipos de capa superficial de los pavimentos permeables, pueden ser de adoquines impermeables con juntas abiertas, asfalto poroso, hormigón poroso, adoquines de hormigón poroso, césped reforzado con celdas de plástico y el césped reforzado con celdas de hormigón.

Con respecto a lo mencionado por Razzaghmanesh y Beecham (2018), Jato et al. (2019), Liban (2019) todos los autores coinciden en que esta estructura vial es sostenible, de innovadora tecnología, la cual permite la infiltración del agua pluvial, tomando el control para así mejorar su calidad y cantidad. Se concuerda con lo mencionado anteriormente, debido a que en la actualidad es importante desarrollar proyectos sostenibles que velen por la conservación y control de los medios naturales. Por ello, los responsables de la ejecución de nuevos proyectos viales deben ser conscientes y considerar el aprovechamiento del recurso hídrico, realizando proyectos paisajistas y eco amigables que no alteren el ciclo hidrológico del agua.

Además, con respecto a los diferentes tipos de pavimentos permeables que existen, sería bueno hacer nuevas y mejores investigaciones para determinar si esta infraestructura permeable podría combinarse entre sus diferentes tipos. La pregunta sería: ¿Cómo resultaría la combinación entre los diferentes tipos de pavimentos permeables, y que beneficios otorgaría?,. Posiblemente podría brindar mejores beneficios, dato que realmente se podría saber mediante futuras investigaciones, e incluso es probable que se pueda trabajar con material prefabricado.

Sin embargo, se cree que una de las falencias más relevantes para ejecutar proyectos de innovación como el pavimento permeable es la desconfianza y desinterés que presentan las autoridades y las constructoras para adoptar nuevos métodos, procesos y sistemas de construcción en el país. Asimismo, es notable que, para llevar a cabo nuevos proyectos, siempre se espera el acontecimiento de sucesos perjudiciales como el niño costero del 2017 como sucedió en la zona de Catacaos, para recién tomar conciencia e implementar proyectos innovadores que mejoren las condiciones de la sociedad.

3.1 Características de la composición, y el rendimiento hidráulico de los pavimentos permeables

Así mismo, cumpliendo con el primer objetivo de la investigación se debe señalar que, los pavimentos permeables en general están compuestos por muchas características físicas, químicas, mecánicas y funcionales que contribuyen a su buen funcionamiento. Para hablar de esto, se debe citar a tres autores Jato et al. (2019); Cadenas, Arbiter y Jaimes (2017); y Brunetti, Simunek y Piro (2016), donde los dos primeros respectivamente coincidieron en que, el pavimento permeable está compuesto por tres capas.

La primera es una capa sub-base, que reposa sobre la explanación o terreno natural compactado, compuesta por material seco natural o reciclado, necesariamente limpio y con una mínima presencia de partículas finas, el cual debe ser triturado hasta conseguir un porcentaje del 35% de huecos, para poder infiltrar y retener el agua de la lluvia, dependiendo sí el suelo tiene capacidad de retener o ser impermeable, respectivamente. Rescatando así mismo que, en otras construcciones para tráfico ligero se puede realizar esta capa con cajones de

plástico o geo-células plásticas de alta resistencia, a fin de potenciar la capacidad de reserva del agua de lluvia.

La segunda es una capa base intermedia, dicho material granular es fino, y por ende presenta una granulometría de 4 – 8 mm para permitir una adecuada instalación a la superficie de rodamiento. Además, su porcentaje de este debe ser mayor que la porosidad de la capa superficial, sin olvidar que también esta capa está separada y reforzada de otras capas mediante un geotextil como la geomembrana que mejora la filtración del agua y aumenta la retención de partículas contaminantes de la superficie.

La última capa dentro del paquete estructural es la que se encuentra en la superficie o también llamada carpeta de rodadura, que puede estar compuesta por materiales como asfalto, arcilla, grava, concreto, adoquines y áreas verdes fortificadas; exigiendo un exquisito nivel de acabados, dependiendo del material predominante en la misma para permitir una óptima entrada del agua pluvial.

Sin embargo, Brunetti, Simunek y Piro (2016) en un análisis del comportamiento hidráulico del sistema de pavimento permeable donde pusieron a prueba dos pavimentos permeables, uno con un solo modelo de porosidad para todas las capas, y el otro con un modelo de doble porosidad para las capas base y subbase. Mencionaron que, el paquete estructural del pavimento permeable estaba conformado por cinco capas, y que este había sido elaborado siguiendo las sugerencias del Instituto de Pavimento de Concreto de Enclavamiento (ICPI), el cual también recomendó la granulometría ASTM.

La primera fue la capa de desgaste superficial, que se caracterizó por tener una alta permeabilidad, compuesta de bloques de hormigón. La segunda fue la capa base, la cual presentó una granulometría que cumplía con la ASTM No. 57, además de tener una porosidad aproximada entre 30 – 35%. La tercera fue la capa subbase con porosidad volumétrica de 40% aproximadamente, según el ASTM No 2. La cuarta fue la capa de lecho, compuesta por material granular fino como zeolita, arena y arena de vidrio que utilizó la ASTM No. 8 y cumplió con una porosidad de 20% del volumen, a fin de mejorar eficientemente la eliminación de contaminantes que se encontraban en el pavimento permeable, en especial los

contaminantes típicos de la escorrentía del agua de la lluvia. La quinta fue la capa de protección, la cual se ubicó entre la capa de la subbase y la membrana impermeable, además de estar compuesta por arena gruesa que cumplía con una porosidad y ASTM igual que la capa de lecho.

Por último, para permitir un adecuado paso del agua y evitar que el material granular llegue a las capas inferiores se colocó un geotextil altamente permeable con un peso de área de 60 g/m² entre la capa base y la capa de lecho. De la misma manera se instaló una capa impermeable en la parte inferior del perfil para evitar la infiltración del agua al subsuelo, y así permitir que el flujo base se transporte adecuadamente mediante un desagüe horizontal compuesto por una tubería perforada de PVC, para finalmente ser depositado en un pozo donde se realizaron las mediciones de calidad y cantidad necesarias.

De otra manera, los autores Kuruppu, Rahman. A y Rahman. M (2019) resaltan que, un pavimento permeable está compuesto por una superficie permeable en la capa superior y varias capas subbase debajo. La capa superior proporciona estabilidad estructural, apariencia y una superficie dura, y las capas subbase se encargan de filtrar, tratar y proporcionar almacenamiento a corto plazo para la escorrentía superficial mientras son utilizadas como una estructura de soporte para la capa superior. El autor clasifica la capa superior en dos tipos, monolítica que comprende al concreto poroso y al asfalto, y formas modulares que comprende rejilla plástica y entrelazadoras de concreto poroso. Las superficies permeables tienen tres características que se comportan de manera diferente en cada elemento, siendo el rendimiento de infiltración, la capacidad de tratamiento de aguas pluviales y la durabilidad estructural para soportar cargas.

Asimismo, otra manera de composición de un pavimento permeable fue dada por Torres et al. (2019), quien mencionó que un pavimento permeable está conformado por dos capas filtrantes, una superficial y la otra subterránea. Su capa superficial puede ser de piezas de hormigón filtrante, cerámica, u otro material permeable con propiedades mecánicas para soportar las cargas, además de presentar alta permeabilidad para la infiltración de altos caudales. Así mismo, su capa subterránea puede ser de elementos reticulados que definen celdas con propiedades mecánicas para soportar el peso de las piezas de la capa superficial

y las cargas, que a su vez ayudan a retener el agua infiltrada y permiten el flujo horizontal y vertical.

No obstante, también se realizó una investigación específica sobre la composición de los tipos de pavimento permeable anteriormente mencionados, obteniendo los siguientes resultados. El pavimento permeable de concreto poroso está compuesto por una mezcla de aglomerante de cemento portland, agua, agregados gruesos y aditivos. Sus huecos de aire dentro de su estructura omiten a los agregados finos para facilitar el pasó del agua pluvial a través del sistema del pavimento. Es más duradero que el asfalto poroso y su diseño actúa como una cuenca subterránea de detención mediante la infiltración de los espacios vacíos, (Alam et al. 2019).

El pavimento permeable de césped reforzado o también llamado sistemas de rejilla, está compuesto por rejillas o celdas de plástico u hormigón completo con áridos, arena o tierra de césped para permitir la infiltración del agua pluvial, Kuruppu, Rahman. A y Rahman. M (2019). El pavimento permeable de Adoquines de concreto de enclavamiento está compuesto por unidades prefabricadas de bloques de hormigón prefabricados que están dispuestos de manera entrelazada, formando espacios vacíos en la esquina y punto medio de la pavimentación, rellena con gravilla, piedra triturada o tierra vegetal para favorecer la plantación de césped. Su material es altamente duradero, atractivo y requiere poco mantenimiento, disponible en diferentes formas, tamaños y combinaciones, (Alam et al. 2019).

Como se habrá notado, la información proporcionada por los artículos científicos de los autores Jato et al. (2019), Cadenas, Arbiter y Jaimes (2017); y Brunetti, Simunek y Piro (2016) brindan mucha información sobre las limitaciones que tiene el pavimento permeable en su composición general, como en sus distintos tipos de manera específica, donde además se añade que el paquete estructural puede estar conformado por tres o cinco capas. Basados principalmente en su porcentaje de finos en sus áridos, como el nivel de tráfico y condiciones climáticas, dependiendo de las zonas donde se realizaron las investigaciones. Aunque los autores Kuruppu, Rahman. A y Rahman. M (2019) también mencionaron que este puede estar conformado por una superficie permeable en

la capa superior y varias capas subbase debajo. Al igual, Torres et al. (2019) dijo que este pavimento puede estar conformado por dos capas filtrantes, una superficial y la otra subterránea.

Sin embargo, cabe destacar que ya existen investigaciones, así como también se están realizando otras, a fin de mejorar y superar las limitaciones en cuanto a la aplicación de materiales para el diseño de la composición del pavimento permeable, como lo es en la variación de su mezcla, en caso de un pavimento de asfalto o concreto poroso. Por otro lado, se ha creído conveniente mencionar que se deben realizar investigaciones sobre el costo que verdaderamente genera la implementación de este tipo de pavimento, ya que sólo hay especulaciones con respecto a este tema, pero nada está confirmado.

Asimismo, siguiendo con el primer objetivo es conveniente saber que, para el análisis del rendimiento hidráulico de los pavimentos permeables se hicieron distintas pruebas en condiciones diferentes. El primer resultado, cumpliendo con los estándares británicos y la guía del manual SUDS, demostró que el rendimiento hidrológico varía según la intensidad de la lluvia y la condición del pavimento, donde la variación del volumen total de descarga fue del 8% y 60% del flujo de entrada. Sin embargo, dentro de la estructura sólo se detuvo de forma temporal un volumen aproximado del 40% de la lluvia total, (Alsubih et al. 2017).

El segundo resultado, según un estudio realizado sobre la examinación de los factores que rigen el rendimiento hidrológico del pavimento permeable para mitigar la escorrentía superficial en las zonas urbanas, demostró que el rendimiento de infiltración del pavimento permeable en climas relativamente cálidos es 90 % del volumen de escorrentía, mientras que en los climas relativamente húmedos es de 70%. Concluyendo que en el clima relativamente seco el pavimento filtra mejor la escorrentía superficial del agua de lluvia en zonas urbanas, (Liu y Chiu, 2017)

El tercer resultado según una investigación a través de pruebas de laboratorio para evaluar la capacidad de servicio y rendimiento de la permeabilidad de estos pavimentos, construida con agregados que tienen un rango de clasificación y de resistencia al aplastamiento, demostró que las partículas de mayor resistencia al

aplastamiento condicionan la reducción de la permeabilidad en la infraestructura sin afectar su resistencia, al igual que la rotura de las mismas. Sin embargo, un extenso rango de tamaño de partículas podría distribuir la carga de manera uniforme reduciendo las roturas de partículas, (Cui y Bhattacharya, 2017).

El ultimo resultado en el cual se usó un método de infiltración a gran nivel (FSIT), demostró que la diferencia de la capacidad de infiltración entre saturado e insaturado puede aumentar hasta en un 300%, considerando que, si se utiliza el valor del insaturado como entrada de diseño para modelos de computadora, dicha capacidad puede sobreestimarse considerablemente, (Boogaard y Lucke, 2019).

En cuanto al rendimiento hidráulico de un pavimento permeable, los autores Alsubih et al. (2017), Liu y Chiu (2017), Cui y Bhattacharya (2017), y Boogaard y Lucke (2019) obtuvieron novedosos y favorables resultados de sus investigaciones, tomando en cuenta que estas se llevaron a cabo en condiciones diferentes, con distintos estándares, métodos y pruebas de laboratorio. Sin embargo, el resultado que más se acomoda y favorece a las condiciones climáticas de la zona de estudio fue la de Liu y Chiu (2017), el cual destacó que en las zonas cálidas con condiciones climáticas similares a Catacaos en la región Piura, la infiltración de este pavimento es de un 90%.

No obstante, cabe mencionar que, no se encuentra en la literatura los programas o softwares que permitan simular el comportamiento hidráulico y diseñar la estructura de este tipo de pavimentos, e incluso para hacer una comparación de los distintos resultados con respecto a su porcentaje de infiltración. Lo cual presenta una gran desventaja al momento diseñar, ya que, al exceder alguno de sus parámetros, generaría deformaciones y cambios en la conductibilidad hidráulica. Caso contrario, la existencia de estos podría ofrecer mejores posibilidades en el diseño, operación y mantenimiento de las infraestructuras viales permeables. Por otro lado, es importante mencionar que sería importante implementar el uso de la biotecnología como ya se está usando en otros procesos constructivos.

De la misma forma, Huang et al. (2016) y Technical research centre of finland (2015) realizaron un estudio donde se examinó y comparó el desempeño

hidráulico y ambiental de los diferentes tipos pavimento permeable, tomando en cuenta la capacidad de infiltración, reducción de escorrentía de tormentas y la capacidad de eliminación de contaminantes como metales pesados, fosforo total, solidos suspendidos totales y nitrógeno total.

La investigación demostró que los pavimentos permeables de concreto poroso, asfalto poroso y adoquines de enclavamiento permeables son eficaces para mitigar la escorrentía de tormentas en las condiciones de clima frío, ya que se pueden restaurar parcialmente al utilizar un lavado de presión, tras haber sido afectados por material de lijado de invierno. Asimismo, estos tienen el mismo rendimiento para la eliminación de contaminantes con una tasa de eliminación del 70% o más, a excepción del nitrógeno que reduce a medida que la temperatura del pavimento disminuye, con una tasa de 30% en promedio.

Asu vez, los autores Cadenas, Albitzer y Jaimes (2017) sostienen que la capa subbase se puede utilizar para infiltrar y retener parcial o completamente el agua de lluvia como parte del rendimiento hidráulico del pavimento permeable. Para ello se presentó tres casos considerando que, cuando el suelo natural tiene la capacidad de albergar el agua pluvial sucede un caso de infiltración, y cuando este mismo tiende a ser impermeable o se quiere hacer uso del agua pluvial, sucede un caso de retención.

El primer caso es de infiltración total, donde se realiza la implementación de una membrana impermeable ubicada en la subrasante con la finalidad de retener totalmente el agua y transportarla a través de una tubería de drenaje para su respectivo aprovechamiento. El segundo caso es de infiltración parcial, donde se hace uso de una tubería perforada a fin de recibir el agua, posteriormente se toma una parte y se transporta de manera eficiente, además de instalar un geotextil en la parte inferior, a fin de dar paso al agua restante. El último caso es un pavimento permeable sin infiltración alguna, donde se hace uso de un geotextil inferior ubicado en la subrasante, a fin de facilitar el paso total del agua y recargar las aguas subterráneas sin la presencia de partículas finas.

Por su parte, Haiyan Li et al. (2017), también estudiaron los efectos y eficiencia de los mecanismos de eliminación de diversos contaminantes de corriente de agua

urbana de diferentes materiales permeables tales como asfalto poroso, concreto poroso, ladrillo de cemento, ladrillo cerámico, ladrillo de base de arena, y ladrillo de esquisto, los cuales se ubican en la capa superior de los pavimentos permeables. Demostrando que, las características de los materiales influyen demasiado en la eficiencia de eliminación de contaminantes, además de presentar diversos efectos. Considerando que, el ladrillo de esquisto tiene un mejor efecto para la eliminación contaminantes de escorrentía, seguido del asfalto poroso.

A partir del estado del arte realizado sobre el desempeño hidráulico y ambiental del pavimento permeable, surgen diferentes incógnitas de investigación de los resultados anunciados. Rescatando principalmente que, es de vital importancia seguir investigando las diferentes combinaciones de materiales que se puedan realizar en la capa superficial de los pavimentos permeables a fin de mejorar sus propiedades y características, e incluso refinar el rendimiento de disminución de contaminantes y aumentar la tasa de infiltración. Sin embargo, es importante destacar que en estas investigaciones es indispensable contar con información sobre los impactos que tenga cada material a implementar, ya que, es muy posible que estos materiales puedan mejorar considerablemente las propiedades del pavimento permeable, pero si su impacto ambiental negativo es muy elevado, se debe tomar otras medidas al respecto.

Por otro lado, se puede observar que no se ha profundizado la información en cuanto a los procesos de eliminación de contaminantes, considerando que falta investigar sobre otros materiales que puedan mejorar el comportamiento para eliminar los contaminantes mencionados. Además, es muy posible que muy en particular a los contaminantes, existan bacterias y patógenos que las mismas infraestructuras viales permeables puedan eliminar. Así mismo, es posible que haya otros procesos que se puedan utilizar a parte de la filtración, depredación y adsorción mencionadas por los autores (Kuruppu, Rahman. A y Rahman. M, 2019).

3.2 Beneficios que tendría el pavimento permeable como solución de drenaje pluvial sostenible en la Av. Trujillo del distrito de Catacaos de la región Piura.

Ahora, con respecto al segundo y último objetivo de la investigación es importante destacar que Benavides et al. (2017) y Washington State University (2018) hicieron una comparación entre el pavimento convencional y el pavimento permeable, donde mencionaron que la principal diferencia entre estos es que, el primero debido a su falta de permeabilidad provoca encharcamientos que generan la degradación del mismo, así como dificulta que los mantos acuíferos se recarguen apropiadamente, afectando a su vez el ciclo hidrológico del agua y desperdiciando este valioso recurso. Adicionalmente el segundo autor afirmó que el pavimento permeable “debido a que es altamente poroso, no es tan duradero como el concreto tradicional que se usa en las carreteras principales”.

Además, un pavimento permeable a diferencia de los tradicionales, disponen de una subbase muy porosa que permite gestionar el agua pluvial infiltrada a través de la superficie impermeable. Agregando que, algunas veces se instalan celdas de plástico bajo esta capa con la finalidad de incrementar la porosidad, al suceder esto se facilitará el drenaje horizontal en la última capa del paquete estructural. Madrazo et al. (2019). Por otro lado, la finalidad de su diseño recae en facilitar el flujo vertical del agua pluvial. Resaltando que, sus dimensiones dependen de su tipo y condiciones hidrológicas, las cuales a su vez incorporan diversos materiales porosos y geotextiles que forman parte de materiales filtrantes existentes, (Madrazo et al. 2019).

En lo que se refiere a la comparación del pavimento permeable y pavimento tradicional por los autores Benavides et al. (2017), Washington State University (2018) y Madrazo et al. (2019) se debe señalar que ambos pavimentos presentan ventajas y desventajas. Sin embargo, se cree factible implementar en la Av. Trujillo de Catacaos de la región Piura un pavimento permeable, puesto que, la prioridad es evitar los encharcamientos frente a las elevadas precipitaciones y desborde del río, como sucedió con el fenómeno del niño costero del 2017 que dejó totalmente inundada las vías de dicha ciudad.

Por otro lado, en la actualidad se está tratando de ejecutar obras que estén comprometidas con el desarrollo sostenible, por lo cual se puede afirmar que este pavimento sería la mejor opción de realizar en el lugar. Asimismo, se cree de gran importancia poder realizar una comparación de costos entre estos pavimentos, a fin de garantizar a la sociedad que no sólo se está comprometido con el cuidado del medio ambiente, sino también con velar por los bienes económicos del estado en beneficio de la sociedad.

Siguiendo con el objetivo final de la investigación, los autores Weiss et al. (2019) y Andrés et al. (2019), propusieron la implementación del pavimento permeable con la finalidad de beneficiar la recarga de los mantos acuíferos, puesto que, debido al crecimiento urbano muchas partes del suelo se han impermeabilizado, en otras palabras, no se permite que el agua se filtre al subsuelo.

Por su parte, otro grupo de autores Dao et al. (2019) manifestaron la necesidad de desarrollar una estructura de pavimento de concreto poroso que ofrezca una solución estructural completa y duradera. Razón por la cual, desarrollaron en este, características como una mejor calidad de la esperada, mejorando la comodidad y seguridad en las vías urbanas. También mejoró su capacidad para soportar cargas pesadas y tráfico denso, además de ofrecer innovaciones técnicas como elección del color y fácil colocación.

Además, Gonçalves Y Nucci (2017) agregaron que, para implementar un sistema de drenaje pluvial sostenible en zonas urbanas, se debe tener en cuenta ciertas técnicas como la limpieza de paisajes o áreas públicas y mantenimiento en cubiertas de domicilios, ya que, al ser así, el agua que drenará o filtrará por estas zonas tendrá una mejor calidad y limpieza. Por otro lado, al cumplir con esto se evitará la escorrentía y la contaminación, además, esto también facilitará la reutilización del recurso hídrico.

Se está de acuerdo con la medida tomada por los autores respecto a la implementación del pavimento permeable como parte su infraestructura vial de desarrollo sostenible, ya que este pavimento, sin importar el lugar donde se ejecute, ayudará a regenerar los mantos acuíferos como mencionó Andrés et al. (2019), los cuales han sido afectados por las crecientes e incontrolables

urbanizaciones, lo cual también resultaría de mucho beneficio para la Av. Trujillo en Catacaos, puesto que de esta manera también se estaría preservando el recurso natural del agua para un mejor uso.

Por consiguiente, es importante enfatizar que de los autores Alsubih et al. (2017), Marchioni y Becciu (2015), Solano (2019), Fernández, Montt y Rivera (2017), Sánchez et al. (2017), Sun et al. (2018), Zhao y Meng (2020), Ballesteros, Houle y Roseen (2015), Yu et al. (2017), y Benavides et al. (2017) se rescataron los siguientes beneficios que brinda este tipo de pavimento permeable. En primer lugar, la reducción de la escorrentía mediante su capacidad autodrenante, que ayuda a prolongar su vida útil, y evitar los encharcamientos y el colapso de los drenajes especialmente en tiempos de lluvia, además de reducir los accidentes ocasionados por la pérdida de control del vehículo (hidroplaneo), brindando la capacidad de frenar en una menor distancia ya que presenta una mejor resistencia a la tracción en su superficie.

En segundo lugar, la reducción de infraestructura de drenaje en 50% gracias a su capacidad de ser 100% permeable, ayudando a disminuir y controlar los gastos innecesarios. Agregando así mismo que, no se necesita pavimentar toda el área impermeabilizada. En tercer lugar, la reducción de la cantidad de contaminantes y control de inundaciones que, no solo ayuda a mejorar las condiciones ambientales reduciendo las consecuencias de la isla de calor urbano (disminución de temperatura), sino que también brinda una menor posibilidad de deslumbramiento por reflexión de la luz sobre cobertura de agua superficial por poseer una capacidad de autoventilado, lo que incrementa la calidad de servicio del recurso para usuarios vehiculares y peatonales, durante las precipitaciones dado que esto ayuda a evitar y controlar las deformaciones en la infraestructura.

En cuarto lugar y último lugar, la recarga mejorada del agua subterránea, enmarcada principalmente por su capacidad de poder conducir el agua de la lluvia desde un punto a otro, el cual no solo puede ser una planta de tratamiento, cisterna de recuperación o una laguna de recuperación, sino que también puede ser transmitida directamente al subsuelo, a fin de regenerar los mantos acuíferos y mejorar el valor ecológico que en los últimos tiempos se han visto perjudicados por la urbanización y la construcción de pavimentos impermeables.

En relación a los beneficios que ofrece un pavimento permeable por los autores Alsubih et al. (2017), Marchioni y Becciu (2015), Solano (2019), Fernández, Montt y Rivera (2017), Sánchez et al. (2017), Sun et al. (2018), Zhao y Meng (2020), Ballestero, Houle y Roseen (2015), Yu et al. (2017), y Benavides et al. (2017) Se debe decir que, aunque la información recolectada favorezca a la investigación con múltiples razones y beneficios para implementar un pavimento permeable en el área de estudio, se cree conveniente realizar un estudio de campo en la av. Trujillo de Catacaos, a fin de comprobar que esta zona cuente con las características requeridas para que el proyecto sea rentable, beneficioso con la población y amigable con el ambiente como lo mencionan los autores. Así también, es de suponer que existen muchos más beneficios con respecto a este pavimento, e incluso mejores métodos para aprovechar el recurso hídrico que se irán sabiendo en futuras investigaciones.

De otra manera, se persiste en defender la propuesta de implementar un pavimento permeable en la zona de estudio, manifestando que por ser una vía de tráfico ligero, su resistencia no se verá afectada, además de que con este proyecto se podrá aprovechar eficientemente el agua pluvial para posteriormente ser tratada, purificada y utilizada para consumo humano; sobre todo para abastecer las zonas menos beneficiadas con este servicio, así como también puede ser beneficiosa para otras actividades como la agricultura y ganadería de la zona.

La nanotecnología también ha sido de vital importancia en las construcciones sostenibles, y con respecto al cuidado del recurso hídrico, esta tecnología ayuda a controlar la contaminación del agua de lluvia que transita por las zonas urbanas a través de los sistemas de pavimentos permeables. Dicho de otra manera, estas nanopartículas pueden usarse para recubrir pavimentos permeables y disminuir la contaminación que el agua pluvial aporta al infiltrar en las infraestructuras permeables, (Gallo, Vázquez y Lizárraga 2019).

Otro punto en relación a la temática, es la de los autores Radzi et al. (2020), quienes mencionaron que el asfalto poroso también ofrece diversos beneficios como mejorar la sostenibilidad, calidad del agua de lluvia que discurre, y alargar la vida útil del mismo, si es que se realiza un mantenimiento adecuado. Además,

reduce el ruido de los neumáticos de los vehículos y evita la contaminación al eliminar ciertos elementos químicos.

Por otro lado, debido al elevado contenido de vacío de aire la estructura de este tipo de pavimento está más propenso a sufrir daños por surcos, grietas, pelado y envejecimiento rápido bajo los efectos de la carga repetida del vehículo, climas cálidos y fuertes lluvias, lo que reduce su vida útil a diferencia de un asfalto convencional. Sin embargo, esto se puede evitar utilizando la fibra de acero, el cual tiende a mejorar las propiedades de los pavimentos de asfalto poroso, como su resistencia a la tracción y aumentar la tenacidad del mismo, inclusive controlando el agrietamiento. Agregando finalmente que esta mezcla de asfalto poroso ayudará a mejorar su propio rendimiento, aumentar su estabilidad y resistencia, es decir, mejora las propiedades del pavimento en sí mismo.

Así también, se debe tener en cuenta que otra ventaja o beneficio que tiene este tipo de pavimento permeable es su capacidad de combinarse con otros materiales como los que se nombraran a continuación para mejorar sus propiedades. El reciclaje es un material que se puede implementar en esta estructura, con la finalidad de reducir las consecuencias de las islas de calor urbanas, el ruido, la cantidad de escorrentía de aguas pluviales, además de recargar las aguas subterráneas, Cetin (2015). Los agregados reciclados como el ladrillo cerámico y concreto triturado que provienen de residuos de demolición y construcción son otro tipo de material que al incorporarse en un pavimento permeable proporciona una permeabilidad con un valor hasta de 24.79 mm/s, superior al de un pavimento permeable común, (Ulloa et al. 2018).

Otro de los materiales es la fibra de carbono residual, la cual puede mejorar a gran escala la durabilidad y resistencia en los pavimentos permeables, tal como el del pavimento tradicional, además de mejorar su drenaje, Washington State University (2018). Asimismo, los agregados derivados de neumáticos y rocas fusionados mediante un aglutinante a base de poliuretano, demuestran que mientras mayor sea el contenido de agregados de neumáticos con el aglutinante, menor y mayor será la resistencia y rigidez del pavimento, respectivamente, pero favorece la deformabilidad del mismo. Por otro lado, un aumento en el tamaño de agregados derivados de rocas mejora la resistencia y rigidez del pavimento,

ofreciendo una reducción adicional en su deformación desarrollada, (Raessi et al. 2020).

Por último, el cuarzo colorado y las resinas resistentes a las severas condiciones climatológicas, combinados en una mezcla de mortero granular polímeros consistentes, por su parte, son un material que al implementarse en el pavimento permeable también ayudan a reducir los problemas de deterioro y la formación de charcos en el mismo, además de, suponer un menor tiempo para su ejecución y requerir una mínima cantidad de personal obrero, sin perder la calidad del mismo o alterar sus propiedades mecánicas y componente estético, Perez y Garcia (2016). Todo esto demuestra que, en un futuro no muy lejano, se puede mejorar considerablemente las propiedades de estos pavimentos, no sólo con aditivos, sino también distintos materiales como se menciona anteriormente.

En la misma línea que sostiene Cetin (2015), se ha creído conveniente estar de acuerdo con esta gran ventaja del pavimento permeable, puesto que, al implementar un material en su composición estructural, se ofrece mayores beneficios. Empero, también se considera que, se debe realizar una investigación más profunda sobre la implementación y combinación de algunos materiales, así como de los procesos de combinación que deben seguirse. Ya que, si bien es cierto, la implementación de nuevas tecnologías como la nanotecnología de la que mencionaron Gallo, Vázquez y Lizárraga (2019), ya se está desarrollando, pero falta por complementar, es decir, hay muchos vacíos que deben completarse debido a que no se brinda la información necesaria que convenza a los demás de que el uso de nanopartículas generará o aumentará los beneficios de este tipo de pavimentos.

Finalmente, en lo que concierne al mantenimiento de un pavimento permeable, Marchioni y Becciu (2015) realizaron un experimento donde se observó que este pavimento después de 10 meses de uso se había obstruido por completo debido a la carga de los vehículos y a la arena del invierno, disminuyendo considerablemente su permeabilidad, es decir, este pavimento llegó a mostrar una capacidad de infiltración menor a 1 mm/(s.Ha), siendo más baja que los 270 l/(s.Ha) que era lo requerido por la ley local. Por ello, se realizó el mantenimiento

inmediatamente con la finalidad de eliminar el material de obstrucción en las juntas que permitían la infiltración del agua.

Este mantenimiento consistió en una limpieza utilizando un limpiador de alta presión con aspiración directa al vacío, el cual no sólo mejoró notable sus condiciones, sino que también aumentó su capacidad de filtración a gran escala con valores entre 1545 l/(s ha) y 5276 l/(s ha). Por otra parte, también se hace mención que el mantenimiento para dicho pavimento se puede realizar utilizando una máquina manual de limpieza por chorro de presión.

Otra investigación de los autores Abreu y Goncalves (2020), y Yang et al. (2019) también afirman que, aunque el pavimento permeable ayude a reducir las inundaciones, tiende a perder fácilmente su permeabilidad al cabo de un tiempo, puesto que, sus poros se ven obstruidos por la disposición gradual del material particulado (polvo), lo cual ocasiona el paso acelerado del agua pluvial, reduciendo la tasa de infiltración y consecuentemente la función hidráulica que cumple como dispositivo de drenaje. En esa misma línea, este pavimento aún con problemas de obstrucción puede seguir desarrollándose, aunque no de la misma manera. Asimismo, se afirma que el sellado de firmes permeables o mantenimiento puede suceder entre 5 y 10 años después de su construcción. Proceso que dependerá de las fuentes de contaminación que pueden afectar la capa superficial de la infraestructura permeable y de la reducción de su capacidad hidráulica.

En relación al mantenimiento de un pavimento permeable, se considera que la información brindada por los autores Marchioni y Becciu (2015), y Abreu y Goncalves (2020) es muy importante, debido a que, esta permitirá hacer una mejor entrega de los proyectos donde se ejecute un pavimento permeable. Por otro lado, permitirá darle un mejor y adecuado mantenimiento (barrido) a la infraestructura, basado principalmente en su indispensable función que es la permeabilidad, que en general, la mayoría de veces se ve obstruida gradualmente por material particulado. Así como también ayudará a aumentar la vida útil del mismo.

De la misma forma, se ha creído conveniente proponer que se realicen otras investigaciones sobre el comportamiento del proceso de obstrucción en los diferentes tipos de pavimento permeable, ya que, esto influye gradualmente en la permeabilidad de los mismos. Asimismo, para el diseño de estos se cree que debe considerar las posibles fuentes de material contaminante que pueden causar obstrucción y evaluar las formas de evitar que estos sean arrastrados hacia la superficie permeable, con la finalidad de evitar la reducción de su permeabilidad, además se debe ver la forma de realizar una menor frecuencia de limpieza o buscar otras formas de dar mantenimiento a los firmes permeables.

IV. CONCLUSIONES.

- Este artículo de revisión literaria presenta que un pavimento permeable puede estar compuesto por tres capas (subbase, capa base intermedia y carpeta de rodadura), cinco capas (capa de desgaste superficial, capa base, capa subbase, capa de lecho y capa de protección), una capa superior y varias capas subbase debajo, o por dos capas filtrantes (capa superficial y capa subterránea). Asimismo, los autores destacaron que para completar el funcionamiento autodrenante se debe implementar el uso de geotextiles entre ciertas capas del paquete estructural del pavimento. Además, la primera capa o capa superficial debe tener como característica y propiedad principal la permeabilidad, independientemente del material que se utilice, ya sea para un pavimento permeable poroso, de adoquines o de césped reforzado.
- En relación al rendimiento hidráulico que tiene un pavimento permeable se presentaron varios resultados mencionando que, este varía principalmente debido a la intensidad de la lluvia y la condición del pavimento, donde el rendimiento de infiltración en climas cálidos es 90 % del volumen de escorrentía y en los climas húmedos es de 70%. Al mismo tiempo se puede añadir que, el concreto poroso, asfalto poroso y adoquines de enclavamiento permeables son eficaces para mitigar la escorrentía de tormentas en las condiciones de clima frío, en los cuales, la capa subbase se puede utilizar para infiltrar y retener parcial o completamente el agua de lluvia. Por otro lado, en lo que compete a la eliminación de contaminantes de escorrentía las características de los materiales como el ladrillo de esquisto y asfalto poroso, tienen mejor desempeño, además de presentar diversos efectos.
- En cuanto al segundo objetivo, se puede concluir que la principal diferencia entre el pavimento permeable y el tradicional es que, el segundo debido a su falta de permeabilidad provoca encharcamientos y se degrada, a diferencia del pavimento permeable que dispone de una subbase muy porosa que permite gestionar el agua pluvial infiltrada a través de la superficie impermeable, sin embargo, esto a su vez implica que este sea menos duradero. A su vez, el propósito principal para la implementación

del pavimento permeable es ofrecer una solución estructural completa y duradera que pueda beneficiar la recarga de los mantos acuíferos perjudicados por la impermeabilización urbana, además de permitir aprovechar el recurso hídrico para otras actividades, teniendo en cuenta técnicas como la limpieza de la zona por donde drenará el agua de la lluvia, a fin de mejorar la calidad y limpieza de la misma.

- Por consiguiente, como resultado tenemos que un pavimento permeable ofrece muchos beneficios. En primer lugar, la reducción de la escorrentía mediante su capacidad autodrenante que prolonga su vida útil, y evitar los encharcamientos y el colapso de los drenajes, además de reducir los accidentes por pérdida de control (hidroplaneo). En segundo lugar, la reducción de infraestructura de drenaje en 50% gracias a su capacidad de ser 100% permeable, ayudando a disminuir y controlar los gastos innecesarios. En tercer lugar, la reducción de la cantidad de contaminantes y control de inundaciones que mejora las condiciones ambientales reduciendo las consecuencias de la isla de calor urbano. En cuarto y último lugar, la recarga mejorada del agua subterránea y la capacidad para conducir el agua de la lluvia desde un punto a otro para su mejor aprovechamiento.
- Por último, se debe tener en consideración que, en los pavimentos permeables se puede implementar nueva tecnología como la nanotecnología para controlar la contaminación del agua de lluvia. Así como también se puede combinar con otros materiales como los agregados derivados de los neumáticos y rocas fusionados mediante un aglutinante de polietileno, el reciclaje (el ladrillo cerámico y concreto triturado), fibra de carbono residual, el cuarzo colorado y las resinas resistentes a las severas condiciones climatológicas con la finalidad de mejorar sus propiedades. Además, en cuanto a su mantenimiento que puede ser el barrido o la limpieza utilizando un limpiador de alta presión con aspiración directa al vacío se debe señalar que este se realiza para corregir los problemas de obstrucción, considerando que el sellado de firmes permeables o mantenimiento puede suceder entre 5 y 10 años después de su construcción.

V. RECOMENDACIONES.

- A partir de lo mencionado en la composición del pavimento permeable, se debe señalar que ya existen, se están y se deberían realizar nuevas investigaciones para mejorar y superar las limitaciones en el diseño de la composición del pavimento permeable. Asimismo, en lo que respecta a los diferentes tipos de pavimentos permeables que existen, sería oportuno realizar nuevas investigaciones para determinar si esta infraestructura podría combinarse entre sus diferentes tipos. La pregunta sería: ¿Cómo resultaría la combinación entre los diferentes tipos de pavimentos permeables, y que beneficios otorgaría?,. Posiblemente este pueda mejorar sus propiedades, e incluso se pueda construir con material prefabricado.
- No se encuentra en la literatura los programas o softwares que permitan diseñar, simular y comparar el comportamiento hidráulico y diseño estructural del pavimento permeable, los cuales son de vital importancia para evitar daños por exceso en relación a los parámetros establecidos para su operación y mantenimiento. Por otro lado, sería importante implementar el uso de la biotecnología como ya se está usando en otros procesos constructivos. Además, no se ha profundizado la información en cuanto a los procesos de eliminación de contaminantes, considerando que falta investigar sobre otros materiales que puedan mejorar el comportamiento para eliminar los contaminantes mencionados y otros que puedan existir.
- En cuanto a la comparación del pavimento permeable y pavimento tradicional a pesar que ambos pavimentos presentan ventajas y desventajas, se cree factible implementar en la Av. Trujillo de Catacaos de la región Piura un pavimento permeable, puesto que, la prioridad es evitar los encharcamientos frente a las elevadas precipitaciones y desborde del río, como sucedió con el fenómeno del niño costero del 2017. Por otro lado, es apropiado mencionar que para desarrollar proyectos sostenibles e innovadores como el pavimento permeable se debe superar la desconfianza que presentan las autoridades y las constructoras para adoptar nuevos métodos, procesos y sistemas de construcción en el país.

Así también el desinterés, ya que, a menudo se espera el acontecimiento de sucesos perjudiciales como el niño costero del 2017 para recién realizar nuevos proyectos.

- A partir de la revisión sistemática de la literatura, Se debe decir que, aunque la información recolectada favorezca a la investigación con múltiples razones y beneficios para implementar un pavimento permeable en el área de estudio, se cree conveniente realizar un estudio de campo en la av. Trujillo de Catacaos, a fin de comprobar que esta zona cuente con las características requeridas para que el proyecto sea rentable, beneficioso con la población y amigable con el ambiente. Asimismo, es de suponer que existen muchos más beneficios con respecto a este pavimento, e incluso mejores métodos para un aprovechamiento mejorado del recurso hídrico, que se irán conociendo en futuras investigaciones.
- Finalmente, se considera realizar una investigación más profunda sobre la implementación y combinación de los materiales que mejoran las propiedades del pavimento permeable, así como del proceso a seguir, considerando que la implementación de nuevas tecnologías como la nanotecnología ya se están desarrollando, pero aún falta por complementar para poder garantizar que su uso puede generar o aumentar los beneficios de este tipo de pavimentos. De la misma forma, se ha creído conveniente proponer que se realicen otras investigaciones sobre el comportamiento del proceso de obstrucción en los diferentes tipos de pavimento permeable, ya que, esto influye gradualmente en la permeabilidad de los mismos, además, esto podría ayudar a reducir la limpieza frecuente o buscar otras formas de dar mantenimiento a los firmes permeables.

REFERENCIAS

- ✚ ABREU, N y Goncalves, M. Clogging of Permeable Pavements: Case Study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [en línea]. 2020, vol. 503. [fecha de consulta: 27 de junio de 2020]. DOI: [10.1088/1755-1315/503/1/012067](https://doi.org/10.1088/1755-1315/503/1/012067)
- ✚ ALAM, Taufiqui, MAHMOUD, Ahmed, JONES, Kim. D, BEZARES, Juan. C y GUERRERO, Javier. A Comparison of Three Types of Permeable Pavements for Urban Runoff Mitigation in the Semi-Arid South Texas, U.S.A. *International Journal of Pavement Engineering* [en línea]. 2019, Vol. 11, (11), pág. 1–23 [Fecha de consulta: 18 Junio 2020]. DOI: 10.3390/w11101992
- ✚ ALSUBIH, Majed, ARTHUR, Scott, WRIGHT, Grant, y ALLEN, Deonie. Experimental study on the hydrological performance of a permeable pavement. *Urban Water Journal* [en línea]. Abril 2017, vol.14, (4), p.427-434. [fecha de consulta: 14 de junio de 2020]. ISSN: 1573-062X. DOI:10.1080/1573062X.2016.1176221
- ✚ Andrés, Ignacio, Perales, Sara, Rodríguez, Jorge y Anta, Jose. Sistemas urbanos de drenaje sostenible. *Revista de Obras Públicas: Organo profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos* [en línea]. 2019, (3607), pp.125-126. ISSN: 0034-8619. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6935094>
- ✚ BALLESTERO, Thomas. P, HOULE, James. J y ROSEEN, Robert. M. Permeable Interlocking Concrete Pavement (PICP) for Stormwater Management. *UNH Stormwater Center* [en línea]. Enero 2015, 23. [Fecha de consulta: 19 mayo 2020]. Disponible en: <https://scholars.unh.edu/stormwater/23>
- ✚ BENAVIDES, Eddiel, FERNÁNDEZ, María Del Carmen, VILLALPANDO, Roberto, CHACÓN, Alonso, ALVARADO, Oscar. Factibilidad del concreto permeable en la filtración del agua al subsuelo. *Cultura Científica y Tecnológica* [en línea]. Enero – abril 2015, Vol.12, (55), p.132-141. [Fecha de consulta: 19 mayo de 2020]. ISSN: 20070411. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.3BD361CB&lang=es&site=eds-live>

- ✚ BOOGAARD, Floris y LUCKE, Terry. Long-term infiltration performance evaluation of Dutch permeable pavements using the full-scale infiltration method. *Water* (20734441) [En línea]. Febrero 2019, Vol.11, (2), P.320. [Fecha de consulta: 12 junio 2020]. ISSN: 2073-4441. DOI: 10.3390/w11020320
- ✚ BRUNETTI, Giuseppe, SIMUNEK, Jiri, PIRO, Patricia. A comprehensive numerical analysis of the hydraulic behavior of a permeable pavement. *Journal of Hydrology* [En línea]. Septiembre 2016, vol.540, Pág. 1146 – 1161. [Fecha de consulta: 19 mayo 2020]. ISSN: 0022-1694. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.07.030
- ✚ CADENAS, Eusebio, ALBITER, Ángel, y JAIMES, Janner. Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua. *CIENCIA ergosum* [en línea]. Julio- octubre 2017, Vol. 24, (2). P.173-180 [fecha de consulta: 11 de mayo de 2020]. ISSN:1405-0269. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6046445>
- ✚ CETIN, Mehmet. Consideration of permeable pavement in landscape architecture. *Journal of Environmental Protection and Ecology* [en línea]. 1 enero 2015, vol. 16, (1), p.385-392. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. ISSN: 13115065. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84946740627&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=+consideration+of+permeable+pavement+in+landscape+architecture&st2=&sid=08773297da90111530d3b081494c61eb&sot=b&sdt=b&sl=77&s=TITLE-ABS-KEY%28+consideration+of+permeable+pavement+in+landscape+architecture%29&relpos=0&citeCnt=45&searchTerm=>
- ✚ CUI, Liang y BHATTACHARYA, Subhamoy. Choice of aggregates for permeable pavements based on laboratory tests and DEM simulations. *International Journal of Pavement Engineering* [En línea]. Febrero 2017, Vol.18, (2), Pág. 162–168. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2020]. ISSN: 1029-8436. DOI: 10.1080/10298436.2015.1053480

- ✚ DAO, Duc Tung, ECH, Mohsen, MIRAVALLS, Nicolas y STORA, Eric. Estructura de pavimento de hormigón que comprende una capa de base de hormigón y una capa de desgaste de hormigón mejorado con elastómero. Patentimages storage google apis [En línea]. 2019, 2716406. [Fecha de consulta: 29 de junio de 2020]. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/21/de/5e/540d2af1d834be/ES2716406T3.pdf>
- ✚ FERNÁNDEZ, Bonifacio, MONTT, Jose y RIVERA, Pedro. Uso de Pavimentos Permeables Para El Desarrollo de Urbanizaciones de Bajo Impacto Hidrológico y Ambiental. BIT: Repositorio Digital Conicyt RI 2.0 (Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica) [En línea]. 2017. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2020]. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.CB6A7052&lang=es&site=eds-live>
- ✚ GALLO, Ana. K, VÁZQUEZ, G. A, y LIZÁRRAGA, L. Uso de nanopartículas de Fe₂O₃ en sistemas LID de construcción sostenible. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI* [en línea]. 5 de enero 2019, vol. 6, (12), p.21-23. [fecha de consulta: 29 de junio de 2020]. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v6i12.3578>
- ✚ GONÇALVES, Felipe. T y NUCCI, João. C. SUSTAINABLE DRAINAGE SYSTEMS (SUDS): PROPOSALS FOR THE RIVER JUVEVÊ WATERSHED, CURITIBA-PR. (English). Ra'e Ga [en línea]. Octubre 2017, vol.42, p.192-209. [fecha de consulta: 27 de junio de 2020]. ISSN: 15164136. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=128525134&lang=es&site=eds-live>
- ✚ HUANG, Jian, VALEO, Caterina, HE, Jianxun y CHU, Angus. Three types of permeable pavements in cold climates: Hydraulic and environmental performance. *Journal of Environmental Engineering* [en línea]. 1 de junio 2016, vol.142, (6), pp.1-11. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. ISSN:07339372. DOI: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001085.
- ✚ JATO, Daniel, ANDRÉS, Valerio, RODRÍGUEZ, Jorge y CASTRO, Daniel. Pavimentos urbanos permeables. *Revista de Obras Públicas: Órgano*

- profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos* [en línea]. 01 de marzo 2019, vol. 166, (3607). 32-36 [fecha de consulta: 11 de mayo de 2020]. ISSN: 0034-8619. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6935078>
- ✚ KURUPPU, Upeka, RAHMAN, Aatur y RAHMAN, M. Azizur. Permeable pavement as a stormwater best management practice: a review and discussion. *Environmental Earth Sciences* [en línea]. 15 mayo 2019, vol. 78, (10). [fecha de consulta: 14 de junio de 2020]. ISSN: 1866-6280. DOI: 10.1007/s12665-019-8312-2
 - ✚ LI, Haiyan, LI, Zhifei, ZHANG, Xiaoran, LI, Zhuorong, LUI, Dongqing, LI, Tanghu y ZHANG, Ziyang. The effect of different surface materials on runoff quality in permeable pavement systems. *Environmental Science & Pollution Research* [En línea]. Septiembre 2017, Vol. 24, (26), p.21103–21110. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9750-6>
 - ✚ LIBAN, Cris. Case study permeable pavement and bioretention pilot project. *Environmental Compliance & Sustainability* [En línea]. 2019 [Fecha de consulta: 19 Mayo 2020]. Disponible en: http://media.metro.net/projects_studies/sustainability/images/Case_Study-Permeable_Pavement.pdf
 - ✚ LIU, Chun. Y y CHUI, Ting. F.M. Factors Influencing Stormwater Mitigation in Permeable Pavement. *Water (20734441)* [En línea]. Diciembre 2017, vol.9, (12), pp.1-9. [Fecha de consulta 12 junio 2020]. ISSN:20734441. DOI:10.3390/w9120988
 - ✚ MADRAZO, Eneko, GARMENDIA, Maddi, ALMANDOZ, Francisco y ANDRÉS, Ignacio. Análisis hidráulico y modelización de geoceldas de drenaje subsuperficial en pavimentos permeables. *Comunicación: Agua y ciudad* [en línea]. Octubre 2019, p.3. [fecha de consulta: 25 de junio de 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10810/35744>
 - ✚ MADRAZO, Eneko, GARMENDIA, Maddi, ALMANDOZ, Francisco y ANDRÉS, Ignacio. Rendimiento hidráulico del asfalto permeable y Picp en Swmm, validado por datos de laboratorio. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* [en línea]. 2019, Vol.238, 569-579. [fecha de consulta:

- 29 de junio de 2020]. ISSN: 1743-3541. Disponible en: <https://addi.ehu.es/handle/10810/41898>
- ✚ MARCHIONI, M. y BECCIU, G. Experimental results on permeable pavements in urban areas: A synthetic review. *International Journal of Sustainable Development and Planning* [En línea]. 2015, vol.10, (6), Pág. 806-817. [Fecha de consulta: 06 junio 2020]. ISSN: 17437601. DOI: 10.2495/SDP-V10-N6-806-817
 - ✚ O'CONNOR, Thomas P. Detection of Semivolatile Organic Compounds in Permeable Pavement Infiltrate. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment* [En línea]. Mayo 2017, vol.3, (2). [Fecha de consulta: 26 mayo 2020]. DOI: 10.1061/JSWBAY.0000822
 - ✚ PEREZ, Paula y GARCIA, Jose. Pavimento a base de mortero granular de matriz polimérica, drenante antideslizante y decorativa para vías de tráfico ligero. *Bopiweb.com* [En línea]. Octubre 2016, tomo 2, ES 1167835 U. [Fecha de consulta: 29 junio 2020]. Disponible en: <https://bopiweb.com/elemento/2124714/>
 - ✚ RADZI, N.A.M, MASRI, K.A, RAMADHANSYAH, P.J, JASNI, N.E, ARSHAD, A.K, AHMAD, J, et al. Stability and Resilient Modulus of Porous Asphalt Incorporating Steel Fiber. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [en línea]. Enero de 2020, vol.712, (1), p.012027. [fecha de consulta: 27 de junio de 2020]. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/712/1/012027>
 - ✚ RAEESI, Ramin, SOLTANI, Amin, KING, Russell y DISFANI, Mahdi. M. Field performance monitoring of waste tire-based permeable pavements (Monitoreo del desempeño en campo de pavimentos permeables a base de llantas de desecho). *Transportation Geotechnics* [en línea]. 2020, vol.24, pp.100384-100384. [fecha de consulta: 29 de junio de 2020]. DOI: [10.1016/j.trgeo.2020.100384](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214391220302725). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214391220302725>
 - ✚ RAZZAGHMANESH, Mostafa y BEECHAM, Simon. A Review of Permeable Pavement Clogging Investigations and Recommended Maintenance Regimes. *MDPI-water* [en línea]. 17 marzo 2018, vol.10, (337). [fecha de

- consulta: 15 de mayo de 2020]. ISSN: 20734441. DOI: 10.3390/w10030337
- ✚ SÁNCHEZ, S, SABAU, M, MONTERO, L, GONZÁLEZ, J, ABELLÀN, A, y OSORIO, C. A look to the sustainable draining systems: Criteria of sustainability and successful cases. *International Journal of Conservation Science* [en línea]. 2017, vol.8, (3), pp.453-464. [fecha de consulta: 29 de junio de 2020]. ISSN: 2067533X. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85029567656&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=A+look+to+the+sustainable+draining+systems%3a+criteria+of+sustainability+and+successful+cases&st2=&sid=cef04380098862e21ee7c8f017ece5c9&sot=b&sdt=b&sl=106&s=TITLE-ABS-KEY%28A+look+to+the+sustainable+draining+systems%3a+criteria+of+sustainability+and+successful+cases%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>
 - ✚ SOLANO, Lorayne. Pavimento permeable, ¿la solución a los sistemas de drenaje no funcionales en Barranquilla?.,. *Artículos especializados* [en línea]. 25 de julio 2019. [fecha de consulta: 26 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11323/5367>
 - ✚ SUN, Wenjuan, [et al]. The State of the Art: Application of Green Technology in Sustainable Pavement. *Advances in Materials Science and Engineering* [en línea]. 2018, vol.2018, pp.1-19. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. ISSN: 16878434. DOI: 10.1155/2018/9760464.
 - ✚ TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND (VTT). Urban stormwater management: Permeable pavements to reduce run-off from parking lots. *ScienceDaily* [En línea]. 14 de enero 2015. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedaily.com/releases/2015/01/150114072707.htm>
 - ✚ TORRES, Luis, [et al]. Pavimento permeable drenante. IFI CLAIMS Patent Services [En línea]. 2019, 1235494. [Fecha de consulta 29 junio 2020]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/ES1235494U/es?q=~patent%2fWO2000063495A2&before=priority:20200601&after=priority:20150101>

- ✚ ULLOA, Vivian. A, [et al]. Performance of pervious concrete containing combined recycled aggregates. *Ingeniería e Investigación* [en línea]. Mayo-agosto 2018, vol. 38, (2), pp.34-41. [fecha de consulta: 29 de junio de 2020]. ISSN 0120-5609. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/ing.investig.v38n2.67491>
- ✚ WASHINGTON STATE UNIVERSITY. Recycled carbon fiber improve permeable pavement. *ScienceDaily* [En línea]. 1 de marzo 2018 [Fecha de consulta 26 junio 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedaily.com/releases/2018/03/180301094851.htm>
- ✚ WEISS, Peter. T, KAYHANIAN, Masoud, GULLIVER, John. S y KHAZANOVICH, Lev. Permeable pavement in northern North American urban areas: research review and knowledge gaps. *International Journal of Pavement Engineering* [en línea]. 1 de febrero 2019, vol.20, (2), pp.143-162. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. ISSN: 10298436. DOI: 10.1080/10298436.2017.1279482
- ✚ YANG, Jen, WANG, Min, WANG, Yu y LIANG, Fu. Study on Application of Simulated Air Pollution Dust the Permeable Concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [en línea]. 1 de diciembre 2019, vol.371, (3). P.032027. [fecha de consulta: 27 de junio de 2020]. ISSN:17551307; 17551315. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/371/3/032027>
- ✚ YU, M [et al]. Urban permeable pavement system design based on "sponge city" concept. *IOP Conference Series: Earth & Environmental Science* [en línea]. Agosto 2017, vol.82, (1), p.012027-012027. [fecha de consulta: 29 de junio de 2020]. ISSN: 17551307; 17551315. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eoah&AN=43103134&lang=es&site=ehost-live>
- ✚ ZHAO, Gang y MENG, Dai. Research Progress of Low Impact Development Technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [en línea]. 15 de mayo 2020, vol. 474, 052033. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2020]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/474/5/052033>

- ✚ SENAMHI – Perú. Ministerio del Ambiente. Agosto 2017. Disponible en: <https://senamhi.gob.pe/>
- ✚ Manuel Robledo: «Catacaos sigue en riesgo de inundarse por desidia de autoridades» [en línea]. Cutivalú. 19 febrero de 2019. [fecha consulta: 29 de mayo. Disponible en: <https://www.radiocutivalu.org/manuel-robledo-catacaos-sigue-en-riesgo-de-inundarse-por-desidia-de-autoridades/>