

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



**Adición de biopolímero extraído de la cascara de plátano como agregado  
fino para mejorar las propiedades mecánicas y físicas de las mezclas  
asfálticas**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR**

**Milagros Paola Mena Alberca**

**ASESOR**

**Joaquin Hernan Rojas Oblitas**

<https://orcid.org/0000-0002-6521-0215>

**Chiclayo, 2025**

**Adición de biopolímero extraído de la cascara de plátano como agregado  
fino para mejorar las propiedades mecánicas y físicas de las mezclas  
asfálticas**

PRESENTADA POR

**Milagros Paola Mena Alberca**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR

Mario Antonio Martinez Fiestas  
PRESIDENTE

Roberto Carlos Castillo Velarde  
SECRETARIO

Joaquin Hernan Rojas Oblitas  
VOCAL

## **Dedicatoria**

A mis padres, Lizandro y Matilde, quienes con su optimismo y bondad me han enseñado a ver la vida con esperanza y a actuar siempre con generosidad, ustedes son el reflejo de la persona que soy hoy, y gracias a su apoyo constante, he podido superar cada obstáculo.

A mi sobrino Evans, cuya admiración y orgullo por mí me recuerdan siempre el valor de ser un ejemplo positivo. A mis hermanos, por ser mis guías.

Y a mi primo Uber y Armando, que son parte de mi pequeña familia.

Gracias por ser parte de mi vida y de este proceso.

## **Agradecimientos**

Agradezco a mis padres y familiares por su apoyo incondicional durante todo este proceso, siempre motivándome a seguir adelante. A la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo (USAT), por brindarme la formación y herramientas necesarias para crecer profesionalmente.

También, a mis amigos, porque esta carrera me permitió conocer personas increíbles y crear recuerdos inolvidables. Gracias por el compañerismo y las anécdotas compartidas, que hicieron el camino más llevadero.

A todos, mi sincero agradecimiento por ser parte fundamental de este logro.

# Adición de biopolímero extraído de la cascara de plátano como agregado fino para mejorar las propiedades mecánicas y físicas de las mezclas asfálticas.pdf

## INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

7%

2

[repositorio.upla.edu.pe](https://repositorio.upla.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

3

[tesis.usat.edu.pe](https://tesis.usat.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

4

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1%

5

[repositorio.uss.edu.pe](https://repositorio.uss.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

6

Submitted to Universidad Señor de Sipan

Trabajo del estudiante

<1%

7

[www.bcrp.gob.pe](http://www.bcrp.gob.pe)

Fuente de Internet

<1%

8

[repositorio.unap.edu.pe](https://repositorio.unap.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

## Índice

<b>Resumen .....</b>	<b>12</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>13</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>14</b>
<b>Revisión de literatura.....</b>	<b>17</b>
<b>Materiales y métodos .....</b>	<b>42</b>
<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>62</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>95</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>97</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>98</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>98</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>101</b>

## Lista de Ilustraciones

<b>Ilustración 1 :</b> Representación del concepto VAM.....	21
<b>Ilustración 2:</b> Fragmentos rotos .....	27
Ilustración 3 : Plátano de verde (musa paradisiaca) .....	36
<b>Ilustración 4:</b> Visualización de la preparación y contenido de muestra asfáltica .....	39
<b>Ilustración 5:</b> Muestra de compactación mediante el Ensayo de Marshall de Asfalto .....	40
<b>Ilustración 6:</b> Desperdicios de cascara de plátano en el KL 50-Piura .....	47
<b>Ilustración 7:</b> Muestra de la masa de biopolímero antes y después de ir al horno .....	48
<b>Ilustración 8:</b> Maquina de los Ángeles (Lab. Usat).....	49
<b>Ilustración 9:</b> Desarrollo del ensayo para contenido de Humedad (Lab. Usat).....	49
<b>Ilustración 10:</b> Desarrollo del ensayo de Sales Solubles Totales (Lab. USAT).....	50
<b>Ilustración 11:</b> Desarrollo del Ensayo de Durabilidad al sulfato de magnesio (Lab. USAT) .....	52
<b>Ilustración 12:</b> Desarrollo del ensayo de Equivalente de Arena (Lab. USAT) .....	52
<b>Ilustración 13:</b> Desarrollo del ensayo de Azul Metileno (Lab. USAT).....	53
<b>Ilustración 14:</b> Desarrollo del ensayo de Absorción y peso específico (Lab. USAT).....	54
<b>Ilustración 15:</b> Desarrollo del ensayo de Limites de Atterberg .....	55
<b>Ilustración 16:</b> Desarrollo del Ensayo de Durabilidad al sulfato.....	55
<b>Ilustración 17:</b> Desarrollo de la preparación de la mezcla asfáltica (Lab. USAT) .....	56
<b>Ilustración 18:</b> Desarrollo de la preparación de la mezcla asfáltica (Lab. USAT).....	57
<b>Ilustración 19:</b> Desarrollo para la determinación de densidad de briquetas. ....	57
<b>Ilustración 20:</b> Desarrollo para la determinación de densidad de briquetas. ....	58
<b>Ilustración 21:</b> Desarrollo del ensayo de estabilidad y flujo .....	59
<b>Ilustración 22:</b> Desarrollo de la desintegración de briquetas para el Ensayo de Rice .....	59
<b>Ilustración 23:</b> Desarrollo del Ensayo de Rice .....	60
<b>Ilustración 24:</b> Desarrollo del ensayo de Cántabro NLT-362/92 .....	60
<b>Ilustración 25:</b> Desarrollo del Ensayo de Lottman Modificado .....	61
<b>Ilustración 26:</b> Desarrollo del Ensayo de Tracción Indirecta .....	61

## Lista de Graficas

<b>Grafica 1 :</b> Agregados pétreos según su naturaleza .....	23
<b>Grafica 2:</b> Agregados pétreos según su tamaño .....	24
<b>Grafica 3:</b> Cálculos del ensayo de Densidad específica y absorción .....	31
<b>Grafica 4:</b> Categorización de los compuestos poliméricos .....	34
<b>Grafica 5:</b> Clasificación de los Bioplásticos, según su composición.....	35
<b>Grafica 6:</b> Elaboración del biopolímero representado en un Diagrama de flujo.....	35
<b>Grafica 7:</b> Datos lineales según la producción del 2023 - 2024.....	37
<b>Grafica 8:</b> Comparación de resultados obtenidos del Ensayo de abrasión de los Ángeles vs los requeridos. ....	62
<b>Grafica 9:</b> Comparación del ensayo de Sales Solubles Totales vs los resultados requeridos	63
<b>Grafica 10:</b> Comparación de los resultados obtenidos vs los resultados requeridos por el MTC. ....	64
<b>Grafica 11:</b> Comparación de los resultados del Ensayo con dos Caras Fracturadas vs los resultados requeridos por el MTC.....	65
<b>Grafica 12:</b> Comparación de los resultados del Ensayo Partículas chatas y Alargadas vs los resultados requeridos por el MTC.....	66
<b>Grafica 13:</b> Comparación del Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio vs los requerimientos del MTC .....	67
<b>Grafica 14:</b> Comparación del Ensayo Equivalente de Arena vs los requerimientos del MTC .....	68
<b>Grafica 15:</b> Comparación de los Resultados obtenidos vs los requerimientos del MTC.....	69
<b>Grafica 16:</b> Comparación de los Resultados obtenidos del Ensayo de Absorción vs requerimientos del MTC. ....	70
<b>Grafica 17:</b> Humedad VS # de golpes, para la curva de fluidez. ....	71
<b>Grafica 18:</b> Comparación de los Resultados obtenidos del Ensayo de Sales Solubles vs requerimientos del MTC. ....	73
<b>Grafica 19 :</b> Espectros FTIR-ATR de la muestra.....	74
<b>Grafica 20 :</b> Curva Granulométrica.....	75
<b>Grafica 21:</b> Relación entre el cemento asfáltico (%) y los parámetros del Ensayo de Marshall .....	78

<b>Grafica 22 :</b> <i>Estabilidad de la MAC y MAM</i> .....	82
<b>Grafica 23:</b> <i>Flujo de la MAC y MAM.</i> .....	83
<b>Grafica 24:</b> Comparaciones del índice de rigidez de la mezcla asfáltica en caliente.....	84
<b>Grafica 25:</b> <i>Ensayo de Cántabro MAC convencional - modificado</i> .....	85
<b>Grafica 26:</b> Relación a la Tensión Indirecta.....	87
<b>Grafica 27 :</b> Evaluación económica respecto a la adición de Biopolímero .....	90

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Motivos y consecuencias de la inestabilidad en el pavimento asfáltico .....	22
<b>Tabla 2:</b> Factor y su impacto de Impermeabilidad en el cubierta asfaltica .....	22
<b>Tabla 3:</b> Especificaciones aplicados a los agregados de gran tamaño .....	24
<b>Tabla 4:</b> Especificaciones aplicadas a los agregados finos. ....	24
<b>Tabla 5:</b> Clasificación de las muestras de prueba. ....	25
<b>Tabla 6:</b> Cantidad y aforo mínimos para la medición de la totalidad de sales solubles .....	26
<b>Tabla 7:</b> Pesos de muestras según los tamaños tamizados de agregados gruesos.....	28
<b>Tabla 8:</b> Pesos de muestras según los tamaños tamizados de agregados finos .....	28
<b>Tabla 9:</b> Criterios de tamaño de grano para el uso en mezclas asfálticas .....	32
<b>Tabla 10:</b> Descripción del tipo de asfalto cementoso.....	33
<b>Tabla 11 :</b> Producción agrícola del plátano en Piura.....	37
<b>Tabla 12:</b> Elección de especímenes para evaluar el porcentaje ideal.....	43
<b>Tabla 13:</b> Cantidad de Briquetas con el óptimo para ensayar en los Métodos de Diseño .....	44
<b>Tabla 14:</b> Variables dependientes y independientes .....	45
<b>Tabla 15:</b> Cuadro de Operacionalización de variable interviniente .....	46
<b>Tabla 16 :</b> Proporciones de insumos para la producción de 100g de biopolímero .....	48
<b>Tabla 17:</b> Pesos Retenidos para el Ensayo Caras Fracturadas .....	51
<b>Tabla 18:</b> Pesos retenidos para el Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas.....	51
<b>Tabla 19:</b> Resultado del Ensayo e Abrasión de los Ángeles .....	62
<b>Tabla 20 :</b> Resultado del Ensayo de Humedad de los agregados gruesos.....	63
<b>Tabla 21 :</b> Resultado del ensayo de Sales Solubles Totales para agregados gruesos.....	63
<b>Tabla 22:</b> Resultados del ensayo de una Cara fracturada.....	64
<b>Tabla 23:</b> Resultados del ensayo de Partículas con dos caras fracturadas .....	65
<b>Tabla 24:</b> Resultado del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas .....	66
<b>Tabla 25 :</b> Resultado del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio.....	67
<b>Tabla 26:</b> Resultados del Ensayo de Equivalente de Arena .....	68

<b>Tabla 27</b> : Resultados del Ensayo de Azul Metileno .....	69
<b>Tabla 28</b> : Resultados del ensayo de Absorción y Peso Especifico .....	70
<b>Tabla 29</b> : Resultados del ensayo de Limites de atterberg .....	71
<b>Tabla 30</b> : Resultados del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio .....	72
<b>Tabla 31</b> : Resultados del Ensayo de Humedad. ....	72
<b>Tabla 32</b> : Resultados del Ensayo Sales Solubles para finos .....	73
<b>Tabla 33</b> : Identificación de Grupos Funcionales.....	74
<b>Tabla 34</b> : Resultados del Ensayo de Granulometría .....	75
<b>Tabla 35</b> : Resultado del Ensayo de Rice.....	76
<b>Tabla 36</b> : Resultado del Ensayo de Marshall respecto a Estabilidad (kg) .....	76
<b>Tabla 37</b> : Resultado del Ensayo de Marshall respecto a Flujo (mm) .....	77
<b>Tabla 38</b> : Resultado del Ensayo de Marshall respecto a Relación/Fluencia (kg/mm).....	77
<i>Tabla 39</i> : <i>Dosificación para los componentes con él %CA optimo</i> .....	78
<b>Tabla 40</b> : Dosificaciones de las mezclas asfálticas con .....	79
<b>Tabla 41</b> : Resultados del ensayo Marshall Modificado al 0% .....	79
<b>Tabla 42</b> : Resultados del ensayo Marshall Modificado al 1% .....	80
<b>Tabla 43</b> : Resultados del ensayo Marshall Modificado 1.5% .....	80
<i>Tabla 44</i> : <i>Resultados del ensayo Marshall Modificado 2%</i> .....	81
<b>Tabla 45</b> : Estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y mezclas modificadas.....	81
<b>Tabla 46</b> : Flujo de la MAC y MAM .....	82
<b>Tabla 47</b> : <i>Rigidez de la MAC y MAM.</i> .....	83
<b>Tabla 48</b> : Resultados de la Gravedad Especifica con variación de % biopolímero.....	84
<i>Tabla 49</i> : <i>Pérdida por desgaste MAC y MAM.</i> .....	85
<i>Tabla 50</i> : <i>Resultados de la resistencia a la tensión indirecta del</i> .....	86
<i>Tabla 51</i> : <i>Resultado de la relación de resistencia a la tensión indirecta</i> .....	86
<b>Tabla 52</b> : Precio de un metro cubico de MAC.....	87
<b>Tabla 53</b> : Precio de metro cubico de MAC + 1% del biopolímero.....	88

<b>Tabla 54:</b> Precio de metro cubico de MAC + 1.5 % del biopolímero.....	88
<b>Tabla 55:</b> Análisis de Costos Unitarios de una mezcla MAC .....	88
<b>Tabla 56:</b> Análisis de Costos Unitarios de una mezcla MAM 1% .....	89
<b>Tabla 57:</b> Análisis de Costos Unitarios de una mezcla MAM 1.5% .....	89

## Resume

El presente estudio experimental se centra en la adición de biopolímero extraído de la cáscara de plátano como agregado fino en mezclas asfálticas, con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas y físicas. La problemática radica en la durabilidad de los pavimentos asfálticos en Perú, un país con una amplia diversidad climática que afecta negativamente el rendimiento y vida útil de las infraestructuras viales. Se busca una solución que no solo aumente la resistencia del pavimento frente a las condiciones climáticas y cargas de tráfico, sino que también incorpore prácticas sostenibles mediante el uso de residuos orgánicos. La investigación emplea el biopolímero obtenido de la cáscara de plátano, un residuo orgánico ampliamente disponible, y lo introduce en la mezcla asfáltica para evaluar su desempeño a través de pruebas como el ensayo de Marshall, Cántabro, tracción indirecta y Lottman. Los resultados preliminares indicaron que un 1% de biopolímero optimiza las propiedades de estabilidad y flujo de la mezcla, mostrando mejoras significativas respecto a las mezclas convencionales. El estudio se desarrolló bajo un enfoque aplicado y experimental, manipulando y controlando variables para observar el impacto del biopolímero en las propiedades de las mezclas asfálticas. Se seleccionaron 108 briquetas siguiendo un muestreo no probabilístico por juicio, adaptado a las normas vigentes y basado en la experiencia previa. La investigación también incluyó un análisis económico que comparó los costos de las mezclas tradicionales y las modificadas con biopolímero, concluyendo que, además de mejorar las propiedades mecánicas, esta técnica es una alternativa viable y sostenible para la infraestructura vial en regiones costeras de Perú.

**Palabras clave:** Mezclas bituminosas, Biopolímero.

### **Abstract**

The present experimental study focuses on the addition of biopolymer extracted from banana peel as a fine aggregate in asphalt mixtures, with the aim of improving their mechanical and physical properties. The problem lies in the durability of asphalt pavements in Peru, a country with a wide climatic diversity that negatively affects the performance and useful life of road infrastructure. A solution is being sought that not only increases the resistance of the pavement against climatic conditions and traffic loads, but also incorporates sustainable practices through the use of organic waste. The research uses the biopolymer obtained from banana peel, a widely available organic waste, and introduces it into the asphalt mixture to evaluate its performance through tests such as the Marshall, Cantabro, indirect traction and Lottman tests. Preliminary results indicated that 1% biopolymer optimizes the stability and flow properties of the mixture, showing significant improvements compared to conventional mixtures. The study was developed under an applied and experimental approach, manipulating and controlling variables to observe the impact of the biopolymer on the properties of asphalt mixtures. 108 briquettes were selected following non-probabilistic sampling by judgment, adapted to current standards and based on previous experience. The research also included an economic analysis that compared the costs of traditional mixtures and those modified with biopolymer, concluding that, in addition to improving mechanical properties, this technique is a viable and sustainable alternative for road infrastructure in coastal regions of Peru.

**Keywords:** Bituminous mixtures, Biopolymer.

## Introducción

En el mundo durante los últimos periodos, se reconoce la evolución de mezclas asfálticas, es por ello que en su mayoría los caminos y carreteras a nivel mundial se identifican con un sistema vial del asfalto, ya que este material es trascendental para la infraestructura de vías de comunicación.

Últimamente en estos periodos, el Perú acontece una política provechosa en la realización de Infraestructura Vial tanto ancho y largo del estado, suscitando a un trabajo ejecutado de aproximadamente 29 028.0 kilómetros de carreteras con pavimentos asfálticos [1]. Por ende, con el paso del tiempo el Perú se caracteriza por una variedad de climas a lo largo de su región, por esta razón a empezado a promover una inclinación por el trabajo vial en la extensión de su territorio, de la misma forma carreteras con pavimentos asfálticos. Puesto que cuenta de varios accidentes geográficos territorialmente que conduce a seguir trabajando para llegar a cada espacio nacional, por ende, una de las problemáticas inferidas a desarrollar es esta investigación fue la durabilidad de los pavimentos asfálticos, que se ven influenciadas no solo por magnitudes y frecuencias de carga, también por los cambios climáticos del lugar, que hacen engorroso la tecnología asfáltica, acompañado a ello las características de los componentes que lo integran., llevando a perjudicar el desempeño del pavimento y fallas por deformación. [2]

A pesar de ciertos avances que han tenido lugar en el ámbito de la infraestructura vial, resulta innegable que aún persisten desafíos significativos, tal como lo señala un reporte del Banco Interamericano de Desarrollo emitido en el año 2021. Esta situación, que no se limita a Perú, sino que abarca a toda América Latina y el Caribe, se traduce en una infraestructura vial insuficiente, lo que engendra una serie de problemas cruciales: conectividad deficiente en zonas remotas, disparidad en el desarrollo regional, elevados. Esta situación proviene de una infraestructura vial deficiente, junto con la falta de un adecuado mantenimiento de las carreteras y un sistema de transporte poco eficiente, lo que ocasiona retrasos en el movimiento de mercancías y personas, además de provocar accidentes. Estas demoras, a su vez, afectan de manera adversa las circunstancias de comportamiento y actividades respecto a la economía de la población y reducen la productividad referente al espacio laboral. [3]

Por consiguiente, la búsqueda de mermar o mejorar estas tecnologías, demandaron que surjan mejoras en su composición y diseño asfáltico, utilizando materiales que potencien sus propiedades desde la reutilización en residuos sólidos, como es el caucho molido, el Polyethylene Terephthalate (PET), etc. Del mismo modo se propone el enfoque en esta investigación una solución desde la causa del problema, utilizando biopolímeros que proceden de recursos renovables. [4]

Además, hoy en día se está concientizando estos residuos inorgánicos para distintos usos dentro de un ciclo productivo, pero el enfoque de los residuos orgánicos es poco utilizado, ya que según el Ministerio del Ambiente manifiesta que estos residuos representan más del 50% donde no es del todo valorado y aplicado en tecnologías. [5] Posteriormente existen biopolímeros que a raíz de su almidón se da elaboración de bioplásticos, además pueden fabricar copolímeros (polietileno o poliestireno), del mismo modo si estos biopolímeros se emplearan a gran escala permitiría el reducir los desechos plásticos a un 80%, por ende, el consumo de petróleo caería. [6]

Estudios mencionan que la lignina también denominada uno de los polímeros más abundantes del planeta se ha utilizado en aplicaciones de infraestructura de la ingeniería vial como geos materiales del pavimento, pues a ello debido a sus propiedades dispersantes tiene gran potencial amplio en el asfalto, ya que se menciona como recurso renovable en cantidad y tiene un 20% aproximadamente de biomasa fotosintética. En los años recientes, se han realizado estudios que proponen el uso de la lignina como un ligante asfáltico para tener modificaciones en los asfaltos que son derivados del petróleo, mejorando así propiedades a altas temperaturas, dando resultados en la carpeta asfáltica a su envejecimiento en altas y bajas temperaturas, mejorando los componentes elásticos y retardad las reacciones de oxidación que usualmente ocurre en el asfalto mediante el envejecimiento. [7]

La lignocelulosa es un recurso renovable de bioenergía ampliamente disponible en la naturaleza, formado por celulosa, hemicelulosa y lignina. Sin embargo, su uso como fuente de energía enfrenta limitaciones, ya que la lignina es difícil de descomponer y convertir en glucosa. Un residuo frutal examinado en este proyecto, que se genera en grandes cantidades a nivel nacional, es la cáscara de plátano. En las variedades destinadas a uso industrial, el porcentaje de cáscara puede representar entre el 35% y el 40% del peso total, lo que genera una cantidad significativa de desechos durante el proceso de industrialización del plátano [8]. Investigaciones acerca de la cubierta del plátano verde, revelan que existe una estructuración conformado de hemicelulosa (23.03%), celulosa (23.02%), de lignina(29.87%), compuestos solubles (11%), almidón (12.3% ) y por ultimo compuestos de cenizas (0.78%). Igualmente, el estudio térmico presento que la bioenergía se volatiliza en medio de 200 y 400°C, mostrándose como la más resistente a la descomposición.

De acuerdo con la Dirección de Investigación, Desarrollo, Innovación y Transferencia Tecnológica - ITP, en 2022, Perú contaba con 160,800 hectáreas dedicadas al cultivo de plátano a nivel nacional, logrando una producción total de 2,372,025 toneladas. Las principales áreas productoras fueron la región San Martín, con 467,621 toneladas (12.7 tn/ha), Piura, con 403,331

toneladas (25 tn/ha), y Ucayali, con 307,401.54 toneladas (16.4 tn/ha). Se estima que, dado que solo el 12% de la planta de plátano se destina a la producción comercial y el 88% restante es residuo, se habrían generado alrededor de 19,938,202.5 toneladas de desechos (incluyendo pseudotallo, raquis, hojas y frutos descartados). Estos subproductos, como cáscaras, tallos y otras partes no comestibles, representan una valiosa fuente de fibra y celulosa que puede ser aprovechada para crear productos innovadores y sostenibles [9].

En efecto el aprovechamiento de recursos renovables partiendo de residuos orgánicos con alto desperdicio comercial, estarán expuestas para utilizarlas en la ingeniería vial. Donde dicha investigación se desarrollará no solo explorando maneras sostenibles de nuevos materiales para las mezclas asfálticas, sino también estudiar el comportamiento presencial, buscando ayudar en la problemática que las mezclas asfálticas convencionales de hoy, de las cuales se ven afectadas por diferentes situaciones como: cambios climáticos, desgaste, frecuencia de carga, además del desempeño de la vida útil del diseño y una mejor durabilidad.

Por consiguiente, el propósito como objetivo general de esa investigación es darle el aprovechamiento a los residuos orgánicos, que vendría a ser la cascara del plátano para la obtención de biopolímeros y estos utilizarlos en las mezclas asfálticas, con la finalidad de reducir el agregado fino para brindar mejoras en el comportamiento mecánico y físico. Al mismo tiempo se siguió determinados objetivos específicos: Elaborar el biopolímero de la cascara de plátano verde y caracterizar sus propiedades, establecer las propiedades tanto mecánicas como físicas de los agregados, así como identificar el contenido óptimo de asfalto, diseñar la mezcla sustituyendo el agregado fino por el biopolímero de plátano en porcentaje de 1%, 1.5% y 2% del agregado fino en el asfalto, comparar resultados de las propiedades mecánicas y físicas del asfalto con y sin biopolímero según las normas establecidas del asfalto, determinar el porcentaje óptimo a sustituir del biopolímero en la mezcla y realizar los costos unitarios por m<sup>3</sup> referentes a la mezcla patrón y la mezcla de adición con biopolímero óptimo.

Así mismo esta investigación se proyecta de gran importancia en el campo de los pavimentos asfálticos, justificándose en el tema técnico en mejoras para el desempeño de esta ante los problemas ya expuestos que tiene las carpetas asfálticas en el Perú, al mismo tiempo en el aspecto económico – ambiental un costo beneficio eco amigable, promoviendo la utilización de materiales sostenibles partiendo desde un residuo o recurso renovables.

## **Revisión de literatura**

### **Antecedentes Internacionales**

Ahmed Aljubory [10] menciona en el estudio de «Effect of Palm Fibers on Asphalt Pavement Properties» el centrarse en la evaluación del uso de fibras de palma como aditivo en mezclas de pavimento asfáltico. Se utilizaron contenidos de fibra de palma en cinco proporciones (0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% y 1.0% en peso del agregado) para investigar las propiedades volumétricas y la resistencia a la tracción indirecta de las mezclas asfálticas. Se emplearon métodos de prueba Marshall y de resistencia a la tracción indirecta (ITS) para analizar las muestras preparadas. Los resultados mostraron que la adición de fibras de palma mejoró la densidad  $2,358 \text{ g/cm}^3$  con un contenido de 0.8% de fibra de palma y la resistencia a la tracción alcanzó 560 kPa, además redujo los vacíos en el mineral agregado. Se observará que las fibras contribuyen a mejorar la cohesión de la mezcla, sugiriendo un posible aumento en la resistencia al agrietamiento.

Yagos Arias [11], comenta que su estudio se centra en la síntesis de un polímero compostable utilizando almidón extraído de cáscaras de plátano verde (*Musa paradisiaca*). Como objetivo, se plantea desarrollar una alternativa viable para sustituir plásticos de un solo uso, empleando una metodología experimental basada en el diseño. Durante la investigación, se condiciones óptimas para la obtención del biopolímero, manteniendo una relación másica de almidón con hidroxietilcelulosa de 1:4 y utilizando 40,32 g de glicerina como plastificante. Además, el biopolímero fue caracterizado mediante técnicas de FTIR, permitiendo evaluar la estructura molecular, estabilidad térmica y propiedades mecánicas, estableciendo la viabilidad del almidón de plátano como recurso para desarrollar materiales sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

### **Antecedentes Nacionales**

Contreras y Zúñiga [12] Esta investigación tiene como objetivo principal analizar la influencia de los desechos plásticos en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas, en comparación con las mezclas tradicionales. Para alcanzar este objetivo, se utilizaron técnicas aplicadas que se centraron en la preparación de mezclas asfálticas modificadas con porcentajes variables de plástico, para luego someterlas a pruebas bajo los estándares del método Marshall. Se evaluaron las propiedades mecánicas en términos de estabilidad, vacíos y flujo, comparando los resultados obtenidos entre las mezclas tradicionales y aquellas modificadas con diferentes tipos de plásticos. Los resultados óptimos se obtuvieron en el ensayo número 12, donde se utilizó un 1% de PET y un 6% de asfalto, alcanzando una

estabilidad de 4600 libras, una relación de vacíos del 3%, y un flujo de 0.01 pulgadas. Además, el costo de producción de la mezcla modificada con plástico fue apenas superior al de la mezcla tradicional, con S/93.26 frente a S/92.64 por metro cúbico. En conclusión, el uso de residuos plásticos, específicamente PET, en mezclas asfálticas ofrece una mejora significativa en las propiedades mecánicas, especialmente en la estabilidad, sin incrementar significativamente los costos de producción. Esta investigación demuestra el potencial de utilizar materiales reciclados no solo para mejorar el rendimiento de las carreteras, sino también para contribuir al manejo de residuos y la sostenibilidad ambiental.

Puente Ganz, Jorge [13], El objetivo principal de la investigación es analizar el comportamiento técnico-económico de las mezclas asfálticas modificadas con tereftalato de polietileno (PET) reciclado, y su aplicación en la construcción de carreteras asfaltadas. Para alcanzar lo mencionado se empleó el método experimental, diseñando diferentes mezclas con proporciones variables de PET (1%, 3%, 5% y 7%), evaluadas mediante el método Marshall, el cual mide estabilidad, flujo, rigidez y durabilidad. La metodología incluyó la realización de ensayos con 100 especímenes de mezclas asfálticas, tanto convencionales como modificadas. Los resultados mostraron que la mezcla óptima fue la que contenía un 1% de escamas de PET, mejorando significativamente la estabilidad 949 kg incremento del 4.86% en comparación con la mezcla asfáltica convencional, flujo obtenido fue de 3.50 y durabilidad 4,83% una mejora significativa en comparación con la mezcla convencional, que tuvo una pérdida de 7.65%, además sin incrementar sustancialmente el costo de la mezcla modificada con 1% de PET fue de S/ 54.95 por m<sup>2</sup>, en comparación con S/ 53.83 por m<sup>2</sup> de la mezcla convencional, lo que representa un incremento de S/ 1.12. En conclusión, el uso de PET reciclado en mezclas asfálticas mejora el desempeño estructural y la durabilidad de las carreteras, representando una opción viable y económica para su implementación en la construcción vial, además de contribuir al reciclaje de desechos plásticos.

Sánchez Córdova, Hildebrando [14] esta investigación es evaluar el desempeño de mezclas asfálticas modificadas con caucho reciclado, buscando mejorar propiedades mecánicas como estabilidad, flujo y durabilidad, en comparación con mezclas convencionales. La metodología consistió en preparar y evaluar diferentes mezclas utilizando el método Marshall, con caucho reciclado en porcentajes del 1% y 2%. En cuanto a los resultados óptimos la mezcla con 1% de caucho reciclado mostró una estabilidad óptima de 3000 lb, flujo de 13.8 mm, y una pérdida de desgaste reducida a 20.56% en comparación con el 52.30% de la mezcla convencional. Además, el costo de la mezcla modificada fue solo 2.08% más alto, incrementando de S/ 53.83 a S/ 54.95 por m<sup>2</sup>. En conclusión, la adición de un 1% de caucho reciclado mejora significativamente la

estabilidad y durabilidad de las mezclas asfálticas, sin incrementar significativamente los costos, lo que la convierte en una opción viable para la construcción de carreteras más sostenibles.

Cabrejos y Vigo [15] El objetivo principal de esta investigación es analizar la influencia del tereftalato de polietileno (PET) en las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica, evaluando su comportamiento en términos de estabilidad, flujo y vacíos. La metodología utilizada incluyó un diseño experimental basado en el ensayo Marshall, con la preparación de mezclas asfálticas con distintos porcentajes de PET (0.5%, 1% y 1.5%) y comparando sus resultados con una mezcla convencional. Los resultados óptimos se lograron con la adición de un 1% de PET, obteniendo una estabilidad de 8,48 kN, un flujo de 8,32 mm , y un porcentaje de vacíos del 3,09% , cumpliendo con los estándares del ensayo Marshall. Además, se demuestra que la incorporación de PET no solo mejora las propiedades mecánicas de la mezcla, sino que también contribuye a la sostenibilidad al reutilizar materiales plásticos. En conclusión, el uso de tereftalato de polietileno en mezclas asfálticas mejora significativamente su estabilidad y durabilidad, representando una alternativa viable y más ecológica en la construcción de pavimentos.

### **Antecedentes Locales**

Salazar Horna [16], El objetivo principal de esta investigación es evaluar el comportamiento físico-mecánico de una mezcla asfáltica en caliente modificada mediante la incorporación de poliestireno expandido (EPS) reciclado, utilizado como sustituto parcial del agregado fino. Para lograr esto, se diseñaron mezclas con diferentes porcentajes de EPS (0.3%, 1.0%, 2.0%, y 4.0%), las cuales fueron algunas pruebas bajo el método Marshall. Se evaluaron propiedades como la estabilidad, el flujo, los vacíos en el agregado y el peso unitario de las mezclas. Donde los resultados mostraron que la mezcla con un 2% de EPS para tránsito pesado presentó el mejor desempeño, con un incremento en la estabilidad del 43.13% en comparación con la mezcla convencional. En el caso del tránsito mediano, el uso del 1% de EPS mejoró la estabilidad en 4,23%. Además, el flujo de la mezcla se redujo hasta un 17.53% en tránsito mediano, lo que sugiere una mayor rigidez de la mezcla con el uso de EPS. A nivel de vacíos, las mezclas con EPS se mantuvieron dentro de los límites permitidos, mostrando variaciones mínimas con relación a las mezclas estándar. En conclusión, la incorporación de poliestireno expandido en la mezcla asfáltica mejora significativamente la estabilidad y rigidez, especialmente en condiciones de tránsito pesado, sin afectar negativamente otras propiedades esenciales. Esto

convierte al EPS en una alternativa viable para mejorar el rendimiento de los pavimentos asfálticos y promover prácticas sostenibles mediante el uso de materiales reciclados.

## ***Bases teóricas***

### **Mezclas Asfáltica**

Son aquellas que presenta una fusión de materiales pétreos, filler y asfalto, puesto a ello se encuentran semejantemente mezclados en cantidades previstas y especificadas. Para tal efecto la distribución de estas porciones referentes va a definir las particularidades y propiedades de las combinaciones bituminosas propiamente dicha.

Referente a la captación del producto final se desarrolla en una plata asfáltica, para luego ser destinada al lugar de trabajo, puesto a ello, el método para la distribución de la mezcla bituminosas se realiza a través de una pavimentadora o finisher siempre que el área de localización este adecuado. Previamente ya extendida la mezcla asfáltica, se impone a un proceso de compactación para generar futuras propiedades resistentes que más adelante serán vistos por el paso de los vehículos. [14]

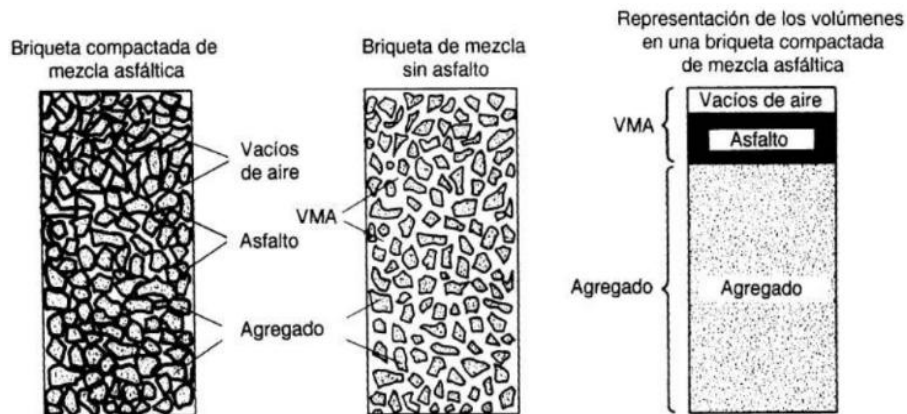
#### - Comportamiento de la composición bituminosa utilizada en pavimentación

Las mezclas asfálticas esta sometidas a reconocer características cuando son puestas a investigación, por ello el factible desempeño de comportamiento se ven vistos según: [17]

- **Densidad de la mezcla (D):** Tiene la particularidad para determinar el rendimiento perdurable en el pavimento, se verá especificado por el conjunto del cuerpo definido por una mezcla.
- **Vacíos de aire (Va):** Son aquellos volúmenes en conjunto generados por los vacíos o también denominados lugares de aire situados entre materiales granulares. Además, vale decir que estos volúmenes de vacíos son necesarios en proporciones que estabilicen la mezcla, ya que, si se da alguna compactación en el futuro debido al tráfico, este proporcionaría la fluides del asfalto de dicha acción, por otro lado, Los rangos aceptables de vacíos se diferencian en 3 y 5 % para la mezcla densa utilizada por medio de capas de rodadura, y entre un 5% y 10% para una mezcla semidensa empleada en bases asfálticas.
- **Vacíos en el Agregado Mineral (VAM):** El valor del VAM está vinculado al diámetro máximo de las partículas agregadas. A medida va el aumento del VAM, se incrementa la cobertura asfáltica sobre las partículas del agregado, lo que mejora la durabilidad de

la mezcla. En cambio, si el VAM es bajo, la película asfáltica se vuelve más fina, lo que genera mezclas propensas a la oxidación y, en consecuencia, menos duraderas.

### Representación del VAM en una mezcla asfáltica



*Ilustración 1 : Representación del concepto VAM*

*Fuente: Dosificación de MAC : Método Marshall – Ing. Gustavo Prieto*

- **Índice de asfalto:** Es la cantidad ideal que se aplicaría a los áridos para adquirir las propiedades anheladas en la mezcla asfáltica, y al mismo tiempo, asegurar que los agregados cuenten con características óptimas, ya que estas propiedades dependen en gran medida de ellos. Por consiguiente, el volumen de asfalto que no interactúa con los agregados vendría a ser denominado contenido efectivo o película ligante.
- Propiedades consideradas de las mezclas asfálticas.
- **Estabilidad:** Se conoce por pavimento estable aquel que sostiene propiedades resistentes a la frecuencia de carga causado por el tránsito, por este motivo, el concepto de estabilidad se vincula a la cualidad de una mezcla bituminosa con la intención de resistir deformaciones como desplazamientos bajo una acción de cargas, además a esto se presentan dos características adicionales: La fricción (se cuestiona por depender de la forma y distribución granulométrica de los agregados) y la cohesión (se cuestiona por una relación con el asfalto al recubrir los agregados). [17]

*Tabla 1: Motivos y consecuencias de la inestabilidad en el pavimento asfáltico*

INESTABILIDAD EN EL PAVIMENTO ASFALTICO	
Causas	Efectos
Demasiado asfalto en la mezcla	Curvaturas, ahuellamientos y exudación
Demasiado agregado fino de tamaño media existente en la mezcla	Poca resistencia mientras se da la compactación y también después de cierto tiempo. (Dificultad para la compactación)
Agregado redondeado	Ahuellamiento

*Fuente: Dosificación MAC: Método Marshall – Ing. Gustavo Prieto*

- **Durabilidad:** Propiedad que se ve atacada por la actividad del clima, el tránsito u otros, por consiguiente requiere de una capacidad para soportar factores de disgregación por parte de los agregados, desunión de películas de asfalto y alteración de las propiedades del asfalto. Se infiere que existe tres posibles formas que la durabilidad de la mezcla se comportaría mejor: Empleando mayor porción de material bituminoso (asfalto), se presentara una granulometría compacta de agregado con alta resistencia a la segregación, para obtener una máxima impermeabilidad puesto por el diseño y la compactación.
- **Trabajabilidad:** Propiedad que describe la facilidad que se tiene a la producción de combinaciones bituminosas, debido a su trabajabilidad se he evidenciaran el grado de dificultad que se tendrá para ser colocadas o compactadas, entre tanto si existiera una mala trabajabilidad puede ser renovadas los criterios de diseño de la mezcla, con respecto a la granulometría o agregados.

*Tabla 2: Factor y su impacto de Impermeabilidad en el cubierta asfáltica*

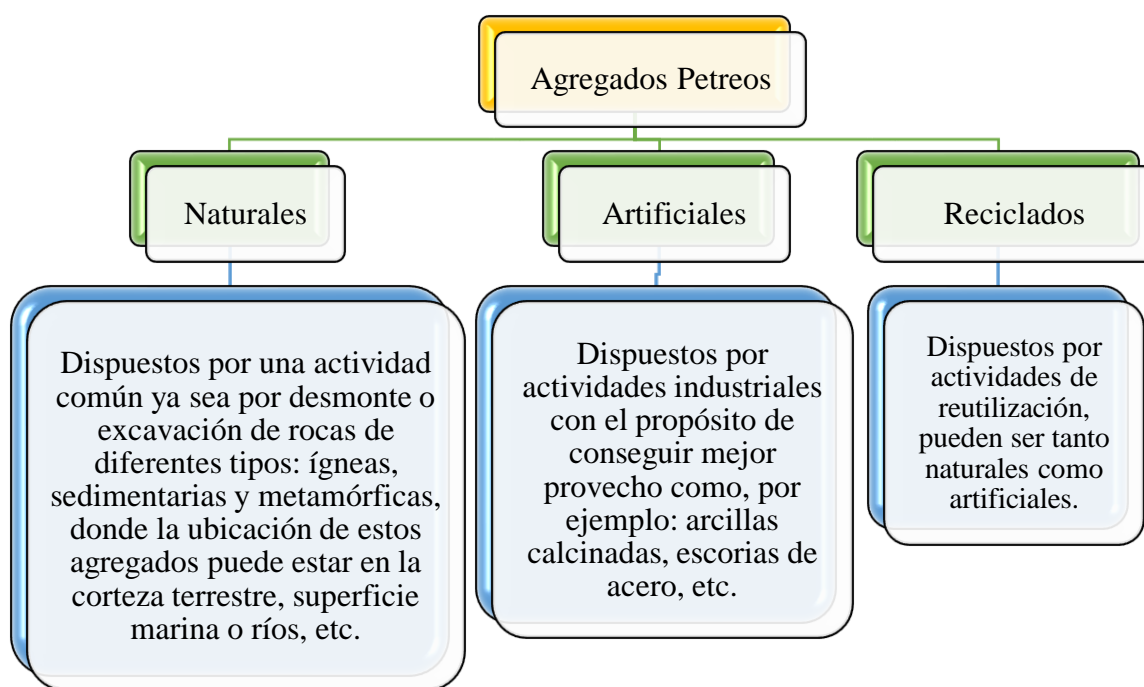
IMPERMEABILIDAD EN EL PAVIMENTO ASFALTICO	
Causas	Efectos
Poco contenido de asfalto.	Las películas delgadas de asfalto provocan prematuros un envejecimientos y disgregación de la mezcla
Elevado contenido de vacíos	El agua como el aire ingresan sencillamente en el pavimento, ocasionando oxidación y disgregación de la mezcla
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos en gran cantidad, generando infiltración y poca estabilidad

*Fuente: Dosificación de MAC: Método Marshall – Ing. Gustavo Prieto*

- Componentes de la mezcla asfáltica

Se encuentran formadas con una distribución donde la mayor parte está conformada por componentes granulares con un 90% (piedra y arena), lo restante por filler y ligante asfáltico conforme a 5% cada uno. Por otro lado, uno de los componentes ya dichos recibe gran importancia para una adecuada actividad en el pavimento, pero se necesita reconocer calidad de esto [14]

Por consiguiente, son clasificados según su naturaleza se puede tener agregados:





**Grafica 1 : Agregados pétreos según su naturaleza**

**Fuente:** Producción personal

- Según su tamaño podemos tener agregados

Es recomendable que el material granular grueso debe provenir de un proceso de trituración de roca, grava o ya sea una mezcla los dos, paralelo a ello, el agregado fino estará compuesto de arena triturada o mezclada, cuyo tamaño se verá definida por parámetros estandarizados. Ambos requieren fragmentos limpios, resistentes y duraderos. Además, existen especificaciones para determinar dichos agregados por su tamaño. [18]

**Grafica 2: Agregados pétreos según su tamaño**

Agregado grueso	Agregado Fino
 <p>Aquel material dispuesto a pasar los tamices mayores a la malla #4 (4.75mm).</p>	<p>Aquel material dispuesto a pasar los tamices menores a la malla #4.</p> 

**Fuente:** Elaboración propia mediante las disposiciones generales de la sección 415.02 del MTC -2013

- Requerimientos establecidos para materiales pétreos, según el Reglamento de Carreteras EG-2013 el cual especifica los posteriores estándares para los componentes minerales: [18]

**Tabla 3: Especificaciones aplicados a los agregados de gran tamaño**

Requerimiento	Ensayos	Norma	Requerimiento
Altitud (msnm)			Altitud (msnm)
≤3.000			>3.000
18% máx.	Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	15% máx.
40% máx.	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	35% máx.
35% mín.	Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.
10% máx.	Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.
85/50	Caras fracturadas	MTC E 210	90/70
0,5% máx.	Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.
1,0% máx.	Absorción	MTC E 206	1,0% máx.

**Fuente:** Manual de Carreteras -2013, Tabla 423-01

**Tabla 4: Especificaciones aplicadas a los agregados finos.**

Requerimiento	Ensayos	Norma	Requerimiento
Altitud (msnm)			Altitud (msnm)
≤3.000			>3.000
60	Equivalente de Arena	MTC E 114	70
8 máx.	Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.
NP	Índice de Plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP
-	Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.
4 máx.	Índice de Plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	NP
0,5% máx.	Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.
0,5% máx.	Absorción	MTC E 205	0,5% máx.

**Fuente:** Manual de Carreteras -2013, Tabla 423-02

a) **Ensayo Abrasión de los Ángeles** (MTC E 207)

Consiste en una estimación referente al deterioro por la resistencia y por el agregado grueso, a causa del impacto y la fricción, para determinar el desgaste mecánico. El tamaño normado establecido es inferior a 37,5 mm (1 ½") empleado bajo Aparato de desgaste de Los Ángeles.

**Muestra:** Preparar la muestra con un peso constante mediante el lavado y secado al horno, con el propósito de preservar la separación individual de cada fracción y sin restos, asimismo mediante la siguiente tabla guiarse para la gradación.

**Tabla 5:** Clasificación de las muestras de prueba.

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa del tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25			
25,0 mm (1")	19,0 mm (¾")	1 250 ± 25			
19,0 mm (¾")	12,5 mm (½")	1 250 ± 10	2 500 ± 10		
12,5 mm (½")	9,5 mm (⅜")	1 250 ± 10	2 500 ± 10		
9,5 mm (⅜")	6,3 mm (¼")			2 500 ± 10	
6,3 mm (¼")	4,75 mm (Nº 4)			2 500 ± 10	
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)				5 000
Total		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

**Fuente:** Manual de Ensayos de Materiales.

**Procesos y evaluaciones:** Se prepara la Máquina junto con las bolas de acero especificadas mediante la gradación de la normativa con una velocidad estándar que estaría en 30 y 33 RPM, sujetándose a 500 o 1000 revoluciones a lo que la normativa implique. Una vez concluido la actividad anterior la muestra es retirada, para que a través del malla N.º 12 se obtienen las partículas que pasaron por este. Finalmente se evalúa el Índice de Abrasión con la fórmula posterior:

**Índice de Abrasión (%)**

$$I = \frac{(A - B)}{A} \times 100$$

**A** = Peso de la muestra inicial (gr).

**B** = Peso retenido en el tamiz N.º 12 (gr).

b) **Prueba para determinar el contenido total de humedad de los agregados mediante secado** (MTC E 215)

Tiene como propósito averiguar el porcentaje específico de humedad en los agregados minerales (piedra y arena), para el fin requerido

Procesos y Cálculos: Se inicia pesando la muestra en su condición humedad, luego la actividad del secado entre 24 a 48 horas a una temperatura regulada referente a  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  para tener un peso continuo. Finalmente calcular la humedad del contenido con la formula posterior:

**Contenido de Humedad Total**

$$P = \frac{100(W - D)}{D}$$

**P** = Contenido total de humedad (%).

**W** = Masa de muestra húmeda original (gr).

**D** = Masa de la muestra seca (gr).

c) **Sales Solubles Totales** (MTC E 219)

Método por disponer la existencia de la cantidad alusiva de cloruros en los componentes minerales (piedra y arena), además también considera reconocer sulfatos a los componentes pétreos solubles en agua.

Muestra: Respecto a la cantidad de muestra a utilizar del agregado y el aforo del depósito esta propuesto de la siguiente manera:

**Tabla 6:** Cantidad y aforo mínimos para la medición de la totalidad de sales solubles

Agregado Pétreo	Cantidad mínima (g)	Aforo mínimo (mL)
Grava 50 -20 mm	1000	500
Grava 20 - 5 mm	500	500
Arena 20 mm	100	500

**Fuente:** Manual de Ensayos de Materiales.

Procesos y Cálculos: Se dispone iniciando con una cantidad constante (MASA A), la cual se encontrará totalmente seca y si no se manifiesta seca poner al horno  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ . Además de tener presente el tipo pétreo para seleccionar la cantidad y aforo mínimos a trabajar, es importante considerar el tipo de material pétreo para determinar la cantidad y volumen mínimos requeridos. Posteriormente, la muestra debe colocarse en un vaso de precipitados y agitarse durante un minuto. Esta acción se repetirá en intervalos regulares, completando un total de cuatro agitaciones en un lapso de 10 minutos. Seguidamente el líquido que se aprecie transparente va a otro vaso. La detección de Cl se realiza añadiendo pequeñas cantidades de  $\text{AgNO}_3$ , lo que genera un sedimento blanco de  $\text{AgCl}$ . De manera similar, ocurrirá con la presencia de Cl cuando se añada de  $\text{BaCl}_2$ , formándose un sedimento blanco de este.

Posterior al enfriamiento, vacíe estos líquidos superficiales en depósitos volumétricos y complete con agua (MASA B). Tome una alícuota de 50 a 100 mL (MASA C), luego lleve el espécimen al horno, para alcanzar un peso constante (MASA D) y calcule el porcentaje de sales solubles con la ecuación correspondiente:

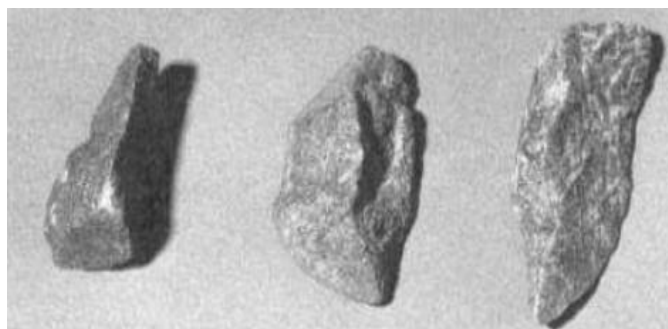
**Porcentaje de Sales solubles en porcentajes**

$$Ss(\%) = \frac{1}{\frac{Cx A}{DxB} - 1} \times 100$$

**d) Caras Fracturadas (MTC E 210)**

Detalla un procedimiento donde la prueba cubre la disposición del porcentaje, para determinar el peso de un espécimen de agregados gruesos que incluye granos fracturados que cumplen con los requisitos establecidos.

Procedimiento y Cálculos: Colocar el espécimen del ensayo totalmente seca sobre una zona plana y aseada para inspeccionar cuidadosamente cada partícula. Paso siguiente, confirmar si la porción cumple con la norma de fractura de las partículas, observar directamente la cara visible del grano. Si al menos el 25% de la fracción perpendicular del grano responde a una cara fracturada, se considera como tal. En caso de que se requiera evaluar varias caras fracturadas, repetir el proceso en la misma muestra según lo especificado.



*Ilustración 2: Fragmentos rotos*

*Fuente: Manual de Ensayos de Materiales.*

Finalmente, se procede conocer el porcentaje en masa de los fracciones según la cantidad de lados de fragmentos rotos se basará en la ecuación correspondiente:

**Partículas especificado de  
caras fracturadas**

$$P = \frac{F}{(F + N)} \times 100$$

**P** = Partículas con el número de caras fracturadas (%).

**F** = Masa o cantidad de partículas fracturadas.

**N** = Masa de partículas no fracturadas.

e) **Ensayo de Durabilidad de Sulfato de Magnesio** (MTC E 209)

Establece resolver la capacidad de los materiales granulares para resistir la descomposición mediante soluciones saturadas de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  o  $\text{MgSO}_4$ .

Muestra: El material a utilizar en el ensayo tiene que estar retenido por la malla N.º 4 y relativo a la proporción de los materiales granulares puesto que debe ser suficiente para que, tras el tamizado, queden al menos 100 gramos de material en cada tamiz.

**Tabla 7:** Pesos de muestras según los tamaños tamizados de agregados gruesos

<b>Tamaño (tamices normalizados de abertura cuadrada)</b>	<b>Peso en g</b>
<b>Consistiendo en:</b>	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ± 10
<b>Consistiendo en:</b>	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ± 10
37,5 mm (1 ½") a 19,0 mm (3/4")	1 500 ± 50
<b>Consistiendo en:</b>	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 ½") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 ½") a 37,5 mm (1 ½")	5 000 ± 300
<b>Consistiendo en:</b>	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 ½")	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 ½") a 50,0 mm (2")	3 000 ± 300
Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incrementos de 25,0 mm (1") para cada fracción.	7 000 ± 1 000

*Fuente: Manual de Ensayos de Materiales.*

Y para el agregado fino es el mismo procedimiento que la del grueso, pero con las siguientes especificaciones:

**Tabla 8:** Pesos de muestras según los tamaños tamizados de agregados finos

Tamiz-pasa	Tamiz- retenido
600um (Nº30)	300um (Nº50)
1.18mm (Nº16)	600um (Nº30)
2.36mm (Nº8)	1.18mm (Nº16)
4.75mm (Nº4)	2.36mm (Nº8)
9.50mm (3/8")	4.75mm (Nº4)

*Fuente: Manual de Ensayos de Materiales.*

### Procedimiento y Cálculos:

Periodo de inmersión: Las fracciones de estudio que se colocan en  $MgSO_4$ , por un lapso alusivo a 16 y 18 horas, cubiertas al menos 15 mm por la solución. Los depósitos se cubren con la intención de evitar contaminación.

Periodo de secado: Tras la inmersión, el agregado se deja secar en un lapso de 15 minutos y luego llevar a un Equipo térmico a 105-110°C hasta alcanzar un peso constante.

Ciclo alternado: Se repiten los ciclos de proceso de sumersión y eliminación de humedad hasta completar la cantidad requerida de periodos.

#### **f) Equivalente de Arena (MTC E 114)**

La expresión "equivalente de arena" hace alusión al concepto de que muchos suelos de textura granular y fragmentos finos que están compuestos por una mezcla favorables, como la arena, y elementos menos deseables, tales como arcillas, plásticos finos y polvo, que son menos deseables. Este ensayo se utiliza como una prueba rápida en el campo. Su objetivo es determinar bajo condiciones estandarizadas la cantidad relativa de terrenos de composición arcillosa y partículas de polvo en sedimentos de gran tamaño y partículas finas que atraviesan la malla N°4.

Muestra: Se debe obtener un mínimo 1.5 kg de materia que pase por la malla N°4, separando la muestra mediante movimientos laterales y verticales, acompañados de golpes, para asegurar que el material se mueva respectivamente en la superficie de la malla mencionada.

### Procedimiento y Cálculos:

De acuerdo con el MTC, hay tres métodos para realizar este ensayo, y en este estudio se llevará a cabo el "Proceso preliminar".

1. Adecuar el sifón a un depósito de (3.8 L) que contenga la mezcla líquida de  $CaCl_2$ .
2. Verter la muestra de la mezcla líquida en un depósito cilíndrico de plástico utilizando un utensilio de vertido para evitar derrames.
3. El depósito de cilindro darle unos golpes suaves en la parte del fondo, con la finalidad de eliminar espacios de aire y asegurar que la fracción representativa esté totalmente humedecida. Seguidamente reposar durante 10 minutos.
4. Tras el periodo de humedecimiento, soltar el residuo de la base, inclinándolo y agitando el depósito. Continuar con el proceso manual para la agitación en posición horizontal.
5. Retirar el tapón de goma después de la agitación y poner el depósito en una superficie plana.
6. Proceder con al riego y registrar la lectura de arcilla, seleccionando la mayor gradación.

Cálculos: Calcular la equivalente arena al como semejante a 0,1 % mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100$$

**Nota:**

Si el equivalente de arena calculado no es un número entero, reportarlo como el siguiente número entero más alto.

### g) Azul de Metileno ( AASTHO TP 57)

Este reglamento establece un método que determine una proporción de componentes posiblemente dañinos, donde también se señala a la arcilla y materia orgánica presentes en la materia fina, por ende, para la medición de estos componentes perjudiciales se da gracias al Valor de Azul de Metileno.

Muestra: Una muestra significativa del árido fino a analizar es llevado a un aparato de calefacción, para eliminad la humedad y alcanzar un peso estable, controlado para un calor de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , y este ser pasado por la malla N°.200. El material que atraviesa el tamiz se utiliza para el ensayo, mientras que el retenido se elimina.

Procedimiento y Cálculos: Se coloca los 10 gr del pasante del tamiz N.º 20 a un recipiente medidor de 500 ml, además se agregará 30 ml de agua libre de impurezas y proceder a agita hasta tener una en la parte superior espuma, para luego añadir 05 ml de solución de Azul de Metileno y mezclar mediante 60 segundos.

Periodo observación: En esta parte se deja colocar gotas en el papel filtro para observar lo siguiente: una gota e forma de anillo o aureola azul, caso contrario no se observe eso se coloca 0.5 ml adicionales referente a azul de metileno a la lechada, finalmente se mezcla en un lapso de un 1 minuto y hacer la prueba del papel filtro. Finalmente se toma los cálculos siguientes:

**Valor de Azul de Metileno**

$$VA = \frac{C \times V}{W}$$

**VA = Valor de Azul Metileno**

**C** = Concentración de la solución de Azul de Metileno, en mg (Azul) por ml (solución).

**V** = ml de solución de Azul de Metileno requerida.

**W** = gramos de material seco utilizado en la prueba.

### h) Absorción y Peso Específico (MTC E 205)

Su propósito es determinar las cualidades físicas de los agregados, como particular su densidad específica en estado seco y en estado de saturación con superficie seca, y su capacidad de absorción de agua. El proceso consiste en secar la unidad de análisis del agregado hasta alcanzar

una masa estable, sumergirla en agua durante un tiempo específico para que absorba la cantidad máxima de humedad, y luego medir su peso en distintas condiciones (seco, saturado y sumergido). Con estos datos, se calculan la densidad seca y la absorción, lo cual sería fundamental una evaluar con respecto al comportamiento del material en obras de pavimentación o construcción.

**Grafica 3:** Cálculos del ensayo de Densidad específica y absorción

<p><b>Peso específico de masa (Pem)</b></p> $P_{em} = \frac{W_0}{(V - V_a)} \times 100$	<p><b>Peso específico de masa saturado con superficie seca (Pesos)</b></p> $P_{e_{sss}} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100$
<p><b>Peso específico aparente (Pea)</b></p> $P_{ea} = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \times 100$	<p><b>Absorción (Ab)</b></p> $A_b = \frac{500 - W_0}{W_0} \times 100$
<p><b>Pem</b> = Peso específico de masa  <b>W<sub>0</sub></b> = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g;  <b>V</b> = Volumen del frasco en cm<sup>3</sup>  <b>V<sub>a</sub></b> = Peso en gramos o volumen en cm<sup>3</sup> de agua añadida al frasco.</p>	

*Fuente: Manual de Ensayos de Materiales.*

#### i) Límites de Atterberg

Índice de Plasticidad (malla N.º40), Índice de Plasticidad (malla N.º 200) – (MTC E 111)

**Muestra:** Inicialmente es la toma de una unidad de análisis de aproximadamente 15 kg de la parte de arena humedecido y amasado, siguiendo la Norma MTC E 110 (límite líquido del suelo). La unidad de análisis tiene que estar en una fase del amasado en la que es posible moldear una esfera sin que se adhiera excesivamente a los dedos al aplicar presión.

**Procedimiento y Cálculos:** Se toma el 50% de la unidad de análisis, moldeando en forma de elipsoide, y rodándola delicadamente con los dedos a una superficie plana, aplicando la presión mínima requerida con la intención de generar cilindros. Pero llegara el cilindro a no romper cuando alcanza un espesor más cercano a (1/8"), se tiene que volver a realizar el procedimiento hasta que el cilindro se rompa en ese punto. La resultante se dispone en recipientes tarados, y se sigue el desarrollo con la finalidad obtener unos 6 g de arena, para luego medir la humedad para los parámetros con la norma MTC E 108.

Cálculos:

$$PL = \frac{\text{El límite plástico}}{\text{Índice de plasticidad}} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horn}} \times 100 \quad IP = LL - LP$$

### Gradación para MAC

La granulometría de la MAC debe ajustarse ciertos estándares de uso. También pueden utilizarse las distribuciones de tamaño indicadas como menciona la norma ASTM D 3515 o por el Instituto del Asfalto.

**Tabla 9:** Criterios de tamaño de grano para el uso en mezclas asfálticas

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80 - 100	100	
12,5 mm (1/2")	67 - 85	80 - 100	
9,5 mm (3/8")	60 - 77	70 - 88	100
4,75 mm (N° 4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2,00 mm (N° 10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 μm (N° 40)	14 - 25	17 - 28	16 - 29
180 μm (N° 80)	8 - 17	8 - 17	9 - 19
75 μm (N° 200)	4 - 8	4 - 8	5 - 10

*Fuente: Manual de Ensayos de Materiales.*

### Cemento Asfáltico

El material bituminoso utilizado como aglomerante sólido presenta cinco grados según el rango térmico: PEN 40-50, PEN 60-70, PEN 85-100, PEN 120-150, PEN 200-300 (MTC, 2013). Su uso dependerá de las condiciones de las características meteorológicas de la zona (espacio de aplicación) y la carta de viscosidad del cemento asfáltico, como se detallará mediante la próxima tabla.

**Tabla 10:** Descripción del tipo de asfalto cementoso

Temperatura Media Anual			
24°C	24°C - 15°C	15°C- 5°C	Menos de 5°C
40-50		85-10	Asfalto Modificado
60-70	60-70		
Modificado		120-150	

**Fuente:** Manual de Ensayos de Materiales.

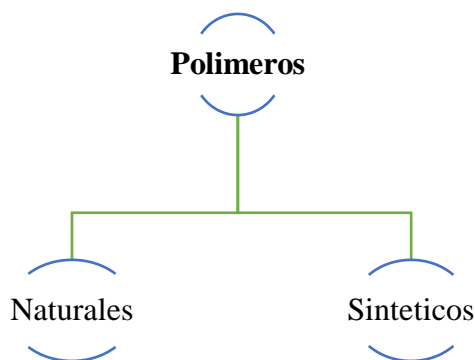
### Polímeros

Históricamente, se sabe que el primer polímero sintético fue investigado por Baekeland, quien utilizó proporciones específicas de fenol y formaldehído, desarrollando finalmente resinas termoplásticas que permitieron la creación de plásticos termostables (Baquelita). Posterior a esto, aproximadamente en la primera guerra mundial ya se conocía la producción a la concurrencia por el plástico como: laca, celuloide, acetato de celulosa, lana, etc. Ya a partir de 1940 el estudio de polímeros ha ido en crecimiento rápido, puesto que hoy es una tecnología e industria de este material, y se le denomina ciencia aplicada y no empírica. [19]

El uso de polímeros en mezclas bituminosas no cuenta con una sola utilidad como modificación del cemento asfáltico, todo lo contrario, también pueden incorporarse directamente en la mezcla como agregado pétreo o modificador de este, mejorando significativamente las propiedades mecánicas y de durabilidad del pavimento. Estos polímeros actúan mejorando las interacciones entre el asfalto y los agregados, resultando en mezclas más resistentes y duraderas.

### Definición de Polímero

Un polímero es una molécula de gran tamaño formada por la secuencia de unidades más pequeñas, denominadas monómeros, que se unen por enlaces covalentes por medio de procesos de síntesis molecular. Las proteínas, como la madera, el caucho, la quitina y la resina, al igual que muchas sustancias orgánicas, los compuestos artificiales como los plásticos y las fibras también son polímeros. No obstante, comparten una estructura semejante y tienen parecidas teorías.



**Grafica 4:** Categorización de los compuestos poliméricos

**Fuente:** Valarezo Ulloa, 2012.

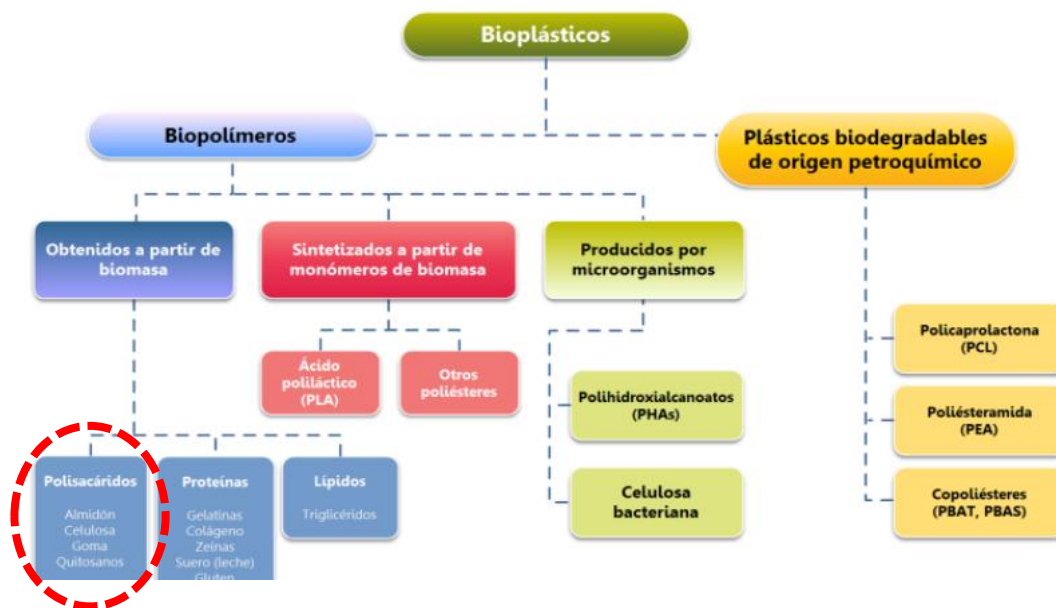
Un campo destacado dentro del estudio de los compuestos poliméricos, que ha tenido un gran crecimiento, es los biopolímeros, también llamados materiales poliméricos naturales. [20]. Además, a ello las razones de los polímeros naturales suelen ser renovables debido a que la naturaleza continúa produciéndolos conforme se extraen. Esto es crucial dada la elevada cualidad de preservar y gestionar mejor nuestra demanda de residuos, buscando alternativas a los recursos no renovables como el crudo. Los biopolímeros, son generados mediante organismos vivos. Actualmente, coexiste una amplia variedad de materiales poliméricos naturales, que se dividen principalmente en tres categorías: proteínas, polisacáridos y ácidos nucleicos. [21]

Los polímeros sintéticos aparecieron como una respuesta a la búsqueda de replicar las propiedades estructurales de los polímeros naturales. Se fabrican mediante procesos de síntesis, como la adición o la condensación, lo que da lugar a polímeros con cadenas lineales o macromoléculas de estructura tridimensional. [20].

### **Biopolímero**

Son estimados como macromoléculas o materiales poliméricos que están presentes por los seres vivos, de modo que el biopolímero más profuso en superficie es la celulosa, seguido viene el almidón que se denota en su estructura capas sobre capas. Este último biopolímero tiene la aptitud de fomentar la creación de producir bioplástico. [19]

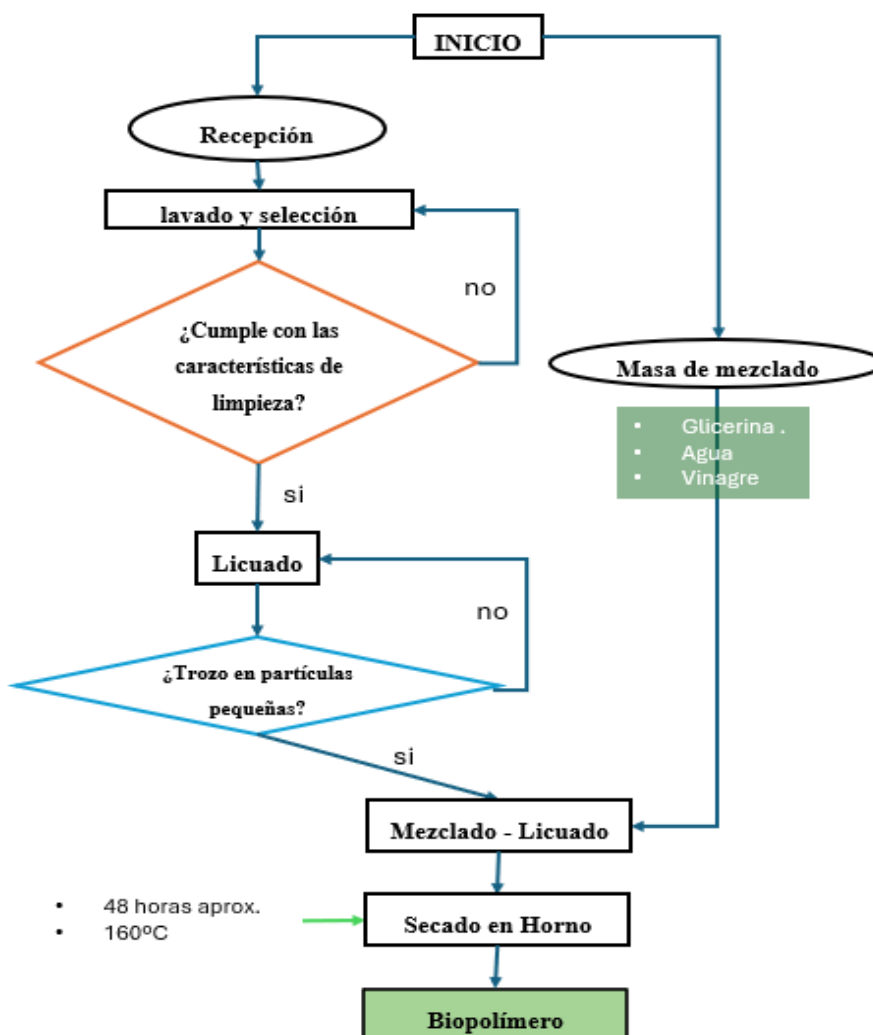
Los biopolímeros se logran organizar desde su origen y parte de ahí el proceso de fabricación del bioplástico, en la siguiente imagen se muestra la clasificación en donde los circulados son los destacados. [19]



*Grafica 5: Clasificación de los Bioplásticos, según su composición*

*Fuente: REMAR (Red de Energía y Medio Ambiente)*

- *Elaboración del biopolímero (Estrategia de procedimiento mediante diagrama de flujo)*



*Grafica 6: Elaboración del biopolímero representado en un Diagrama de flujo*

*Fuente: Producción personal*

#### - Almidón

Se trata del segundo polisacárido más común, ampliamente distribuido en las plantas, donde se almacena como carbohidratos en distintas partes como semillas, frutas, tubérculos, raíces, hojas y tallos [20]. Su principal componente es la glucosa, aunque puede contener pequeñas cantidades de otras sustancias, como oligoconstituyentes o residuos no eliminados durante la extracción. A nivel químico, la molécula de almidón está formada por dos tipos de polisacáridos: la amilosa y la amilopectina. [21]

#### **Plátano**

El plátano (*musa paradisiaca*) es una planta herbácea perenne y de gran tamaño, que presenta flores pero no es un árbol. Se desarrolla a partir de un rizoma y forma un tallo falso compuesto por hojas que crecen en espiral. Puede llegar a medir hasta diez metros de altura. Su fruto, que se agrupa en racimos, es generalmente verde y más grande que el plátano común. Este fruto es considerado una falsa baya, con una longitud entre 7 y 30 centímetros y cubierto por un pericarpio. La cáscara, de textura resistente, tiene forma cilíndrica y algo curva. La pulpa es firme, lisa y compacta, con un tono verde oscuro en el exterior y blanco o amarillo en el interior, además de contener un elevado nivel de almidón resistente.

La mayor parte de los bananos que exporta Perú son de origen orgánico, representando cerca del 3% de la producción mundial de bananos de este tipo. En 2014, la superficie destinada a su cultivo abarcaba unas 5,500 hectáreas, lo que equivale aproximadamente al 4% del área total dedicada al banano. La producción se centralizó en las zonas norteñas de Piura, Tumbes y Lambayeque, y estuvo mayormente a cargo de pequeños productores con parcelas menores a tres hectáreas. Desde que Perú inició con la transición de producción habitual a orgánica en los años 90, más del 80% de esta actividad se encuentra focalizada en el Valle del Chira, en Piura [22].



*Ilustración 3 : Plátano de verde (musa paradisiaca)*

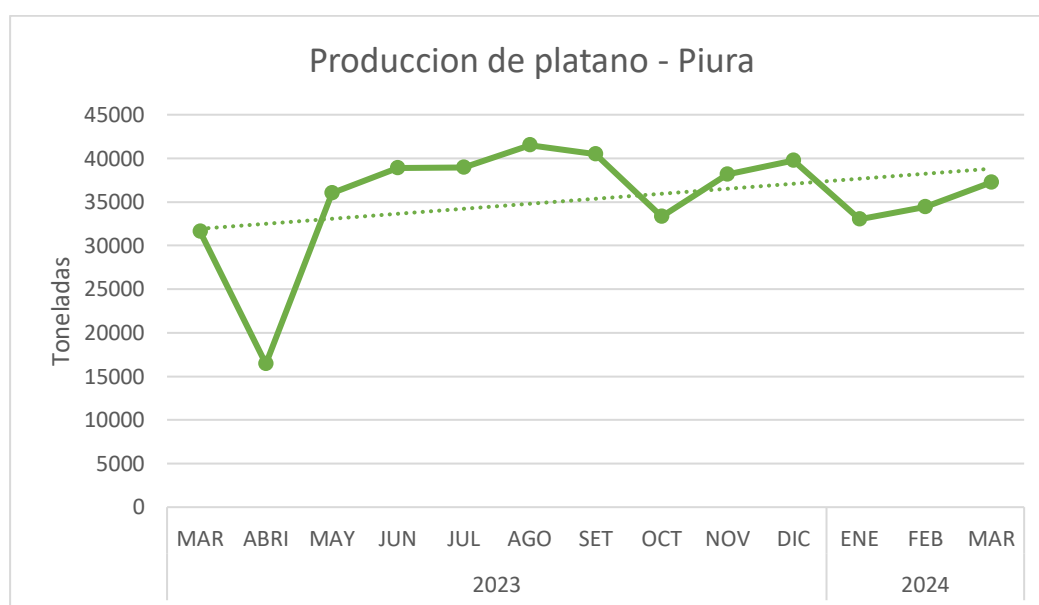
**Fuente:** Producción personal

El plátano se ubica como el quinto cultivo más importante de Piura según el BCRP-Sucursal Piura, representando el 7,9 por ciento de su producción agrícola. La región es la segunda productora nacional de plátano, con una participación promedio de 14,1 por ciento en la producción nacional del cultivo en la última década. La producción de plátano se incrementó en 9,9 por ciento en 2022 [23].

**Tabla 11 : Producción agrícola del plátano en Piura**

PRODUCTO	2023											2024	
	MARC	APRI	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JAN	FEB	MAR
Plátano	31619	16427	36013	38881	38944	41500	40477	33331	38145	39750	33000	34413	37239

**Fuente:** BCRP- Sucursal Piura. Departamento de Estudios



**Grafica 7: Datos lineales según la producción del 2023 - 2024**

**Fuente:** BCRP- Sucursal Piura. Departamento de Estudios

### Cascara de Plátano

Alrededor del 90% del almidón presente en la cáscara de plátano se convierte en azúcares alrededor de los 12 días posteriores a la recolección, alcanza un nivel de 14.6% en peso seco. La cáscara contiene un 13% en fibra peso seco. Entre los elementos más destacados de la cáscara se encuentran la celulosa (25%), la hemicelulosa (15%) y la lignina (60%). Además, la cáscara de plátano posee capacidad de adsorción.

El almidón y la celulosa son materias primas clave en la producción de bioplásticos. El almidón está formado por dos tipos distintos de cadenas poliméricas compuestas de moléculas de glucosa: la amilosa y la amilopectina.

El almidón es un polímero natural cuyas macromoléculas forman gránulos estructurados en capas, cuyas propiedades como composición, cantidad y forma dependen de la fuente de origen. Por su parte, la celulosa es el biopolímero predominante en la tierra. Aproximadamente entre el 70 y 80% de los polímeros biogenerados se obtienen del almidón, siendo este un recurso clave en la producción global [20].

### **Mezclas Asfálticas con Biopolímeros**

Se conoce que las mezclas asfálticas trabajan con polímeros – biopolímeros por medio de dos técnicas para así determinar cambios en las propiedades de los pavimentos asfálticos. Como primera técnica es la vía húmeda donde el polímero funciona como aditivo en el agregado del asfalto, puesto que demanda de altas temperaturas para luego ser untado en los agregados pétreos, finalizando en una mezcla asfáltica. Ahora, como segunda vía seca este se ve reemplazado por parte del agregado pétreo, donde también utiliza altas temperaturas y seguido del asfalto para conformar la mezcla asfáltica.

### **Análisis de Espectroscopia Infrarroja FTIR-ATR**

La Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier con Reflectancia Total Atenuada (FTIR-ATR) es una técnica analítica eficaz que se utiliza para identificar y caracterizar materiales mediante la interacción de sus moléculas con la radiación infrarroja. Esta técnica implica el contacto de la muestra con un cristal de alta refracción, lo que proporciona una mayor sensibilidad y precisión en semejanza con los métodos espectroscópicos comunes.

- Aplicación en la investigación de polímeros

La FTIR-ATR es una herramienta clave en el estudio de polímeros, ya que permite analizar la conformación química, la formulación y las características de estos materiales. Esto es crucial para el avance y mejora de novedosos materiales poliméricos.

### **Métodos de diseño**

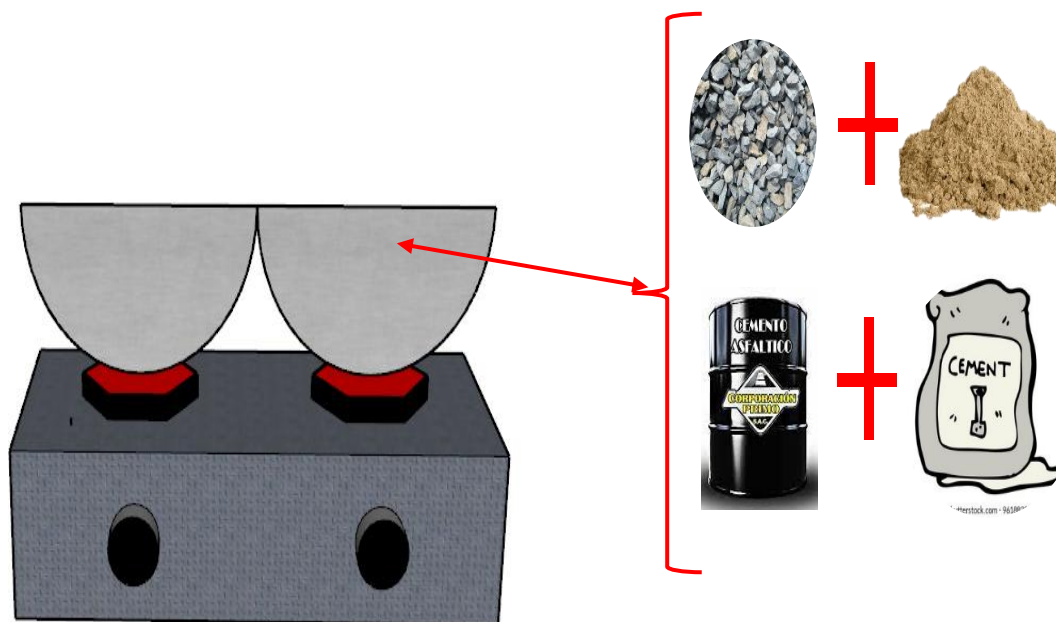
- **Ensayo de Marshall – ASTM D 1559/ MTC E 504**

La finalidad del método Marshall es determinar la cantidad óptima de asfalto adecuada para una mezcla particular de agregados. Además, adecuar datos sobre las cualidad de la MAC, definiendo las densidades y niveles de vacíos óptimos que obligados a cumplirse en la construcción de la carpeta asfáltica. Un aspecto clave de esta metodología es la capacidad de controlar la relación densidad/vacíos del material bituminoso. Esto asegura que las

relaciones de volumen entre los componentes que estén dentro de los límites requeridos, garantizando que la mezcla cumpla con las especificaciones técnicas y sea duradera [24].

#### Preparación de la muestra

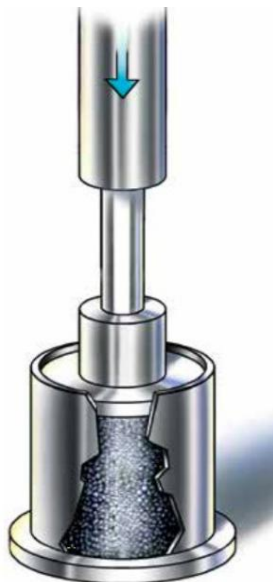
Las muestras de diferentes formulaciones de mezclas de pavimento se preparan ajustando ligeramente la cantidad de asfalto en cada caso. El rango de niveles de asfalto en las probetas utilizadas para ensayos se define según la experiencia adquirida con los agregados empleados en la mezcla. Este rango preliminar facilita al laboratorio establecer la cantidad exacta de asfalto para la mezcla definitiva. La proporción de agregados en las mezclas se determina mediante la revisión y análisis de los resultados obtenidos en la evaluación granulométrica.



**Ilustración 4:** Visualización de la preparación y contenido de muestra asfáltica

**Fuente:** Producción personal

La MAC y los agregados se caldean y combinan de manera uniforme hasta que todas las partículas quedan recubiertas, simulando los pasos de calefacción y combinación. Las MAC se colocan en moldes Marshall previamente temperadas para prepararlas para la compactación. Utilizamos un martillo de consolidación Marshall, también temperado, para eludir que se enfríe la mezcla al consolidar. Dichas briquetas se compactan con impactos del martillo (35, 50 o 75, según el nivel de tránsito que soportarán). Ambos lados de cada muestra reciben la misma cantidad de impactos. Tras la consolidación, las muestras se enfrían y se retiran de las plantillas. [24].



*Ilustración 5: Muestra de compactación mediante el Ensayo de Marshall de Asfalto*

*Fuente: Artículo DINAPAC.*

#### Procedimiento del ensayo

##### 1. Determinación del peso específico total

Para cada espécimen se determina, teniendo en cuenta que las probetas deben estar ya compactada y alcanzado una temperatura habitual. Esta información es fundamental respecto al estudio de densidad y porosidad.

##### 2. Valor de Estabilidad Marshall

La estabilidad Marshall se refiere a la mayor carga que una muestra puede resistir antes de colapsar. Durante el ensayo, los cabezales del equipo aplican la carga progresivamente hasta que la probeta cede, momento en el que se evalúa la carga máxima como el significado de estabilidad.

##### 3. Valor de Fluencia Marshall

Las mezclas con baja fluencia y alta estabilidad Marshall se consideran muy frágiles pero adecuadas para su aplicación en pavimentos. Dicho lo anterior, las mezclas con alta fluencia tienden a ser muy polímeros y se deforman fácilmente por el tránsito.

##### 4. Análisis de Densidad y Vacíos

Después de analizar los ensayos de estabilidad y fluencia, se desarrolla una evaluación de densidad y vacíos en cada grupo de probetas. Dicha evaluación permite hallar el % de vacíos en la MAC compactada.

#### **- Ensayo de Lottman Test Modificado MTC 522, AASTHO T283**

El ensayo de Lottman modificado, también denominado AASTHO T283, es empleado para analizar la susceptibilidad de las MA al deterioro provocado por la condensación. Este

análisis es clave para comprender cómo el agua puede influir en la resistencia y longevidad de dichas mezclas, aspecto fundamental en el diseño y conservación de pavimentos.

Proceso del ensayo:

1. **Preparación de muestras:** Se compactan cilindros de mezcla asfáltica que luego se dividen en dos grupos: uno se mantendrá en seco y el otro será expuesto a condiciones de humedad.
2. **Acondicionamiento:** Las muestras asignadas a evaluación de humedad se zambullen en agua temperada durante un tiempo específico (normalmente 24 horas) y luego pasan por ciclos de congelación y descongelación para simular ambientes climáticos extremos.
3. **Prueba de resistencia:** Se realiza una prueba de tensión diametral en ambos grupos (seco y húmedo) con una máquina de compresión, registrando la carga máxima que soportan antes de fallar.
4. **Cálculos:** Se calculan los valores de resistencia a la tensión diametral (RTD) para cada grupo de muestras.

- **Ensayo de Cántabro MTC E 515 - NLT- 362/92**

El ensayo de Cántabro, conforme a la norma NLT-362/92, tiene como finalidad evaluar la resistencia al desgaste de los materiales pétreos empleados en las MAC. Esta evaluación ayuda a medir la durabilidad de los materiales frente al tránsito y las condiciones ambientales, garantizando que los pavimentos con estos agregados mantengan su estructura a lo largo del tiempo.

Procedimiento del ensayo:

1. Preparación de muestras: Se seleccionan agregados pétreos representativos del material a emplear en la construcción.
2. Tamizado: Se tamizan los agregados para obtener una fracción que cumpla con las especificaciones granulométricas requeridas.
3. Pesaje inicial: Se mide el peso de una cantidad específica de agregados secos antes de comenzar la prueba.
4. Prueba de desgaste:
  - o La muestra se coloca en un tambor de análisis adherido a una cantidad determinada de ruedas de acero.
  - o El tambor gira a una velocidad constante durante un tiempo definido (usualmente 30 minutos).

5. Pesaje final: Tras la prueba, se pesan nuevamente los agregados para calcular la pérdida de masa causada por el desgaste.

### **Proyección probabilística de vida útil de la carpeta asfáltica basada en desempeño mecánico.**

Este método se apoya con la participación experimental con resultados de ensayos de Cántabro y RTI, para observar el comportamiento del pavimento mediante curvas típicas de modelos como: HDM-4 y lineamientos de ASSTHO. [25]

#### **- Modelo Sigmoide de Degradación**

$$t_0 = \text{Convencional} \times \frac{\%Desgast_{conv}}{\%Desgast_{mezcla}} \quad C(t) = \frac{100}{1 + e^{k(t-t_0)}}$$

$$C(t_{vida}) = 40\%$$

$$k = \frac{\ln\left(\frac{100}{40} - 1\right)}{t_{vida} - t_0}$$

(PMS) como HDM-4 y AASHTO usan curvas en “S” (funciones logísticas) para describir cómo la condición funcional de una carpeta asfáltica decrece con el tiempo. [25]

## **Materiales y métodos**

### **Tipo y Nivel de Investigación**

#### *- Por el propósito*

El estudio desarrollado de esta investigación es aplicado, puesto que recoge distintas técnicas y búsqueda de datos con el fin de aportar el nivel de investigación para el tema. Por otro lado intenta generar investigación y conocimiento, de manera que se pretende adicionar el biopolímero extraído de la cascara de plátano como agregado fino para mejorar las propiedades mecánicas y físicas de las mezclas asfálticas.

#### *- Según el diseño de investigación*

Esta investigación se desarrolló de forma experimental, es por eso que nuestra investigación intenta hacer el control, manipulación y observación de nuestras variables.

#### *- Diseño de investigación según nivel*

El enfoque metodológico de la investigación se trabajó en fase de la experimentación, con grupos de estudio ya designados previamente al desarrollo, para explicar el impacto que tiene el biopolímero de cascara de plátano frente a las propiedades mecánicas y físicas de las mezclas asfálticas. Además, la comparación del gasto asociado a una mezcla asfáltica habitual.

## **Población, Muestra y Muestreo**

### *- Población*

Está compuesta para sitios determinados, en este caso mediante el ligante bituminoso (PEN 60-70) que se identifica en climas con una condición térmica de 24°C a 15°C, siendo así que la población se vería identificada para zonas costeras.

### *- Muestra*

En el presente estudio, se empleará un muestreo de tipo 'No probabilístico por juicio', dado que el número de especímenes se seleccionará con base en conocimientos previos y normas establecidas. Por ello, la justificación del tamaño de la población de especímenes a evaluar se ha determinado en 108.

### *- Muestreo*

El muestreo estará constituido por 108 briquetas en mezclas asfálticas, que estarán distribuidas de acuerdo con lo siguiente:

Se iniciará con una muestra patrón, por medio de método de Marshall para determinar la cantidad ideal del PEN, además se considera un tipo de tráfico mediano. Para ello, el número de especímenes a estudiarlas estaría en relación a la cantidad mínima que dispone el MTC E - 504 en el apartado 2.5, donde menciona 03 especímenes con cada aumento en el nivel de ligante, además especifica que la variación del contenido ligante estaría en 0.5%, donde el rango se basa en experiencia y datos históricos de los materiales, incurriendo en la elección, juicio y error de las propiedades de la mezcla. En tal sentido que en cada ligante bituminoso tendrán variaciones de (4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6%) y el número a ensayar se propone 3 briquetas de mezclas asfálticas. De modo que se finaliza eligiendo un nivel óptimo contenido de ligante bituminoso, donde presentara mejores propiedades como: flujo, estabilidad, peso específico, peso unitario, porcentaje de vacíos y peso específico aparente, determinando así el porcentaje optimo.

**Tabla 12:** Elección de especímenes para evaluar el porcentaje ideal de CA de acuerdo con el Método Marshall

<b>Ensayo de Marshall</b>	
<b>PEN</b>	<b>Muestra Patrón</b>
<b>4%</b>	3
<b>4.5%</b>	3
<b>5%</b>	3
<b>5.5%</b>	3
<b>6%</b>	3
<b>Total</b>	<b>15</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

A partir del porcentaje del nivel óptimo de asfalto ya determinada por la muestra patrón, se sigue con el estudio de diferentes tipos de métodos de diseño ya mencionados, para brindar los indicadores establecidos propiamente dicho, que son: Estabilidad, flujo, Rigidez, Perdida por desgaste, Resistencia a la Humedad inducida y deformación.

Respecto a la distribución de briquetas con la cual se cuenta en los tres diferentes ensayos, se justifica de la siguiente manera:

- Ensayo de Marshall – ASTDM D 1559/ MTC E 504, ambas normativas sostienen que el mínimo de muestras a ensayar son 03, por ende, se plantea 07 briquetas a ensayar para mayor precisión y representación al evaluar los resultados
- Ensayo de Cántabro NLT-362/92, se propone 08 briquetas para la muestra patrón y muestras con adición respectivamente (1%,1.5% y 2%), cabe reconocer que la norma NLT 362/92 menciona que la cantidad suficiente mínima es la ya propuesta en la tabla 12, mientras que MTC E – 515 menciona 04 probetas como mínimas, así mismo se opta por el mayor número de muestras a ensayar permitiendo más valores a evaluar, además se trabajara con el porcentaje óptimo de la muestra patrón.
- Ensayo Lottman Modificado, según AASTHO T283 menciona 06 briquetas a ensayar, pero se propuso 08 muestras para apoyar mejores estructuraciones con respecto a la evaluación de resultados.

**Tabla 13:** Cantidad de Briquetas con el óptimo para ensayar en los Métodos de Diseño

Muestra con PEN %	Ensayo de Marshall – ASTDM D 1559/ MTC E 504	Ensayo Cantabro NLT-362/92	Ensayo Lottman Modificado AASTHO T283	Total
M. Patrón	7	8	8	23
1%	7	8	8	23
1.5%	7	8	8	23
2%	7	8	8	23
<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>92</b>

*Fuente:* Producción personal

## Variables

- Variables independientes

Biopolímero de plátano verde como agregado fino

- Variable dependiente

Propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas.

- Variable interviniente

Tipo de tráfico, tipo de cemento asfáltico y tipo de granulometría.

- Proceso de operacionalización de la variable

**Tabla 14:** Variables dependientes y independientes

<b>VARIABLE</b>	<b>TIPO DE VARIABLE</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>UNIDADES DE MEDIDA</b>	<b>MÉTODO DE MEDICIÓN</b>
<i>Propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas</i>	<i>Dependiente</i>	<i>Física</i>	<i>Parámetros Volumétricos</i>	<i>cm</i>	<i>Balanza MTC 502</i>
			<i>Densidad teórica máxima</i>	<i>%</i>	<i>Ensayo Rice ASTM D- 2041</i>
		<i>Mecánicas</i>	<i>Estabilidad</i>	<i>Kg</i>	<i>Ensayo de Marshall – ASTDM D 1559/ MTC E 504</i>
			<i>Flujo</i>	<i>Mm</i>	
			<i>Estabilidad/Fluencia</i>	<i>Kg/cm</i>	
			<i>Resistencia a la Tracción Indirecta</i>	<i>Mpa</i>	<i>Ensayo de Tracción Indirecta ASTM D4867</i>
			<i>Perdida por desgaste</i>	<i>%</i>	<i>Ensayo de Cantabro NLT-362/92</i>
			<i>Resistencia a la Humead Inducida</i>	<i>%</i>	<i>MTC E-522/ Ensayo de Lottman Modificado AASTHO T 283</i>
<i>Adición del biopolímero de plátano verde</i>	<i>Independiente</i>	<i>Cantidad de biopolímero</i>	<i>Porcentaje en peso %</i>	<i>0%, 1%,1.5%,2%</i>	<i>Balanza</i>
			<i>Estructura química, la composición y las propiedades de los materiales poliméricos.</i>	<i>%</i>	<i>Espectroscopia Infraroja FTIR-ATR</i>

**Fuente:** Producción personal

**Tabla 15:** Cuadro de Operacionalización de variable interviniente

<i>Variable Interviniente</i>	<i>Valor</i>
Tipo de trafico	Medio
Tipo de Cemento asfaltico	60/70
Tipo de granulometría	MAC- 2

**Fuente:** Producción personal

### **Hipótesis**

De qué manera la adición del biopolímero extraído de la cascara de plano mejorara las propiedades mecánicas y físicas de la mezcla asfáltica

### **Métodos y herramientas para la recopilación de información**

#### Observación directa

La obtención de datos se realizó a partir de la observación visual, pudiendo estar estructurada o no. En este contexto, dicha técnica se empleó durante el análisis en laboratorio y la recopilación de la cáscara de plátano, con el fin de desarrollar el biopolímero propuesto

#### Fichas técnicas

Esta metodología implicó la revisión de fuentes tanto físicas como digitales, y fue utilizada al comienzo de la investigación para seleccionar antecedentes, así como antes de realizar los ensayos. Se utilizaron fichas técnicas para registrar el contenido asfáltico, nivel gradación, cantidad de proporción y de trituración; además recopiló datos importantes sobre la estabilidad, flujo, rigidez, resistencia a la humedad inducida, resiliencia por tracción indirecta y pérdida de desgaste.

#### Instrumentos

Los instrumentos empleados en la investigación consistieron principalmente en aquellos requerimientos estandarizados por el MTC, ASTM y AASHTO para realizar los ensayos de laboratorio establecidos. Del mismo modo, para la comprobación de la hipótesis se aplicaron las pruebas estadísticas ANOVA y Tukey, siempre que los datos mostraron una distribución normal.

## Procedimiento

### *Elaboración del biopolímero*

- Recepción de la cubierta del banano verde

La envoltura de plátano verde es recolectada de la provincia de Morropón (KL 50) en el cual la mayoría de los residentes se involucra a negocios de la fabricación de chifles, es necesario resaltar que estos desperdicios van a la alimentación de animales y en su mayoría son desperdicios.



*Ilustración 6: Desperdicios de cascara de plátano en el KL 50-Piura*

*Fuente: Producción personal*

- Materiales y Equipos

- |                       |             |
|-----------------------|-------------|
| ✓ Cascara de plátanos | ✓ Agua      |
| ✓ Glicerina           | ✓ Horno     |
| ✓ Ácido acético       | ✓ Licuadora |

- Procedimiento

1. Se inicia triturando manualmente las cascara de plátano, para llevar a la licuadora hasta tener una masa sin desperdicios de plátano. Por otro lado, se coloca a fuego lento la glicerina, agua y el ácido acético, esta masa se tiene lista aproximadamente 2 minutos para poder homogenizar estos tres materiales hasta una masa pastosa. Además, las cantidades utilizadas de los materiales se refleja en el cuadro a continuación:

**Tabla 16 :** *Proporciones de insumos para la producción de 100g de biopolímero*

Descripción	Cantidad	Unidades
Cascara de Plátano	20	Unid
Glicerina	20	ml
Ácido Acético	20	ml
Agua	20	ml

**Fuente:** *Producción personal*

- Seguidamente ya lista la masa pastosa se coloca a la licuadora junto con la cascara de plátano licuado inicialmente, aproximadamente 3 minutos. Asimismo, esta masa final es colocada en depósitos metálicos, para luego ser llevados al horno por 24 horas.



**Ilustración 7:** *Muestra de la masa de biopolímero antes y después de ir al horno*

**Fuente:** *Producción personal*

### **Caracterización de los agregados gruesos**

- Ensayo de Abrasión Los Ángeles (MTC E 207)

La muestra se presentó totalmente seca y libre de material (polvo e impurezas), por ende, se obvió el lavado especificado por la norma, puesto a eso se empieza una separación por fracción según la gradación tipo B, que estaría entre los tamices 3/4", 1/2" y 3/8". Paso siguiente, los pesos retenidos es puesta en el dispositivo de desgaste de Los Ángeles, mediante la rotación de velocidades comprendidas en 30rpm a 33 rpm por 500 Rev. Luego se procede a separar con ayuda del tamiz N.º 10 el material grueso y fino, teniendo un peso de 4514 gramos.



**Ilustración 8:** Máquina de los Ángeles (Lab. Usat)

**Fuente:** Producción personal

2. Prueba para determinar el contenido total de humedad en los agregados mediante secado (MTC E 215)

El agregado grueso mediante el desarrollo se mostró limpia de impurezas y con su nivel de humedad de la fuente de origen, además se consideró una cantidad representativa entre 2 a 3 kg, puesto que el tamaño de la muestra presentaba tamaños nominales de  $\frac{1}{2}$ . Tomando así una masa del agregado grueso de un peso de 2567.9g y a ello el peso de tara, para luego ser puesta en horno a temperatura controlada y optima por un promedio de 24 horas, donde ya cumpliendo el tiempo la muestra es retirada, para enfriar en un lapso de 10 minutos y dar la toma de su peso en seco.



**Ilustración 9:** Desarrollo del ensayo para contenido de Humedad (Lab. Usat)

**Fuente:** Producción personal

### 3. Ensayo de Sales solubles Totales para agregados finos y gruesos (MTC E 219)

El agregado pétreo estaba libre de impurezas, se trabajó con una masa de 50g de agregado grueso y fino que pasa el tamiz N°10, a ello se colocó una botella de vidrio para cubrirla con agua destilada unos 3cm sobre el nivel de esta. Seguido se agita durante un periodo de 10 min, acabado esta actividad se deja reposar 10 minutos para separar las partículas del agregado con el líquido. Finalmente, en dos matraces con volumen de 50 ml se coloca el líquido flotante, ya homogenizada el líquido del último recipiente, esta se lleva al horno para cristalizar como masa constatae.



**Ilustración 10:** Desarrollo del ensayo de Sales Solubles Totales (Lab. USAT)

**Fuente:** Producción personal

### 4. Ensayo Caras fracturadas (MTC E 210)

El agregado pétreo estaba libre de impurezas, además se trabajó según al tamaño nominal apoyándose de los tamices N. °1", 3/4", 1/2" y 3/8" para tener pesos determinados según norma, a ello separamos cada retenido contabilizando piedras según tamaños y las dos categorías a evaluar (1 cara fracturada y más de 1 cara fracturada). Seguido se tomó peso de según las dos categorías ya contadas.

**Tabla 17: Pesos Retenidos para el Ensayo Caras Fracturadas**

Tamices	Masa en gramos
<b>1</b>	-----
<b>3/4</b>	1502.6 g
<b>1/2</b>	501 g
<b>3/8</b>	200.6 g

**Fuente:** Producción personal

5. Ensayo Partículas chatas y alargadas (MTC E 223 - ASTM 4791)

En este caso se utilizó la misma porción de muestras ya dispuestas en el ensayo anterior, pero en este caso se ensaya la muestra mediante dos grupos: Chatas y Alargadas. Para luego también tomar los pesos de estas mencionadas, teniendo los siguientes pesos:

**Tabla 18: Pesos retenidos para el Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas**

	Chatas	Alargadas
<b>3/4</b>	92 g	115 g
<b>1/2</b>	292 g	105 g
<b>3/8</b>	157 g	85 g

**Fuente:** Producción personal

6. Ensayo de Durabilidad al sulfato de magnesio (MTC E 209)

El agregado pétreo estaba libre de impurezas a ello con ayuda de los tamices (Nº4, 3/8", 1/2" y 3/4") se pesa el retenido siendo el peso inicial original, seguido se inicia el periodo de inmersión que se sumergirá los retenidos en sulfato de magnesio durante 16 horas. Terminando este, se escurre el restante de líquido y se pasa a un dispositivo térmico, para la obtención del peso constante. A ello se seguirá una repetición de ciclos requeridos de la misma manera.



**Ilustración 11:** Desarrollo del Ensayo de Durabilidad al sulfato de magnesio (Lab. USAT)

**Fuente:** Producción personal

#### 7. Equivalente de arena (MTC E 114)

Se inicia preparando la muestra pasante por el Tamiz N.º 4, a ello se prepara el cilindro de plástico para iniciar el periodo humedecimiento, para verter el agregado fino y composición líquida de  $\text{CaCl}_2$ , dejándolo por un lapso de 10 minutos. Seguido este cilindro con material ya mencionado se invierte y se agita con un movimiento horizontal por 30 segundos, para un periodo de irrigación como se muestra en la imagen.



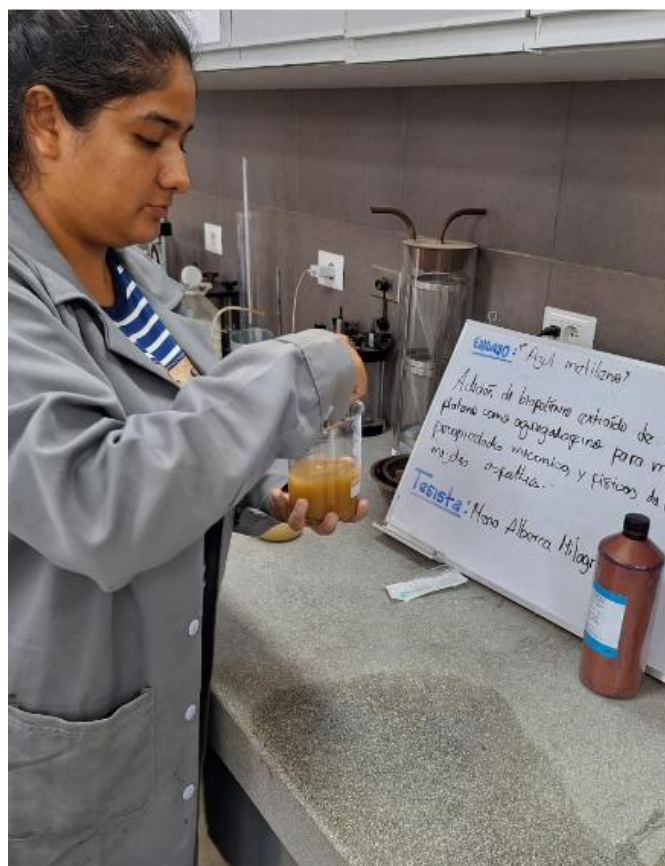
**Ilustración 12:** Desarrollo del ensayo de Equivalente de Arena (Lab. USAT)

**Fuente:** Producción personal

Una vez ya dispuesto al reposo el cilindro por 20 minutos, se comienza a tomar notas: horas de entradas y salidas, altura de suspensión de arena.

#### 8. Azul de metileno (ASTHO TP 57)

Se inicio pesando 5g del agregado fino que paso por el tamiz N° 200, para verterlo en un vaso de vidrio volumétrico de 500 ml, a ello se coloca 30 ml de agua purificada y se agita, de misma forma se vierte 0.5 ml de solución de metileno por 60 segundos y se agita. Finalmente se observa las gotas puestas de esta mezcla en el papel filtro como un anillo azul, como se observa en la siguiente imagen

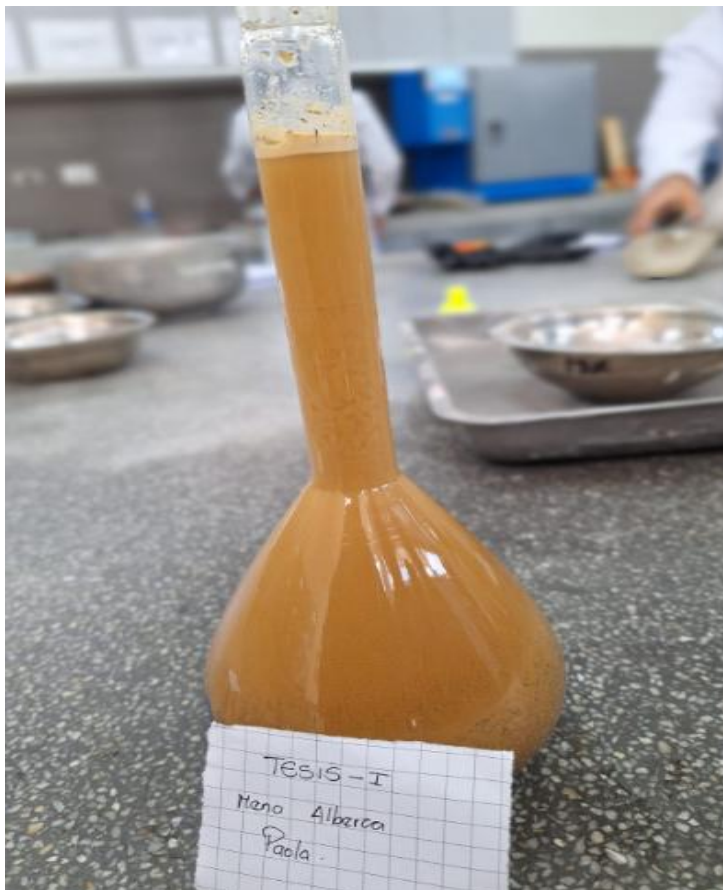


*Ilustración 13: Desarrollo del ensayo de Azul Metileno (Lab. USAT)*

*Fuente: Producción personal*

#### 9. Absorción y peso específico (MTC E 206)

Para este ensayo se considera una muestra de 500gr. Posteriormente introducirla en una fiola y llenarla con 500 cm<sup>3</sup>. Sacudir el recipiente para remover las globos de aire aprox. 20 minutos. Finalmente remover el agregado, verter el agua cuidadosamente para evitar derrames de la muestra, llevarla al horno, enfriar y determinar su peso



**Ilustración 14:** Desarrollo del ensayo de Absorción y peso específico (Lab. USAT)

**Fuente:** Producción personal

#### 10. Límites de atterberg

Límite Líquido (malla N.º 40) y Límite Plástico (malla N.º 200)

Se necesita una muestra de 200g por separado que pase por la malla 200 y pase por la malla 40 respectivamente. Seguido se lleva por separado a un depósito y verter agua destilada hasta q tenga la consistencia usando una espátula, seguido se deja reposar por 16 horas. Pasando el tiempo con ayuda de la Cuchara casa grande se desarrollar diferentes golpes y a su vez esta muestra pasa por un laminado hasta formar hilos, en este caso respecto el límite plástico no registró (NP- no represento), mientras que el límite líquido se obtuvo los siguientes datos:

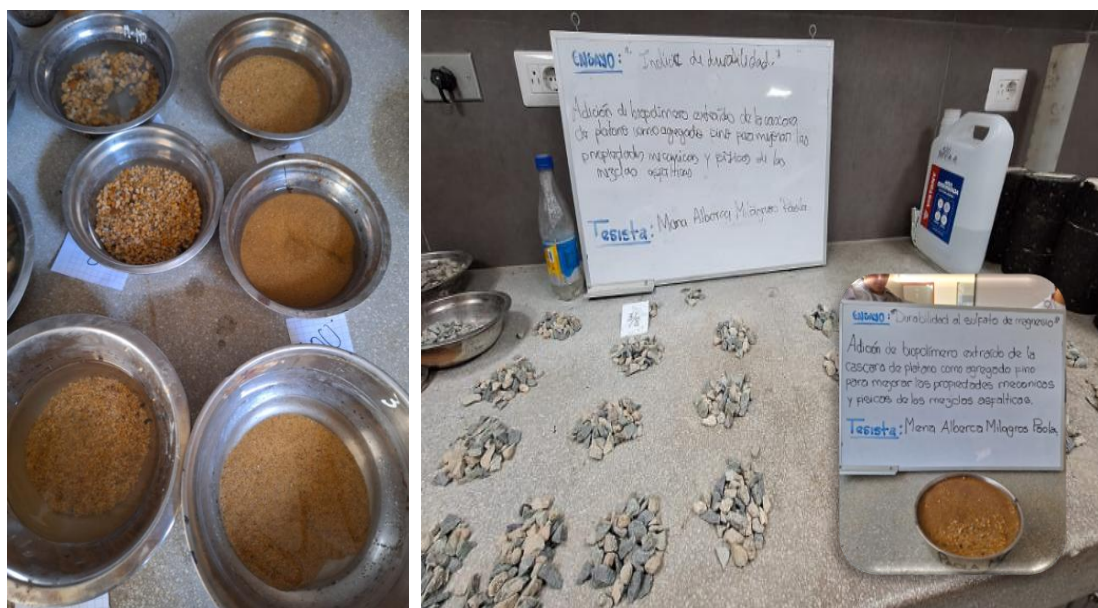


**Ilustración 15:** Desarrollo del ensayo de Límites de Atterberg

**Fuente:** Producción personal

#### 11. Durabilidad al Sulfato de Magnesio (MTC E 209)

El agregado pétreo estaba libre de impurezas a ello con ayuda de los tamices (3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100) se pesa el retenido siendo el peso inicial original, seguido se inicia el periodo de inmersión que se sumergirá los retenidos en sulfato de magnesio durante 16 horas. Terminando este, se escurre el restado de líquido y se pasa a un dispositivo térmico, para la obtención del peso constante. A ello se seguirá una repetición de ciclos requeridos de la misma manera.



**Ilustración 16:** Desarrollo del Ensayo de Durabilidad al sulfato

**Fuente:** Producción personal

***Ensayo de Marshall – ASTM D 1559/ MTC E 504***

- Granulometría de agregados gruesos y finos (MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27)

Para este ensayo se realizó una granulometría global con una fracción representativa de 3000 gr de agregado entre fino y grueso. Consiste en seleccionar los tamices normalizados según las especificaciones y encajarlos adecuadamente en orden descendiente colocando la fracción representativa en la malla superior, realizando el zarandeo y tamizado de forma mecánica, es decir con movimientos manuales.

- Preparación de la mezcla

Elaboramos la mezcla asfáltica siguiendo los distintos tamaños máximos nominales, utilizando una gradación MAC-2. Las briquetas se realizan con diferentes proporciones de cemento asfáltico para obtener resultados representativos y encontrar el valor ideal. Se preparan con incrementos de 0.5% de asfalto, asegurando un peso total de 1500 gramos de materiales en cada una. Se fabricarán tres para cada % PEN, a ello se pesó separándolo en bolsitas respectivamente. El proceso incluye calentar los materiales granulares y partículas finas, también verter el cemento asfáltico caliente y mezclar con la intención de obtener una consistencia homogénea.



***Ilustración 17: Desarrollo de la preparación de la mezcla asfáltica (Lab. USAT)***

***Fuente: Producción personal***



**Ilustración 18:** Desarrollo de la preparación de la mezcla asfáltica (Lab. USAT)

**Fuente:** Producción personal

- Compactación de las probetas

Seguidamente tener en cuenta con el tiempo que la mezcla estaría en calor, porque podría perjudicarla respectivamente, paralelo se ensambla el molde y se recubre con Varsol, colocando papel filtro en el fondo. Luego se da la actividad de compactar dando 55 golpes por ambas caras con ayuda del martillo compactador, se enfría el molde durante 24 horas a temperatura ambiente para proceder a desencofrar este.



**Ilustración 19:** Desarrollo para la determinación de densidad de briquetas.

**Fuente:** Producción personal

- Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall

Antes de iniciar el ensayo de estabilidad y flujo, se requiere actividades previas como: anotar pesos de las briquetas a ensayar, medidas de diámetros por ambas caras y dos alturas de las briquetas para obtener promedios de estos, determinar la densidad de estas mismas sumergiéndolas en agua para tener pesos sumergido y pesos húmedos si sumergir.



**Ilustración 20:** Desarrollo para la determinación de densidad de briquetas.

**Fuente:** Producción personal

Seguido de tener ya la densidad de las muestras, se ejecuta el ensayo de estabilidad y flujo de Marshall mediante el equipo de Prensa CBR, se inicia con sumergir las unidades de análisis en agua en un dispositivo térmico a un nivel de calor de 60°C durante 30 minutos aproximadamente, para luego ser retiradas y puestas de una en una en el equipo de Prensa CBR, en la cual, se aplicará una carga que sería una tasa de deformación constante de 50 milímetros por minuto. Donde se toma nota de la fuerza máxima aplicada que soporto cada briqueta antes de romperse siendo la estabilidad, y a ello se experimentara deformaciones que sería el flujo.



**Ilustración 21:** Desarrollo del ensayo de estabilidad y flujo

**Fuente:** Producción personal

- Ensayo de Gravedad Especifica (RICE)

Para iniciar este ensayo se reservó un promedio de 2 kg de muestra por cada proporción de material bituminoso respectivamente, buscando el propósito para la obtención de la gravedad específica máxima de estas muestras. Además, las muestras reservadas son también las briquetas que se le utilizó para estabilidad y flujo, con la condición de ser desintegradas como mezcla compactada, por lo tanto, se llevó a cabo la disociación de briquetas para tener lo necesitado mediante fuego lento.



**Ilustración 22:** Desarrollo de la desintegración de briquetas para el Ensayo de Rice

**Fuente:** Producción personal

Una vez desintegrada la mezcla, se pesa los 2 kg con los que se va a trabajar conforme a los porcentajes de ligante bituminoso, se procede a ensayar mediante Rice: Se llena el frasco a la mitad de su capacidad, se pesa y luego se añade la muestra. Posteriormente se procede a el vacío parcial del aire a una presión de 30 mm de Hg. durante 15 minutos. Finalmente se pesa el frasco con el agua y la muestra final.



*Ilustración 23: Desarrollo del Ensayo de Rice*

*Fuente: Producción personal*

### **Ensayo de Cantabro NLT- 362/92**

El procedimiento del ensayo Cántabro fue el siguiente: Una vez ya se cuente con las briquetas con los contenidos óptimos, se coloca la muestra por dentro del Aparato de abrasión de Los Ángeles sin las bolas y se deja dar 300 vueltas. Una vez terminado, se procede a pesar y se compara el peso anterior que tenía con a que ahora ha pasado un proceso de abrasión.



*Ilustración 24: Desarrollo del ensayo de Cántabro NLT-362/92*

*Fuente: Producción personal*

### Ensayo de Lottman Modificado

Para este ensayo elaboran tres muestras secas y tres muestras húmedas luego de haber sido sometidas a una temperatura de  $-16^{\circ}\text{C}$ , además de determinar la capacidad de resistencia al deterioro provocado por la humedad y la densidad de las briquetas.



*Ilustración 25: Desarrollo del Ensayo de Lottman Modificado*

*Fuente: Producción personal*

Posteriormente las muestras son sometidas a tratamiento en baño maría bajo una temperatura controlada de aproximadamente  $60^{\circ}\text{C}$  en el transcurso de intervalos de 30 a 40 minutos. Finalmente, se emplea una fuerza de compresión aplicada en los ejes diametrales de las muestras de prueba.



*Ilustración 26: Desarrollo del Ensayo de Tracción Indirecta*

*Fuente: Producción personal*

## Resultados y discusión

En esta sección se detallan los resultados logrados mediante los ensayos desarrollados en las instalaciones de laboratorio (USAT), efectuando así, con los objetivos propuestos

### *Identificaciones de las características mecánicas y físicas de los agregados.*

#### Agregados gruesos

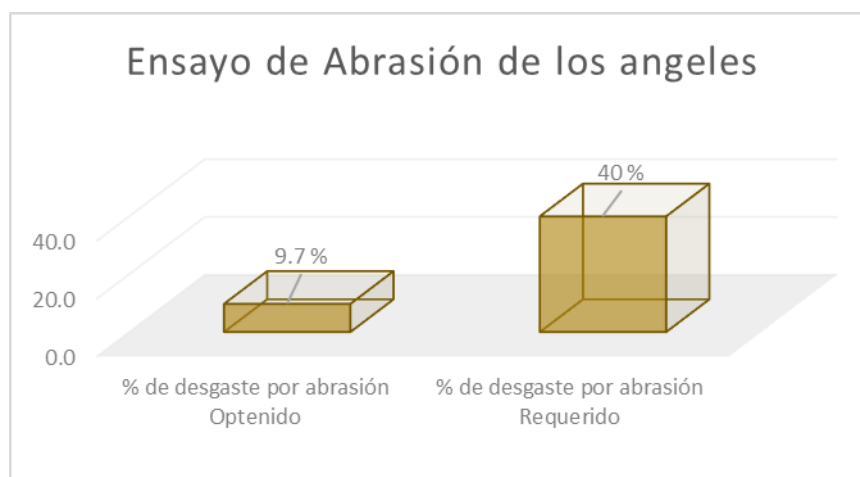
#### 1. Ensayo de Abrasión Los Ángeles (MTC E 207)

**Tabla 19:** Resultado del Ensayo e Abrasión de los Ángeles

Peso inicial antes del ensayo	5000.0
Peso final después de las 200 revoluciones	4760.0
Peso final después de las 500 revoluciones	4514.0
% de desgaste por abrasión	9.7
<b>% de uniformidad</b>	<b>0.5</b>

*Fuente: Producción personal*

Mediante la tabla 20, se expuso los pesos iniciales y finales según revoluciones, para finalmente conocer los porcentajes de pérdida de material por abrasión del agregado de gran tamaño.



**Grafica 8:** Comparación de resultados obtenidos del Ensayo de abrasión de los Ángeles vs los requeridos.

*Fuente: Producción personal*

## 2. Ensayo para contenido de Humedad (MTC E 215)

**Tabla 20 : Resultado del Ensayo de Humedad de los agregados gruesos**

Peso de muestra húmeda	(gr.)	500.00
Peso de muestra seca	(gr.)	486
Peso de recipiente	(gr.)	0.00
<b>Contenido de humedad</b>	<b>(%)</b>	<b>2.88</b>

*Fuente: Producción personal*

El resultado proyectado del ensayo para el contenido de Humedad es de 2.88%.

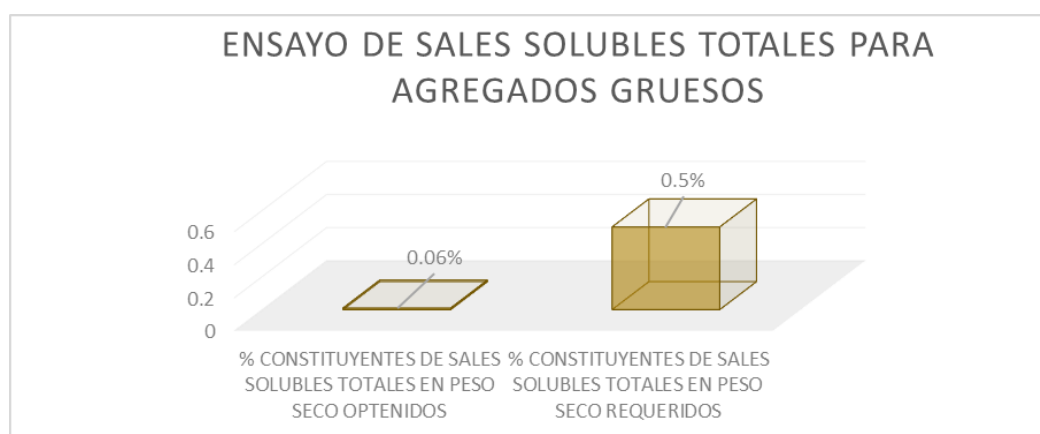
## 3. Ensayo de Sales solubles Totales para agregados gruesos (MTC E 219)

**Tabla 21 : Resultado del ensayo de Sales Solubles Totales para agregados gruesos**

Relación de la mezcla suelo - agua destilada		5.00
Número de beaker		1
Peso de beaker	g.	43.50
Peso de beaker + residuo de sales	g.	43.56
Peso de residuo de sales	g.	0.06
Volumen de la solución tomada	ml	100
Constituyentes de sales solubles totales	ppm	600
<b>Constituyentes de sales solubles totales en peso seco</b>	<b>(%)</b>	<b>0.06</b>

*Fuente: Producción personal*

Por medio de la tabla 22, se manifiesta los datos de proporción de combinaciones entre suelo y agua purificada, los materiales, pesos y volúmenes para así determinar el porcentaje de sales solubles totales en peso seco

**Grafica 9: Comparación del ensayo de Sales Solubles Totales vs los resultados requeridos**

*Fuente: Producción personal*

El resultado proyectado en la gráfica 9 del ensayo de Sales Solubles es de 0.06%, porcentaje que está dentro lo requerido por el Manual de carreteras para los agregados mayor tamaño, según el capítulo de Pavimentos de asfáltico en caliente.

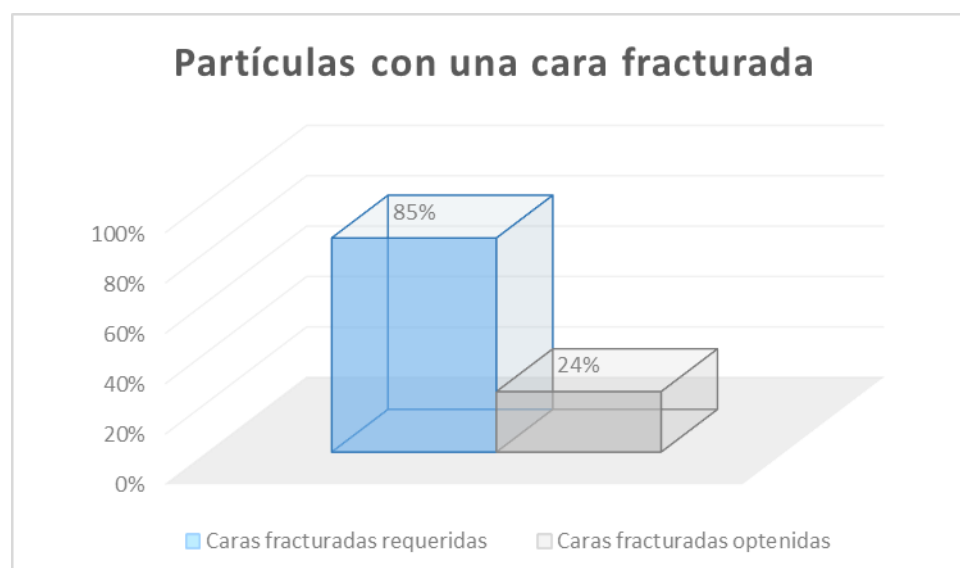
#### 4. Ensayo Caras fracturadas (MTC E 210)

**Tabla 22: Resultados del ensayo de una Cara fracturada**

Partículas con una cara fracturada						
Tamaño del agregado		Peso de muestra A	Peso de material con dos caras fracturadas B	% de caras fracturadas $C = ((B/A) * 100)$	% Ret. Gradación original D	Promedio de caras fracturadas $E=C*D$
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	(g)	(g)	$((B/A) * 100)$	% Retenido	$C*D$
2"	1 1/2"	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	---	---	---	---	---
1"	3/4"	---	---	---	---	---
3/4"	1/2"	1059.0	224.0	---	---	---
1/2"	3/8"	269.0	95.0	21.2%	0.8%	0.2%
<b>TOTAL</b>		1328.0 g	319.0 g	35.3%	0.2%	0.1%
<b>UNA CARA FRACTURADA (%)</b>					<b>24.0%</b>	

*Fuente: Producción personal*

A través de la tabla 23 se visualiza los tamices donde se retuvo el agregado y con el cual fue calculado para determinar el porción de partículas de una cara fracturada.



**Gráfica 10: Comparación de los resultados obtenidos vs los resultados requeridos por el MTC.**

*Fuente: Producción personal*

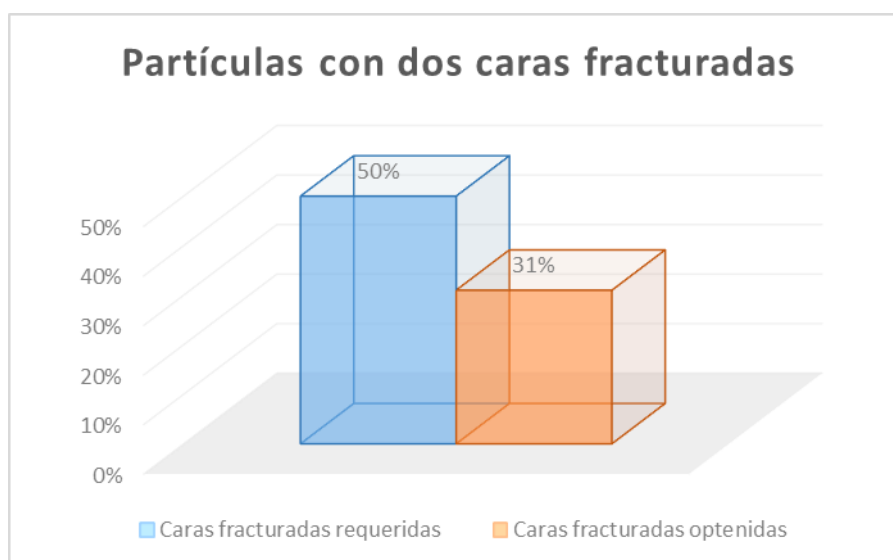
El resultado proyectado en la gráfica 10, expone como resultado que una cara fracturada es de 24%, porcentaje que está dentro lo requerido por el Manual de carreteras para los agregados de mayor tamaño, según el capítulo de Pavimentos de asfáltico en caliente.

**Tabla 23: Resultados del ensayo de Partículas con dos caras fracturadas**

Partículas con dos caras fracturadas						
Tamaño del agregado		Peso de muestra A	Peso de material con dos caras fracturadas B	% de caras fracturadas $C = ((B/A) * 100)$	% Ret. Gradación original D	Promedio de caras fracturadas $E=C*D$
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	(g)	(g)	$((B/A) * 100)$	% Retenido	C*D
2"	1 1/2"	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	---	---	---	---	---
1"	3/4"	---	---	---	---	---
3/4"	1/2"	1059.0	284.0	---	---	---
1/2"	3/8"	250.0	119.0	26.8%	0.8%	0.2%
<b>TOTAL</b>		1309.0 g	403.0. g	47.6%	0.2%	0.1%
<b>UNA CARA FRACTURADA (%)</b>					<b>31.0%</b>	

**Fuente: Producción personal**

Respecto a la tabla 24, expone que los retenidos predominantes fueron en el tamiz 1/2" y 3/8", que a raíz de estas cantidades se dieron cálculos para conocer el porcentaje de una cara fracturada



**Grafica 11: Comparación de los resultados del Ensayo con dos Caras Fracturadas vs los resultados requeridos por el MTC.**

**Fuente: Producción personal**

El resultado proyectado del ensayo de Partículas con dos caras fracturadas es de 31%, porcentaje que está dentro lo requerido por el Manual de carreteras para los agregados de mayor tamaño, según el capítulo de Pavimentos de asfáltico en caliente.

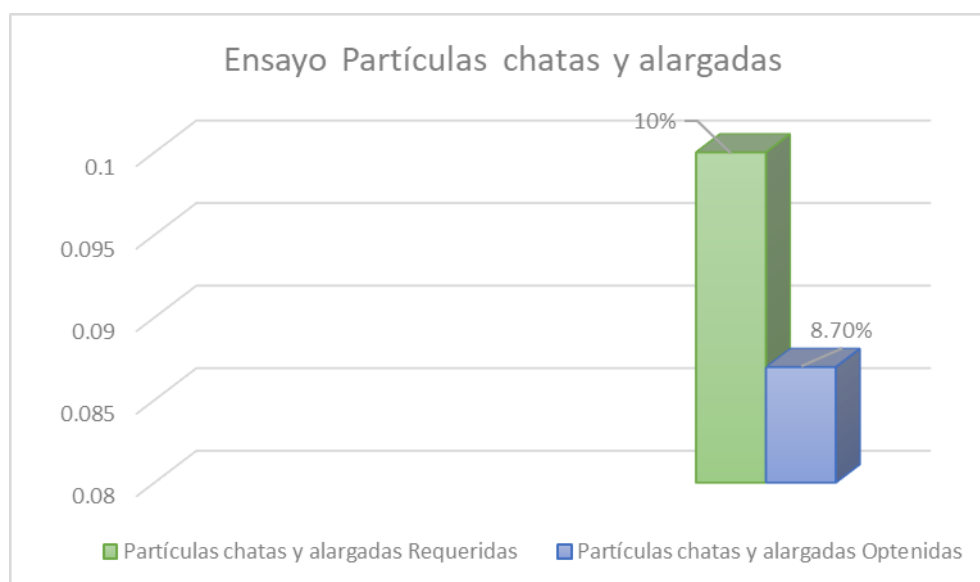
#### 5. Ensayo Partículas chatas y alargadas (MTC E 223 - ASTM 4791)

**Tabla 24: Resultado del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas**

TAMIZ Pulg. Mm.	AGREGADO GRUESO			CHATAS			ALARGADAS		
	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO RET.	% RET.	% CORR.	PESO RET.	% RET.	% PASA
<b>3/4" 19.00</b>	1500	----	100	92	41.71 %	----	115	----	----
<b>1/2" 12.50</b>	500	71.43	28.57	292	22.43%	----	105	15%	----
<b>3/8" 9.50</b>	200	28.57	----	157	1.9 %	----	85	12.14%	----
<b>Menor 1/4"</b>	---	----	----	---	---	---	---	---	---
<b>TOTAL</b>				449 g.	64.14%		190 g.	27.14%	----
<b>PATÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS</b>							<b>8.7%</b>		

*Fuente: Producción personal*

Respecto a la tabla 25, manifiesta que existe una mayor cantidad de partículas chatas y alargadas por la malla 3/4", indicando así que estas son las más grades y predominantes de la muestra.



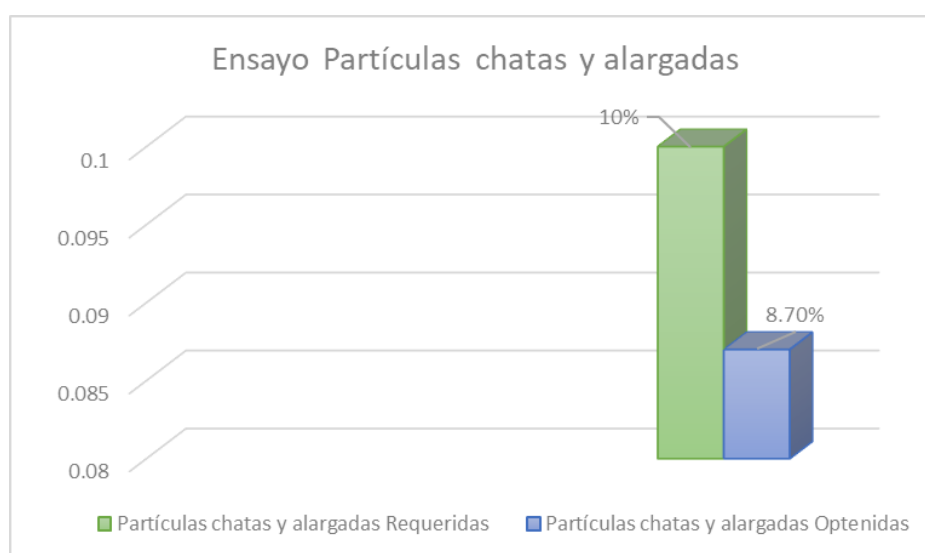
**Grafica 12: Comparación de los resultados del Ensayo Partículas chatas y Alargadas vs los resultados requeridos por el MTC.**

*Fuente: Producción personal*

El resultado proyectado en la gráfica 12 del ensayo de Partículas Chatas y Alargadas es de 8.70%, porcentaje que está dentro lo requerido por el Manual de carreteras para los agregados gruesos, según el capítulo de Pavimentos de asfáltico en caliente.

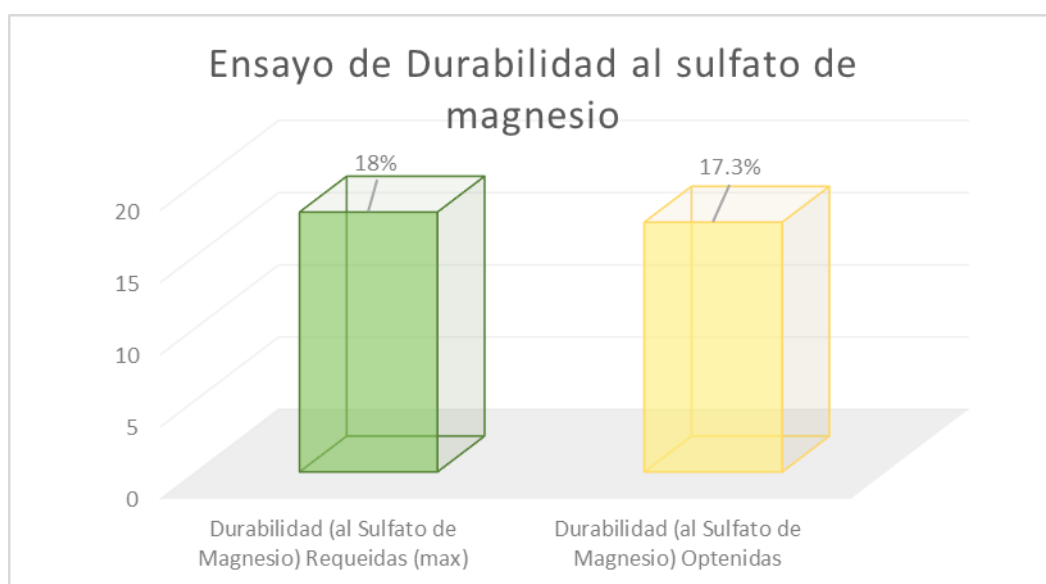
#### 6. Ensayo de Durabilidad al sulfato de magnesio (MTC E 209)

**Tabla 25 : Resultado del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio**



**Fuente:** Producción personal

Referente a la tabla 26, muestra que la mayor pérdida de peso está en el tamiz 3/4", denotando que el tamaño de estas partículas son las más susceptible ante el ataque del sulfato de magnesio.



**Gráfica 13:** Comparación del Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio vs los requerimientos del MTC

**Fuente:** Producción personal

El grafico13 evidencia que el ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio es de 17.3%, porcentaje que está dentro lo requerido por el Manual de carreteras para los agregados gruesos, según el capítulo de Pavimentos de asfáltico en caliente.

### Agregados finos

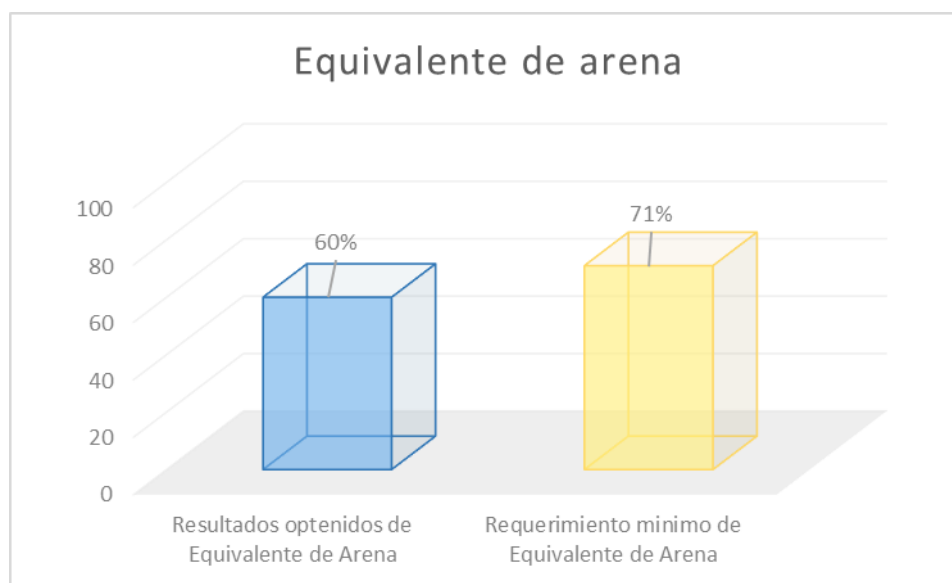
#### 1. Equivalente de arena (MTC E 114)

**Tabla 26: Resultados del Ensayo de Equivalente de Arena**

Muestra N°	1	2	3
Tamaño máximo (mm.)	N° 4	N° 4	N° 4
Altura máxima del material fino (cm.)	6.0	5.40	4.10
Altura máxima de la arena(cm.)	3.60	3.60	3.50
Equivalente de arena	60.00 %	66.67%	85.37 %
(EA)		71%	

*Fuente: Producción personal*

Concerniente a la tabla 27, donde se trabajó con tres tipos de muestra del cual la numero 3 tiene el equivalente de arena más alto (85.37%), lo que significa que esta muestra tiene la mayor proporción de arena.



**Grafica 14: Comparación del Ensayo Equivalente de Arena vs los requerimientos del MTC**

*Fuente: Producción personal*

El grafico 14, muestra resultados del Ensayo Equivalente de arena, del cual es el 60%, porcentaje que está dentro lo requerido por el Manual de carreteras para los agregados finos, según el capítulo de Pavimentos de asfáltico en caliente.

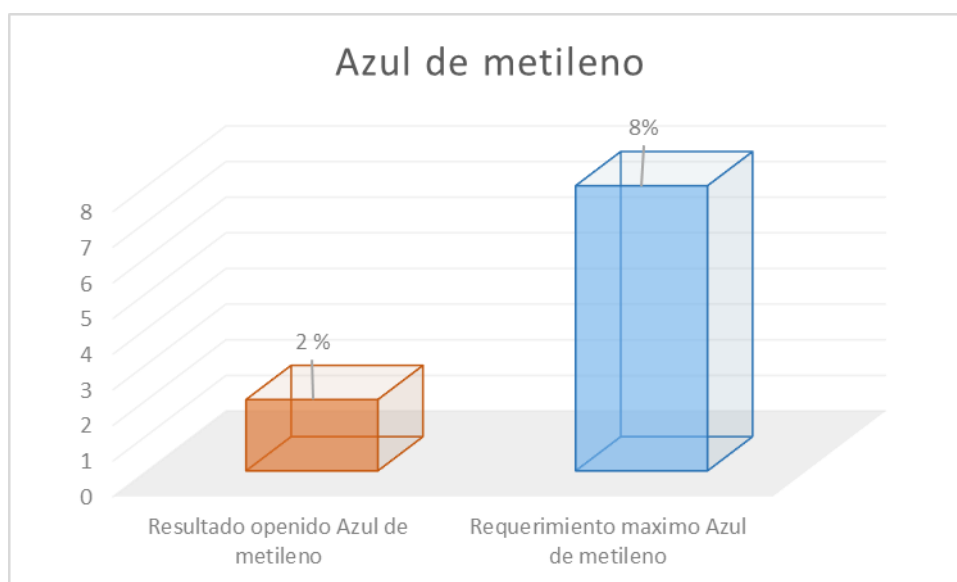
## 2. Azul de metileno (AASTHO TP 57)

**Tabla 27 : Resultados del Ensayo de Azul Metileno**

ENSAYO	UND	DATOS
Peso material preparado pasante malla #200	gr.	50
Peso material seco utilizado en la prueba	gr.	5
Agua destilada añadida	ml	30
Solución inicial de Azul de Metileno en el Ensayo	ml	0.5
Solución final de Azul de Metileno en el Ensayo	ml	10
<b>VALOR AZUL DE METILENO</b>	ml/g	2

*Fuente: Producción personal*

En la tabla 28, se inició con 0,5 ml de solución de azul de metileno y se observó un total de 10 ml al final del ensayo. Este incremento sugiere una interacción significativa entre el azul de metileno y las partículas finas del material, indicando la presencia de arcillas.



**Grafica 15:** Comparación de los Resultados obtenidos vs los requerimientos del MTC.

*Fuente: Producción personal*

Lo estimado por la gráfica 15, deduce que el Ensayo Azul de Metileno es de 2%, porcentaje que está dentro lo requerido por el Manual de carreteras para los agregados finos, según el capítulo de Pavimentos de asfáltico en caliente.

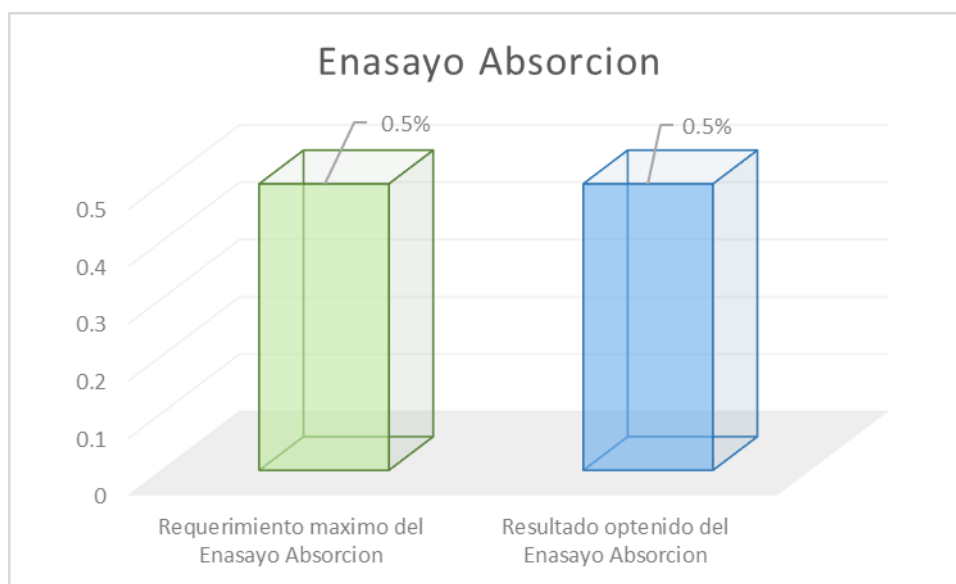
### 3. Absorción y peso específico (MTC E 206)

**Tabla 28 :** Resultados del ensayo de Absorción y Peso Especifico

<b>PESO ESPECIFICO DE MASA</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.478
<b>PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.491
<b>PESO ESPECIFICO APARENTE</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.511
<b>PORCENTAJE DE ABSORCIÓN</b>	<b>(%)</b>	<b>0.5</b>

*Fuente: Producción personal*

La Tabla 29 presenta el cálculo estimado del ensayo de absorción y peso específico. Se observa que el peso específico de masa es de 2.478 g/cm<sup>3</sup>, mientras que el peso específico de masa saturada y superficie seca alcanza los 2.491 g/cm<sup>3</sup>. El peso específico aparente se determina en 2.511 g/cm<sup>3</sup>, lo que indica un porcentaje de absorción del 0.5%



**Grafica 16:** Comparación de los Resultados obtenidos del Ensayo de Absorción vs requerimientos del MTC.

*Fuente: Producción personal*

El resultado proyectado del Ensayo de Absorción es de 0.5%, porcentaje que está dentro lo requerido por el Manual de carreteras para los agregados finos, según el capítulo de Pavimentos de asfáltico en caliente.

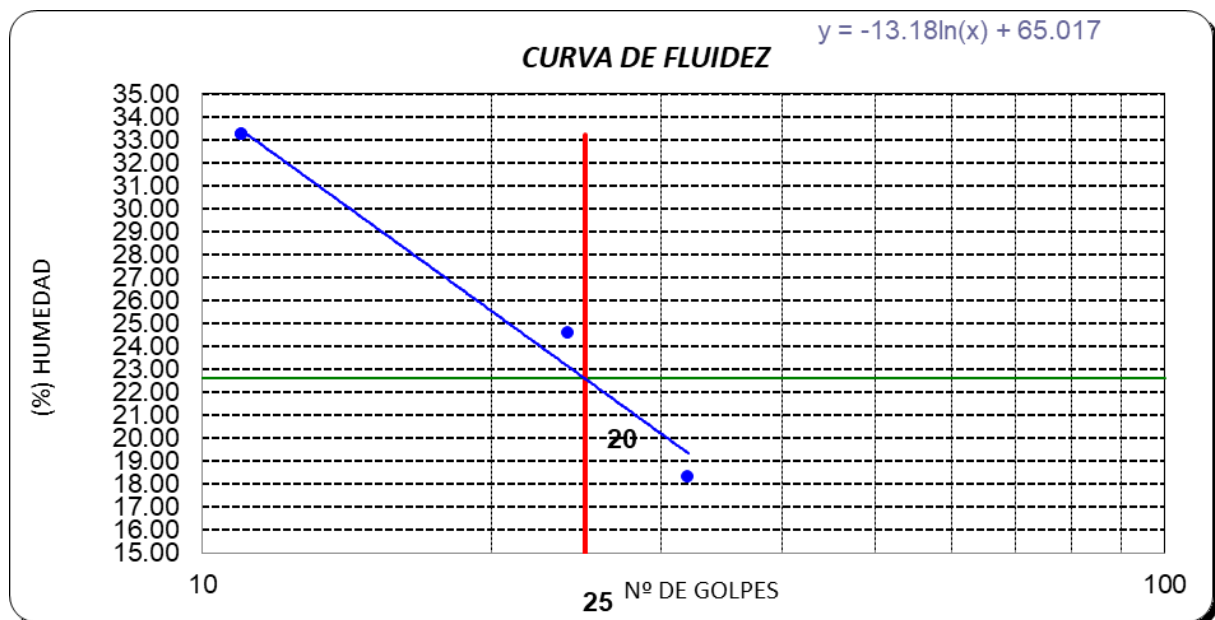
## 4. Límites de atterberg (MTC E 111)

**Tabla 29** : Resultados del ensayo de Límites de atterberg

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA			
TAMIZ	LL	LP	IP
40	NP	NP	NP
200	24.56	22.20	2.35

*Fuente: Producción personal*

Respecto al resultado previsto, donde se detalla los rendimientos referentes al tamiz N°40 no muestra trabajabilidad, por eso se lo identifica con NP, mientras que la muestra del otro tamiz si mostro tenacidad para desarrollar el ensayo.



**Grafica 17:** Humedad VS # de golpes, para la curva de fluides.

*Fuente: Producción personal*

La grafica 17 se visualiza la curva de fluides que tiene el agregado fino y como este se comporta respecto a la humedad obtenida al momento de ensayarla.

## 5. Durabilidad al Sulfato de Magnesio (MTC E 209)

**Tabla 30: Resultados del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio**

Tamaño de los Tamices		Gradación Original (peso)	Gradación de las Muestras Originales (%)	Peso de las Fracciones Comprendido antes del ensayo (g)	Peso Ret. Después del ensayo (g)	Pérdida Total (%)	Pérdida Corregida (%)
3/8" mm	N.º 4 4.75 mm	0	0	100	0	100.0	0
N.º 4 mm	N.º 8 2.36 mm	142.7	10.0	100	92.6	7.4	0.7
N.º 8 mm	N.º 16 1.18 mm	228.6	16.0	100	93.6	6.4	1.0
N.º 16 mm	N.º 30 600 µm	318.8	22.3	100	95.6	4.4	1.0
N.º 30 µm	N.º 50 300 µm	331.1	23.1	100	87.6	12.4	2.9
N.º 50 µm	N.º 100 150 µm	230.1	16.1	100	92.6	7.4	1.2
100 µm		181.4	12.7	100	97.8	2.2	0.3
<b>Totales</b>		<b>1432.7</b>	<b>100.0</b>	<b>700</b>	<b>559.8</b>		<b>7.1</b>

*Fuente: Producción personal*

En efecto, por medio de la tabla 31 se conoce el desgaste frente a los sulfatos de magnesio a nivel general, el material experimenta una pérdida de masa total del 7.1%, lo que indica una moderada susceptibilidad a la acción del sulfato de magnesio.

## 6. Ensayo para contenido de Humedad (MTC E 215)

**Tabla 31: Resultados del Ensayo de Humedad.**

<b>Peso de muestra humedad</b>	<b>(gr.)</b>	<b>1000</b>
<b>Peso de muestra seca</b>	<b>(gr.)</b>	<b>996.32</b>
<b>Peso de recipiente</b>	<b>(gr.)</b>	<b>0.0</b>
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>(%)</b>	<b>0.37</b>

*Fuente: Producción personal*

El ensayo revela que la muestra analizada presenta un contenido de humedad de 0.37%.

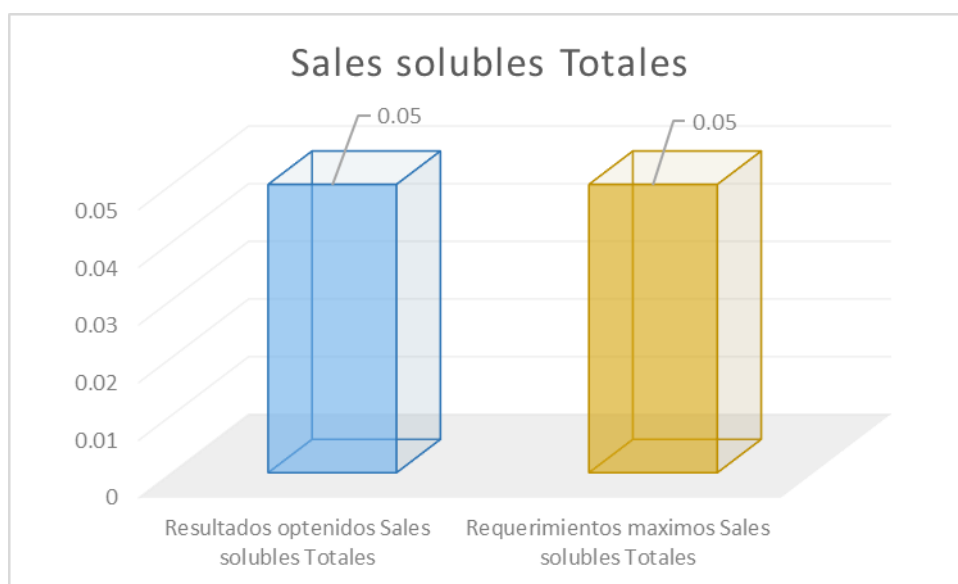
## 7. Ensayo de Sales solubles Totales para agregados finos (MTC E 219)

**Tabla 32: Resultados del Ensayo Sales Solubles para finos**

<b>RELACIÓN DE LA MEZCLA SUELO - AGUA DESTILADA</b>		5.00
<b>NÚMERO DE BEAKER</b>		2
<b>PESO DE BEAKER</b>	g.	42.10
<b>PESO DE BEAKER + RESIDUO DE SALES</b>	g.	42.15
<b>PESO DE RESIDUO DE SALES</b>	g.	0.05
<b>VOLUMEN DE LA SOLUCIÓN TOMADA</b>	ml	100
<b>CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES TOTALES</b>	ppm	500
<b>CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES TOTALES EN PESO SECO</b>	(%)	<b>0.05</b>

*Fuente: Producción personal*

Por medio de la tabla 33, señala que la cantidad de sales solubles totales en la fracción representativa es de 500 ppm (partes por millón), queriendo decir que el porcentaje en peso seco, es de 0.05%. Este valor sugiere una presencia moderada de sales solubles en la muestra...



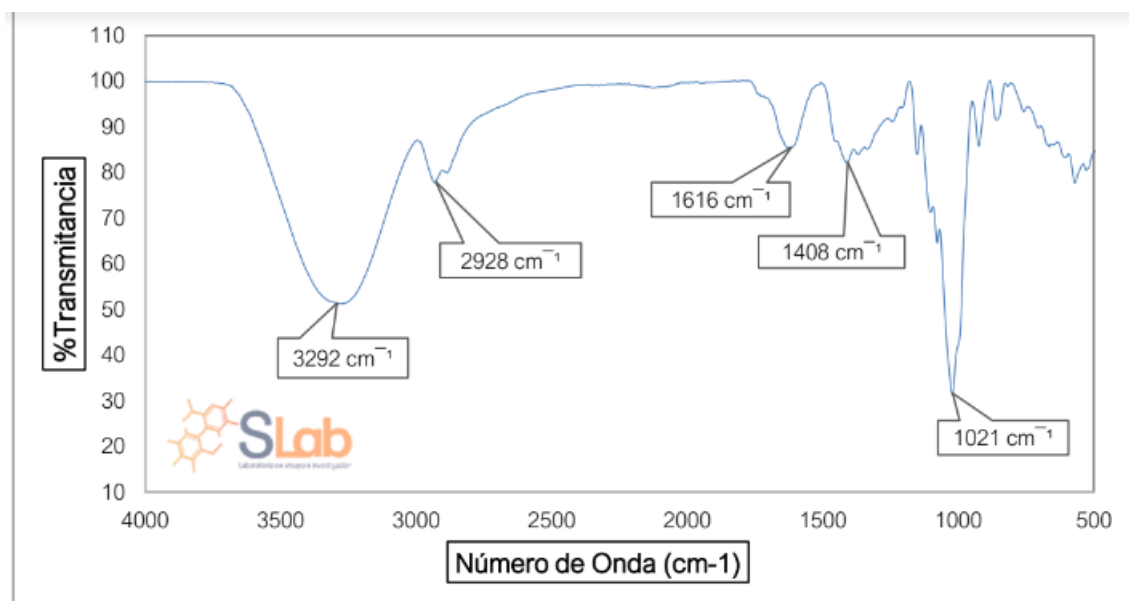
**Grafica 18: Comparación de los Resultados obtenidos del Ensayo de Sales Solubles vs requerimientos del MTC.**

*Fuente: Producción personal*

En efecto se señala que el ensayo de sales solubles de partículas finas es de 0.05%. porcentaje que está en lo requerido por el Manual de carreteras para los agregados finos, según el capítulo de Pavimentos de asfáltico en caliente.

### Caracterización del biopolímero de la cascara de plátano verde

#### - Análisis de Espectroscopia Infrarroja FTIR-ATR



**Grafica 19 :** Espectros FTIR-ATR de la muestra

**Fuente:** Producción personal

Referente a la Grafica 19, se dice que basado en las bandas observadas, se puede inferir que la muestra contiene una mezcla de compuestos orgánicos con diferentes grupos funcionales. La presencia de grupos hidroxilo, cadenas alifáticas y posiblemente anillos aromáticos sugiere que la muestra podría ser una mezcla de compuestos como alcoholes, ácidos carboxílicos, ésteres y compuestos aromáticos.

**Tabla 33 :** Identificación de Grupos Funcionales

Tipo de Vibración	Grupo funcional	Rango Teórico (cm-1)	Resultado experimental (cm-1)
Banda de vibración de tensión	"O-H "	3400-3200	3292
Banda de vibración de tensión	"-C-H "	3000-2800	2928
Banda de vibración de tensión	"C=C"	1640-1610	1616
Banda de vibración de flexión	"CH3 "	1450-1375	1408
Banda de vibración de tensión	"-C-O"	1260-1000	1021

**Fuente:** Producción personal

Para el ensayo de caracterización por FTIR de la muestra S-2425 se encontraron los picos característicos de enlace O-H, C-H, C=C, CH<sub>3</sub>, C-O que están presentes en estructuras de un biopolímero.

**Determinar el óptimo contenido de asfalto.**

Con el fin de identificar el %CA ideal, se apoyó en el **Ensayo de Marshall**.

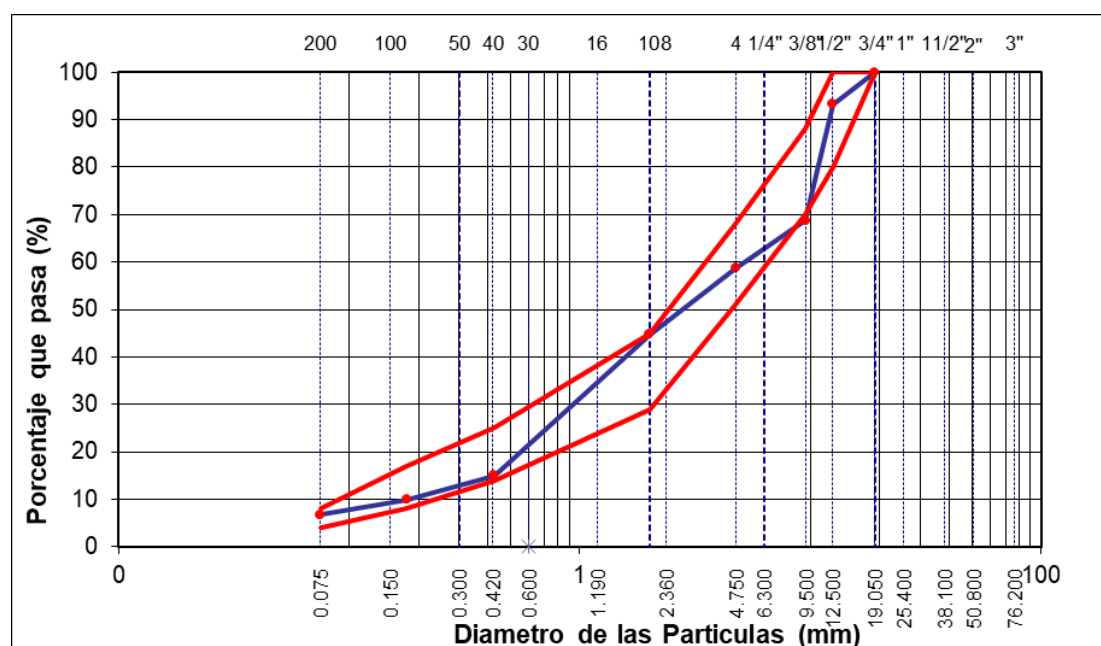
- Granulometría Global

**Tabla 34: Resultados del Ensayo de Granulometría**

MI	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION
"	76.200					<b>MAC - 2</b>
4"	19.000	0			100.0	<b>100</b>
2"	12.500	752	21.5	21.5	78.5	<b>67 85</b>
8"	9.500	672	19.2	40.7	59.3	<b>60 77</b>
4	4.750	83	2.4	43.1	56.9	<b>43 54</b>
10	2.000	338.3	13.3	56.3	43.7	<b>29 45</b>
40	0.425	718.0	28.2	84.5	15.5	<b>14 25</b>
80	0.177	124.0	4.9	89.4	10.6	<b>8 17</b>
200	0.075	76.0	3.0	92.4	7.6	<b>4 8</b>
Nº 100	FONDO	<b>193.7</b>	<b>7.6</b>	<b>100.0</b>		

*Fuente: Producción personal*

Referente a la tabla 35, se detalla que la muestra de agregados tiene una distribución de tamaños de partículas bien graduadas, significando que contiene partículas de diferentes tamaños. La tabla muestra que la mayor parte del material pasa por los tamices más grandes (3", 3/4", 1/2") y se retiene en los tamices más finos (Nº 40, Nº 80, Nº 200). Esto indica que el suelo tiene una proporción significativa de partículas de tamaño medio a grueso.



**Gráfica 20 : Curva Granulométrica**

*Fuente: Producción personal*

Como primer paso, se realizó la mezcla de los componentes de materiales para diseñar una mezcla asfáltica estándar, siguiendo las directrices del manual de carreteras (EG - 2013). Para cada briqueta se empleó una muestra total de 1500 g, eligiéndose cinco niveles de proporción de cemento asfáltico: 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6% de PEN (75).

- Ensayo de Rice

**Tabla 35: Resultado del Ensayo de Rice**

<b>PORCENTAJE DE ASFALTO</b>	<b>4%</b>	<b>4.5%</b>	<b>5%</b>	<b>5.5%</b>	<b>6.0%</b>
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2718	2657	2555	2706	2702
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2293	2258	2151	2260	2248
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3501.0	3424.0	3359.0	3505.0	3461.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1208	1166	1208	1245	1213
6.- AGUA DESPLAZADA (2)-(3)	425	399	404	446	454
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	<b>2.842</b>	<b>2.922</b>	<b>2.990</b>	<b>2.791</b>	<b>2.672</b>

*Fuente: Producción personal*

Los resultados mediante el ensayo de Rice manifiesta que a mayor el porcentaje del cemento asfáltico en la briqueta, menor será el valor del peso específico teórico máximo.

- Estabilidad

**Tabla 36: Resultado del Ensayo de Marshall respecto a Estabilidad (kg)**

<b>C.A %</b>	<b>Estabilidad (kg)</b>	<b>RAG. Mínimo cumple</b>	<b>Variación</b>
Rango para evaluar según el MTC - 5.44 kN (mínimo)		<b>554.73</b>	
4%	2501	CUMPLE	351%
4.50%	3092	CUMPLE	457%
5%	2717	CUMPLE	390%
5.50%	2562	CUMPLE	362%
6.00%	2931	CUMPLE	428%

*Fuente: Producción personal*

Según la Tabla 37, especifica que el MTC establece una estabilidad mínima, que debe ser de 5.44 kN, equivalente a 554.73 kg. Todas las mezclas en la tabla superan este mínimo, con valores de estabilidad entre 2501 kg y 2931 kg, lo que indica que las mezclas son altamente estables. Por lo tanto, los porcentajes de variación están en relación con el mínimo requerido y muestra cuántas veces más alta es la estabilidad obtenida con respecto al mínimo exigido, la estabilidad más alta obtenida es 457% mayor que el mínimo requerido.

## - Flujo

**Tabla 37: Resultado del Ensayo de Marshall respecto a Flujo (mm)**

C.A %	Flujo (mm)	Rag.Min/Max	Variación
Rango para evaluar según el MTC - (8-16)		<b>8/16</b>	
4%	7.50	NO CUMPLE	-6%
4.50%	8.3	CUMPLE	3%
5%	8.0	CUMPLE	0%
5.50%	7.8	NO CUMPLE	-3%
6.00%	8.1	CUMPLE	2%

*Fuente: Producción personal*

La tabla 38 muestra los rendimientos del ensayo Marshall en cuanto al flujo (mm) de diversas mezclas asfálticas. El rango especificado por el MTC es de 8 a 16 mm, además las mezclas con 4% y 5.5% de cemento asfáltico no cumplen con el rango requerido, presentándose con variaciones de -6% a -3%, ya que presentan valores de flujo fuera de los límites establecidos. En cambio, las mezclas con 4.5%, 5% y 6% de CA satisfacen con los requisitos.

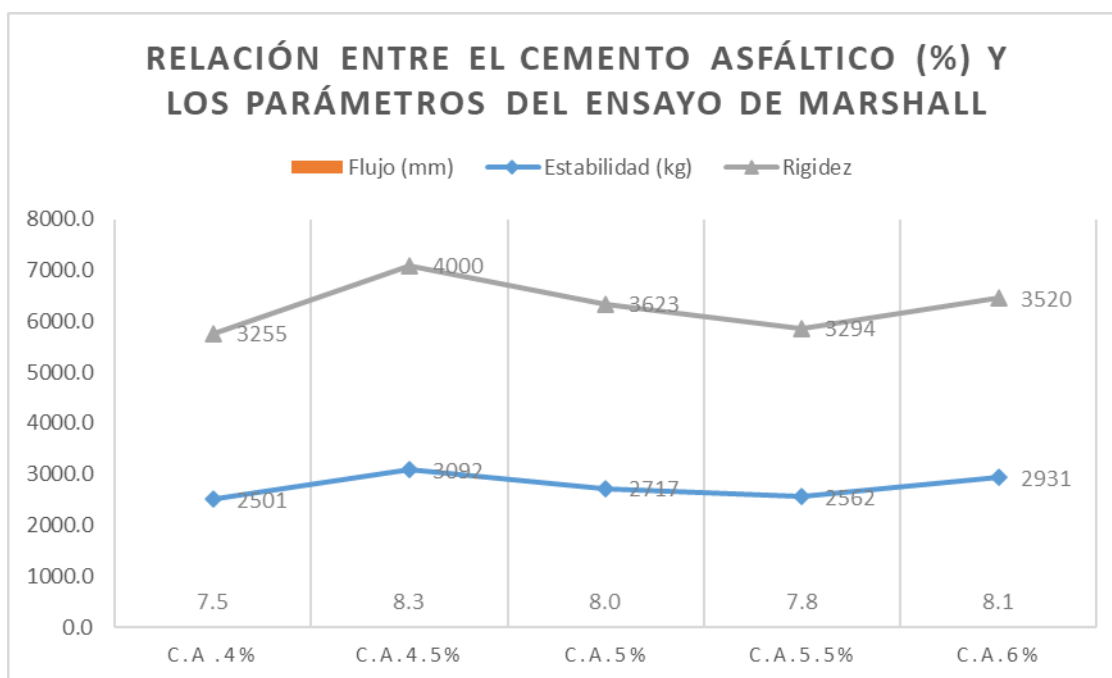
## - Relación Estabilidad/Fluencia (Rigidez)

**Tabla 38: Resultado del Ensayo de Marshall respecto a Relación/Fluencia (kg/mm)**

C.A %	Rigidez ((kg/mm)	Rag.Minimo cumple	Variación
Rango para evaluar según el MTC - 5.44 kN (mínimo)		<b>1700 -4000</b>	
4%	3255	CUMPLE	-19%
4.50%	3980	CUMPLE	0%
5%	3623	CUMPLE	-9%
5.50%	3294	CUMPLE	-18%
6.00%	3520	CUMPLE	-12%

*Fuente: Producción personal*

La tabla presentada muestra los rendimientos calculados del ensayo Marshall, evaluando la rigidez de las mezclas asfálticas en relación con el contenido del CA utilizado. Los valores de rigidez expresados en kg/mm alcanzan los valores mínimos especificados por la normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), que establece un mínimo de 5.44 kN y un rango de rigidez entre 1700 y 4000 kg/mm. Además, se observa que las variaciones en la rigidez respecto al valor máximo son aceptables, siendo el porcentaje del 4.5% de cemento asfáltico el que muestra el mejor desempeño, con una rigidez de 4000 kg/mm y sin variación.



**Grafica 21:** Relación entre el cemento asfáltico (%) y los parámetros del Ensayo de Marshall

**Fuente:** Producción personal

El gráfico muestra cómo varían los parámetros de flujo, estabilidad y rigidez de las mezclas asfálticas en función al porcentaje de cemento asfáltico (C.A.). Se observa que la rigidez alcanza su valor máximo al 4.5% de C.A., con 4000 kg/mm, mientras que el flujo y la estabilidad también presentan sus mejores valores en ese punto, destacando una relación óptima entre estos parámetros en dicho porcentaje. Con el incremento o disminución del %C.A, los valores de rigidez y estabilidad tienden a disminuir, lo que sugiere que la proporción de 4.6% ofrece el mejor equilibrio en las propiedades evaluadas.

**Diseñar la mezcla sustituyendo el agregado fino por el biopolímero de plátano en porcentaje de 1%, 1.5% y 2% del agregado fino en el asfalto**

**Tabla 39:** Dosificación para los componentes con él %CA optimo

C.A (%)	Tamaño de proporción (Gradación)	Proporción de agregados	
		AG y AF(%)	Filer (%)
4.6%	MAC2	94.4%	1%

**Fuente:** Producción personal

Mediante la tabla 40, se detalla una distribución inicial del porcentaje de piedra y arena, en 94.40%, en cuanto al cemento portland el 1%, además este diseño es ya con el 4.6% óptimo de CA.

**Tabla 40:** Dosificaciones de las mezclas asfálticas con PEN 4.6% y % adición en el agregado fino.

Pesos de la dosificación generales			
Material	Adición 1%	Adición 1.5%	Adición 2%
P. Muestra	1416	1416	1416
P. C. A	69	69	69
P. Portland	15	15	15
Peso Total	1500	1500	1500

Pesos de la dosificación especificados						
Material	Peso /1 briq	Peso /3 briq	Peso /1 briq	Peso /3 briq	Peso /1 briq	Peso /3 briq
Grava Triturada	552.24 gr	1656.72 gr	552.24 gr	1656.72 gr	552.24 gr	1656.72 gr
<b>Arena</b>	<b>841.10 gr</b>	<b>2523.31 gr</b>	<b>836.856</b>	<b>2510.57 gr</b>	<b>832.61 gr</b>	<b>2497.82 gr</b>
<b>Biopolímero</b>	<b>8.50 gr</b>	<b>25.49 gr</b>	<b>12.74 gr</b>	<b>38.23 gr</b>	<b>16.99 gr</b>	<b>50.98 gr</b>
Filler	15.00 gr	45.00 gr	15.00 gr	45.00 gr	15.00 gr	45.00 gr

*Fuente: Producción personal*

La tabla presenta un porcentaje del agregado fino (arena) por biopolímero de plátano en tres niveles: 1%, 1.5% y 2%. Además, de los pesos de cada material (grava triturada, arena, biopolímero y cemento) necesarios para elaborar la mezcla, tanto para una muestra individual como para tres briquetas.

### *Métodos de Diseño para mezclas asfálticas modificadas y convencionales*

#### Ensayo de Marshall

**Tabla 41:** Resultados del ensayo Marshall Modificado al 0%

Nº de briketa	Estabilidad (kg)	Flujo (mm)	Relación Estabilidad/Fluencia
1	2682	8.89	3017
2	2583	8.89	2906
3	2218	8.13	2729
4	3303	8.89	3715
5	3289	8.38	3924
6	3417	7.62	4484
7	1668	8.64	1931

*Fuente: Producción personal*

La Tabla 41 muestra los valores de estabilidad, flujo e relación estabilidad/fluencia conforme al ensayo Marshall para la MAC con 0 % de biopolímero.

**Tabla 42:** Resultados del ensayo Marshall Modificado al 1%

<b>Nº de briqueta</b>	<b>Estabilidad (kg)</b>	<b>Flujo (mm)</b>	<b>Relación Estabilidad/Fluencia</b>
1	2989	8.38	3566
2	3797	8.64	5232
3	1705	7.62	2551
4	3762	8.64	5184
5	3351	9.91	4026
6	3121	8.89	4178
7	3557	9.4	4504

**Fuente:** Producción personal

La Tabla 42 muestra los valores de estabilidad, flujo e relación estabilidad/fluencia en línea con el ensayo Marshall para la MAM con 1 % de biopolímero.

**Tabla 43:** Resultados del ensayo Marshall Modificado 1.5%

<b>Nº de briqueta</b>	<b>Estabilidad (kg)</b>	<b>Flujo (mm)</b>	<b>Relación Estabilidad/Fluencia</b>
1	2989	8.38	3566
2	3797	8.64	5232
3	1705	7.62	2551
4	3762	8.64	5184
5	3351	9.91	4026
6	3121	8.89	4178
7	3557	9.4	4504

**Fuente:** Producción personal

La tabla 43 muestra los valores de estabilidad, flujo e relación estabilidad/fluencia conforme al ensayo Marshall para la mezcla asfáltica modificado con 1.5 % de biopolímero.

**Tabla 44: Resultados del ensayo Marshall Modificado 2%**

<b>N° de briqueta</b>	<b>Estabilidad (kg)</b>	<b>Flujo (mm)</b>	<b>Relación Estabilidad/Fluencia</b>
1	2668	8.13	3324
2	2542	8.13	3742
3	2243	8.38	3226
4	2210	9.4	3754
5	2347	8.38	3818
6	2406	8.38	4428
7	2614	8.64	3810

*Fuente: Producción personal*

La Tabla 44 muestra los valores de estabilidad, flujo e relación estabilidad/fluencia en línea al ensayo Marshall para la mezcla asfáltica modificado con 2 % de biopolímero.

De acuerdo con lo estipulado anteriormente en las Tablas 42,43,44 y 45, se resume lo siguiente

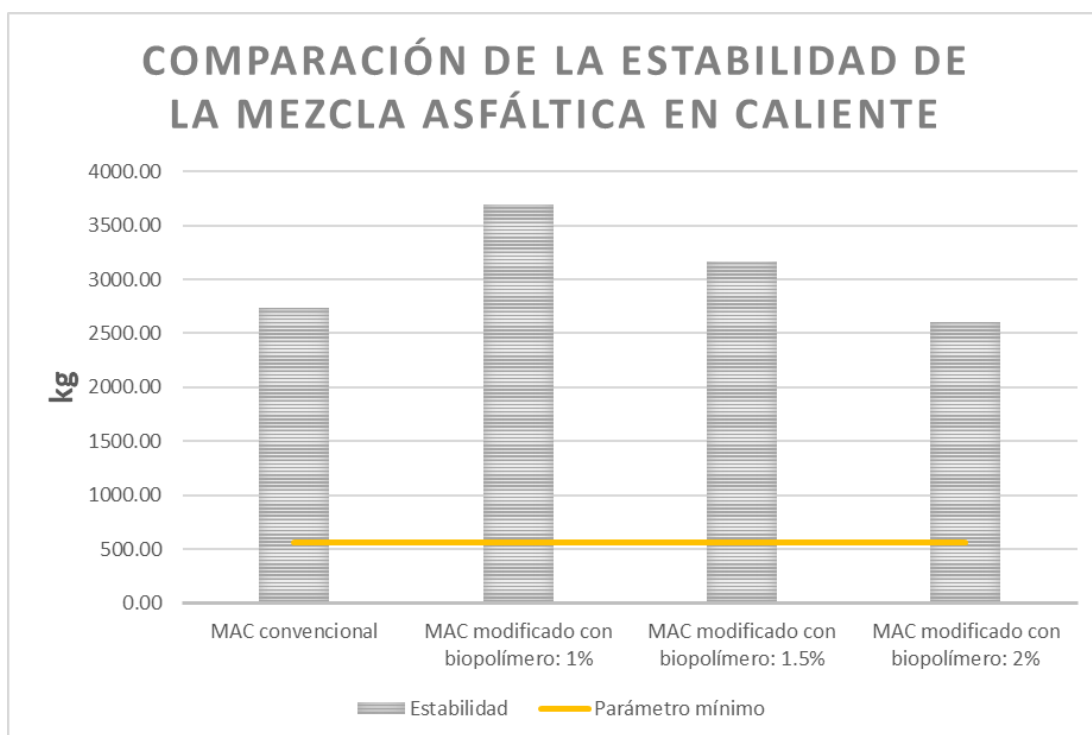
- **Estabilidad**

**Tabla 45 : Estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y mezclas modificadas**

<b>Muestra</b>	<b>Estabilidad (kg)</b>	<b>Variación</b>
MAC	2737.14	
MAC + biopolímero: 1%	3694.71	34.98%
MAC + biopolímero: 1.5%	3167.86	15.74%
MAC +biopolímero: 2%	2598.29	-5.07%

*Fuente: Producción personal*

Se visualizan los resultados de estabilidad conforme con el ensayo Marshall, en el que el MAC alcanza un valor de 2737.14 kg, y únicamente con un 1% y 1.5% de biopolímero, dicho valor se ve incrementado a 3183.14 kg (+ 16.29%) y 2894.00 kg (+ 5.73%) a comparación de 2% de Biopolímero, ya que la estabilidad disminuye a 2432.86 kg, lo que implica una reducción del - 11.12 %.



**Grafica 22 : Estabilidad de la MAC y MAM**

*Fuente: Producción personal*

Se comprueba que el MAC con un 1.00 % de biopolímero muestra un incremento en estabilidad, tolerando una carga extra de 446 kg, es decir, un 16.29 % superior en comparación con el MAC, ajustándose a los límites mínimos establecido en el Manual de Especificaciones Técnicas Generales (MTC, 2013), que es de 554.73 kg.

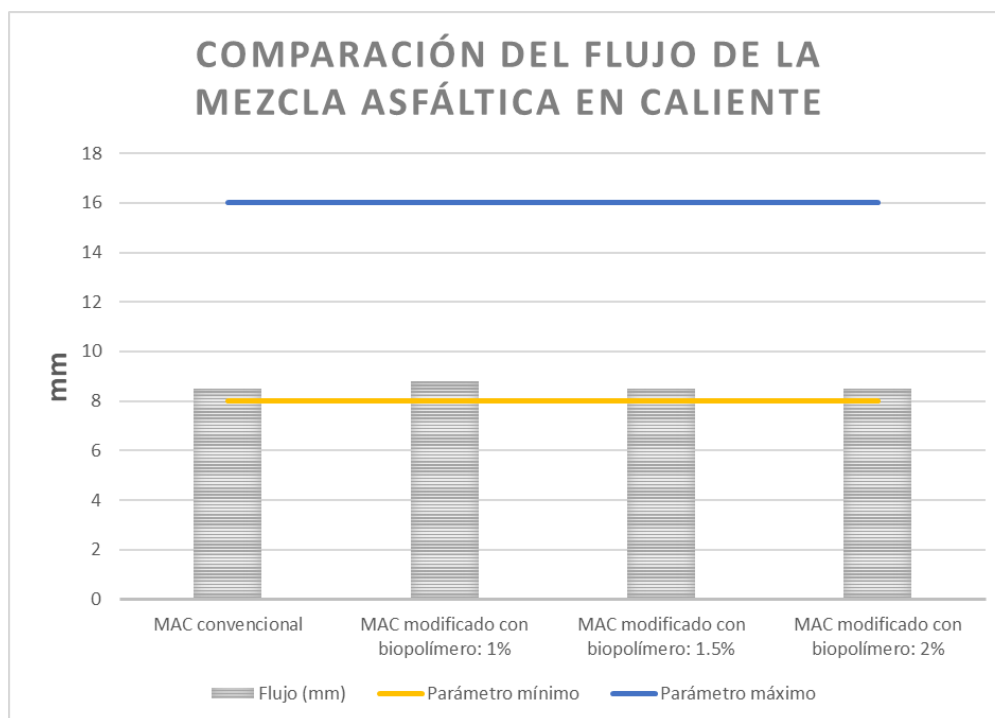
#### - Flujo

**Tabla 46: Flujo de la MAC y MAM**

Muestra	Flujo (mm)	Variación
MAC	8.49	
MAC + biopolímero: 1%	8.78	3.43%
MAC + biopolímero: 1.5%	8.49	0.00%
MAC + biopolímero: 2%	8.49	0.00%

*Fuente: Producción personal*

La Tabla 46 presenta los resultados de flujo obtenidos mediante el ensayo Marshall, en el que el MAC registra un valor de 8.49 mm, aumentando solo con el 1% de biopolímero, a un valor de 8.78 mm (+3.4%) a comparación de 1 y 2 % que permanecen constantes representando un 0% de variación.



**Gráfica 23:** Flujo de la MAC y MAM.

*Fuente:* Producción personal

La Gráfica 23 indica que el MAC con un 1.00 % de biopolímero exhibe un ligero aumento en el flujo, mostrando una deformabilidad adicional de 0.29 mm, lo que equivale a un 3.43 % más en comparación con el MAC. Asimismo, se encuentra dentro de los límites mínimo y máximo establecidos en el Manual de Especificaciones Técnicas Generales (MTC, 2013).

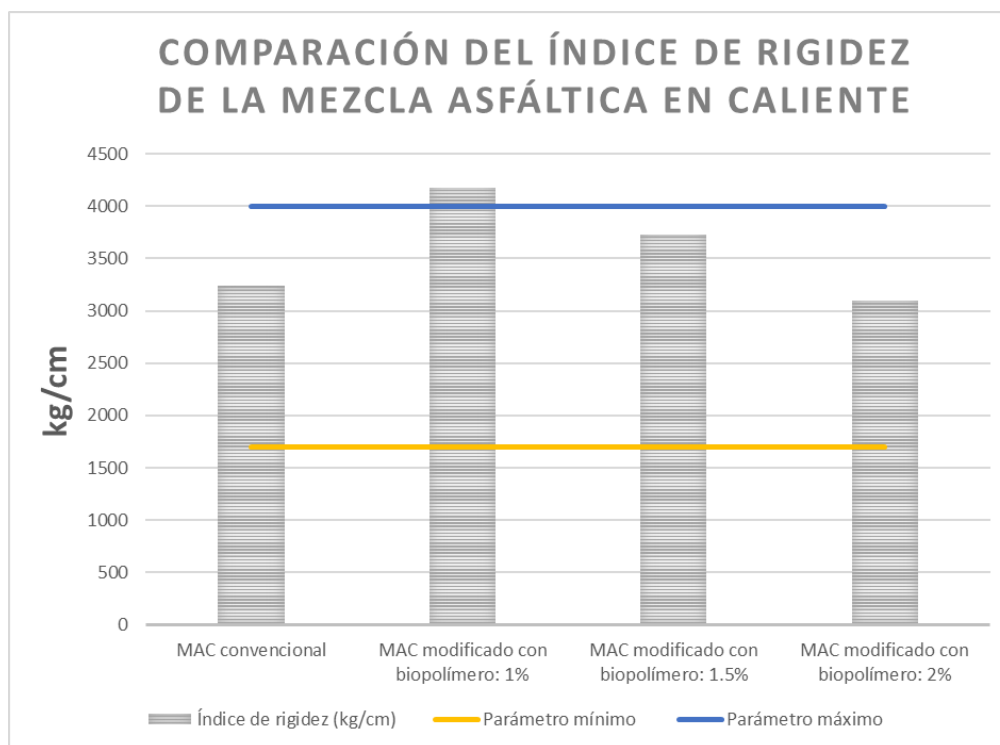
#### - Rigidez

**Tabla 47 :** Rigidez de la MAC y MAM.

Muestra	Índice de rigidez (kg/cm)	Variación
MAC	3243.71	
MAC + biopolímero: 1%	4177.29	28.78%
MAC + biopolímero: 1.5%	3728.86	14.96%
MAC + biopolímero: 2%	3101.86	-4.37%

*Fuente:* Producción personal

La Tabla 47 presenta los resultados del índice de rigidez basado en la relación entre estabilidad y flujo según el ensayo Marshall, en el cual el MAC registra un valor de 3243.71 kg/cm donde el incremento del 1 y 1.5% de biopolímero son favorables en el comportamiento del índice de rigidez.



**Grafica 24:** Comparaciones del índice de rigidez de la mezcla asfáltica en caliente  
**Fuente:** Producción personal

En la Grafica 24 detalla que el MAC con Biopolímero al 1 y 1.5 % presenta un aumento del factor rigidez, incrementado en 933.57 kg/cm y 485.14 kg/cm, es decir, 28.78 % y 14.96% más rígido con respecto al MAC convencional, asimismo se encuentra dentro de los límites mínimo y máximo establecidos en el Manual de Especificaciones Técnicas Generales (MTC, 2013).

#### Ensayo de Rice AASHTO T – 209 ASTM D 2041

##### - Gravedad Especifica

**Tabla 48 :** Resultados de la Gravedad Especifica con variación de % biopolímero.

<b>% Asfalto Optimo - 4.6</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Peso específico máximo</b>	<b>Variación</b>
MAC	2.433	
MAC + biopolímero: 1%	2.695	10.77%
MAC + biopolímero: 1.5%	2.317	-4.77%
MAC + biopolímero: 2%	2.205	-9.37%

**Fuente:** Producción personal

Los resultados de la Gravedad Especifica de una MAC vs. MAM demuestran los diferentes resultados obtenidos con respecto al % C.A.O de 4.6%.

## Ensayo de Cántabro

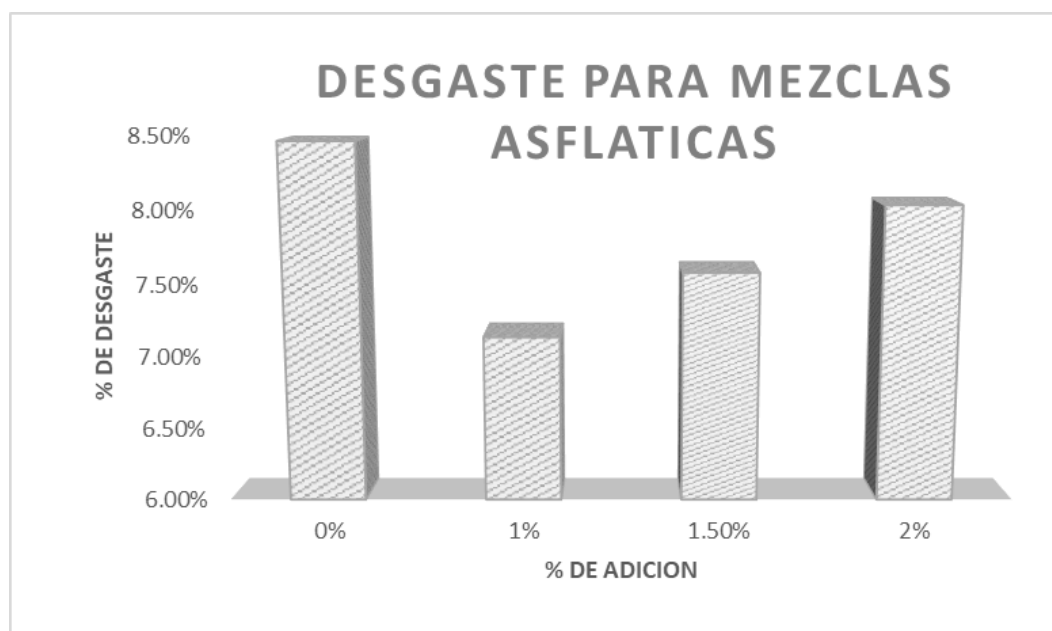
### - Durabilidad

**Tabla 49 : Pérdida por desgaste MAC y MAM.**

Muestra	Perdida por desgaste (%)	Variación
MAC 1	8.45	
MAC + biopolímero 1%	7.14	-15.50%
MAC + biopolímero: 1.5%	7.57	-10.41%
MAC + biopolímero: 2%	8.03	-4.97%

**Fuente:** Producción personal

La Tabla 49 presenta los resultados de durabilidad evaluados mediante la pérdida por desgaste en el ensayo de Cántabro, en el que la MAC convencional registra un valor de 8.45 %, incrementándose cuando se eleva el contenido de Biopolímero en 1% se observa una reducción más significativa de 7.14% de pérdida de desgaste, a comparación de los demás porcentajes.



**Grafica 25:** Ensayo de Cántabro MAC convencional - modificado

**Fuente:** Producción personal

Los resultados alcanzados indican que las mezclas alteradas con diversos porcentajes de adición exhibieron una pérdida de material por desgaste ligeramente menor (entre 7.14% y 7.57%) en comparación con la mezcla convencional (8.45%), además cuanto menor el % de desgaste mejorara significativamente la resistencia a esta actividad. Estas las cifras se ajustan a los límites estipulados en la regulación del MTC E 515, donde indica que el desgaste no deberá

ser superior al 25%, al 25 °C y después de someter las briquetas a un proceso de inmersión de 24 horas a 60°C, el valor no debe superar el 40% .

### Ensayo de Lottman Modificado

#### - Resistencia a tensión indirecta

Se refiere a la resistencia a tensión indirecta que retiene la mezcla asfáltica después de haber sufrido un acondicionamiento de saturación y/o congelamiento.

**Tabla 50:** Resultados de la resistencia a la tensión indirecta del espécimen por vía humedad o seca

Muestra	Vía Húmeda		Vía Seca	
	TRS (kg/cm <sup>2</sup> )	Variación	TRS (kg/cm <sup>2</sup> )	Variación
MAC c	3.98		4.96	
MAC + biopolímero: 1%	3.11	-21.95%	3.77	-23.95%
MAC + biopolímero: 1.5%	3.01	-24.36%	3.77	-23.97%
MAC + biopolímero: 2%	2.61	-34.33%	3.31	-33.24%

*Fuente: Producción personal*

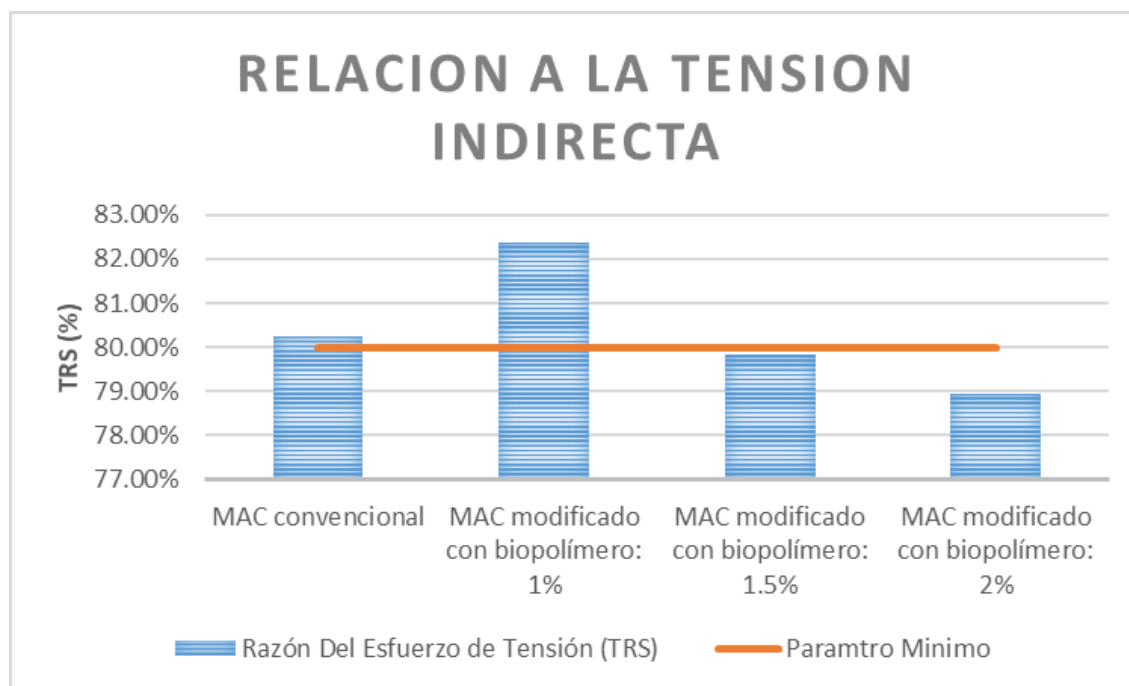
La tabla 50 muestra detalladamente los resultados del ensayo realizado de Lottman Modificado, donde se detalla la fuerza máxima antes de fallar, en el que el TRS del MAC convencional es 3.98 kg/cm<sup>2</sup> y los valores de los TRS del MAM se presentan decreciente en la resistencia, llegando a un 2.61 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 51 :** Resultado de la relación de resistencia a la tensión indirecta

Muestra	TRS (%)
MAC	80.3%
MAC + biopolímero: 1%	82.4%
MAC + biopolímero: 1.5%	79.8%
MAC + biopolímero: 2%	78.9%

*Fuente: Producción personal*

La tabla 51 muestra que la mezcla con un 1% de biopolímero exhibe una leve mejora en la resistencia en relación con la mezcla convencional.

**Grafica 26: Relación a la Tensión Indirecta**

**Fuente:** Producción personal

En la gráfica 26, se aprecia que la variación del MAC y MAM con 1% de biopolímero es del 2.63% dato favorable, tanto porque existe un ligero aumento de la resistencia y está dentro del parámetro mínimo de 80%.

### Evaluación Económica

Se desarrollo el análisis de precios unitarios con el diseño superior obtenido de MAC habitual y el modificado con el 1% y 1.5% de Biopolímero, se detallarán los precios y costos de la elaboración del biopolímero, además la toma de precios actualizados de agregados pétreos y CA.

**Tabla 52 : Precio de un metro cubico de MAC**

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.Unitario S/.	Parcial S/.
ARENA	m3	-	0.59	48.00	28.42
PIEDRA CHANCADA 1/3	m3	-	0.35	60.00	20.82
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	gal.	-	35.41	15.00	531.10
CEMENTO PORLANT TIPO I	bol	-	1.04	31.00	32.26
Total					612.59

**Fuente:** Producción personal

El análisis por medio de un metro cubico del MAC tiene un costo de S/ 612.59 por m3 de MA.

**Tabla 53 : Precio de metro cubico de MAC + 1% del biopolímero**

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.Unitario S/.	Parcial S/.
ARENA	m3	-	0.58	48.00	28.13
PIEDRA CHANCADA 1/3	m3	-	0.35	60.00	20.82
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	gal.	-	35.41	15.00	531.10
CEMENTO PORLANT TIPO I	bol	-	1.04	31.00	32.26
BIOPOLIMERO	kg	-	17.25	3.40	58.65
Total					670.96

**Fuente:** Producción personal

El análisis por medio de un metro cubico del MAC tiene un costo de S/ 670.96 por m3 de MA.

**Tabla 54: Precio de metro cubico de MAC + 1.5 % del biopolímero**

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.Unitario S/.	Parcial S/.
ARENA	m3	-	0.58	48.00	27.99
PIEDRA CHANCADA 1/3	m3	-	0.35	60.00	20.82
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	gal.	-	35.41	15.00	531.10
CEMENTO PORLANT TIPO I	bol	-	1.04	31.00	32.26
BIOPOLIMERO	kg	-	25.87	3.40	87.97
Total					700.14

**Fuente:** Producción personal

El análisis por medio de un metro cubico del MAC tiene un costo de S/ 700.14 por m3 de MA

**Tabla 55: Análisis de Costos Unitarios de una mezcla MAC**

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS						
PARTIDA	PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL C/EQUIPO					
m3/DIA	EQ. 1250.00			Costo unitario por: m3		
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.Unitario S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>						<b>1.29</b>
OFICIAL	HH	1.000	0.0064	24.22	0.16	
OPERARIO	HH	2.000	0.0128	19.13	0.24	
PEON	HH	1.000	0.0512	17.29	0.89	
<b>Materiales</b>						<b>612.59</b>
ARENA	m3	-	0.59200	48.00	28.42	
PIEDRA CHANCADA 1/3	m3	-	0.34700	60.00	20.82	
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	gal.	-	35.4067	15.00	531.10	
CEMENTO PORLANT TIPO I	bol	-	1.0406	31.00	32.26	
<b>Maquinaria</b>						<b>8.51</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.51	0.03	
GRUPO ELECTROGENO 230HP 150 KW	HM	1.000	0.0064	195.77	1.25	
GRUPO ELECTROGENO 116HP 75 KW	HM	2.000	0.0128	160.09	2.05	
PLANTA DE ASFALTO DE 60-115 TON/HR	HM	1.000	0.0064	810.00	5.18	
<b>TOTAL S/.</b>						<b>S/ 622.39</b>

**Fuente:** Producción personal

**Tabla 56: Análisis de Costos Unitarios de una mezcla MAM 1%**

<b>ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS</b>						
PARTIDA	PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL C/EQUIPO					
m3/DIA	EQ. 1250.00			Costo unitario por: m3		
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.Unitario S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>						<b>1.29</b>
OFICIAL	HH	1.000	0.0064	24.22	0.16	
OPERARIO	HH	2.000	0.0128	19.13	0.24	
PEON	HH	1.000	0.0512	17.29	0.89	
<b>Materiales</b>						<b>670.96</b>
ARENA	m3	-	0.58608	48.00	28.13	
PIEDRA CHANCADA 1/3	m3	-	0.34700	60.00	20.82	
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	gal.	-	35.4067	15.00	531.10	
CEMENTO PORLANT TIPO I	bol	-	1.0406	31.00	32.26	
BIOPOLIMERO	kg	-	17.249	3.40	58.65	
<b>Maquinaria</b>						<b>8.51</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.51	0.03	
GRUPO ELECTROGENO 230HP 150 KW	HM	1.000	0.0064	195.77	1.25	
GRUPO ELECTROGENO 116HP 75 KW	HM	2.000	0.0128	160.09	2.05	
PLANTA DE ASFALTO DE 60-115 TON/HR	HM	1.000	0.0064	810.00	5.18	
<b>TOTAL S/.</b>						<b>S/ 680.75</b>

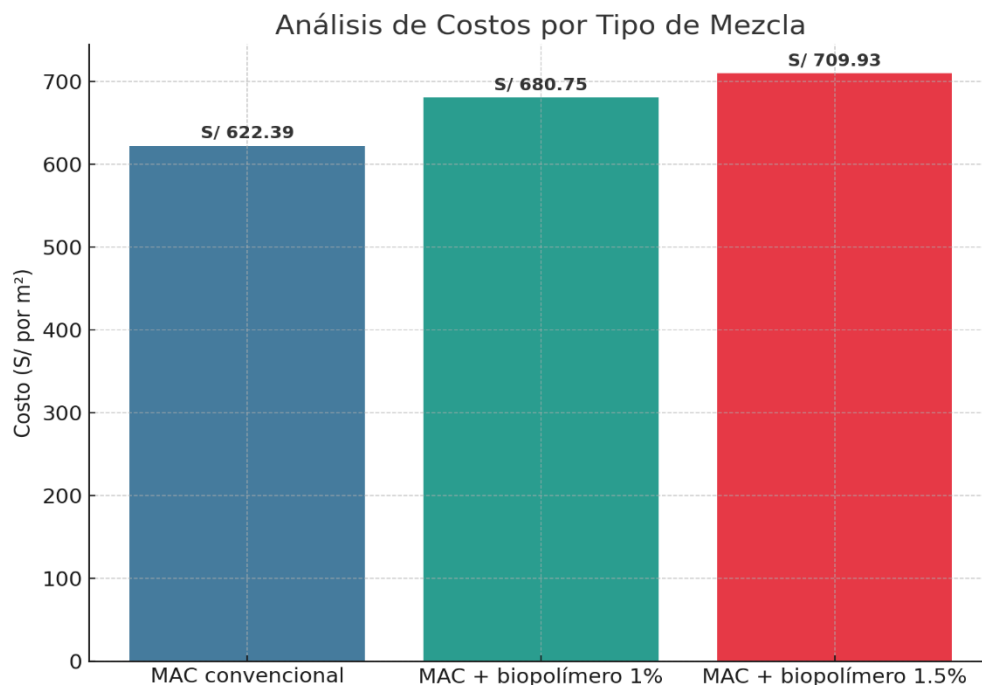
*Fuente: Producción personal*

**Tabla 57: Análisis de Costos Unitarios de una mezcla MAM 1.5%**

<b>ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS</b>						
PARTIDA	PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL C/EQUIPO					
m3/DIA	EQ. 1250.00			Costo unitario por: m3		
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.Unitario S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>						<b>1.29</b>
OFICIAL	HH	1.000	0.0064	24.22	0.16	
OPERARIO	HH	2.000	0.0128	19.13	0.24	
PEON	HH	1.000	0.0512	17.29	0.89	
<b>Materiales</b>						<b>700.14</b>
ARENA	m3	-	0.58312	48.00	27.99	
PIEDRA CHANCADA 1/3	m3	-	0.347	60.00	20.82	
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	gal.	-	35.4067	15.00	531.10	
CEMENTO PORLANT TIPO I	bol	-	1.0406	31.00	32.26	
BIOPOLIMERO	kg	-	25.873	3.40	87.97	
<b>Maquinaria</b>						<b>8.51</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.51	0.03	
GRUPO ELECTROGENO 230HP 150 KW	HM	1.000	0.0064	195.77	1.25	
GRUPO ELECTROGENO 116HP 75 KW	HM	2.000	0.0128	160.09	2.05	
PLANTA DE ASFALTO DE 60-115 TON/HR	HM	1.000	0.0064	810.00	5.18	
<b>TOTAL S/.</b>						<b>S/ 709.93</b>

*Fuente: Producción personal*

Referente a la tabla 55, 56 y 57 se determinó que el análisis de costo unitario del MAC es S/622.39, mientras que la adición del 1% y 1.5% de biopolímero de cascara de plátano obtuvo un costo unitario de S/680.75 y S/709.93.



**Grafica 27 :** Evaluación económica respecto a la adición de Biopolímero

### MODELO PROBABILÍSTICO DE CICLO DE VIDA DE LA CARPETA ASFÁLTICA

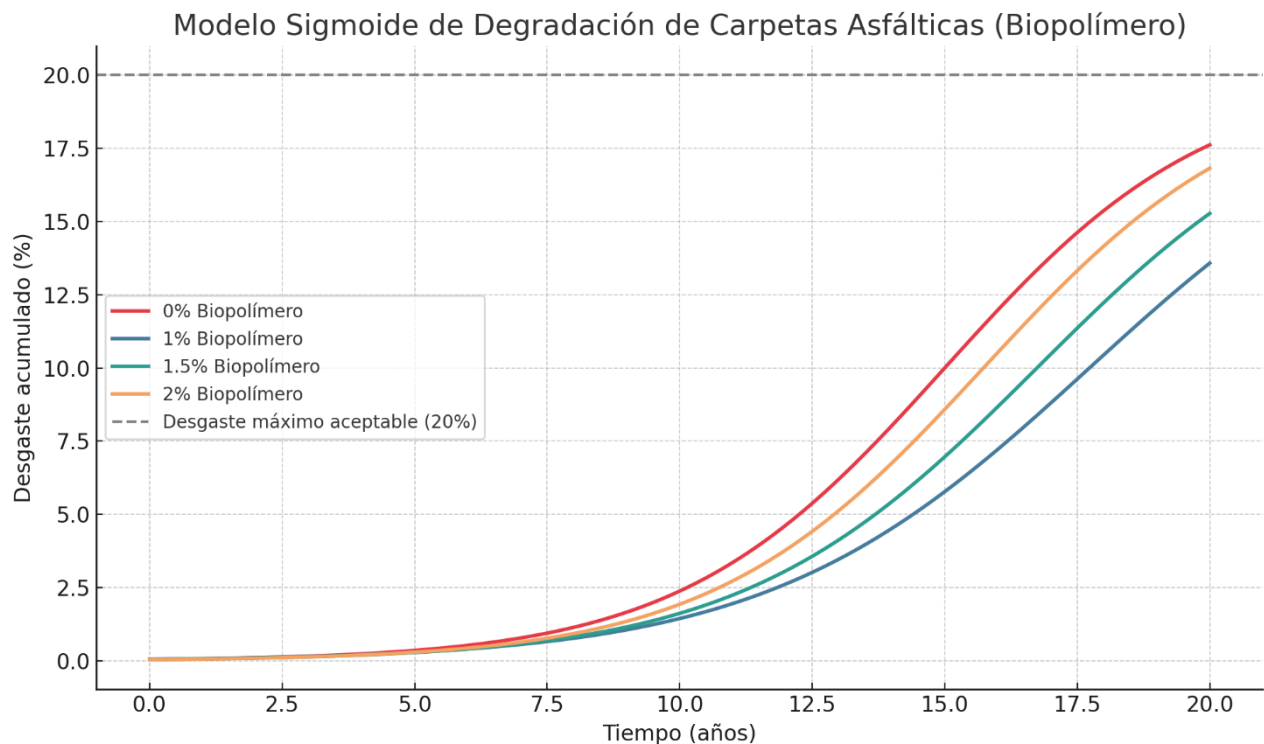
En siguiente cuadro se detalla ya el modelo y se observa como el %Desgaste baja la vida útil aumenta, por lo tanto, se ajusta a una función inversa. Por otro lado, según RTS es visto para notar la resistencia estructural interna y corroborar el modelo probabilístico del ciclo de vida de la carpeta.

**Tabla 58:** Valores calculados de parámetros para el modelo probabilístico

Mezcla	% Desgaste	Reducción RTS	Vida útil estimada (años)	t <sub>0</sub> estimado (años)	k estimado
0% Biopolímero	8.45	3.98	16.5	15	0.4
1% Biopolímero	7.14	3.11	18.7	17.73	0.33
1.5% Biopolímero	7.57	3.01	17.7	16.74	0.36
2% Biopolímero	8.03	2.61	17	15.73	0.39

**Fuente:** Producción personal

En la tabla 58 se pretende dar a conocer que la mezcla con el 1% de biopolímero estima mayor vida útil a la convencional y la validación que el  $k$  estimado es 0.33, lo cual justificara una menor velocidad de deterioro referente a los demás.



**Grafica 28:** Curva de comportamiento del Pavimento – Ciclo de vida según % de biopolímero.

En la figura se muestra la evolución del estado funcional del pavimento en función del tiempo, considerando distintos porcentajes de incorporación de biopolímero. Se observa una mejora significativa en la durabilidad cuando se agrega 1% de biopolímero, evidenciado por una mayor permanencia sobre el umbral de conservación establecido (20%).

## Discusiones

- Para determinar la composición compleja de su estructura del biopolímero extraído de la cáscara de plátano se realizó el Análisis de Espectroscopia Infrarroja FTIR-, siendo así donde la Grafica 19 indica las bandas de diversos grupos funcionales como: Banda ancha alrededor de  $3292\text{ cm}^{-1}$  (presencia de grupos Hidroxilos (-OH)), Bandas en la región de  $2928\text{ cm}^{-1}$  y  $1408\text{ cm}^{-1}$  (grupos metileno (-CH<sub>2</sub>) y metilo (-CH<sub>3</sub>)), Banda en  $1616\text{ cm}^{-1}$  (Grupos carbonilos) y la Banda en  $1021\text{ cm}^{-1}$  (presencia de alcoholes, éteres o ésteres). Según Yagos Arias (2020), menciona propiedades físico-químicas del polímero proveniente de la cascara de plátano mediante el análisis FTIR, donde observó variaciones en la banda correspondiente al grupo OH, en el pico de absorción del grupo metileno y en la separación de la materia prima, teniendo parámetros similares al FTIR del biopolímero elaborado en esta investigación
- Los ensayos realizados a los agregados pétreos para detallar sus propiedades fueron: Abrasión de los Ángeles (9.7% de desgaste), contenido de humedad en piedra (2.88%) y finos (0.71%), Sales Solubles (grueso 0.06% y fino 0.05%), Caras fracturadas (24%) y dos caras fracturadas (31%), partículas chatas y alargadas (8.7%), durabilidad al sulfato de magnesio en piedra (17.3%) y arena (7.1%), Equivalente de arena (60%), Azul de metileno (2 ml/g), Absorción y peso específico (0.5%). De los cuales todos los resultados obtenidos se encuentran en los parámetros permitidos del Manual de Ensayos de Materiales -2016.
- Para estipular el óptimo contenido de C.A de los cinco porcentajes se sustentó mediante el Ensayo de Marshall, donde en la tabla 36, 37 y 38 brindan los resultados siguientes: mediante la estabilidad todos cumplen con el rango mínimo de 554.76 kg según el MTC, a ello los resultados más favorables de CA esta entre el 4.5 y 6 % , puesto que son los más altos con 3092 kg y 2931 kg, respecto al Flujo los porcentajes que cumplen con el rango mínimo del MTC son tres porcentajes de CA, mientras que en la rigidez todos los porcentaje de CA cumplen con rango mínimo y máximo del MTC, y los resultados favorables son 4.5% y el 5% , con 3980 kg/mm y 3623 kg/mm, por último en la tabla 35 el peso específico teórico aparente se va menorando mientras el %CA se incrementa, apareciendo más vacíos , en tal caso se sugiere tanto el 4.5 y 5% como proporción Optima. Por otro lado, según Salazar (2024) su diseño de la MAC de este estudio presentó una cantidad óptima de cemento asfáltico de 5.6% para un tránsito mediano, puesto que para nuestra investigación se eligió como cantidad optima a 4.6 % de CA , evidencian una ligera diferencia 1% entre los resultados óptimos.

- Según el ensayo de Marshall con un número de 07 briquetas avaluar la Estabilidad (kg), se precisa en la tabla 46, del cual MAC tiene 2737.14 kg cantidad estimada que permitirá ver el comportamiento de las MAM, por consiguiente, se detalla un aumento de estabilidad en la adicción del 1% y 1.5% de Biopolímero con 3694.71 kg y 3167.86 kg resistiendo una carga adicional de 957.57 kg y 430.71, es decir, un 34.98% y 15.74% de más. Según Puente Ganz (2022), menciona que al incorporar 1% PET obtuvo 949.00 kg de estabilidad, aumentado un 4.86% respecto a su MAC, puesto que los factores a evaluar que se presentaron fueron por una variación de alturas de las ciudades en comparación a la nuestra, por ello la cifra de estabilidad es más baja. Por otro lado, Contreras y Zúñiga (2020) determinan mediante un análisis de 20 trabajos, el desempeño de plásticos incorporándolos al agregado fino, donde MAM cumple en su mayoría con 1% de Polietileno (PET), resultado un promedio de 4600Ib que sería 2086.525 kg respecto a la estabilidad. Además según el Gráfico 22, se establece una comparación de la norma MTC E-504 y Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013, con los resultados obtenidos, cumpliendo con el valor mínimo establecido de 554.73 kg.
- El flujo también es uno de los indicadores del Ensayo de Marshall, por ende, en la tabla 46 se observará que MAC con 8.49 mm, cantidad estimada que permitirá ver el comportamiento de las MAM, en este caso se observó solo una ligera diferencia con la adicción del 1% de Biopolímero con 8.78 mm, siendo más deformable un 0.29mm, es decir 3.4% más respecto MAC. Según Quilca (2022) al incorporar 1% de PET obtuvo 8.14mm. Así mismo en la gráfica 23 se plasma la comparación de parámetros máximos y mínimos de la norma MTC - EG-2013, estando en rango del mínimo establecido de 8mm.
- Para la evaluación de rigidez los resultados están en la tabla 47, indicando a las MAC con 3243.71 kg/cm y a menudo se incrementó la adicción se observó un eventual crecimiento en MAM del 1% de 4177.29 kg/cm, es decir 28.78% más rígido, mientras que la adicción del 1.5% y 2% presentaban 3728.86 kg/cm y 3101.86 kg/cm, es decir que la adicción del 1.5% es el 14.96% más rígido, a diferencia del 2% que menora a un -4.37%. Además, en la gráfica 24, se observó que el porcentaje de adicción más favorable y centrado en los parámetros mínimos y máximos del MTC, es el 1.5% de adicción de biopolímeros.
- Según el ensayo de Rice determino la gravedad específica del MAC con un 2.433, frente al MAM del 1% de adicción, con un incremento del 10.77% más, mejorando así la resistencia y durabilidad.
- De acuerdo con el ensayo de Cántabro para medir la durabilidad por desgaste, señala en la tabla 49 que la MAC está con 8.45% de la pérdida por desgaste, y a medida que se adiciona

el 1% de biopolímero baja un -15.50% menos su desgaste, la adición del 1.5% de biopolímero un -10.41% y con 2% de adición se acorta mucho menos la pérdida del desgaste con -4,97% con respecto al MAC. Mediante la gráfica 25 se hace visible cómo se comportan estos datos, además cuanto menor sea el % de desgaste, mejorara significativamente la resistencia a esta actividad, a ello también está dentro de los límites establecido por la norma MTC E 515 que en temperaturas de 25°C (25% máximo) y en inversiones de 60°C (40% máximo).

- Respecto al ensayo de Lottman Modificado, el cual mide la resistencia a Tensión Indirecta, según la tabla 50 los especímenes sometidos a la vía mojada de la MAC señala un 3.98 kg/cm<sup>2</sup> (TRS) y a medida se incrementa la adición de biopolímero en 1%, 1.5% y 2% se presenta cifras inferiores de 3.11 kg/cm<sup>2</sup>, 3.01 kg/cm<sup>2</sup> y 2.61 kg/cm<sup>2</sup>, es decir -23%, -23.97% y -33,24 menos resistencia, por otro lado, mediante la vía seca también presenta una situación similar con la cifras siguientes: MAC (4.96 kg/cm<sup>2</sup>), MAM 1%(3.77 kg/cm<sup>2</sup>), MAM 1.5%( 3.77 kg/cm<sup>2</sup>) y MAM 2%( 3.31 kg/cm<sup>2</sup>).

## Conclusiones

- En definitiva, se logró elaborar con éxito el biopolímero a partir de la cáscara de plátano verde, y su caracterización se reveló, que, mediante los grupos funcionales presentes en el biopolímero, como -OH, -C-H, y -C-O, le confieren características similares a las de polímeros convencionales, destacando su viabilidad como material.
- En conclusión, los resultados obtenidos permitieron identificar y analizar las características tanto mecánicas y físicas de los agregados estudiados, mediante los siguientes ensayos: Abrasión de los Ángeles (9.7% de desgaste), contenido de humedad en piedra (2.88%) y finos (0.71%), Sales Solubles (grueso 0.06% y fino 0.05%), Caras fracturadas (24%) y dos caras fracturadas (31%), partículas chatas y alargadas (8.7%), durabilidad al sulfato de magnesio en piedra (17.3%) y arena (7.1%), Equivalente de arena (60%), Azul de metileno (2 ml/g), Absorción y peso específico (0.5%), confirmando que su comportamiento cumple con los parámetros establecidos para su aplicación de mezclas asfálticas en calientes según el Manual de materiales 2016
- El ensayo de Marshall permitió establecer que el contenido óptimo de asfalto es del 4.6% para la mezcla asfáltica con PEN 60/70. Este porcentaje ofrece un balance adecuado entre estabilidad, flujo y rigidez, asegurando un rendimiento óptimo de la mezcla bajo las condiciones evaluadas
- El diseño de la mezcla asfáltica, sustituyendo el agregado fino por biopolímero de plátano en porcentajes de 1%, 1.5% y 2%, permitió evaluar su integración junto con los agregados gruesos y finos (94.4%) y el filler (1%), manteniendo el contenido óptimo de asfalto en 4.6%. Los resultados obtenidos reflejan una distribución balanceada de los materiales.
- Los resultados obtenidos permitieron comparar las propiedades mecánicas y físicas del asfalto con y sin biopolímero. Por consiguiente, las propiedades mecánicas obtuvieron los siguientes resultados: La estabilidad aumento de 2737.14 kg a 3694.71 kg, mientras que el flujo tuvo un aumento significativo de 8.49 mm a 8.78 mm, la rigidez (relación estabilidad/fluencia) aumento de 3243.71kg/cm a 3726.86 kg/cm, por otro lado la durabilidad mediante el ensayo de Cántabro si dio una mejora al desgaste de la MAC con un -15,50% (7.14%) de 8.45% y por ultimo referente a la evaluación de Resistencia a tensión indirecta mejoro significativamente de 80.3% a 82.4% referente al TRS. Para la

evaluación de las propiedades físicas se observó una disminución en el porcentaje de vacíos con un 10.77%.

- Se realizó una comparación entre las propiedades físicas y mecánicas de las dos mezclas, y se concluye que la adición del 1% de biopolímeros mostró mejoras en las pruebas realizadas, como en los parámetros de Marshall (flujo y estabilidad), además de los ensayos de Cántabro, tracción indirecta y Lottman.
- Se realizó un análisis económico comparando las dos propuestas de mezclas asfálticas. Los resultados mostraron que el costo unitario para las mezclas tradicionales es de S/ 1330.5 por metro cuadrado, mientras que para las mezclas modificadas asciende a S/ 1378.54 por metro cuadrado, considerando en ambos casos un espesor estándar de 2 pulgadas o 5 centímetros, típico en las capas asfálticas.

## Recomendaciones

- Para futuras investigaciones, se sugiere optimizar y mejorar la estructura del biopolímero derivado de la cáscara de plátano, ajustando sus características químicas y físicas para incrementar su compatibilidad y efectividad en las mezclas asfálticas. Esto podría incluir tratamientos adicionales y modificaciones específicas del biopolímero para asegurar una integración más efectiva en la mezcla asfáltica, logrando así mejoras consistentes en las propiedades mecánicas y físicas del pavimento.
- Dado que las condiciones ambientales afectan significativamente el rendimiento del pavimento, se recomienda llevar a cabo pruebas adicionales que simulen variaciones de temperatura y humedad. Esto permitirá evaluar la efectividad del biopolímero en distintos contextos climáticos.
- Para validar la eficacia del biopolímero en proyectos reales, se recomienda monitorear el desempeño y la durabilidad del pavimento en el tiempo, recogiendo datos cuantitativos y cualitativos que permitan compararlo con mezclas asfálticas convencionales.
- Para asegurar el cumplimiento de las normativas técnicas en la elaboración de mezclas asfálticas modificadas con biopolímeros, es crucial establecer un proceso preciso que contemple la preparación de briquetas uniformes, aplicando las proporciones adecuadas de los componentes y utilizando moldes estándar. La compactación debe llevarse a cabo con equipo certificado, manteniendo parámetros específicos de presión y cantidad de golpes para lograr la densidad óptima. Además, es fundamental controlar la temperatura de la mezcla y de las briquetas en cada fase, utilizando dispositivos calibrados, para garantizar que se mantengan en el rango requerido y así asegurar la calidad y consistencia del producto final.
- Se recomienda realizar futuras investigaciones enfocadas en el rango de adición del biopolímero entre **0.1% y 0.9%**, ya que en dicho intervalo la mezcla asfáltica podría presentar un mejor comportamiento en términos de trabajabilidad y propiedades mecánicas.

## Referencias

- [1] «Boletín estadístico,» *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*, p. 5, 2023.
- [2] N. Huamán Guerrero y C. M. Chang Albitres, « «La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú»,» *Perfiles\_Ingenieria*, vol. 11, n° 11, pp. 1-2, nov. 2016.
- [3] E. Intelligence, «Los desafíos actuales de la infraestructura vial en Perú: propuestas de cierre de brechas.».
- [4] M. Valero Valdivieso y Y. Ortegon, «BIOPOLYMERS: PROGRESS AND PROSPECTS,» n° 181, Octubre 2018.
- [5] M. d. Ambiente, «VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS MUNICIPALES».
- [6] J. López, J. Cuarán y L. Arenas, «Usos potenciales de la cáscara de plátano: elaboración de un bioplástico,» *Rev. Colomb. Investigando. Agroindustriales*, 2014.
- [7] Junfeng Gao, Hainian Wang, Chaochao Liu, Dongdong Ge y Miao Yu, High-temperature rheological behavior and fatigue performance of lignin modified asphalt binder, vol. 230, Elsevier, Ed., 2020.
- [8] J. Lopez Giraldo, J. Cuaran Cuaran, L. Arenas Garcia y L. Florez Pardo, «Usos potenciales de las cáscaras de plátano: Produccion de un bioplastico,» vol. 1, n° 1, p. 7 a 21, Diciembre 2014.
- [9] M. Cardenez, «"Estudio del Mercado de la Cadna de platano",» *MIDAGRI*, 2022.
- [10] A. Aljubory, «Effect of Palm Fibers on Asphalt Pavement Properties,» *IOP Conference Series: Materials -Science and Engineering*, 2020.
- [11] J. Yagos Arias, «“SÍNTESIS DE UN POLÍMERO COMPOSTABLE A PARTIR DE ALMIDÓN, COMO UNA ALTERNATIVA PARA PREPARAR PLÁSTICOS DE PRIMER USO”,» *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO - FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL*, 2022.
- [12] D. F. Contreras Vizcarra y J. M. Zuñiga Pinillos, «INFLUENCIA DE LOS DESPERDICIOS PLÁSTICOS EN LAS,» *Tesis pregrado, Univ. Ricardo Palma*, 2020.
- [13] J. PUENTE GANZ, «ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA

- CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS ASFALTADAS,» *Tesis pregrado. Univr.Peruana los Andes*, 2020.
- [14] H. M. Sánchez Córdova, «Mejoras mecánicas de la mezcla asfáltica con la incorporación de caucho como parte del agregado fino para la ciudad de Piura,» *Tesis de pregrado, Univ.dePiura*, 2021.
- [15] L. P. Cabrejos Nieto y M. M. Vigo Flores, «INFLUENCIA DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS – MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021,» *Tesis pregrado. Univr.Privada del Norte*, 2022.
- [16] L. Salazar Horna, «COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE UTILIZANDO POLIESTIRENO,» *TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA - USS*, 2024.
- [17] G. O. Ing.Prieto, «DOSIFICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE,» de *Metodo de Marshall. Univer.Nacional de Cuyo*, 2006.
- [18] (. – 2. R. y. Corregida, «“Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”,» Junio 2013.
- [19] N. . L. Bejarano Martinez, «ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN BIOPOLIMERO A PARTIR DEL CONTENIDO DE ALMIDON DE CASCARA DE PLATANO,» *Tesis pregrado.Universidad UNSA*, 2019.
- [20] Sperling, «Introduction to physical polymer science,» 1992.
- [21] F. Cadena y F. Quroz, «Manual de Reciclaje de Plasticos,» 2000.
- [22] O. d. l. N. U. p. l. A. y. l. Agricultura, «Foro Mundial Banadero,» 2014.
- [23] BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ SUCURSAL PIURA, «CARACTERIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE PIURA,» 2022.
- [24] C. A. Caceres Morales, «Análisis de la Metodología Superpave para el Diseño de las Mezclas Asfálticas en Mexico,» 2007.
- [25] C. Bennett y G. Paterson , «Manual de calibración de HDM-4 donde se discute la forma de las curvas de deterioro.,» *A Guide to the Calibration and Adaptation*, vol. 5, 2000.
- [26] N. Barahona Alvear, H. Tixi Toapanta, S. Hugo Calderón y L. Barahona Alvea, «Biopolymers capable of replacing traditional plastics,» *Revista: Ciencia Digital ISSN: 2602-8085*, vol. 3, n° 4, pp. 138-155, Diciembre 2019.

- [27] . B. L. Bailon Fiorentini , «Evaluación de las propiedades mecánicas en la utilización de plásticos reciclados para la mezcla de asfalto,» *Tesis pregrado. Univr.Señor de Sipan*, 2023.

## Anexos

## Anexo N.º 1



Actividades de la mezcla asfáltica en laboratorio, toma de medidas, dosificaciones, toma de pesos, etc.

Anexo N.º 2



Actividades referentes al Ensayo de Lottman Modificado

## Anexo N.º 3



Actividades referentes al Ensayo de Rice.

## Anexo N.º 4



Actividades referentes al Ensayo de Marshall

## Anexo N.º 5



Actividades de los diferentes Ensayos que son sometidos los agregados pétreos.

## Anexo N.º 6



Actividades referentes al Ensayo de Lottman Modificado

UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS



INFORME N°

LEM USAT 059-2024-II

FECHA:

22 de Octubre 2024

## VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE:

**TITULO DE LA TESIS:** Adición de biopolímero extraído de la cascara de plátano como agregado fino para mejorar las propiedades mecánicas y físicas de las mezclas asfálticas

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.
- Gravedad específica y absorción de agregados gruesos y finos.
- Ensayo de contenido de Humedad de agregados gruesos y finos.
- Ensayo de equivalente de arena.
- Sales solubles totales agregado fino y agregado grueso.
- Durabilidad (al sulfato de magnesio) del agregado grueso y fino.
- Índice de plasticidad (malla n°40).
- Índice de plasticidad (malla n°200).
- Determinación de partículas chatas y alargadas.
- Ensayo de abrasión por medio de la máquina de los ángeles.
- Ensayo de Estabilidad y Flujo.
- Ensayo del peso específico de las briquetas.
- Ensayo de la densidad máxima teórica.
- Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste.
- Ensayo de Lottman Modificado.

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto



TECNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneyra Oblitas  
 Tec. L. 3009 2019  
 USAT

Henry Rivadeneyra Oblitas  
 Responsable de Lab. Ing. Civil Ambiental