



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Tema

**Fibras del raquis del banano como componente del concreto
asfáltico para mejorar sus propiedades mecánicas.**

Autor

Espinoza Díaz, Ítalo Daniel

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

Tutor

ING. Martínez Rehpani, Colón Gilberto

Guayaquil, Ecuador

22 de febrero de 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente Trabajo de Titulación fue realizado en su totalidad por Espinoza Díaz, Ítalo Daniel, como requerimiento para la obtención del título de ingeniero civil.

TUTOR



f. _____

Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto

DIRECTORA DE CARRERA



f. _____

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther

Guayaquil, a los 22 días del mes de febrero del año 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Espinoza Díaz, Ítalo Daniel**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación: **Fibras del raquis del banano como componente del concreto asfáltico para mejorar sus propiedades mecánicas**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las fuentes en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 22 días del mes de febrero del año 2023

EL AUTOR

f. _____
Espinoza Díaz, Ítalo Daniel



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Espinoza Díaz, Ítalo Daniel**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Fibras del raquis del banano como componente del concreto asfáltico para mejorar sus propiedades mecánicas**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 22 días del mes de febrero del año 2023

EL AUTOR

f. _____

Espinoza Díaz, Ítalo Daniel



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

REPORTE URKUND

Document Information



COLÓN GILBERTO
MARTÍNEZ REHPANI

Analyzed document	Espinoza_Italo_final.pdf (D159748081)
Submitted	3/1/2023 1:58:00 AM
Submitted by	
Submitter email	clara.glas@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com

Sources included in the report

Entire Document

FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Tema FIBRAS DEL RAQUIS DEL BANANO COMO COMPONENTE DEL CONCRETO ASFÁLTICO PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Autor ESPINOZA DÍAZ, ÍTALO DANIEL

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL Tutor ING. MARTÍNEZ REHPANI, COLÓN GILBERTO Guayaquil, Ecuador 22 de febrero de 2023

FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL CERTIFICACIÓN Certificamos que el presente Trabajo de Titulación fue realizado en su totalidad por Espinoza Díaz, Ítalo Daniel, como requerimiento para la obtención del título de ingeniero civil. TUTOR f. _____ Ing.

Martínez Rehpani, Colón Gilberto DIRECTORA DE CARRERA f. _____ Ing. Alcívar Bastidas, Stefany

Guayaquil, a los 22 días del mes de febrero del año 2023

FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Yo, Espinoza Díaz, Ítalo Daniel DECLARO QUE: El Trabajo de Titulación,

Fibras del raquis del banano como componente del concreto asfáltico para mejorar sus propiedades mecánicas previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las fuentes en las referencias o bibliografías.

Consecuentemente este trabajo es de total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido. Guayaquil, a los 22 días del mes de febrero del año 2023 EL

AUTOR f. _____ Espinoza Díaz Ítalo Daniel

FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL AUTORIZACIÓN Yo, Espinoza Díaz, Ítalo Daniel Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, Fibras del raquis del banano como componente del concreto asfáltico para mejorar sus propiedades mecánicas, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría. Guayaquil, a los 22 días del mes de febrero del año 2023 EL AUTOR

f. _____ Espinoza Díaz Ítalo Daniel

FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL REPORTE URKUND

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud imperecedera al Ing. Gilberto Martínez Rehpani por su apoyo incondicional y sus conocimientos en la elaboración de esta investigación. A las ingenieras Mercedes Beltrán y Nancy Varela por toda la confianza brindada.

Emulsificadora del Pacífico EMULPAC S.A, su director Ing. Gustavo García Caputi por otorgar todas las facilidades y prestación de sus laboratorios. A su directora de laboratorio Ing. Angie Delgado.

Corporación San Miguel de Brasil y a sus directivos por creer en la innovación y protección al medio ambiente.

Ing. Rolando Vila Romani, por su guía en el campo de carreteras, al Sr. Galo Paredes (+) por todo su apoyo incondicional en metalmecánica.

A constructora CONOB, al Gerente Arq. Luis Obelencio Cuenca por ser un gran líder quien impulsa a sus colaboradores en la superación académica, a mis amigos que conocí en las aulas de la universidad, gracias por todo el apoyo y el ánimo brindando, y por último a mis profesores por ser parte de mi formación profesional.

DEDICATORIA

Dedico la presente investigación a Dios por estar siempre a mi lado y no abandonarme, a mis amados padres Mariana y Patricio por su sacrificio, gracias a ustedes soy lo que soy, mis hermanos Carolina y Patricio por su apoyo incondicional, a mi ángel que donde te encuentres, quiero darte las gracias por ser parte de mi inspiración, a las personas del campo quienes día a día luchan con humildad en sus trabajos, para el sostenimiento de nuestro país.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

TUTOR



f. _____

Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto



f. _____

Ing. Federico Von Buchwald de Janon, Ph. D

DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA



f. _____

Ing. Alexandra Camacho Monar Ph. D

COORDINADOR DEL ÁREA O DOCENTE DE LA CARRERA



Ing. Rolando Vila Romani Ph. D
OPONENTE

VIII

Tabla de Contenido

Introducción	2
Antecedentes.....	2
Situación Problemática	3
Objetivo General.....	6
Objetivo Específico.....	6
Metodología.....	7
Justificación8	
1 Capítulo I. Afectaciones más Comunes en el Deterioro de las Mezclas Asfálticas	10
1.1 Causas del Deterioro del Cemento Asfáltico.....	10
1.2 Situación Climática y el Rápido Deterioro de las Vías	10
1.3 La Incidencia Solar Vertical.....	17
1.4 Salinidad	19
1.5 La Sismicidad y las Fallas Geológicas.....	20
1.6 La Calidad de los Suelos por los que se Desarrollan las Vías 22	
1.7 El Sobrerrefinamiento del Asfalto en Ecuador	25
1.8 Incremento del Tráfico en el Litoral Ecuatoriano.....	29
1.9 La Susceptibilidad a la Humedad de las Mezclas asfálticas .	31
1.10 Agrietamiento en Mezclas Asfálticas	32
1.11 Plan Estratégico Institucional (PEDI - UCSG).....	34
1.12 Protocolo de Kyoto en relación con carreteras	35
2 Capítulo II. Uso de Fibras en Mezclas Asfálticas.....	37
2.1 Uso de Fibras Inorgánicas en Mezclas Asfálticas.....	37
2.2 Uso de Fibras Orgánicas en Mezclas Asfálticas	38
2.3 Metología de Trabajo Previo a Ensayos de Laboratorio	38

2.3.1	Proceso de Extracción de Fibra de Raquis de Banano ...	38
2.3.2	Selección del Raquis de Banano	39
2.3.3	Extracción de Fibras del Raquis de Banano	40
2.3.4	Proceso de Secado de las Fibras del Raquis de Banano. 41	
2.4	Método de Selección de Fibras en Laboratorio.....	43
2.4.1	Cepillado de Fibras del Raquis de Banano	43
2.4.2	Corte de Fibras del Raquis de Banano	44
2.5	Selección de Áridos	46
2.5.1	Agregado Fino.....	46
2.6	Proceso de Fabricación de Mezcla Asfáltica con Fibras del Raquis de Banano	48
2.6.1	Proceso de Mezclado en Laboratorio.....	48
2.6.2	Proceso de Curado de Fibras del Raquis de Banano	49
2.6.3	Mezclar las Fibras del Raquis de Banano con Cemento Asfáltico a 120 °C.....	50
2.6.4	Resultado del Curado.....	51
2.6.5	Diseños Propuestos para Ensayos de Laboratorio	52
3	Capítulo III. Ensayos de Laboratorio	53
3.1	Ensayos a la Fibra del Raquis del Banano	53
3.1.1	Ensayos a Flexión.....	53
3.1.2	Ensayo de temperatura	54
3.1.3	Análisis Físico de Fibras del Raquis de Banano	55
3.1.4	Muestra de Fibras del Raquis de Banano sin Cemento Asfáltico	56
3.1.5	Muestra de Fibras del Raquis de Banano con Cemento Asfáltico	56
3.2	Ensayos a los Agregados	57

3.3	Ensayos al cemento asfáltico.....	59
3.4	Ensayos hechos a la Mezcla Asfáltica con fibras del Raquis del Banano	61
3.4.1	Preparación de Muestras	61
3.4.2	Ensayo de Tracción Indirecta (ASTM D4867).....	65
3.4.3	Extracción de Asfalto (ASTM D2172).....	71
4	Resultados y Discusión	74
4.1	Ensayo de Tracción Indirecta (ASTM D4867).....	74
4.2	Extracción de Asfalto (ASTM D2172)	78
5	Conclusiones y Recomendaciones.....	80
5.1	Conclusiones	80
5.2	Recomendaciones	82
6	Referencias	83
	BIBLIOGRAFÍA DECLARACION Y AUTORIZACIÓN.....	54

Lista de Tablas

Tabla 1	<i>Composición química del asfalto ecuatoriano</i>	10
Tabla 2	<i>Estudio de precipitaciones y temperatura en distintas estaciones meteorológicas del Ecuador</i>	12
Tabla 3	<i>Tipos de fallas en pavimentos flexibles</i>	15
Tabla 4	<i>Defecto y alcance de las fallas en el asfalto</i>	16
Tabla 5	<i>IONES más comunes de las sales</i>	19
Tabla 6	<i>Características geológicas de los suelos</i>	24
Tabla 7	<i>Promedio general de resultados de muestras de distintos sitios</i> ...	25
Tabla 8	<i>Resultados de los ensayos</i>	26
Tabla 9	<i>Composición química de cuatro tipos de ligante asfáltico comparados con la composición química del asfalto producido en la Refinería de Esmeraldas</i>	27
Tabla 10	<i>Cuadro comparativo de los conteos vehiculares</i>	30
Tabla 11	<i>Tráfico del promedio diario anual</i>	30
Tabla 12	<i>Causas y efectos de la baja resistencia a la fatiga del pavimento flexible</i>	33
Tabla 13	<i>Objetivo de investigación del Plan Estratégico Institucional</i>	35
Tabla 14	<i>Composición y origen de las fibras sintéticas</i>	37
Tabla 15	<i>Ensayo de contenido de humedad arena originaria del río Babahoyo</i>	46
Tabla 16	<i>Ensayo de granulometría material pétreo del río Babahoyo</i>	47
Tabla 17	<i>Fórmula maestra de cada diseño</i>	52
Tabla 18	<i>Muestras de fibras de raquis del banano para toma de diámetros</i>	53
Tabla 19	<i>Granulometrías típicas para la fabricación de hormigón asfáltico en planta</i>	58

Tabla 20	<i>Ensayo de granulometría de combinación de agregados gruesos, finos y filler.</i>	58
Tabla 21	<i>Caracterización del cemento asfáltico a utilizar</i>	60
Tabla 22	<i>Resultados del ensayo de tracción indirecta. Diseño 1 – 0 % de fibra.</i>	68
Tabla 23	<i>Resultados de ensayo de tracción indirecta. Diseño 2 – 0.3 % de fibra.</i>	69
Tabla 24	<i>Resultados de ensayo de tracción indirecta. Diseño 3 – 0.5 % de fibra.</i>	70
Tabla 25	<i>Porcentaje asfalto presente en mezcla del diseño 1</i>	72
Tabla 26	<i>Porcentaje asfalto presente en mezcla del diseño 2.</i>	72
Tabla 27	<i>Porcentaje asfalto presente en mezcla del diseño 3.</i>	73
Tabla 28	<i>Resumen de los resultados de ensayo de tracción indirecta</i>	74
Tabla 29	<i>Resultados de porcentaje de cemento asfáltico en el ensayo de extracción.</i>	79

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Contaminación del ambiente por la descomposición de raquis con lixiviados.....</i>	4
Figura 2	<i>Desbordamiento del río Babahoyo, que provocó la sobrehidratación de la capa de rodadura.....</i>	14
Figura 3	<i>Insolación difusa promedio en Ecuador.....</i>	18
Figura 4	<i>Insolación global promedio en Ecuador.....</i>	19
Figura 5	<i>Fuentes sísmicas de tipo subducción.....</i>	21
Figura 6	<i>Fuentes sísmicas de tipo cortical.....</i>	21
Figura 7	<i>Curvas maestras de junio (RTFO y PAV).....</i>	27
Figura 8	<i>Propuesta de zonificación de asfalto para cada tipo de clima.....</i>	28
Figura 9	<i>Refinería de Esmeraldas, Ecuador.....</i>	29
Figura 10	<i>Comparación del agrietamiento en pavimento rígido.....</i>	34
Figura 11	<i>Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero.....</i>	36
Figura 12	<i>Raquis producidos luego de operaciones de embarque.....</i>	39
Figura 13	<i>Proceso de selección del raquis de banano.....</i>	40
Figura 14	<i>Extracción de fibras del raquis del banano.....</i>	41
Figura 15	<i>Proceso de secado de fibras del raquis del banano en cordeles.....</i>	42
Figura 16	<i>Fibras de raquis del banano luego del proceso de secado.....</i>	43
Figura 17	<i>Peinado de fibras del raquis de banano.....</i>	44
Figura 18	<i>Corte de fibras del raquis de banano.....</i>	45
Figura 19	<i>Fibras de raquis del banano cortadas entre 200 mm a 300 mm.....</i>	45
Figura 20	<i>Curva granulométrica material pétreo del río Babahoyo.....</i>	47
Figura 21	<i>Muestra de piedra de diámetro de 10 mm.....</i>	48
Figura 23	<i>Colocación del cemento asfáltico con las fibras del raquis de banano.....</i>	50
Figura 24	<i>Procedimiento de recuperación de temperatura.....</i>	51

Figura 25	<i>Fibras del raquis de banano al finalizar el curado</i>	51
Figura 26	<i>Toma de diámetro a una fibra del raquis de banano con fisurómetro</i>	53
Figura 27	<i>Lectura de la temperatura en el ensayo de resistencia al calor de fibras del raquis del banano</i>	55
Figura 28	<i>Imagen obtenida con el microscopio, de una muestra de fibra de raquis de banano sin cemento asfáltico</i>	56
Figura 29	<i>Imagen obtenida con un microscopio, de una muestra de fibra de raquis de banano con cemento asfáltico</i>	57
Figura 30	<i>Curva granulométrica definitiva con fajín de control, según la Tabla 20</i>	59
Figura 31	<i>Mezclado de agregados</i>	61
Figura 32	<i>Ingreso de recipiente con agregados al horno</i>	62
Figura 33	<i>Mezclado del cemento asfáltico con los agregados</i>	62
Figura 34	<i>Mezclado de fibras del raquis de banano con los agregados</i>	63
Figura 35	<i>Mezcla asfáltica con fibras del raquis de banano</i>	64
Figura 36	<i>Mezcla asfáltica con fibras del raquis de banano</i>	64
Figura 37	<i>Peso de mezcla asfáltica</i>	66
Figura 38	<i>Moldeo de briquetas</i>	66
Figura 39	<i>Desmolde de briquetas</i>	67
Figura 40	<i>Extracción de briquetas</i>	67
Figura 41	<i>Antes y después de prueba de extracción de asfalto</i>	71
Figura 42	<i>Gráfica del porcentaje de fibra del raquis de banano vs. la gravedad específica bulk</i>	75
Figura 43	<i>Gráfica del porcentaje de fibra del raquis del banano vs. el porcentaje de vacíos</i>	75
Figura 44	<i>Gráfica del porcentaje de fibra del raquis del banano vs. La resistencia a la tracción indirecta</i>	77

Figura 45 <i>Gráfica del porcentaje de fibra del raquis de banano vs. la resistencia a la tracción indirecta</i>	78
Figura 46 <i>Muestra después del proceso de extracción</i>	79

Resumen

Con este trabajo de investigación, se observó en distintos ensayos, el aumento de la resistencia a la deformación de las mezclas y la reducción de la presencia de fisuras; además, se analizaron las nuevas condiciones de servicio y mantenimiento. Asimismo, se estudió el uso de la fibra de raquis del banano en el concreto asfáltico, al dosificarlo en 0.0 %, 0.3 % y 0.5 % mezclado por vía húmeda y con un contenido de cemento asfáltico del 6 %, para determinar la dosis óptima porcentual de fibras del raquis del banano, que se debía emplear en la mezcla asfáltica con respecto al peso de agregados y que así, se produjera el mejor comportamiento mecánico posible.

Además, se determinó que al introducir cemento asfáltico a la fibra de raquis de banano en proporción del 320 % del peso a 120 °C, se produce un reforzamiento en la estructura interna, que ayuda a la resistencia a flexión; del mismo modo, se estableció una propuesta social de preservación ambiental con innovación tecnológica y económica, con base en el aprovechamiento de un desecho agrícola abundante, que puede beneficiar a las familias de las zonas rurales.

Palabras claves: Fibras de Raquis, Innovación, Concreto Asfáltico, Preservación, Tecnológica, Familias.

Abstract

With this research work, it was observed in different tests, the increase of the resistance to the deformation of the mixtures and the reduction of the presence of cracks; In addition, the new conditions of service and maintenance were analyzed. Likewise, the use of banana rachis fiber in asphalt concrete was studied, by dosing it in 0.0%, 0.3% and 0.5% mixed wetly and with an asphalt cement content of 6%, to determine the optimal percentage dose of banana rachis fibers, which should be used in the asphalt mixture with respect to the weight of aggregates and thus, the best possible mechanical behaviour is produced.

In addition, it was determined that by introducing asphalt cement to the banana rachis fiber in a proportion of 320% of the weight at 120 °C, there is a reinforcement in the internal structure, which helps the resistance to bending; In the same way, a social proposal for environmental preservation with technological and economic innovation was established, based on the use of abundant agricultural waste, which can benefit families in rural areas.

Keywords: Rachis Fibers, Innovation, Asphalt Concrete, Preservation, Technology, Families.

Introducción

La demanda del uso de pavimentos flexibles ha crecido de forma rápida, debido al bajo costo y a la necesidad de eliminar el remanente, después de concluida la refinación del petróleo; además, este tipo de pavimento tiene un buen desempeño como carpeta de rodadura en vías urbanas, en carreteras y en autopistas; sin embargo, también es necesario decir que este se puede ver afectado, de manera considerable, a causa del aumento del tráfico y de las variaciones climáticas, lo que trae consigo la presencia de fallas considerables en el pavimento y, por ende, una disminución en el desempeño, dado que se acorta el tiempo de vida.

Por otro lado, es importante observar que las mejoras tecnológicas en los vehículos producen un aumento de las velocidades; además, las vías se encuentran construidas en condiciones climáticas desfavorables y, por tanto, se requiere de una mayor atención por parte de la academia, en relación con el comportamiento de las carreteras y, principalmente, cuando hay un alto volumen de tráfico, que exige mejores estándares de seguridad y comodidad en cualquier condición. En este sentido, la presente investigación tuvo como finalidad brindar un aporte al sector de la construcción al buscar una mayor duración y utilidad de las mezclas asfálticas en áreas urbanas, rurales y en la red vial del país y al optimizar recursos, que sean beneficiosos al medio ambiente y que ayuden a la economía.

Antecedentes

El uso de fibras del raquis de banano en el diseño de mezclas asfálticas calientes pretende contribuir con el desarrollo de nuevas técnicas en el ámbito de la ingeniería vial, para mejorar el confort y la seguridad de sus usuarios. Además, es importante tener en cuenta que la demanda del uso de pavimentos ha crecido en la misma proporción que las necesidades de la población y la industria en general es una de las causas; por tanto, para fortalecer este producto, se ha observado la necesidad de fusionarlo con recursos de fácil obtención que estén a disposición, como, por ejemplo, es el

caso de la fibra del raquis de banano y plátano.

Por otro lado, Ecuador es considerado como el mayor exportador de banano en el mundo; según el Servicio de Rentas Internas (SRI) (2019), la actividad del cultivo de banano y plátano tuvo un ingreso total de ventas de \$28.4 millones de dólares a nivel nacional, un 19.6 % menos, comparado con el 2018 y en el periodo entre el 2011 y el 2019 se registró un decrecimiento promedio anual de 7.9 %. Asimismo, de acuerdo con la Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador, en el 2022 se exportaron 345 060 millones de cajas de banano.

Se espera que el gobierno central realice la firma de un tratado de libre comercio (TLC) para que las exportaciones aumenten a 26.8 millones de cajas por año, lo que representa un aumento del 53 % de las exportaciones en relación con el 2020. Al cuantificar la cantidad de raquis producidos en Ecuador en el 2022, se estimó en promedio dos raquis por cada caja de banano y, en total, hubo 708.12 millones de raquis que se desperdiciaron y contaminaron el medio ambiente.

Situación Problemática

El desaprovechamiento y la contaminación causada por el raquis de banano, se produce, en su mayoría, a causa de que este es desechado tanto en el proceso de embarque de las haciendas bananeras, como en la producción de la fruta en el país y en la región.

Figura 1.

Contaminación del ambiente por la descomposición de raquis con lixiviados



Nota. Elaboración propia

En este sentido, se puede decir que del banano existe una cantidad importante de desperdicios que, al carecer de tratamiento adecuado, se convierten en contaminantes del medio ambiente; por ejemplo, los lixiviados que son producto de la descomposición orgánica, que tiene condiciones anaeróbicas y aeróbicas, penetran los estratos de suelos y contaminan aguas subterráneas y atraen vectores contaminantes por su fétido olor, lo que produce enfermedades, como la tifoidea, además de generar plagas y enfermedades que afectan la producción del cultivo (Haro et al., 2017).

Por otro lado, es de conocimiento público que las vías de pavimento flexible en Ecuador tienen un problema reiterativo en la capa de rodadura, lo que se traduce en distintos tipos de fallas cuyas causas son diversas; este y otros factores contribuyen al deterioro rápido de las carreteras, lo que genera mayores costos de mantenimiento.

Asimismo, es importante tener en cuenta la mala calidad del cemento asfáltico ecuatoriano, producido por la Refinería de Esmeraldas; de hecho, este antecedente hizo que en el 2010, la Alcaldía de Guayaquil, en la administración del abogado Jaime Nebot Saadi, propusiera, durante la sesión

de Concejo del 6 de mayo del 2010, importar este producto desde Venezuela, y se dio, como principal motivo, el siguiente: “No es solo para Guayaquil, es para todas las ciudades del país e inclusive para el propio Gobierno, que Petroecuador produce un asfalto malo con envejecimiento prematuro” (Diario El Universo, 2010, párr. 1). De igual forma, Camacho y Lema (2018) afirmaron que

La calidad de las carreteras asfaltadas en el Ecuador se deteriora porque nuestro cemento asfáltico obtenido de la Refinería de Esmeraldas tiene excesos de resinas y asfáltenos, la baja cantidad de aromáticos, el crudo exige un 2 % de resinas presentes, mientras que ecuatoriano llega al 9 %, siendo estos los factores principales que ocasionan el envejecimiento prematuro del asfalto. (pp. 17-18).

Además, existen problemas relacionados con las pésimas condiciones de las carreteras, que se deben a la falta de atención en las políticas de seguridad vial de los entes gubernamentales; en adición, existen otros factores que pueden conducir a la falla prematura de los pavimentos flexibles, como, por ejemplo, estudios de consultorías mal planificados, un mal proceso de construcción, una alta demanda de tráfico, entre otras. Por otro lado, Gabela (2013) indicó lo siguiente:

Los deterioros son aquellas modificaciones del pavimento respecto de su estado original que se han desarrollado por el desgaste normal, deficiencias de los materiales que lo conforman o lo soportan, factores como: aire, agua, luz ultravioleta; casos fortuitos como: fallas de sistemas de alcantarillado y abastecimiento de agua potable, erupciones volcánicas, entre otros, que disminuyen los niveles de seguridad, comodidad y confianza de los pavimentos, obligando, de cierta manera, a disminuir la velocidad de los vehículos que transitan, ya sea por seguridad, comodidad o ambos. En casos extremos de deterioro la circulación vehicular puede verse interrumpida. (p. 7).

Los pavimentos asfálticos pueden presentar los siguientes tipos de fallas, que han sido clasificados y agrupados en cinco categorías de acuerdo con su similitud:

1. Fisuras o agrietamiento.
2. Deformación de la superficie.
3. Pérdida de la capa de rodadura.
4. Daños superficiales.
5. Otros daños. (p. 7)

Al conjugar las situaciones, es decir, la fibra del raquis de banano como desecho, la búsqueda de recursos para su aprovechamiento óptimo y el deterioro de la carpeta asfáltica, se observó que la opción de utilizar el desecho del raquis podía brindar un aporte positivo al desempeño de las mezclas asfálticas.

Objetivo General

Estudiar a través de ensayos de laboratorio, el uso de las fibras del raquis del banano para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, con un enfoque en el aumento de la resistencia a la deformación de las mezclas y con la reducción de la presencia de fisuras.

Objetivo Específico

1. Identificar, de manera global, las investigaciones existentes relacionadas con el uso de fibras vegetales, aplicadas en concreto asfáltico y definir la perspectiva teórica para abordar la presente investigación.
2. Caracterizar los materiales necesarios para realizar la mezcla asfáltica con ensayos de laboratorio, entre ellos, los agregados gruesos, los agregados finos, el asfalto y la fibra, para garantizar que se cumpla con la normativa recomendada.

3. Analizar el uso de la fibra de raquis del banano en el concreto asfáltico, en proporciones de 0.0 %, 0.3 % y 0.5 % mezclados por vía seca, es decir, respecto al peso de los agregados y con un contenido aproximado de cemento asfáltico del 6 %.
4. Interpretar los resultados de resistencia a la tracción indirecta en especímenes de mezclas asfálticas con 0.0 %, 0.3 % y 0.5 % de fibras de raquis del banano, mezclados por vía húmeda y la dosificación del cemento asfáltico al 6 %, ambos respecto al peso de los agregados.

Metodología

En la investigación fue necesario realizar un levantamiento bibliográfico global sobre los estudios realizados recientemente y que estuvieran relacionados con el tema; se incluyeron diversos autores y se realizó un análisis de los distintos criterios para definir el enfoque teórico desde el estudio del proceso, hecho a través de ensayos de laboratorio, para determinar si era posible usar las fibras de raquis del banano para el diseño de mezclas asfálticas en caliente. A partir de estos ensayos, se realizó la caracterización de los materiales necesarios para realizar la mezcla asfáltica, como, por ejemplo, los agregados gruesos y finos, el cemento asfáltico y la fibra del raquis de banano, para garantizar que se cumpliera con la normativa.

Además, se interpretaron los resultados del ensayo de resistencia a la tracción indirecta en especímenes dosificados con 0.0 %, 0.3 % y 0.5 % de fibras de raquis del banano, en relación con el peso del agregado, para determinar la capacidad de disminuir fisuras. También se debió diferenciar, de forma comparativa, las ventajas económicas, técnicas y ambientales que había, con respecto a una mezcla asfáltica convencional; en ese mismo sentido, se analizó, de manera experimental, un concreto asfáltico adicionado con fibras del raquis del banano obtenidas por medio de un desecho agrícola.

El proceso de moldeado de cada grupo de briquetas lo realizó una sola persona, para que el tiempo de compactación fuera el mismo para cada una de las muestras; las fibras del raquis de banano no debían presentar ningún proceso químico y debían estar libres de impurezas. Las mezclas se realizaron de manera homogénea, lo que garantizó un comportamiento similar o superior a una mezcla asfáltica convencional; por tanto, el presente trabajo tuvo como finalidad adicional, beneficiar a varias comunidades bananeras del Ecuador.

Justificación

Una de las justificaciones que determinó el deterioro de la capa de rodadura en Ecuador fue el efecto climático; Fiallos (2017), entre otras causas, mencionó:

Los factores climáticos regionales desfavorables (ejemplos: elevación del nivel freático, inundaciones, lluvias prolongadas, cambios de temperatura, insuficiencia de drenaje superficial o profundidad prevista), pueden producir expansión y contracción no previstas en el diseño del pavimento, con el consiguiente agrietamiento o rotura. (p. 21).

El incremento del tráfico en las vías del país también causó el deterioro, puesto que no se consideró en el diseño, el incremento de la carga en los vehículos. Por su parte, González (2018) mencionó, por ejemplo, la vía Barcelona en la ciudad de Milagro, perteneciente a la provincia del Guayas y analizó lo siguiente:

Se presenta una variación importante del tráfico para la cual fue diseñada, tanto en volumen de tráfico, como en la composición de los vehículos que transitan por su calzada, lo que ha agravado y acelerado el proceso de deterioro en su paquete estructural de pavimento flexible; [...] afectando el nivel de servicio que la carretera presta a los usuarios. (p. 4)

Otra de las causas analizadas por Gonzáles (2018) fue la siguiente:

El cambio en la composición del tráfico con la aparición de camiones con ejes Tándem y Tridem. Este aumento de ejes vehicular conlleva una mayor carga que debe ser resistida por el pavimento actual, que ya presenta múltiples daños visibles a simple vista en su carpeta rodadura. (p. 6).

Asimismo, la calidad del asfalto producido en Ecuador es otra de las causas que persiste y se relaciona con el deterioro del pavimento flexible. Al respecto, Tipán (2012) mencionó lo siguiente:

En nuestro país se ha vuelto un común denominador acusar a la calidad del asfalto como excusa para la poca duración de las carreteras de pavimento flexible, se asegura que el asfalto ecuatoriano es de mala calidad y, por ende, no se obtienen buenos resultados en la elaboración de mezclas asfálticas en la construcción de carreteras de pavimento flexible, las mismas que al poco tiempo de haber sido colocadas denotan un deterioro acelerado, provocando la destrucción de los mismos. (p. 3)

Capítulo I. Afectaciones más Comunes en el Deterioro de las Mezclas Asfálticas

1.1 Causas del Deterioro del Cemento Asfáltico

En este sentido, se observó que agujeros, baches, fracturas, grietas y otros defectos parecen inevitables dos o tres años después de la puesta en servicio de una nueva carretera o de alguna reparación importante; todos los defectos o daños del pavimento flexible son causados por una serie de factores diferentes que pueden aparecer en el uso de la carretera y también durante la fase de diseño y construcción y uno de los factores más importantes para el deterioro, es la calidad del asfalto ecuatoriano en el que la composición química se determina de una forma específica, tal como se reflejó en la Tabla 1.

Tabla 1

Composición química del asfalto ecuatoriano

Compuesto	Desde	Hasta
Porcentaje de carbono	70	90.0
Porcentaje de hidrógeno	7.3	10.1
Porcentaje de azufre	0.56	9.5
Porcentaje de cenizas	0.06	1.125
Porcentaje de nitrógeno	0.05	7.0

Nota. Tomado de *Comportamiento fisicoquímico del asfalto producido en la Refinería Esmeraldas modificado con polímeros*, por Calle y Escobar (2018) <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17140/1/T-UCE-0017-IQU-020.pdf>

1.2 Situación Climática y el Rápido Deterioro de las Vías

Ecuador, por ser un país megadiverso, tiene diferentes pisos climáticos que, aunque pueden ser favorables para el turismo o para la agricultura, pueden

ser contraproducentes para los pavimentos flexibles, debido a que el cambio abrupto de temperaturas, como calor, frío y precipitaciones es muy común. En relación con esto, el análisis climatológico realizado en el 2016 por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI), en las cuatro regiones del país, litoral, interandina, amazónica e insular, se presentó en la Tabla 2 y analizó los datos más importantes obtenidos, acerca de la temperatura y las precipitaciones por regiones.

- **Región Litoral.** La máxima precipitación acumulada durante la tercera década de febrero en la región, se registró en la estación Puerto Ila con un valor de 475.5 mm, mientras que la máxima precipitación en 24 horas se presentó en el aeropuerto regional de Santa Rosa, cuyo valor fue de 170.0 mm y se registró el 25 de febrero. La temperatura máxima absoluta de la región se registró en Pichilingue con un valor de 34.2 °C, el 18 de febrero y la mínima, en Zaruma con 14.5°C, el 3 de febrero.
- **Región Interandina.** La máxima precipitación del mes se registró en El corazón con un valor de 414.3 mm, el mayor número de días con precipitación se dio en la misma estación con 25 días.

La temperatura máxima absoluta de la región se registró en La Toma Catamayo, con un valor de 33.7 °C, el día 27. Récords de serie se produjeron en las estaciones de Ibarra el día 14 con 28.2 °C y Quito-Iñaquito el día 19 con 26.6 °C. (Dirección Gestión Meteorológica, 2016, p. 2).

- **Región Amazónica.** “La máxima precipitación del mes se produjo en la estación del Puyo, con un valor de 433.8 mm; el número máximo de días con precipitación se produjo en esta última estación y en Pastaza Aeropuerto (25 días)” (Dirección Gestión Meteorológica, 2016, p. 2).

Tabla 2

Estudio de precipitaciones y temperatura en distintas estaciones meteorológicas del Ecuador

ESTACION	PRECIPITACION (mm)					TEMPERATURA (°C)					
	NORM.	MES	%	MAX. 24h.	DIAS	NORM.	MES	MADDA	MAXIMA	MINIMA	
			VAR.	FECHA	RR.				ABSOLUTA	ABSOLUTA	
ESMERALDAS AER.	173.6	207.6	19	49.0 / 7	20	26.1	26.7	0.6	30.9 / 11	22.8 / 3	
MUISNE	466.8	281.4	-39	73.5 / 7	17	25.8	NIL	NIL	31.2 / 27	23.0 / 1	
LA CONCORDIA	549.9	364.8	-33	110.3 / 2	23	25.6	26.2	0.6	32.5 / 12	21.3 / 1	
STO. DOMINGO AER.	441.6	316.8	-28	51.0 / 5	25	23.8	24.5	0.7	30.5 / 26	20.2 / 4	
PUERTO ILA	517.4	475.5	-8	118.2 / 3	29	24.6	26.3	1.7	32.7 / 23	22.0 / 4	
CHONE	327.3	142.3	-56	26.7 / 16	15	27.3	26.8	-0.5	34.0 / 12	21.0 / 24	
PORTOVIEJO	142.8	114.2	-20	13.9 / 16	23	27.1	27.3	0.2	33.1 / 12	23.0 / 17	
PICHILINGUE	439.5	380.3	-13	84.3 / 24	26	26.4	27.4	1.0	34.2 / 18	22.5 / 4	
MILAGRO	394.9	287.8	-27	60.3 / 25	26	26.6	27.5	0.9	34.0 / 18	22.2 / 5	
GUAYAQUIL AER.	318.3	210.7	-33	60.0 / 4	22	27.4	28.1	0.7	33.7 / 18	22.9 / 1	
SANTA ROSA AER.	107.7	272.8	153	170.0 / 25	19	25.9	27.7	1.8	33.6 / 18	21.9 / 8	
ZARUMA	296.5	NIL	NIL	0.0 / 0	NIL	22.6	23.6	1.0	32.0 / 12	14.5 / 3	
TULCAN AER.	74.0	25.5	-65	4.0 / 24	15	12.6	13.2	0.6	21.6 / 4	4.3 / 4	
EL ANGEL	75.6	16.0	-78	7.5 / 4	8	12.3	12.2	-0.1	20.5 / 21	3.4 / 8	
SAN GABRIEL	78.0	25.5	-67	6.8 / 24	16	12.5	13.7	1.2	22.0 / 4	4.0 / 2	
INGUINCHO	111.1	52.2	-53	48.6 / 22	8	10.5	12.5	2.0	18.8 / 3	6.0 / 2	
IBARRA	47.9	2.5	(r)	-94	1.0 / 9	8	16.8	18.6	1.8	28.2 / 14 (R)	8.2 / 2
OTAVALO	75.9	9.2		-87	7.2 / 24	3	14.9	16.0	1.1	25.0 / 13	6.2 / 4
TOMALON	54.0	6.1	(r)	-88	2.9 / 4	7	15.2	17.0	1.8	27.4 / 21	7.4 / 4
QUITO-ÑAQUITO	109.5	18.6		-83	14.2 / 22	4	15.6	17.8	2.2	26.6 / 19 (R)	9.0 / 2
LA TOLA	75.1	4.2	(r)	-94	2.0 / 22	7	16.4	18.0	1.6	27.2 / 20	6.2 / 2
IZOBAMBA	151.4	92.0		-39	25.1 / 3	16	12.3	13.3	1.0	21.9 / 15	5.0 / 4
LATACUNGA AER.	50.2	11.8		-76	5.0 / 4	8	14.8	15.6	0.8	23.9 / 21	4.0 / 2
EL CORAZON	414.3	260.6		-37	39.9 / 25	25	18.1	18.7	0.6	22.8 / 23	14.8 / 23
RUMIPAMBA	51.8	7.8	(r)	-84	3.0 / 26	8	15.3	16.1	0.8	24.5 / 26	6.2 / 2
AMBATO AER.	47.9	54.5		13	19.0 / 23	15	16.0	NIL	NIL	24.6 / 4	10.4 / 2
QUEROCHACA	46.8	35.8		-23	6.2 / 9	16	13.6	14.5	0.9	23.0 / 27	6.9 / 1
RIOBAMBA AER.	50.4	8.7		-82	3.5 / 9	9	15.2	16.6	1.4	26.5 / 27	8.0 / 2
IZOBAMBA	151.4	92.0		-39	25.1 / 3	16	12.3	13.3	1.0	21.9 / 15	5.0 / 4
LATACUNGA AER.	50.2	11.8		-76	5.0 / 4	8	14.8	15.6	0.8	23.9 / 21	4.0 / 2
EL CORAZON	414.3	260.6		-37	39.9 / 25	25	18.1	18.7	0.6	22.8 / 23	14.8 / 23
RUMIPAMBA	51.8	7.8	(r)	-84	3.0 / 26	8	15.3	16.1	0.8	24.5 / 26	6.2 / 2
AMBATO AER.	47.9	54.5		13	19.0 / 23	15	16.0	NIL	NIL	24.6 / 4	10.4 / 2
QUEROCHACA	46.8	35.8		-23	6.2 / 9	16	13.6	14.5	0.9	23.0 / 27	6.9 / 1
RIOBAMBA AER.	50.4	8.7		-82	3.5 / 9	9	15.2	16.6	1.4	26.5 / 27	8.0 / 2
CAÑAR	53.9	15.0		-72	6.8 / 4	13	12.3	12.8	0.5	20.0 / 29	4.6 / 17
CUENCA AER.	90.9	26.0		-71	4.0 / 4	13	16.8	17.9	1.1	25.7 / 26	8.9 / 19
GUALACEO	75.4	23.5		-68	6.0 / 2	10	18.2	NIL	NIL	NIL	7.8 / 10
SARAGURO	98.8	19.0	(r)	-80	15.0 / 4	3	14.3	15.1	0.8	25.0 / 13	5.0 / 16
LA ARGELIA	125.5	130.0		3	24.1 / 15	22	16.9	17.5	0.6	26.5 / 5	10.8 / 5

LA TOMA CATAMAY	57.1	18.2		-68	8.0 / 26	7	24.1	25.4	1.3	33.7 / 27	16.5 / 1
CELICA	269.1	78.9	(r)	-70	21.2 / 8	12	16.2	17.5	1.3	30.4 / 22	12.2 / 9
CARIAMANGA	266.5	103.3		-61	24.2 / 24	10	17.9	19.6	1.7	27.5 / 15	12.0 / 3
LAGO AGRIO AER.	235.1	298.5		26	38.0 / 17	23	26.3	26.2	-0.1	35.3 / 1	21.4 / 18
EL COCA AER.	230.9	247.7		7	52.0 / 5	21	27.0	26.4	-0.6	34.6 / 1	21.8 / 4
NVO. ROCAFUERTE	195.0	248.3		27	45.1 / 7	24	26.8	27.5	0.7	36.8 / 1 (R)	21.9 / 4
PASTAZA AER.	366.9	326.7		-10	38.0 / 1	25	21.5	22.5	1.0	30.6 / 4 (R)	17.5 / 22
PUYO	336.8	433.8		28	94.8 / 25	25	21.9	22.6	0.7	29.7 / 4	16.5 / 4
MACAS AER.	168.9	272.9		61	36.0 / 10	21	22.4	22.1	-0.3	29.8 / 5	16.7 / 13
S. CRISTOBAL-GAL.	90.3	36.3		-59	34.6 / 26	3	26.7	28.2	1.5	34.2 / 20 (R)	22.5 / 3

NIL = No reporta información

(R) = Record Máximo de serie

(r) = Record Mínimo de serie

NOTA: Los datos utilizados están sujetos a verificación

La temperatura media y mensual son calculadas en base a temperaturas extremas

Nota. Tomado de *Análisis climatológico*, por Dirección Gestión Meteorológica, 2016,

https://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bolhist/cli/2016/MENSUAL/bol_feb_2016.pdf

De igual manera, también se determinó en este análisis que “la temperatura máxima absoluta de la región se registró en Nuevo Rocafuerte, cuyo valor fue de 36.8 °C. Igualmente, la que se produjo en la estación de Pastaza Aeropuerto (30.6 °C) el día 4 se constituyó en récord de serie” (Dirección Gestión Meteorológica, 2016, p. 3).

- **Región Insular.** En cuanto a la región insular se indicó que “La cantidad de precipitación acumulada para el mes de febrero fue de 90.3 mm, lo que determinó un porcentaje inferior a la normal del orden del -59 %” (Dirección Gestión Meteorológica, 2016, p. 3). En este mismo sentido, se dijo lo siguiente:

La anomalía de la temperatura media del aire tuvo una variación positiva de 1.5 °C. La temperatura máxima absoluta fue 34.2 °C y se produjo el día 20, la misma que se constituyó en récord de serie, mientras que la temperatura mínima absoluta tuvo un valor de 22.5 °C registrada en el día 3. (Dirección Gestión Meteorológica, 2016, p. 3)

De acuerdo con lo anterior, en el litoral ecuatoriano en época invernal, las precipitaciones son muy elevadas y de largo tiempo, lo que provoca el desbordamiento de ríos o canales que tienen vías cercanas, las que se ven perjudicadas, debido a la sobresaturación hídrica, lo que compromete la capa de pavimento flexible.

En los últimos años, la presencia de precipitaciones ha ido incrementando y han tenido una mayor intensidad y una de las causas de esto, ha sido el calentamiento global; además, esto se suma a que no ha habido un debido mantenimiento en las carreteras, lo que implica un deterioro temprano de estas.

Figura 2

Desbordamiento del río Babahoyo, que provocó la sobrehidratación de la capa de rodadura



Nota. En la imagen se aprecia el desbordamiento del río Babahoyo en marzo de 2022 en la vía interprovincial Babahoyo-Pueblo viejo. Elaboración propia.

Tabla 3*Tipos de fallas en pavimentos flexibles*

Falla	Descripción
Superficial	Comprende los defectos de la superficie de rodamiento debido a fallas de la capa asfáltica; las acciones de reparación se dirigen a la corrección de la fricción (seguridad) o al restablecimiento de la rugosidad o regularidad (comodidad), lo que se logra con la colocación de capas asfálticas de bajo espesor, además de conferir la necesaria impermeabilidad para la superficie.
Estructural	Los defectos de la superficie de rodamiento, cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, se producen por defectos en una o más de las capas que conforman la estructura del pavimento, las cuales están destinadas a resistir y compartir los esfuerzos impuestos por el tráfico, de manera que, a nivel de subrasante o suelo de fundación de pavimento, lleguen los menores esfuerzos y lo más distribuido posible. La falla de la estructura se deriva de dos causas fundamentales: - Si la capacidad de carga vehicular es excedida más allá del valor que determinan las deformaciones recuperables proelasticidad instantánea y retardada, se desarrollan deformaciones permanentes en cada aplicación de las cargas, alterando la comodidad, seguridad y rapidez del tránsito y se puede generar el colapso de la estructura. - Si la capacidad de carga vehicular no es excedida, pero las deformaciones recuperables son elevadas, los materiales y, en particular las capas asfálticas, sufren el fenómeno denominado fatiga, cuando el número de aplicaciones de las cargas pesadas es elevado (reducción de características mecánicas e inicio del proceso de fisuramiento).

Nota. Tomado de *Evaluación y propuesta de mantenimiento del pavimento flexible de la avenida Quevedo en Santo Domingo de los Tsáchilas*, por Pallasco, 2018, <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15816>

Otro tipo de falla que se caracterizó fue la durabilidad de la capa de rodadura, en la que se alteró tanto la estructura como en la superficie; esto se explicó en la Tabla 3.

En las operaciones de producción de mezclas asfálticas es importante llevar el control del ligante por su desempeño, (ver tabla 4)

Tabla 4

Defecto y alcance de las fallas en el asfalto

Tipo de defecto	Defecto	Alcance	
Agrietamiento	Por fatiga	Capa asfáltica	
	En bloque	Capa asfáltica y/o bases cementadas.	
	De Juntas y bordes	Capas asfálticas	
	Por deslizamiento		Interfase capa asfáltica con capa superior.
			Terraplén
	De reflexión	Capa asfáltica	
Transversales	Capa asfáltica y/o bases cementadas.		
Deformaciones	Deformación de mezcla asfáltica	Capa asfáltica	
	Deformación de base y/o sub-base por compactación	Capa asfáltica y base	
	Deformación de subrasante por fatiga.	Capa asfáltica, base y subrasante.	
	Deformación subrasante tensión admisible.	Capa asfáltica, base y subrasante.	
Pérdida de material	Baches	Capa asfáltica y/o base y/o subrasante	
	Pérdida de agregado	Carpeta asfáltica	
	Pérdida de asfalto	Carpeta asfáltica	
Defecto superficial	Agregado pulido	Carpeta asfáltica	
	Exudación	Carpeta asfáltica	

Nota. Tomado de Fabricación en laboratorio de mezcla asfáltica drenante y su relación costo-beneficio respecto con capas densas utilizadas en calles de la ciudad de Guayaquil, por Córdova y Mora, 2015, *EFDeportes.com, Revista Digital*, 20(210)

dado que este se asocia a fallas por rodadura; aunque, el proceso constructivo de estas mezclas también es una de las causas del deterioro prematuro, dado que el comportamiento de las propiedades del asfalto nacional se encuentra por el tipo 60-80, que es utilizado en la construcción de pavimento flexible. Por otro lado, el asfalto importado tiene un comportamiento al límite inferior, que se caracteriza por ser un poco más duro (Córdova y Mora, 2015).

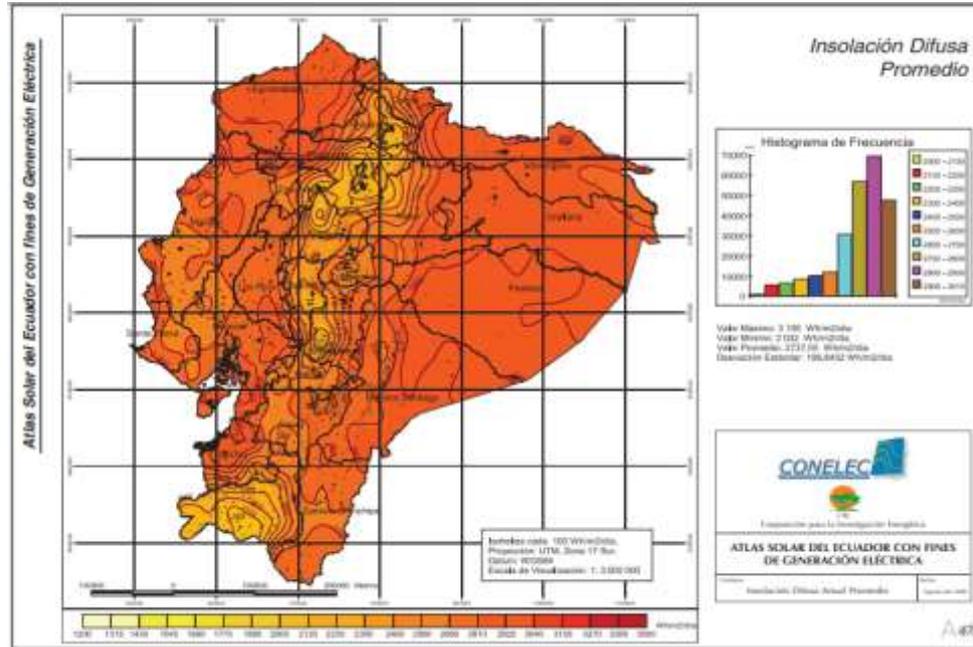
1.3 La Incidencia Solar Vertical

En cuanto a la Incidencia Solar Vertical, Ecuador, por su ubicación en el planeta Tierra, recibe mucha más radiación solar; según Velasco y Cabrera (2009), el valor promedio de radiación global en el país es de 4200 kWh/año por cada metro cuadrado, en comparación del español que es de 1400 kWh/año. La radiación difusa según el *Atlas Solar del Ecuador* del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) (2008) se origina de la siguiente forma:

Proviene del cielo como resultado de la dispersión de la radiación solar por la atmósfera. Es la radiación solar difundida por la atmósfera (por lo que no llega directamente del sol). La insolación difusa es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma. Esta energía podría suponer aproximadamente un 15 % de la insolación en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la insolación directa es muy baja, la insolación difusa supone un porcentaje mucho mayor. Por otra parte, las superficies horizontales son las que más insolación difusa reciben, ya que “ven” toda la semiesfera celeste. (p. 50)

Figura 3

Insolación difusa promedio en Ecuador

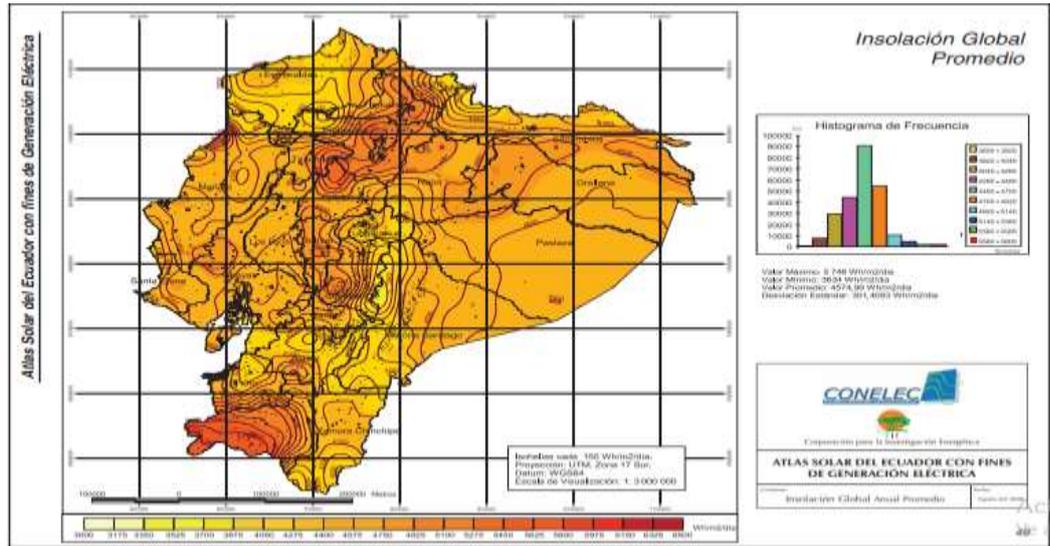


Nota. Tomado de *Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica*, por CONALEC, 2008, <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>

En el análisis de las gráficas, la insolación difusa promedio, la insolación directa promedio y la insolación global promedio, da como resultado que las variaciones representan más del 35 %; según Reyes y Camacho (2008), los factores de radiación emitida por el sol hacia el asfalto que se utiliza como material ligante, puede causar el envejecimiento prematuro.

Figura 4

Insolación global promedio en Ecuador



Nota. Tomado de *Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica*, por CONALEC, 2008, <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>

1.4 Salinidad

Tabla 5

Iones más comunes de las sales

Cationes	Aniones
Sodio (Na ⁺)	Cloruro (Cl ⁻)
Potasio (K ⁺)	Sulfato (SO ₄ ²⁻)
Magnesio (Mg ²⁺)	Nitrato (NO ₃ ²⁻)
Calcio (Ca ²⁺)	Carbonato (CO ₃ ²⁻)

Nota. Tomado de *Afectación de la salinidad en la vida útil de las mezclas asfálticas en caliente de las carreteras costeras*, por Euán, 2014, <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/747>

La salinidad (ver tabla 5) en el medio ambiente afecta los materiales de construcción; de acuerdo con Euán (2014), la salinidad es sales disueltas en una solución de masas dada, que se componen de iones cargados positivos y negativos, que son reconocidos como cationes, pero también se refiere al contenido salino en los suelos o en el agua.

Además, existen algunos fenómenos relacionados con la salinidad, como, por ejemplo, los lugares en los que hay altas concentraciones de estas salinidades, que pueden permanecer en el pavimento y llegar a cristalizarse, lo que provoca un mayor desgaste (Euán, 2014).

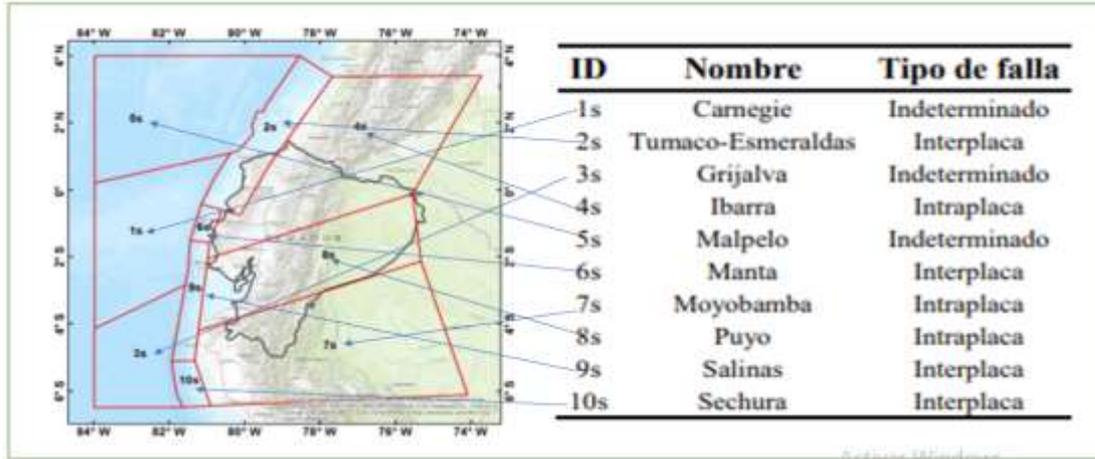
1.5 La Sismicidad y las Fallas Geológicas

En Ecuador, el peligro sísmico existe en dos tipos de fuentes, que según Quinde y Reinoso (2016), son la subducción y los corticales. Los sismos conocidos como interplaca se producen bajo la placa sudamericana en toda la zona de convergencia; los interplaca son sismos de falla normal, de profundidad media intermedia, ubicados en la placa oceánica de Nazca, que provocan la subducción bajo la placa continental sudamericana.

Por su parte, los corticales son sismos someros que ocurren dentro de la placa sudamericana; estos tipos de fuentes se interpretaron en las siguientes imágenes.

Figura 5

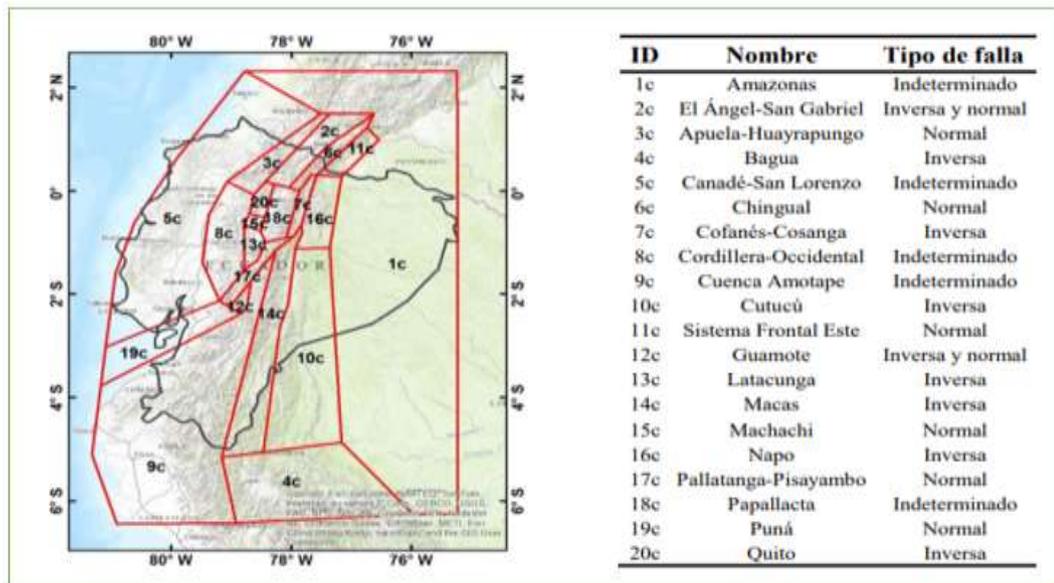
Fuentes sísmicas de tipo subducción



Nota. Tomado de Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca, por Quinde y Reinoso, 2016, *Revista de Ingeniería Sísmica*, (94)

Figura 6

Fuentes sísmicas de tipo cortical



Nota. Tomado de Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca, por Quinde y Reinoso, 2016, *Revista de Ingeniería Sísmica*, (94)

Por otro lado, Moncayo et al. (2017) planteó que la alta acumulación de energía sísmica que es liberada, se denomina terremoto y estos ocurren una vez que las fallas geológicas llegan a su máxima capacidad, dado que el estrato rocoso se fractura cuando la energía acumulada supera la capacidad de resistencia y, por tanto, se procede a la liberación de energía.

En otro sentido, Chunga et al. (2016) describió la composición rocosa como una derivación de estratos, en su mayoría fracturados, de margas de edad terciaria, arcillolitas, limolitas y areniscas, que producen inestabilidad, debido a las altas precipitaciones, lo que implica movimientos sísmicos, lo que, a su vez, ha permitido que en las superficies de fallas existan desplazamientos del subsuelo. Según Chunga et al. (2013):

La escala de intensidad macro sísmica ESI-2007 describe los efectos geológicos en el terreno causado por terremotos, tales como: (a) desplazamiento vertical de fallas geológicas, (b) tsunamis o maremotos generados en el mar por fuertes terremotos, (c) licuefacción de suelos, (d) derrumbes de taludes (todos de corta duración desde a hasta d), (e) subsidencia o hundimiento del terreno por origen natural o inducción antrópica de obras civiles en lugares inadecuados, (f) deslizamiento de tierras, (g) erosión y sedimentación, (h) grietas en el terreno por la saturación de los suelos por fuertes precipitaciones y (i) variación de líneas costeras por los levantamientos o hundimientos tectónicos. (p. 8)

1.6 La Calidad de los Suelos por los que se Desarrollan las Vías

El tipo de suelo en el que cruzan las carreteras del país, en su mayoría, son complejos, debido a la mala calidad y a que la geología no permite que las condiciones de estudio sean favorables, lo que implica aumentar los costos y, en muchas ocasiones, no es viable la construcción de los proyectos; sin embargo, existen algunas alternativas estudiadas para dar una solución óptima a este problema.

El estudio realizado por Castillo (2017), en la zona amazónica ecuatoriana, encontró suelos no aptos para utilizarse para subrasante, porque no fue posible demostrar una estabilidad; sin embargo, una de las soluciones planteadas fue la de remover o reemplazar con suelos de mejor calidad y se planteó el utilizar cal viva para la reducción de la humedad natural y para que hubiera una mayor compactación.

La calidad del suelo por el que se planea que pase una vía es muy importante, puesto que de esto depende la vida útil y la economía del proyecto; para analizar la calidad del suelo se deben realizar múltiples ensayos de laboratorio con la normativa de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO) y, entre estos, los más importantes son: volumétrico, cono y arena y densímetro nuclear, dado que así se determina la factibilidad y la calidad (Guerrón, 2013).

En carreteras ubicadas al noroccidente del Ecuador donde el clima hace que las condiciones del suelo no tengan mayor estabilidad, es necesario realizar la reconstrucción de vías y taludes que tienen un mayor costo de mantenimiento, lo que, además, detiene el paso de los vehículos. Por otro lado, en los subtrópicos, el suelo se encuentra en un proceso de meteorización y las temperaturas oscilan entre 7 °C a 30 °C, lo que provoca que las masas rocosas se expandan y compriman y esto se suma a las precipitaciones que, según INAMHI, tienen un promedio anual de 1500 mm (Moya y Revelo, 2008).

El estudio realizado por Gavilanes (2012) en la carretera Latacunga-Zumbahua-La Maná determinó que el tipo de suelo es blando tipo limo y arenoso, pero con una mala capacidad portante con niveles freáticos elevados y, para remediarlo, se utilizó el geotextil no tejido de polipropileno biaxial a nivel de subrasante, lo que brindó un aumento en la resistencia del pavimento flexible y redujo los espesores de las capas, lo que provocó la reducción de costo en un 25 %. Por otro lado, según Moya y Revelo (2018), en la interpretación de los resultados geológicos se tomó como ejemplo, la carretera

1.7 El Sobrerrefinamiento del Asfalto en Ecuador

En cuando al sobrerrefinamiento, Rojas et al. (2012) realizaron varios ensayos de penetración, reblandecimiento y ductilidad (ver Tabla 7) al ligante asfáltico, producido en la Refinería de Esmeraldas; además, se tomaron muestras en las plantas de Guayllabamba, Calacalí, Quito y Riobamba.

Las muestras de Esmeraldas cumplieron con los estándares de calidad establecidos por el manual del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), a excepción de las muestras de Riobamba, que no cumplieron el ensayo de penetración, dado que tuvieron un valor cercano a uno y, por tanto, este fue un asfalto de poca susceptibilidad a la temperatura.

En este estudio se concluyó que entre más lejos fuera transportado el ligante, la calidad disminuía, debido a los cambios bruscos de temperatura, lo que aumentaba el proceso de evaporación y la oxidación. La Tabla 7 presentó los resultados de los tipos de ensayos realizados a las muestras del ligante.

Tabla 7

Promedio general de resultados de muestras de distintos sitios

MUESTRA	PENETRACIÓN [mm / 10]	REBLANDECIMIEN TO [°C]	INDICE DE PENETRACIÓN	DUCTILIDAD [cm]	INFLAMACIÓN [°C]	DENSIDAD [gr / cm ³]
REFINERÍA DE ESMERALDAS	66.8	48.33	-0.94	117.31	244.14	1.0214
GUAYLLABAMBA	86	47.91	-0.37	114.45	249.41	1.0212
CALACALÍ	91.8	47.99	-0.15	111.79	255.38	1.0202

Nota. Tomado de Control de calidad de cementos asfálticos tipo ap-3 utilizados en la fabricación de hormigón asfáltico para capas de rodadura de las carreteras del Ecuador, mediante ensayos en laboratorio, por Rojas et al., 2012, *Artículos Académicos-Carrera de Ingeniería Civil ESPE*.

En la investigación realizada por Pinargote y Ramos (2019), se tomaron seis muestras del cemento asfáltico transportadas por tanqueros hacia Guayaquil con procedencia de la Refinería de Esmeraldas en 2018, se realizaron ensayos y se obtuvieron los resultados expuestos en la Tabla 8.

Tabla 8

Resultados de los ensayos

Ensayos	Resultados
Viscosidad	Muestras que no cumplen ni como AC-20 ni como AC-3.
Grado de desempeño (PG)	Cumplen para una temperatura de 64 °C. Cumplen para una temperatura de -28 °C.
Superpave a 2 cm de profundidad	Las muestras de asfalto clasifican como PG 64-28.

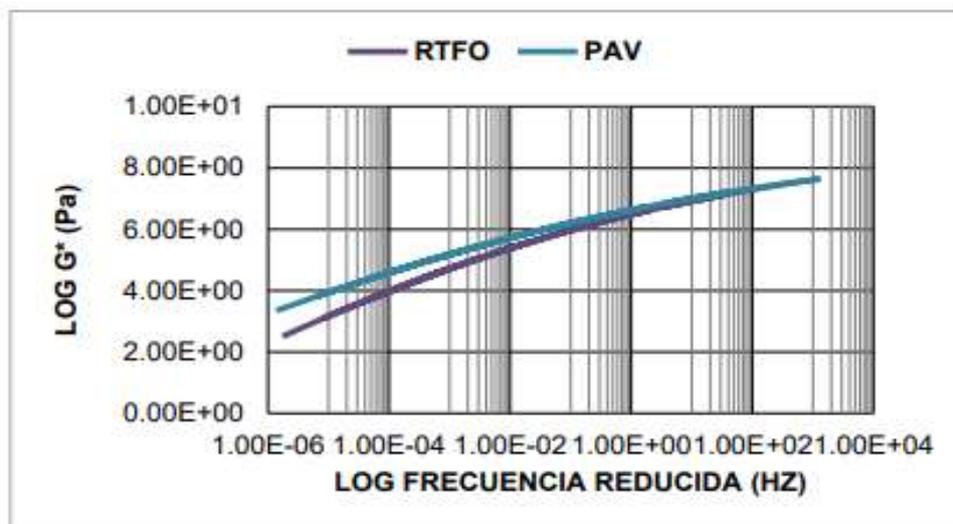
Nota. Tomado de *Control de calidad a cementos asfálticos producidos en la Refinería de Esmeraldas durante el 2018*, por Pinargote y Ramos, 2019, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12612>

También es importante decir que, (ver figura 7) en unos de los resultados de las curvas maestras (RTFO Y PAV) realizadas a las muestras en junio, se determinó que el asfalto cuando pasa por un proceso de envejecimiento aumenta su reagudización e incrementa la fragilidad.

Por otro lado, Contreras y Delgado (2017), al comparar el asfalto ecuatoriano con ligantes de otra procedencia, (ver tabla 9) tuvieron como resultado que la composición química aumenta el envejecimiento, debido al alto porcentaje de asfaltenos y saturados.

Figura 7

Curvas maestras de junio (RTFO y PAV)



Nota. Tomado de Control de Calidad a cementos asfálticos producidos en la Refinería de Esmeraldas durante el 2018, por Pinargote y Ramos, 2019, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12612>

Tabla 9

Composición química de cuatro tipos de ligante asfáltico comparados con la composición química del asfalto producido en la Refinería de Esmeraldas

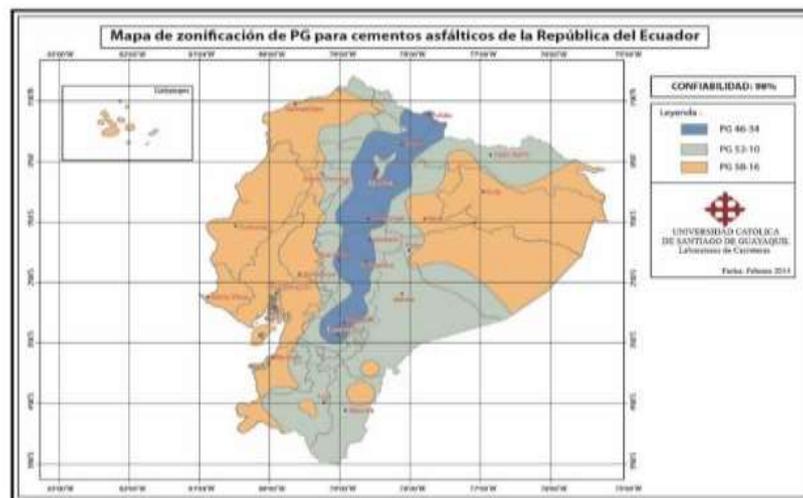
RANGOS	5-20%	40-65%	5-30%	5-25%	<0.60
	Saturados (%)	Aromáticos (%)	Resinas (%)	Asfaltenos (%)	IC
Betún A	7.50	42.10	34.60	15.80	0.30
Bet A + RTFOT	10.15	34.31	35.11	20.42	0.44
Bet A + PAV	5.70	26.30	42.90	23.20	0.41
Betún B	5.40	47.10	28.30	19.30	0.33
Bet A + RTFOT	5.10	44.00	28.70	22.30	0.38
Bet A + PAV	5.80	42.60	34.10	17.50	0.30
Betún C	5.40	48.30	29.00	17.30	0.29
Bet A + RTFOT	5.20	45.50	29.70	19.60	0.33
Bet A + PAV	5.40	45.40	30.50	18.80	0.32

Betún D	6.90	52.80	22.80	17.50	0.32
Bet A + RTFOT	7.30	49.30	23.60	19.80	0.37
Bet A + PAV	6.00	46.20	29.40	18.40	0.32
ESMERALDAS	16.70	9.60	50.20	23.50	0.67
E+RTFOT	14.30	2.10	56.00	27.60	0.72
E+PAV	7.80	1.70	60.00	30.50	0.62

Nota. Tomado de *Análisis costo-beneficio basado en el ciclo de vida útil de mezclas de asfalto modificado con polvo de caucho en la capa de rodadura*, por Contreras y Delgado, 2017, <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/39997>

Figura 8

Propuesta de zonificación de asfalto para cada tipo de clima



Nota. Tomado de *Análisis costo-beneficio basado en el ciclo de vida útil de mezclas de asfalto modificado con polvo de caucho en la capa de rodadura*, por Contreras y Delgado, 2017, <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/39997>

Figura 9

Refinería de Esmeraldas, Ecuador



Nota. Tomado de *Home*, por Ep Petro Ecuador, 2021, <https://www.eppetroecuador.ec/>

1.8 Incremento del Tráfico en el Litoral Ecuatoriano

En muchas carreteras del Ecuador hay un deterioro de la carpeta asfáltica y, muchos de estos, se han producido por deformaciones de fatiga, tanto por la temperatura, como por sobrecarga vehicular, las peladuras, el ahuellamiento o mal drenaje de las vías (Vintimilla, 2014). El estudio realizado por Idrovo (2019) tomó como referencia la Vía a la Costa desde el kilómetro siete al kilómetro 15 y tomó distintas muestras de tráfico promedio diario anual

(TPDA) desde el 15 al 18 de octubre de 2018 desde las 07:00 hasta las 20:00, lo que produjo los resultados observados en la Tabla 10.

Tabla 10

Cuadro comparativo de los conteos vehiculares

	Vía a la Costa											
	Via principal		Retornos 1		Via principal		Retornos 2		Via principal		Retornos 3	
	P1 E/O	P2 O/E	U/E	U/O	P3 E/O	P4 O/E	U/E	U/O	P5 E/O	P6 O/E	U/E	U/O
VIERNES	19865	16594	9574	1057	9259	8408	8763	999	5570	6014	2236	1198
SABADO	13197	17817			9378	11306			4535	2648		
DOMINGO	15787	16422			7058	11865			2368	5289		

Nota. Tomado de *Diseño de retornos en el tramo del P.K. 7+000 al P.K. 15+000 de la Vía a la Costa*, por Idrovo, 2019, <https://m.riunet.upv.es/handle/10251/131634>

Por otro lado, Idrovo (2019), al realizar el cálculo con los datos obtenidos del TPDA, obtuvo como resultado que circulan entre 26 513 a 20 392 vehículos diarios.

Tabla 11

Tráfico del promedio diario anual

	Vía a la Costa			
	Via principal		Retornos	
	E/O	O/E	U/E	U/O
TPDA	26.513	20.392	10.158	1.191

Nota. Tomado de *Diseño de retornos en el tramo del P.K. 7+000 al P.K. 15+000 de la Vía a la Costa*, por Idrovo, 2019, <https://m.riunet.upv.es/handle/10251/131634>

En las ciudades principales del litoral ecuatoriano hay una gran demanda de vehículos que ocupan las vías urbanas y esta es directamente proporcional al incremento de la población, lo que exige el incremento del reforzamiento y de la durabilidad de la capa de rodadura, para que no exista una obstaculización vehicular y que, a la vez, se incremente la fluidez en horas pico. Una de esas ciudades es Guayaquil, que tiene una población de 2 291 158 habitantes y el número de vehículos que circulan es de, aproximadamente, 320 400 (Rincón y Sagñay, 2020).

1.9 La Susceptibilidad a la Humedad de las Mezclas asfálticas

Para una mayor durabilidad que ayude a la conservación vial del país, es necesario fortalecer proyectos que eliminen el deterioro del pavimento, dado que no es algo que se atienda de manera oportuna, lo que genera la destrucción temprana y, por tanto, hay una afectación a los conductores y esto, a su vez, aumenta el costo de mantenimiento de sus vehículos; para el ciudadano, implica un aumento de pasajes y, asimismo, hay un incremento en los accidentes de tránsito (Fiallos, 2017).

De acuerdo con lo anterior, se observó la necesidad de establecer un plan de manejo, con el que se conozca la estructura del pavimento, la condición superficial, los drenajes, etc.; además, se deben establecer los motivos que provocan los daños y recolectar toda la información, para proponer un mecanismo eficiente para la construcción o rehabilitación vial.

Asimismo, es importante tener en cuenta que otro factor de la degradación del pavimento flexible es el paso del tiempo, los pésimos materiales utilizados, el proceso de construcción, el desprendimiento de gravillas o el pulimento de los áridos y la oxidación del ligante producida por el aire y el agua. A esto se suma a que las mezclas bituminosas comienzan a degradarse al inicio de la apertura del tráfico (Alarcón, 2003).

En este mismo sentido, los errores en los estudios hidrométricos en el cálculo del diseño y en la instalación de drenajes y la mala proyección del crecimiento de tráfico puede causar graves daños a la integridad de la estructura de la carretera, dado que puede haber hundimientos de la base del suelo y se puede producir una reducción de la estabilidad de la base subyacente, lo que implica un desgaste rápido de la superficie de la carretera. Otras causas muy comunes de este desgaste, es el no eliminar las burbujas de aire al compactar la mezcla asfáltica o exagerar en la compactación, puesto que esto produce agrietamiento.

1.10 Agrietamiento en Mezclas Asfálticas

Los agrietamientos son muy comunes en las capas de rodadura debido a los esfuerzos de tensión, que son superiores a los diseños de la mezcla, que se denomina piel de cocodrilo. Un signo de este problema, son las fisuras longitudinales, que ocurren cuando el pavimento es forzado hasta el máximo de su capacidad; en este sentido, la complicación se produce cuando el drenaje en la vía no es el adecuado y, debido a esto, la capa superficial pierde resistencia a causa de la saturación.

Los casos más comunes ocurren por no tener un grosor de capa favorable o por la sobrecarga que no se tuvo en cuenta en el diseño.

Por tanto, las causas del agrietamiento por fatiga están relacionadas con las temperaturas intermedias, los esfuerzos en grandes capas asfálticas y las deformaciones en las capas delgadas; sin embargo, esto es más frecuente en pavimentos delgados (Vila y Jaramillo, 2018). Además, se dijo que algunos de los problemas por los que se produce el agrietamiento por fatiga, es al asfalto proveniente de la Refinería de Esmeraldas, debido a la tendencia al envejecimiento prematuro, lo que implica, una baja durabilidad; esto se suma a la falta de control exhaustivo a los áridos al dosificarse en la mezcla asfálticas (Icaza y Mera, 2018).

Por otro lado, también fue importante explicar el fisuramiento de las mezclas asfálticas, que constan de tres fases: la primera es el resultado de los esfuerzos generados por las cargas de tráfico y por las variaciones térmicas, que produce microfisuras; la segunda es la propagación o la unión de las microfisuras, que provocan fisuras aún mayores y la tercera fase es la que llega al colapso; en estas, las fisuras son de gran tamaño, lo que produce, como resultado, la ruptura en la superficie de la carpeta asfáltica (Navarrete, 2021).

Por otro lado, otras de las causas del agrietamiento por fatiga es la rigidez del ligante asfáltico; además, si la dosificación del ligante es muy alta, esta produce una deformación elástica antes de la falla por cargas constantes y, de manera contraria, al dosificar un muy bajo asfalto, este se verá afectado por el agrietamiento (León et al., 2021).

Tabla 12

Causas y efectos de la baja resistencia a la fatiga del pavimento flexible

BAJA RESISTENCIA A LA FATIGA	
CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Alto porcentaje de vacíos de aire por el diseño	El envejecimiento temprano del asfalto provocó un agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Aparecen grietas por fatiga.
Espesor del pavimento inadecuado	Se produce demasiada tensión y por ende aparece el agrietamiento por fatiga

Nota. Tomado de *Análisis de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con granulado de neumático reciclado, incorporado como reemplazo parcial del agregado fino*, por León et al., 2021, <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22964>

Las fisuras en las avenidas en zonas urbanas generadas por la rehabilitación del pavimento rígido, cuando implica ubicar encima de ello

mezclas asfálticas, se puede hablar de un fenómeno, que puede denominarse fatiga reflectiva o fatiga por reflexión; este tipo de fisuras se reflejan en forma de calco hacia la superficie de la capa de rodadura y tienen el mismo patrón de las juntas del pavimento rígido, estas son provocadas por las cargas de los vehículos y de temperaturas ambientales (Vera, 2012).

Figura 10

Comparación del agrietamiento en pavimento rígido



Nota. En la imagen superior se visualiza al pavimento rígido seccionado por juntas. En la imagen inferior se observa la capa de pavimento flexible colocada encima del pavimento rígido con fisuras reflectivas. *Elaboración propia*

1.11 Plan Estratégico Institucional (PEDI - UCSG)

La investigación fue uno de los temas del plan estratégico, dado que la universidad planteó estrategias para optimizar y ser referente en la comunidad, al cumplir con los objetivos planteados.

Tabla 13

Objetivo de investigación del Plan Estratégico Institucional

INVESTIGACIÓN

OBJETIVOS OPERATIVOS	ESTRATEGIAS	METAS	INDICADORES
1 Desarrollar investigación innovadora con calidad e impacto socio-económico y cultural.	a. Definir ejes temáticos preferentes de investigación en función de los Dominios y líneas de investigación de la UCSG, el Plan Nacional de Desarrollo (Plan de Creación de Oportunidades) 2021 - 2025, Agenda 2030 y las capacidades institucionales disponibles	■ 1 eje temático priorizado por Dominio de la UCSG. ■ 15 proyectos nuevos. ■ 25 proyectos finalizados. ■ 10 citaciones promedio por publicación derivadas de los proyectos de investigación.	■ Número de ejes temáticos priorizados por cada Dominio de la UCSG. ■ Número de proyectos de investigación aprobados. ■ Número de proyectos de investigación finalizados. ■ Número de citaciones promedio por publicación derivadas de los proyectos de investigación.
	b. Desarrollar un programa de investigación de la UCSG que vincule estudiantes y profesores.	■ 1 programa de investigación en ejecución	■ Número programas de Investigación.
	c. Fortalecer el concurso para profesores que fomentan la investigación científica "UCSG Investiga".	■ 50 propuestas para UCSG Investiga presentadas	■ Número de proyectos Tecnocatol. ■ Número de propuestas presentadas en UCSG Investiga.
	d. Desarrollar proyectos de investigación sostenible	■ 5 proyectos de investigación sostenibles.	■ Número de proyectos alienados a los ODS.

Nota. Tomado de *Plan estratégico de desarrollo institucional 2022 – 2026*, por Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2022, ucsg.edu.ec/wp-content/uploads/transparencia/pedi_2022-2026.pdf

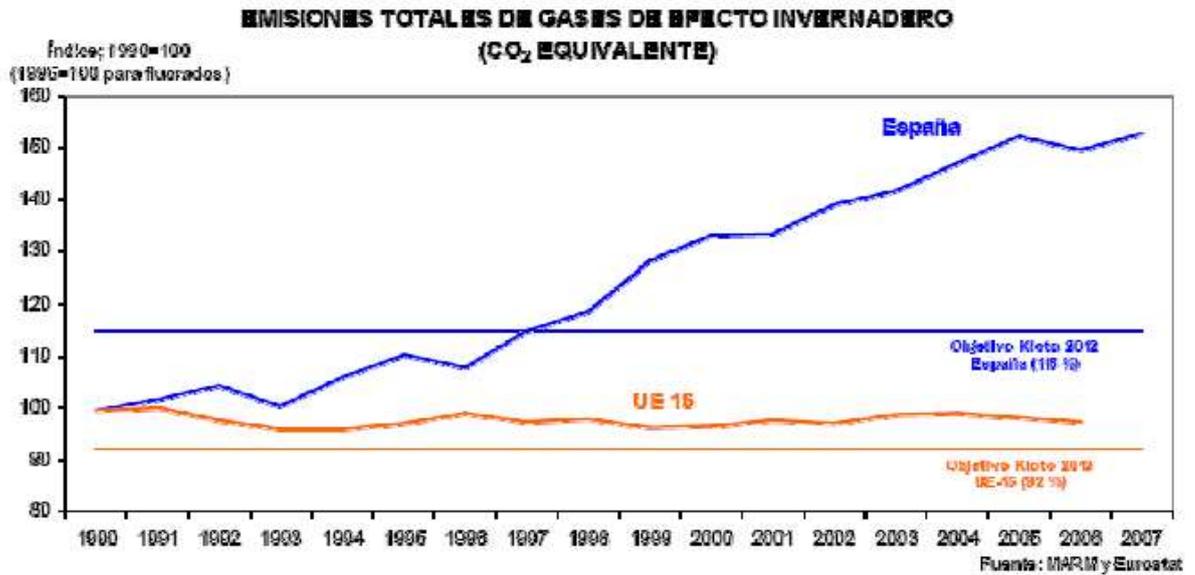
1.12 Protocolo de Kyoto en relación con carreteras

El protocolo inició en la ciudad de Kyoto, Japón el 11 de diciembre de 1997 y entró en vigor el 16 de febrero de 2005. El protocolo tuvo el propósito de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y que las naciones vinculadas adoptaran políticas de mitigación, como, por ejemplo, la reducción del 5 % en comparación con los niveles del 1990, en el quinquenio entre 2008 y 2012 (Hernández et al., 2010). Según Hernández et al. (2010), se mencionó lo siguiente:

El transporte es el responsable del 26 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), el principal gas invernadero y el transporte por carrera lo es de tres cuartos de este porcentaje. Esta dinámica se debe a la escalada del tráfico por carretera y aéreo (que son los medios más ineficientes) junto a la pérdida creciente de eficiencia del transporte. (p. 499)

Figura 11

Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero



Nota. Tomado de *Diseño de un sistema de diagnosis de la modalidad en planes de movilidad urbana sostenible*, por Hernández et al., 2010, <https://core.ac.uk/download/pdf/157762718.pdf>

Capítulo II. Uso de Fibras en Mezclas Asfálticas

2.1 Uso de Fibras Inorgánicas en Mezclas Asfálticas

Las fibras sintéticas más utilizadas en mezclas asfálticas son poliéster, nylon, vidrio, polipropileno, carbón y amianto; estas fibras tienen como particularidad disminuir el fisuramiento térmico, permitir el cambio en la viscoelasticidad, el aumento de los módulos dinámicos y la disminución del comportamiento de las deformaciones (Mardones et al., 2019).

Tabla 14

Composición y origen de las fibras sintéticas

NOMBRE DE FIBRA	ORIGEN
Celulósico	
Rayón	Borra de algodón o madera
Acetato	Borra de algodón o madera
Tre-acetato	Borra de algodón o madera
Polímeros no celulósico	
Nylon	Poliamida alifática
Aramida	Poliamida aromática
Poliéster	Ácido tereftálico y alcohol dihidrico
Acrílico	Acrilonitrilo
Nodacrílico	Acrilonitrilo
Spandex	Poliuretano
Olefinas	Etileno o propileno
Vinyon	Cloruro de Vinilo

Nota. Tomado de *Comparación del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica tipo MDC-19 adicionada con fibras de terlenka y una mezcla asfáltica convencional.* Variable: gramo, por Barrera, 2017, <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/b8080c46-ce3e-486c-a966-0b3ecd8767c8/content>

2.2 Uso de Fibras Orgánicas en Mezclas Asfálticas

En Ecuador existen múltiples opciones para extraer fibras de origen celulósico, debido a la alta producción de caña de azúcar, banano, palma africana, agave y cascara de café o cacao, que pueden utilizarse en mezclas asfálticas (López, 2018). De acuerdo con López et al. (2019), en la investigación realizada sobre mezclas bituminosas con incorporación de fibras celulósicas, fue posible indicar lo siguiente:

Las fibras de origen celulósicas tienen varias ventajas, como una amplia disponibilidad y un costo relativamente bajo, son reciclables, son biodegradables, no son peligrosas para la naturaleza, tienen una huella de carbono cero y buenas propiedades mecánicas y físicas con baja densidad y equilibrio de rigidez, tenacidad y resistencia. Uno de los principales objetivos del uso de fibras celulósicas es inhibir la unión del ligante en mezclas con porcentajes más altos, evitando su pérdida durante el almacenamiento, transporte y aplicación. (p. 1)

2.3 Metodología de Trabajo Previo a Ensayos de Laboratorio

2.3.1 Proceso de Extracción de Fibra de Raquis de Banano

El raquis de banano es producido en operaciones de embarque y de fácil recolección, dado que al ser un desecho orgánico se encuentra en grandes cantidades en los exteriores de las bananeras o en vías aledañas sin funcionamiento alguno; sin embargo, si no tienen un debido tratamiento para ser reutilizados, inicia el proceso natural de descomposición, que implica la producción de lixiviados que penetran al suelo, lo que produce la contaminación de las aguas subterráneas y, al tener un olor muy desagradable, atrae vectores como moscas que producen tifoidea. Para evitar la contaminación es importante realizar, con los raquis de banano, un proceso de extracción de fibras.

Figura 12

Raquis producidos luego de operaciones de embarque



Nota. Elaboración propia

2.3.2 Selección del Raquis de Banano

En este caso, para la selección del raquis de banano, fue importante que este no estuviera en descomposición, además, no debe transcurrir cinco días luego de las operaciones de embarque. Al transcurrir los días permisivos el producto pierde propiedades de resistencia y adherencia, la maleabilidad se entorpece facultando la extracción de las fibras de raquis de banano.

En muchos de los casos los raquis de banano son seleccionados en botaderos clandestinos, en la recolección, se debe percatar al alrededor no exista presencia de animales rastrosos o ponzoñosos porque pondría en peligro la integridad de los colaboradores, se debe proveer de equipo de protección personal para realizar las respectivas labores.

Figura 13

Proceso de selección del raquis de banano



Nota. Elaboración propia.

2.3.3 Extracción de Fibras del Raquis de Banano

Los raquis debían pasar por el proceso de prensado hasta extraer los fluidos (ver Figura 14); este se realiza utilizando una prensa de origen artesanal con manivela de rodillos ajustables.

Figura 14

Extracción de fibras del raquis del banano



Nota. Elaboración propia.

2.3.4 Proceso de Secado de las Fibras del Raquis de Banano.

Luego de la extracción de las fibras del raquis del banano, estas debieron secarse al sol; el tiempo de secado se determina según la intensidad calorífica, que fluctúa entre dos y tres días. Además, se debieron colocar las fibras extraídas en cordeles para cumplir con el proceso de secado natural.

Figura 15

Proceso de secado de fibras del raquis del banano en cordeles



Nota. Elaboración propia

Al terminar el proceso de secado las fibras de raquis del banano toman un color amarillo oscuro permitiendo la maleabilidad eficiente del producto para las adhesiones permitentes.

Figura 16

Fibras de raquis del banano luego del proceso de secado



Nota. Elaboración propia.

2.4 Método de Selección de Fibras en Laboratorio

Luego de la de extracción de fibra de raquis de banano en campo, se pasó al siguiente proceso que fue la selección de fibras para los ensayos de laboratorio.

2.4.1 Cepillado de Fibras del Raquis de Banano

Las fibras del raquis del banano pasaron por el proceso de cepillado para obtener una forma homogénea, esto se realizó con un cepillo de cerdas metálicas.

Figura 17

Peinado de fibras del raquis de banano



Nota. Elaboración propia

2.4.2 Corte de Fibras del Raquis de Banano

Las fibras luego del peinado se sometieron a un corte para dosificarse con las mezclas asfálticas con longitudes aproximadas entre 200 mm a 300 mm; las fibras se deben cortar con tijera para corte de lata. También se propone cortar las fibras con amoladora angular eléctrica con disco de corte de ciento quince milímetros de diámetro, se debe tener las precauciones al utilizar la herramienta para evitar accidentes laborales.

Figura 18

Corte de fibras del raquis de banano



Nota. Elaboración propia

Figura 19

Fibras de raquis del banano cortadas entre 200 mm a 300 mm



Nota. Elaboración propia.

2.5 Selección de Áridos

Según las normas MOP-001 (2002), el tipo de agregados determinó lo siguiente:

Los agregados que se emplearán en el hormigón asfáltico en planta podrán estar constituidos por roca o grava triturada total o parcialmente, materiales fragmentados naturalmente, arenas y relleno mineral. Los agregados están compuestos en todos los casos por fragmentos limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable, exentos de polvo, arcilla u otras materias extrañas. (p. IV 94)

2.5.1 Agregado Fino

La arena que se utilizó en la dosificación para la elaboración de los ensayos tuvo como origen el río Babahoyo; según Anzules y Oviedo (2016), se tomaron muestras de arena y se realizaron ensayos de acuerdo con la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y se tuvieron en cuenta aspectos, como el contenido de humedad y la granulometría; en relación con el primero, según la norma ASTM-D 2216, con la que se determina el comportamiento del suelo, se obtuvo un resultado de 4.29 %.

Tabla 15

Ensayo de contenido de humedad arena originaria del río Babahoyo

Datos	Río Babahoyo
W_t	125.77
W_1	2049.32
W_2	1970.16
%W	4.29

Nota. Tomado de *Diseño del nuevo relleno sanitario de Babahoyo, vinculado al control de inundaciones*, por Chavez et al., 2016, <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/36520>

El ensayo de granulometría se realizó con referencia a la norma ASTM D-422 y se obtuvo como resultado el coeficiente de uniformidad suelo (Cu) mayor a 6.

Tabla 16

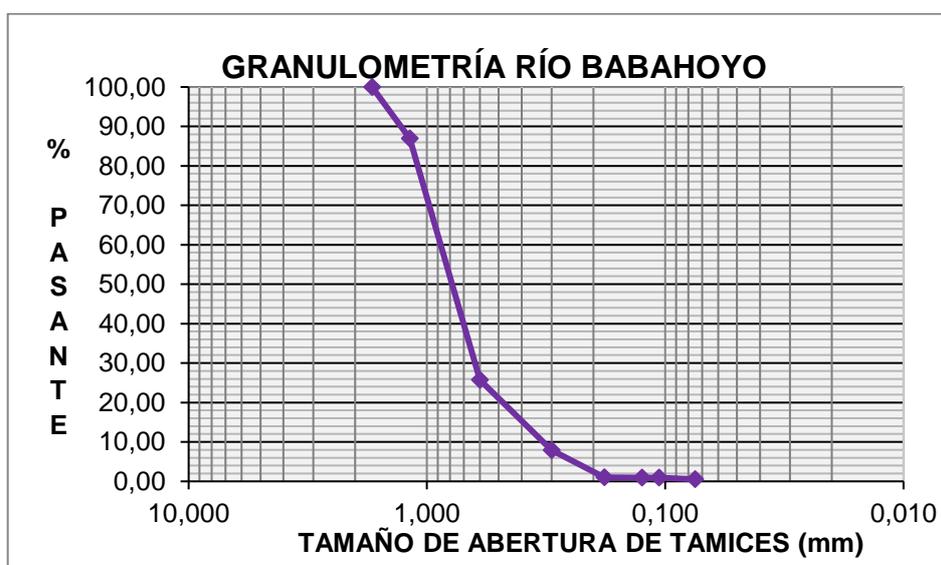
Ensayo de granulometría material pétreo del río Babahoyo

TAMIZ	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	%PASANTE ACUMULADO
N° 16	1,700	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 20	1,180	130,66	13,07	13,07	86,93
N° 40	0,600	612,51	61,25	74,32	25,68
N° 60	0,300	177,90	17,79	92,11	7,89
N°100	0,180	69,05	6,91	99,01	0,99
N°120	0,125	0,13	0,01	99,03	0,97
N°140	0,106	0,15	0,02	99,04	0,96
N°200	0,075	4,10	0,41	99,45	0,55
P		5,50	0,55	100,00	0,00
TOTAL		1000,00			

Nota. Tomado de *Diseño del nuevo relleno sanitario de Babahoyo, vinculado al control de inundaciones*, por Chavez et al., 2016, <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/36520>

Figura 20

Curva granulométrica material pétreo del río Babahoyo



Nota. Tomado de *Diseño del nuevo relleno sanitario de Babahoyo, vinculado al control de inundaciones*, por Chavez et al., 2016, <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/36520>

En este caso se seleccionó la piedra triturada de diámetro a 10 mm de origen de basaltos triturados de la formación Piñón de Guayaquil.

Figura 21

Muestra de piedra de diámetro de 10 mm



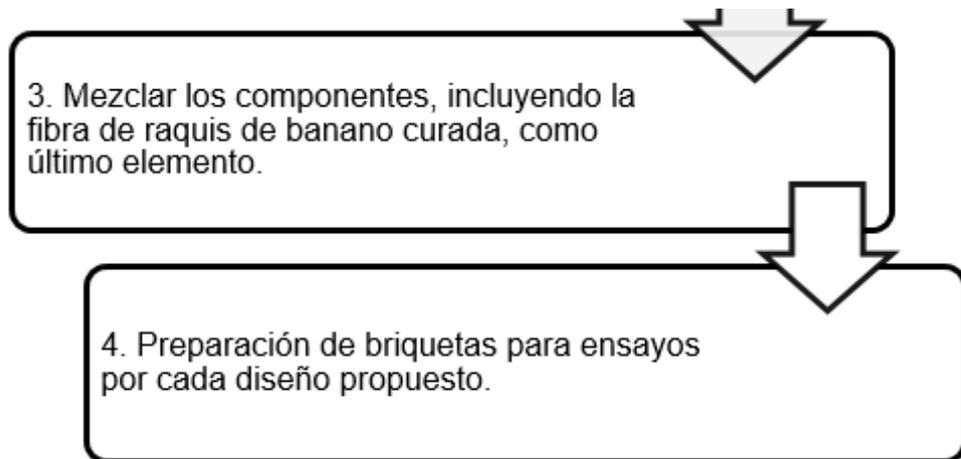
Nota. Elaboración propia

2.6 Proceso de Fabricación de Mezcla Asfáltica con Fibras del Raquis de Banano

2.6.1 Proceso de Mezclado en Laboratorio

1. Llevar a temperatura de mezclado agregado y cemento asfáltico.

2. Llevar a temperatura y curar la fibra de raquis de banano con cemento asfáltico con una dosificación determinada.



Nota. Elaboración propia

2.6.2 Proceso de Curado de Fibras del Raquis de Banano

Se determinó que, para el mezclado, las fibras ingresaron por vía húmeda; en este sentido, estas tenían que ser previamente curadas, el peso del cemento asfáltico debía ser de 320 % con relación al peso de la fibra. Posteriormente, se debía elevar temperatura al cemento asfáltico, puesto que, antes del curado de las fibras de raquis de banano, el cemento asfáltico debe estar a 120 °C, el proceso se realizaba colocando la cantidad predeterminada en la estufa.

Después, se vertía el cemento asfáltico a 120 °C a las fibras del raquis de banano; dado que, luego de elevar la temperatura y de que el cemento asfáltico se vertiera con las fibras, se recomendaba ir pesando proporcionalmente con una balanza digital; este proceso permitiría una dosificación con el peso calculado.

Figura 23

Colocación del cemento asfáltico con las fibras del raquis de banano



Nota. Elaboración propia.

2.6.3 Mezclar las Fibras del Raquis de Banano con Cemento Asfáltico a 120 °C

Al mezclar el cemento asfáltico con las fibras del raquis hubo un decrecimiento de la temperatura de, aproximadamente, 18 °C; esto provocó que el mezclado no fuera homogéneo y para dar solución, se procedió a recuperar la temperatura, al ubicar el recipiente en la estufa.

Figura 24

Procedimiento de recuperación de temperatura



Nota. Figura 1. Toma de temperatura en el proceso de mezclado.
Figura 2. Recuperación de la temperatura en la estufa. Elaboración propia.

2.6.4 Resultado del Curado

Al terminar el proceso de mezclado, las fibras del raquis de banano tomaron un color negro oscuro, lo que indicaba que el cemento asfáltico había ingresado a la matriz de la fibra.

Figura 22

Fibras del raquis de banano al finalizar el curado



Nota. Elaboración propia.

2.6.5 Diseños Propuestos para Ensayos de Laboratorio

Se establecieron tres diseños (ver tabla 17) a manera de comparación entre ellos. El primer diseño consistía en una mezcla convencional sin adición de fibras, mientras que el segundo y el tercer diseño se conformaron por mezclas convencionales con adición de fibras al 0.0 %, 0,3 % y 0,5 % respectivamente.

Tabla 17

Fórmula maestra de cada diseño.

Composición	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
Agregados	100.0 %	100.0 %	100.0 %
AC-20	6.0 %	6.0 %	6.0 %
Fibra del raquis del banano	0.0 %	0.3 %	0.5 %

Nota. Los porcentajes de cemento asfáltico y fibras del raquis de banano se calcularon con base en el peso total del agregado. Elaboración propia.

Capítulo III. ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1 Ensayos a la Fibra del Raquis del Banano

3.1.1 Ensayos a Flexión

Para determinar la resistencia a la flexión, se tomaron tres muestras de 10 fibras cada una con distintas longitudes y se midió su diámetro mediante el uso de un fisurómetro.

Tabla 18

Muestras de fibras de raquis del banano para toma de diámetros

N.º Fibras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Diámetro (mm)	0.20	0.20	0.30	0.40	0.25	0.10	0.30	0.40	0.35	0.20

Nota. Se tomaron muestras de diámetros en las fibras, la sumatoria de 2.7 mm dividiendo para 10 es igual a 0.27 mm. Elaboración propia.

Figura 23

Toma de diámetro a una fibra del raquis de banano con fisurómetro



Nota. Toma del diámetro con fisurómetro marcando 0.35 mm. Elaboración propia.

Con los datos de los diámetros encontrados, se obtuvo el área promedio de la fibra del raquis del banano y las resistencias de cada una de estas muestras.

$$D = 0.27 \text{ mm}$$

$$A = \frac{D^2}{4} \pi$$

$$A = \frac{(0.27 \text{ mm})^2}{4} \pi$$

$$A = 0.06 \text{ mm}^2$$

Prueba N°2

$$L = 17.6 \text{ cm}$$

Prueba de carga

$$P = 2193.1 \text{ gr} / 10 \text{ fibras} = 219.31 \text{ gr. c/fibra}$$

$$P = 0.22 \text{ kg} * 9.81 \text{ N/kg} = 2.16 \text{ N}$$

$$G = \frac{P}{A}$$

$$G = \frac{2.16 \text{ N}}{0.06 \text{ mm}^2}$$

$$G = 36 \text{ N/mm}^2 * 10.2 = 367.2 \text{ kg/cm}^2$$

Resistencia fibra

$$G = 367.2 \text{ kg/cm}^2$$

Prueba N°1

$$L = 9 \text{ cm}$$

Prueba de carga

$$P = 2203.9 \text{ gr} / 10 \text{ fibras} = 220.39 \text{ gr c/fibra}$$

$$P = 0.22 \text{ kg} * 9.81 \text{ N/kg} = 2.16 \text{ N}$$

$$G = \frac{P}{A}$$

$$G = \frac{2.16 \text{ N}}{0.06 \text{ mm}^2}$$

$$G = 36 \text{ N/mm}^2 * 10.2 = 367.2 \text{ kg/cm}^2$$

Resistencia fibra

$$G = 367.2 \text{ kg/cm}^2$$

Prueba N°3

$$L = 19.7 \text{ cm}$$

Prueba de carga

$$P = 289.6 \text{ gr} / 10 \text{ fibras} = 28.96 \text{ gr. c/fibra}$$

$$P = 0.29 \text{ kg} * 9.81 \text{ N/kg} = 2.89 \text{ N}$$

$$G = \frac{P}{A}$$

$$G = \frac{2.89 \text{ N}}{0.06 \text{ mm}^2}$$

$$G = 47.41 \text{ N/mm}^2 * 10.2 = 483.63 \text{ kg/cm}^2$$

Resistencia fibra

$$G = 483.63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sum \text{Carga} = 367.2 \text{ kg/cm}^2 + 367.2 \text{ kg/cm}^2 + 483.63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sum \text{Carga Total} = 1217.93 \text{ kg/cm}^2 / 3$$

$$\sum \text{Carga Total} = 405.96 \text{ kg/cm}^2$$

3.1.2 Ensayo de temperatura

La prueba de temperatura consistió en someter un grupo de fibras al calor; el procedimiento duró alrededor de 90 minutos y como resultado se determinó que las fibras del raquis de banano llegaron a 153 °C sin presentar

deformaciones ni cambio en la contextura física. No se pudo seguir incrementando la temperatura del horno porque llegó a su capacidad máxima.

Figura 27

Lectura de la temperatura en el ensayo de resistencia al calor de fibras del raquis del banano



Nota. Al ensayar las fibras del raquis del banano a 153 °C continuaron con la misma consistencia, no hubo el efecto de calcinación. *Elaboración propia.*

3.1.3 Análisis Físico de Fibras del Raquis de Banano

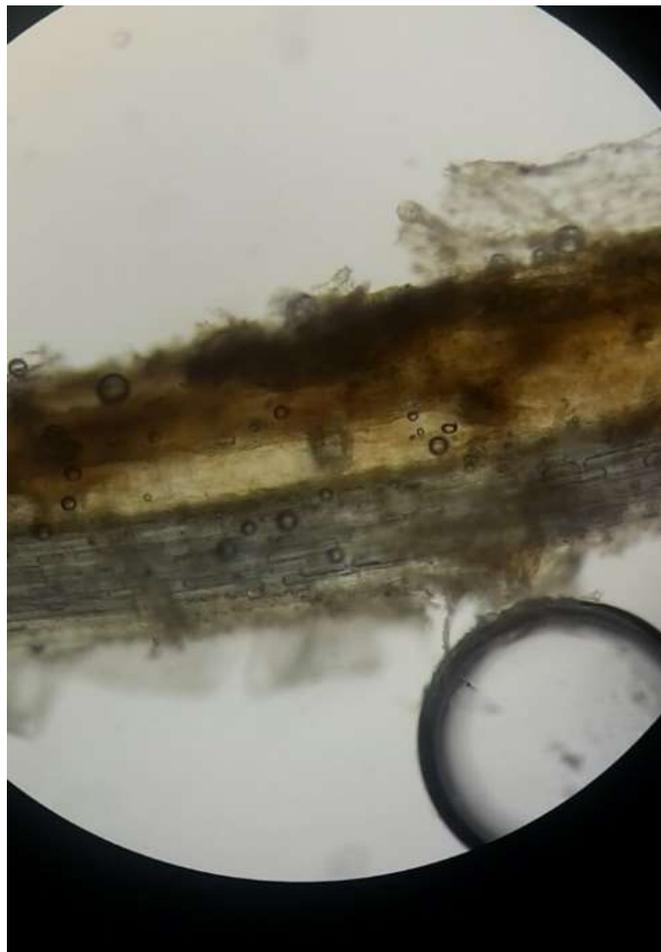
Para conocer la estructura física de las fibras del raquis de banano se realizaron ensayos con microscopio óptico de 40X y se visualizó cómo estaba formada la parte interna de la fibra. Además, se compararon las muestras con y sin cemento asfáltico.

3.1.4 Muestra de Fibras del Raquis de Banano sin Cemento Asfáltico

A las muestras sin cemento asfáltico se les agregó una solución salina para obtener una mejor visualización y así, poder analizar la estructura capilar compuesta de microfibrillas.

Figura 28

Imagen obtenida con el microscopio, de una muestra de fibra de raquis de banano sin cemento asfáltico



Nota. Elaboración Propia

3.1.5 Muestra de Fibras del Raquis de Banano con Cemento Asfáltico

En las muestras con cemento asfáltico se visualizó una absorción considerable del material hacia la fibra, por acción de las microfibrillas, al aumentar el diámetro.

Figura 29

Imagen obtenida con un microscopio, de una muestra de fibra de raquis de banano con cemento asfáltico



Nota. Elaboración propia.

3.2 Ensayos a los Agregados

Se combinaron los dos materiales seleccionados para determinar una granulometría apropiada y que se ajustar a alguna de las propuestas en el libro amarillo del MOP 2002.

Tabla 19

Granulometrías típicas para la fabricación de hormigón asfáltico en planta

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm.)	100	--	--	--
¾" (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
½" (12.7 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8" (9.50 mm.)	56 - 80	--	90 - 100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
Nº 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
Nº 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
Nº 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Nota. Tomado de *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*, por Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002, <https://www.caminos.gob.gt/files/Desc-LibroAzul-Sept2001.pdf>

Tabla 20

Ensayo de granulometría de combinación de agregados gruesos, finos y filler.

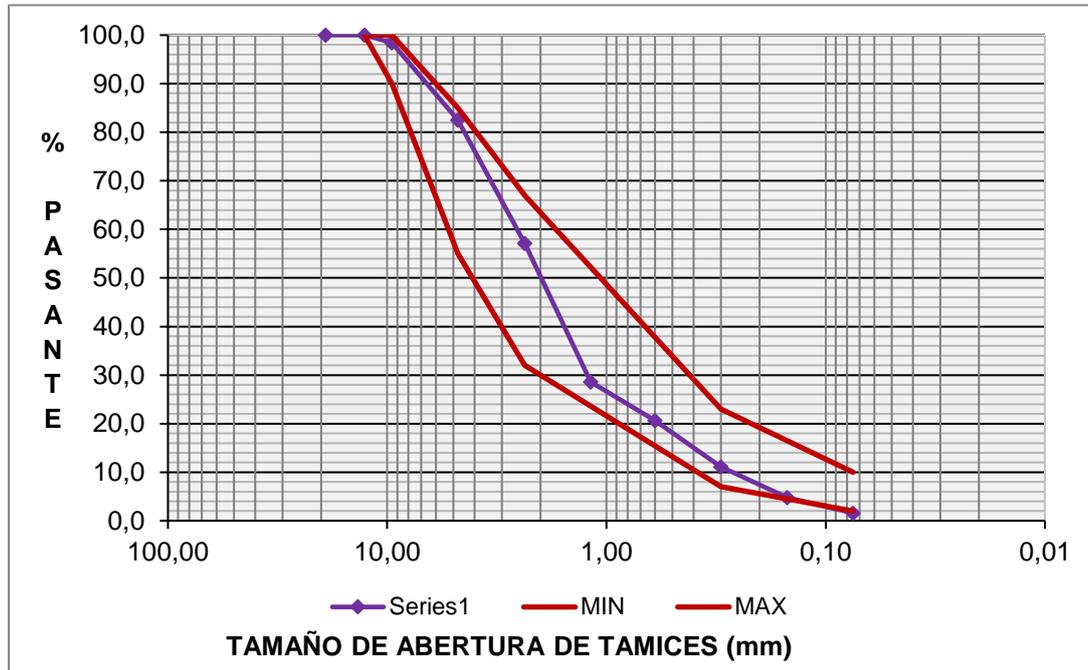
Tamiz	Diámetro (mm)	W.retenido parcial	% retenido parcial	% retenido acumulado	% pasante acumulado
¾"	19.10	0.00	0.00	0.0	100.0
½"	12.70	0.00	0.0	0.0	100.0
3/8	9.53	20.00	1.6	1.6	98.4
N.º 4	4.76	200.00	15.9	17.5	82.5
N.º 8	2.36	320.00	25.4	42.9	57.1
N.º 16	1.18	360.00	28.6	71.4	28.6
N.º 30	0.60	100.00	7.9	79.4	20.6
N.º 50	0.30	120.00	9.5	88.9	11.1
N.º 100	0.15	80.00	6.3	95.2	4.8
N.º 200	0.075	40.00	3.2	98.4	1.6
P		20.00	1.6	100.0	0.0
Total		1260.00			

Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 19 y con los resultados obtenidos de la granulometría, se encontró que esta se ajustaba y correspondía a la típica de 3/8"; a continuación, en la Tabla 20, se presentaron los datos.

Figura 30

Curva granulométrica definitiva con fajín de control, según la Tabla 20



Nota. La gráfica presentó las curvas de color rojo, que representaron los límites de acuerdo con la normativa y la curva color morada, que representó la granulometría del material para utilizarse en la fabricación de la mezcla asfáltica. Elaboración propia.

3.3 Ensayos al cemento asfáltico

El ligante empleado correspondió a un AC-20, proveniente de la Refinería de Esmeraldas; la dosificación de prueba escogida fue del 6 % del peso total de los áridos. Por su parte, la Tabla 21 presentó los ensayos de caracterización un asfalto AC-20 típico en Ecuador, bajo las normas del Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN).

Tabla 21*Caracterización del cemento asfáltico a utilizar*

Ensayo	Unidad	Método de ensayo	Resultados	Especificación*		Control
Viscosidad absoluta a 60 °C	Pa.s	NTE INEN 810	220.0	160.0	240.0	Cumple
Viscosidad cinemática a 135 °C	mm ² /s	NTE INEN 810/1981	365.0	300.0	-	Cumple
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s.	1/10 mm	NTE INEN 918	75.0	60.0	-	Pasa
Punto de inflamación	°C	NTE INEN 808	314.00	232.0	-	Pasa
Residuo asfáltico	%	NTE INEN 901	60.30	57.0	-	Cumple
Ensayos luego de realizar el envejecimiento (5 horas a 163 °C)						
Viscosidad 60 °C	Pa.s	INEN 810	587.0	-	800.0	Cumple
Punto de ablandamiento	°C	ASTM D36	50	-	-	
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/m	% m/m	INEN 916	64	50	-	Cumple
Índice de penetración		ASTM D5	-0.20	-1.5	1	Cumple
Cambio de mesa	%P	ASTM D2872	-0.19	-	1	Cumple

*Según norma NTE INEN 2515:2014

3.4 Ensayos hechos a la Mezcla Asfáltica con fibras del Raquis del Banano

3.4.1 Preparación de Muestras

- Mezclado de agregados. Luego del tamizado se mezclaron los agregados con una mezcladora eléctrica automática, para dar mayor homogeneidad.

Figura 31

Mezclado de agregados



Nota. Elaboración propia.

- Elevar temperatura de agregados. Se procedió a colocar los agregados previamente mezclados al horno para elevar la temperatura a 135 °C.

Figura 32

Ingreso de recipiente con agregados al horno



Nota. Elaboración propia.

- Mezclado del cemento asfáltico con los agregados. Antes de mezclar el cemento asfáltico, fue necesario elevar la temperatura a 140 °C; la dosificación seleccionada fue del 6% en relación con el peso de los áridos.

Figura 33

Mezclado del cemento asfáltico con los agregados



Nota. Elaboración propia.

- Mezclado de fibras del raquis de banano. Las fibras del raquis del banano antes de ser mezcladas por vía húmeda fueron previamente curadas con cemento asfáltico y este se les agregó manteniendo la temperatura a 120 °C.

Figura 24

Mezclado de fibras del raquis de banano con los agregados



Nota. Elaboración propia.

- Resultado final. Al terminar el mezclado final se apreciaron las fibras del raquis del banano en la mezcla asfáltica lista para realizar las probetas.

Figura 25

Mezcla asfáltica con fibras del raquis de banano



Nota. Elaboración propia.

Figura 26

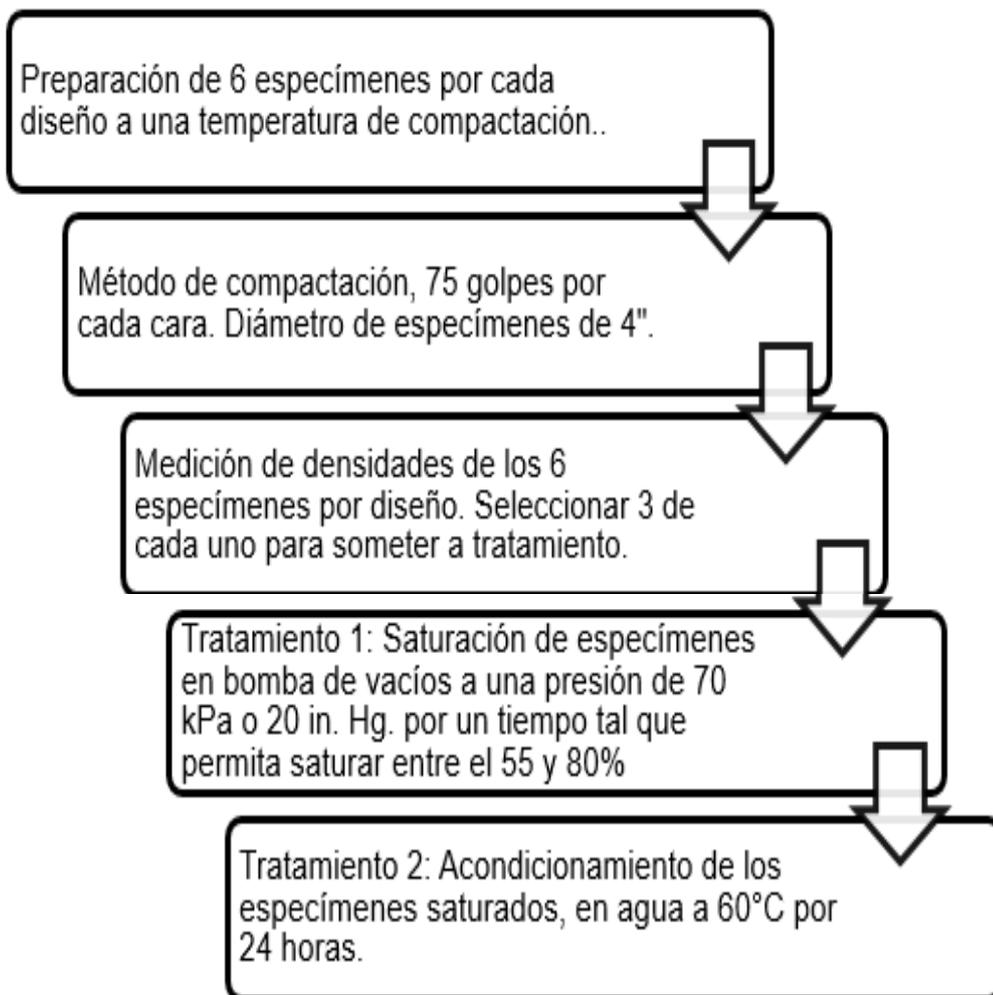
Mezcla asfáltica con fibras del raquis de banano



Nota. Elaboración propia

3.4.2 Ensayo de Tracción Indirecta (ASTM D4867)

Con la prueba de resistencia a la tracción indirecta se buscaba medir la susceptibilidad de las mezclas con la humedad, mediante la relación de especímenes sometidos a un tratamiento y los especímenes sin tratar; asimismo, se quiso tener en cuenta el efecto que produce la adición de aditivos, en este caso fibras. Antes de poder realizar las mediciones de resistencia, fue importante cumplir con el proceso de elaboración de especímenes y de tratamientos, según correspondiera.



- Proceso de fabricación y desmolde de briquetas

Figura 37

Peso de mezcla asfáltica



Nota. Peso de mezcla asfáltica caliente en balanza digital. Elaboración propia.

Figura 38

Moldeo de briquetas



Nota. Al moldear las briquetas se debían realizar 75 golpes y luego invertir el cilindro para efectuar el mismo proceso. Elaboración propia.

Figura 39

Desmolde de briquetas



Nota. Se realizó el desmolde con un gato hidráulico a manivela.
Elaboración propia.

Figura 40

Extracción de briquetas



Nota. Espécimen luego del desmolde. Elaboración propia.

Tabla 22*Resultados del ensayo de tracción indirecta. Diseño 1 – 0 % de fibra*

Identificación de la muestra		Tratadas				Secas			
		2	4	5	Promedio	1	3	6	Promedio
Diámetro (mm)	D	101.40	101.40	101.40	101.40	101.40	101.40	101.40	101.40
Espesor (mm)	t	66.50	64.00	65.00	65.17	65.00	63.30	64.50	63.90
Masa seca en aire	A	1177.20	1199.20	1196.60	1191.00	1207.30	1190.20	1204.10	1197.15
Masa (SSS)	B	1182.40	1210.60	1199.20	1197.40	1210.90	1193.30	1206.70	1200.00
Masa en agua	C	649.00	678.70	670.60	666.10	673.30	672.30	679.10	675.70
Volumen (B-C)	E	533.40	531.90	528.60	531.30	537.60	521.00	527.60	524.30
GR. SP. BULK (A/E)	F	2.21	2.25	2.26	2.24	2.25	2.28	2.28	2.27
MÁX SP. GR.	G	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42
% vacíos (100(G-F)/G)	H	8.89	6.92	6.55	7.45	7.29	5.69	5.78	5.74
Volumen de vacíos (HE/100)	I	47.41	36.83	34.60	39.61	39.18	29.64	30.50	30.07
Carga, N (lb.f)	P	635.18	694.67			1021.67	1219.69	1130.60	1175.14
Saturación @ 2.5 minutos en 20 in. Hg									
Masa (SSS)	B'	1210.6	1225.20		1217.90				
Masa en agua	C'	651.3	687.3		669.30				
Volumen (B'-C')	E'	559.30	537.90		548.60				
Vol abs. agua (B'-A)	J'	33.40	26.00		29.70				
% SAT., (100J'/I)		70.45	70.60		70.53				
% hinchazón (100(E'-E)/E)		4.86	1.13		2.99				
Condicionamiento de 24 horas en agua a 60 °C									
Espesor, mm (in)	t"	67.70	65.80		66.75				
Masa (SSS)	B"	1239.3	1251.6		1245.45				
Masa en agua	C"	693.3	716.9		705.10				
Volumen (B"-C")	E"	546.0	534.7		540.35				
Vol abs. agua (B"-A)	J"	62.10	52.40		57.25				
% SAT., (100J"/I)		130.99	142.29		136.64				
% hinchazón, 100(E"-E)/E		2.36	0.53		1.44				
Res. seca, (2P"/πt"D) kg/cm ²						4.49	5.50	5.00	5.00
Res. Húmeda, (2P"/πt"D) kg/cm ²		2.68	3.01		2.85				
TSR, 100 Std/Stm		57.0 %							

Nota. Elaboración propia.

Tabla 23*Resultados de ensayo de tracción indirecta. Diseño 2 – 0.3 % de fibra*

		Tratadas				Secas			
Identificación de la muestra		1	3	4	Promedio	2	5	6	Promedio
Diámetro (mm)	D	101.40	101.40	101.40	101.40	101.40	101.40	101.40	101.40
Espesor (mm)	t	59.30	61.00	59.00	59.77	59.00	59.30	57.30	58.30
Masa seca en aire	A	1111.11	1141.10	1112.70	1121.64	1088.20	1092.40	879.30	985.85
Masa (SSS)	B	1115.60	1143.70	1114.60	1124.63	1093.80	1094.30	880.50	987.40
Masa en Agua	C	637.50	651.00	641.30	643.27	614.60	631.00	510.60	570.80
Volumen (B-C)	E	478.10	492.70	473.30	481.37	479.20	463.30	369.90	416.60
GR. SP. BULK (A/E)	F	2.32	2.32	2.35	2.33	2.27	2.36	2.38	2.34
MÁX SP. GR.	G	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
% vacíos (100(G-F) /G)	H	8.19	8.51	7.13	7.94	10.29	6.85	6.09	6.47
Volumen de vacíos, HE/100	I	39.15	41.91	33.73	38.26	49.30	31.75	22.53	27.14
Carga, N (lbf)	P	694.67	744.23	714.50	717.80	892.89	1081.09	1001.86	1041.47
Saturación @ 2.5 minutos en 20 in. Hg									
Masa (SSS)	B'	1140.5	1172.91	1138.40	1150.60				
Masa en agua	C'	678.3	688.3	674.8	680.47				
Volumen (B'-C')	E'	462.20	484.61	463.60	470.14				
Vol abs. agua (B'-A)	J'	29.39	31.81	25.70	28.97				
% SAT., (100J'/I)		75.06	75.91	76.20	75.72				
% hinchazón (100(E'-E) /E)		-3.33	-1.64	-2.05	-2.34				
Condicionamiento de 24 horas en agua a 60 °C									
Espesor (mm)	t''	60.33	62.57	60.03	60.98				
Masa (SSS)	B''	1162.5	1198.7	1162.1	1174.43				
Masa en agua	C''	671.7	690.8	676.0	679.50				
Volumen (B''-C'')	E''	490.8	507.9	486.1	494.93				
Vol abs. agua (B''-A)	J''	51.39	57.60	49.40	52.80				
% SAT., (100J''/I)		131.25	137.45	146.48	138.39				
% hinchazón, 100(E''-E) /E		2.66	3.09	2.70	2.82				
Res. Seca, (2P/πtD) kg/cm ²						4.32	5.20	4.99	5.10
Res. Húmeda, (2P''/πt''D) kg/cm ²		3.29	3.39	3.40	3.36				
TSR, 100 Std/Stm		65.9 %							

Nota. Elaboración propia.

Tabla 24

Resultados de ensayo de tracción indirecta. Diseño 3 – 0.5 % de fibra

		Tratadas				Secas			
Identificación de la muestra		1	4	5	Promedio	2	3	6	Promedio
Diámetro (mm)	D	101.40	101.40	101.40	101.40	101.40	101.40	101.40	101.40
Espesor (mm)	t	61.30	53.00	59.00	57.77	59.00	52.60	52.60	52.60
Masa seca en aire	A	1127.50	1020.00	1106.20	1084.57	1006.20	999.80	1019.50	1009.65
Masa (SSS)	B	1131.10	1031.20	1108.80	1090.37	1007.70	1000.90	1020.80	1010.85
Masa en agua	C	641.80	599.80	639.40	627.00	589.40	582.20	595.00	588.60
Volumen (B-C)	E	489.30	431.40	469.40	463.37	418.30	418.70	425.80	422.25
GR. SP. BULK (A/E)	F	2.30	2.36	2.36	2.34	2.41	2.39	2.39	2.40
MÁX SP. GR.	G	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56
% vacíos (100(G-F) /G)	H	9.88	7.53	7.84	8.42	5.93	6.62	6.36	6.49
Volumen de vacíos, HE/100	I	48.37	32.51	36.80	39.22	24.80	27.71	27.10	27.40
Carga, N (lbf)	P	1140.50	1041.47	1140.50	1107.49	1348.35	1249.39	1100.89	1175.14
Saturación @ 2.5 minutos en 20 in. Hg									
Masa (SSS)	B'	1164.3	1045.40	1134.60	1114.77				
Masa en agua	C'	670.4	609.5	661.5	647.13				
Volumen (B'-C')	E'	493.90	435.90	473.10	467.63				
Vol Abs. Agua (B'-A)	J'	36.80	25.40	28.40	30.20				
% SAT., (100J'/I)		76.09	78.14	77.18	77.14				
% hinchazón (100(E'-E) /E)		0.94	1.04	0.79	0.92				
Condicionamiento de 24 horas en agua a 60 °C									
Espesor (mm)	t''	62.37	53.40	59.73	58.50				
Masa (SSS)	B''	1175.4	1041.5	1143.2	1120.03				
Masa en agua	C''	675.8	613.8	669.5	653.03				
Volumen (B''-C'')	E''	499.6	427.7	473.7	467.00				
Vol abs. agua (B''-A)	J''	47.90	21.50	37.00	35.47				
% SAT., (100J''/I)		99.04	66.14	100.56	88.58				
% hinchazón, 100(E''-E) /E		2.11	-0.86	0.92	0.72				
Res. Seca, (2P''/πt''D) kg/cm ²						6.52	6.78	5.97	6.65
Res. Húmeda, (2P''/πt''D) kg/cm ²		5.22	5.57	5.45	5.41				
TSR, 100 Std/Stm		81.4 %							

Nota. Elaboración propia.

3.4.3 Extracción de Asfalto (ASTM D2172)

Esta prueba permitió determinar el contenido de asfalto presente en la mezcla asfáltica; el ensayo consistió en colocar una cantidad de mezcla (aproximadamente de 1 kg) dentro de máquina centrífuga y se agregó con la ayuda de un embudo, la cantidad necesaria de solvente que permitiera extraer todo el asfalto presente en la mezcla y se dispuso el solvente con el asfalto extraído en un recipiente. La prueba terminó cuando el líquido se tornó de un color café.

Figura 41

Antes y después de prueba de extracción de asfalto



Nota. Elaboración propia.

Se realizó la prueba de extracción de asfalto en las tres mezclas y se obtuvieron los resultados de la Tabla 25, la Tabla 26 y la Tabla 27.

Tabla 25*Porcentaje asfalto presente en mezcla del diseño 1*

Extracción de asfalto. Mezcla asfáltica del 0 % de fibra del raquis de banano		
Muestra		883.1
Filtro		23.1
Solvente		8000.0
Tara		313.5
Muestra + filtro		850.1
Peso de finos		8.0
Peso asfalto		48.1
% Ac		5.4 %

*Nota. Elaboración propia.***Tabla 26***Porcentaje asfalto presente en mezcla del diseño 2.*

Extracción de asfalto. Mezcla asfáltica del 0.3 % de fibra del raquis de banano		
Muestra		836.0
Filtro		23.5
Solvente		5000.0
Tara		352.5
Muestra + filtro		816.7
Peso de finos		5.0
Peso asfalto		37.8
% Ac		4.5 %

Nota. Elaboración propia.

Tabla 27*Porcentaje asfalto presente en mezcla del diseño 3*

Extracción de asfalto. Mezcla asfáltica del 0.5 % de fibra del raquis de banano		
Muestra		852.4
Filtro		23.7
Solvente		6000.0
Tara		344.3
Muestra + filtro		820.7
Peso de finos		12.0
Peso asfalto		43.4
% Ac		5.1 %

Nota. Elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Ensayo de Tracción Indirecta (ASTM D4867)

Por cada diseño de mezcla propuesto se prepararon seis especímenes que, principalmente, se sometieron a ensayos de resistencia a la tracción indirecta. De cada grupo, tres especímenes se sometieron a un tratamiento en agua antes de probarlos y los tres restantes se probaron al mismo tiempo, pero sin someterse a tratamiento; el tiempo de saturación se calibró para los tres grupos de especímenes y se determinó que 2.5 minutos era el periodo apropiado para cumplir con el primer punto.

Tabla 28

Resumen de los resultados de ensayo de tracción indirecta

% fibra	G.E. BULK	% vacíos	TIS	TIH	% TSR
0.0 %	2.26	6.59	5.00	2.85	57 %
0.3 %	2.33	7.21	5.10	3.36	66 %
0.5 %	2.37	7.46	6.65	5.41	81 %

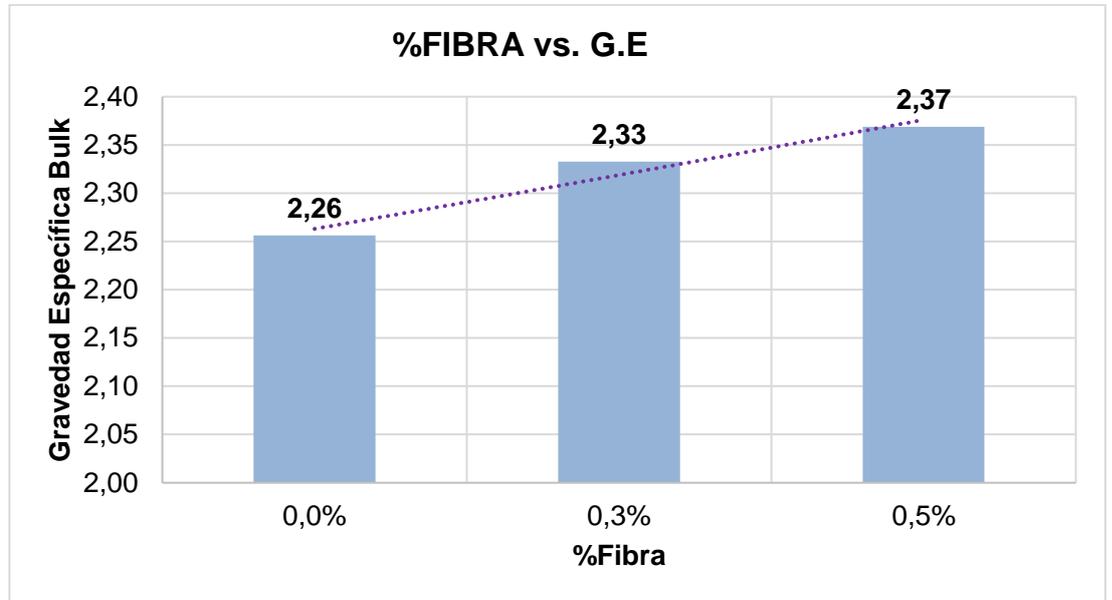
Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 28 se presentó un resumen de los resultados obtenidos de la prueba. Los porcentajes de fibra escogidos fueron de 0 %, 0.3 % y 0.5 %; para el caso del 0 %, es decir, una mezcla convencional, se obtuvo gravedades específicas en promedio de 2.26, a diferencia de las mezclas con fibras que mantuvieron un promedio de 2.33 y 2.37, respectivamente.

En la Figura 55 se visualizó la tendencia en subida entre las tres mezclas; en este sentido, al igual que, en la gravedad específica, en la que se apreció que el porcentaje de vacíos aumentaba a medida que se le adicionaba la fibra, esto dejó entrever el posible efecto en la trabajabilidad de la mezcla a medida que aumenta la dosificación de la fibra.

Figura 27

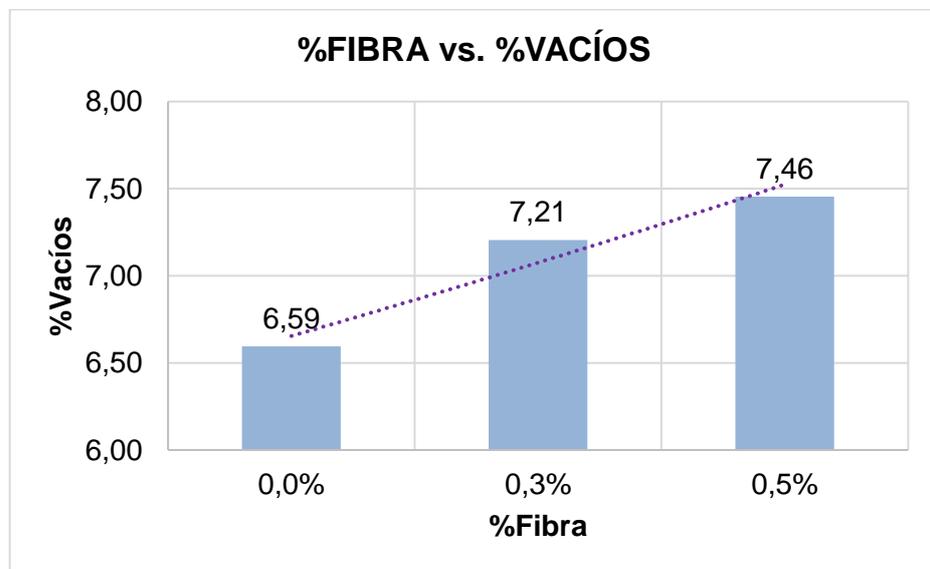
Gráfica del porcentaje de fibra del raquis de banano vs. la gravedad específica bulk



Nota. Elaboración propia.

Figura 428

Gráfica del porcentaje de fibra del raquis del banano vs. el porcentaje de vacíos



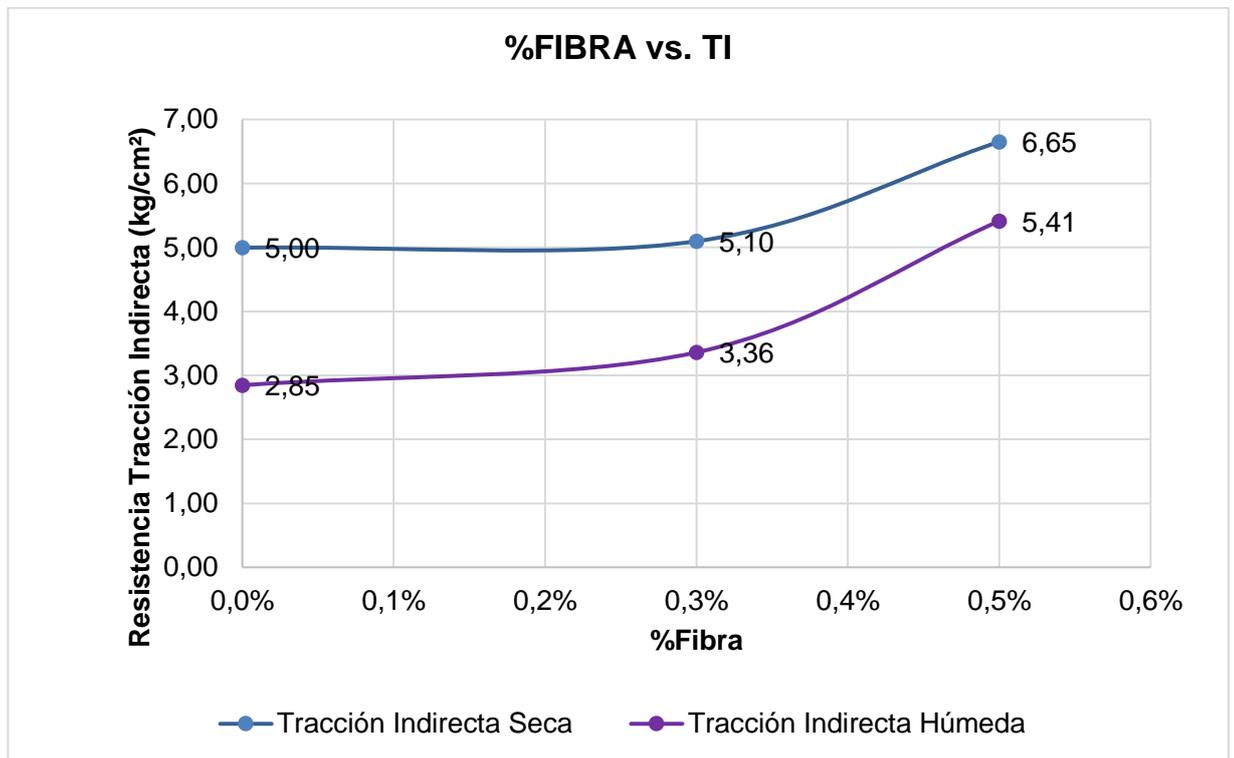
Nota. Elaboración propia.

Respecto a las resistencias medidas se observó lo siguiente:

- La resistencia seca más alta correspondió a la mezcla del tercer diseño con 0.5 % de fibra con un valor de 6.65 kg/cm².
- La resistencia seca más baja fue de la mezcla del primer diseño, que contenía 0 % de fibra; se trataba de una mezcla convencional, cuyo resultado fue de 5.00 kg/cm².
- Las resistencias húmedas mantuvieron la misma tendencia de subida que las secas.
- Las resistencias secas del primer y segundo diseño no tuvieron una mayor diferencia, esto podría indicar que la dosificación de 0.3 % de fibra no reflejaría una mayor diferencia; sin embargo, la resistencia húmeda sí se vio afectada positivamente, en comparación con la del primer diseño.

Figura 44

Gráfica del porcentaje de fibra del raquis del banano vs. La resistencia a la tracción indirecta

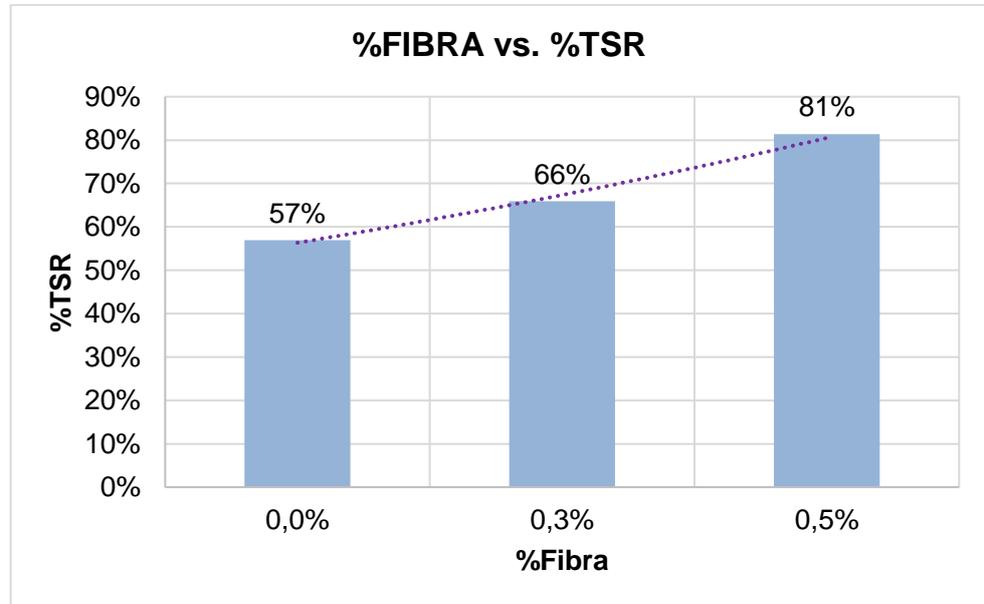


Nota. Elaboración propia.

Por último, el radio de resistencia a la tracción aumentó proporcionalmente con la adición de la fibra.

Figura 295

Gráfica del porcentaje de fibra del raquis de banano vs. la resistencia a la tracción indirecta



Nota. Elaboración propia.

4.2 Extracción de Asfalto (ASTM D2172)

La finalidad de conocer los porcentajes finales en cada mezcla era poder cuantificar, en cierta medida, la cantidad de asfalto que es absorbido por la fibra. En el segundo capítulo se describió, dentro del proceso de fabricación de las mezclas, un punto importante referente al curado previo de las fibras, esto antes de incorporarse al agregado y al cemento asfáltico en el proceso de mezclado.

En el segundo y tercer diseño, las dosificaciones de fibra correspondientes a cada uno de estos se curaron con una cantidad de cemento asfáltico determinada. Alrededor del 320 % respecto al peso total de la fibra fue destinado para el proceso de curado, este porcentaje fue adicional al 6 % de diseño en la mezcla. En la Tabla 29 se identificó que, en el primer diseño, el porcentaje de cemento asfáltico fue de 5.4 %, por lo que hubo una diferencia de 0.6 % en comparación con el porcentaje de diseño. Por otro lado,

el segundo diseño mantuvo una diferencia mayor con 4.5 % y el tercer diseño un 5.10 %.

Tabla 29

Resultados de porcentaje de cemento asfáltico en el ensayo de extracción

Porcentaje de fibra	Porcentaje de cemento asfáltico en ensayo	Porcentaje de cemento asfáltico de diseño
0.0 %	5.40	6.0
0.3 %	4.50	6.0
0.5 %	5.10	6.0

Nota. Elaboración propia.

Figura 30

Muestra después del proceso de extracción



Nota. La imagen evidenció la presencia de la fibra en la mezcla con un color más opaco que en su estado natural; este fenómeno se le atribuyó al curado previo al mezclado final. Elaboración propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. En primer lugar, se revisó la bibliografía, a nivel planetario, sobre el uso de fibras en mezclas asfálticas y de adiciones para mejorar la calidad, principalmente, en relación con las fibras vegetales de origen celulósico. Se observó que en Ecuador existen varias opciones, pero se destacaron las fibras de caña de azúcar y las de banano, debido a su abundancia, el poco uso y la cantidad de celulosa que contienen, lo que las convierte en un subproducto agrícola aprovechable en la fabricación de mezclas asfálticas.
2. Las mezclas ensayadas se elaboraron con basaltos triturados de la formación Piñón de Guayaquil como árido grueso, debido a su poca absorción y alta resistencia a la compresión. El tamaño máximo de los áridos empleados en estas mezclas experimentales fue de 10 mm, para tratar de buscar un control eficiente de la humedad en las briquetas, con y sin adiciones de fibras de raquis de banano. La arena que se empleó fue ígnea, extraída del río Babahoyo; las granulometrías se ajustaron al centro del huso con un porcentaje de cemento asfáltico sobre árido del 6.0 %, procedente de la Refinería de Esmeraldas. También se utilizó harina de roca basáltica en poca cantidad, para observar el comportamiento de las fibras de raquis del banano en cuanto al control de fisuras.

Las fibras del raquis del banano se prepararon directamente en una hacienda bananera de la provincia de El Oro; el corte, el prensado, el secado y el cepillado de las fibras fue supervisado por el autor de esta investigación y se cuidó que los raquis tuvieran menos de cinco días de cortados, para evitar la fermentación. Los ensayos de tracción realizados en las fibras del raquis del banano dieron como resultado un promedio de tracción de 405 kg/cm² y así,

se evidenció que esta fibra poseía una resistencia superior a la de otras fibras vegetales ecuatorianas.

3. Se realizaron ensayos con briquetas moldeadas en el laboratorio con y sin adición de fibras de raquis de banano y se pudo observar que la gravedad específica máxima medida en el ensayo Rice para las briquetas, aumentó con el incremento de las fibras de raquis de banano desde 2.42 hasta 2.56, para muestras con 0 % de fibras hasta 5 % de fibras de raquis de banano.

El daño en agua a través de la resistencia retenida a tracción indirecta (TSR, 100 Std/Stm) varió desde 57 % en briquetas sin fibras, hasta 81.4 % en briquetas con 0.5 % de fibras, lo que evidenció el incremento en la calidad de la mezcla asfáltica, en cuanto a su resistencia al daño en presencia de agua. Las briquetas se moldearon con una reducida cantidad de harina de roca, dado que se pensó que era más visible el comportamiento de las fibras de raquis de banano.

4. Se observó un importante incremento de la resistencia a la tracción indirecta desde 5.0 a 6.65 kg/cm² para briquetas secas, mientras que en las húmedas también se produjo un incremento similar. Estos resultados indicaron que la adición de fibras de raquis de banano en las mezclas asfálticas contribuye con la reducción del agrietamiento o con la fisuración de las mezclas aplicadas en vías ecuatorianas.

5.2 Recomendaciones

De acuerdo con lo expuesto, el autor recomienda que, en futuros estudios experimentales, se realice la ejecución de un tramo de prueba de una vía, por medio del uso de mezclas asfálticas con adiciones del 5 % de fibras de raquis de banano y sin adiciones, para la extracción de testigos. Los resultados podrían compararse con los ensayos que se realicen en briquetas de laboratorio con las mismas dosificaciones; además, sería posible obtener en campo, información sobre la mejora en relación con el envejecimiento prematuro de mezclas asfálticas y una evaluación de la susceptibilidad del daño por agua.

Referencias

- Alarcón, J. (2003). *Firmes Asfálticos. Composición, deterioro y rehabilitación*. Universidad Politécnica de Cataluña: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5906/09Capitulo2.pdf>
- Barrera, J. (2017). *Comparación del Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica tipo MDC-19 adicionada con fibras de terlenka y una mezcla asfáltica convencional. Variable: Gramo*. Universidad Católica de Colombia : <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/b8080c46-ce3e-486c-a966-0b3ecd8767c8/content>
- Calle, L., & Escobar, D. (2018). *Comportamiento Físicoquímico del asfalto producido en la Refinería Esmeraldas modificado con polímeros*. Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17140/1/T-UCE-0017-IQU-020.pdf>
- Camacho, E., & Lema, J. (2018). *Modificación del cemento asfáltico de refinería Esmeraldas con polímeros tipo SBS y un aditivo fluxante tipo aromático*. Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/28022>
- Castellanos, M. C., & Suarez, J. I. (2020). *Protocolo de estudio de mezclas asfálticas densas modificadas con fibras de palma estera y guerregue*. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería.
- Castillo, B. (2017). *Estabilización de suelos arcillosos de Macas con valores de CBR menores al 5% y límites líquidos superiores al 100%, para utilizarlos como subrasantes en carreteras (Master's thesis)*. Universidad de Cuenca: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26917/3/Tesis.pdf>
- Centro de Escritura Javeriano. (2020). *Normas APA*. Pontificia Universidad Javeriana. Seccional Cali.
- Chávez Valencia, L., Hernández Barriga, C., & Manzano Ramírez, A. (2011). *Modelación del envejecimiento de los pavimentos asfálticos con la*

metodología de la superficie de respuesta. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, XII(4), 373-382.

Chavez, M., Anzules, J., & Oviedo, J. (2016). *Diseño del nuevo relleno sanitario de Babahoyo, vinculado al control de inundaciones*. Escuela Superior Politécnica del Litoral: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/36520>

Chunga, K., Martillo, C., Pazmiño, N., Quiñonez, M., & Huaman, F. (2013). Estimación de máximos niveles de sismicidad para el Litoral Ecuatoriano a través de la integración de datos geológicos y sismotectónicos. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 1(3). doi:<https://doi.org/10.26423/rctu.v1i2.17>

Chunga, K., Quiñonez, M., Huaman, F., Besenzon, D., Mulas, M., Garcés, D., . . . Michetti, A. (2016). *Geología de terremoto y tsunamis*. Sección Nacional del Ecuador del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH.

Consejo Nacional de Electricidad [CONELEC]. (2008). *Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica*. <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>

Contreras, K., & Delgado, A. (2017). *Análisis Costo-Beneficio Basado en el Ciclo de Vida Útil de Mezclas de Asfalto Modificado Con Polvo de Caucho en la Capa de Rodadura*. Escuela Superior Politécnica del Litoral: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/39997>

Córdova, F., & Mora, C. (2015). Fabricación en laboratorio de mezcla asfáltica drenante y su relación costo-beneficio respecto con capas densas utilizadas en calles de la ciudad de Guayaquil. *EFDeportes.com, Revista Digital*, 20(210), efdeportes.com/efd210/mezcla-asfaltica-drenante-y-su-costo-beneficio.htm#:~:text=Fabricación-en-laboratorio-de-mezcla,de-la-ciudad-de-Guayaquil&text=El-presente-trabajo-de-investigación,en-la-ciudad-de-Guayaquil.

- Cubillos Estrella, C. A., & Núñez Galeano, C. E. (2013). *Tesis de maestría: Análisis de la susceptibilidad al daño por humedad de una mezcla asfáltica para rodadura empleando asfaltos sumergidos*. Pontificia Universidad Javeriana . Facultad de Ingeniería.
- Diario El Universo. (2010). *Municipio estudia importar asfalto*. Diario El Universo: <https://www.eluniverso.com/2010/05/07/1/1445/municipio-estudia-importar-asfalto.html>
- Dirección Gestión Meteorológica. (2016). *Análisis climatológico*. https://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bolhist/cli/2016/mensual/bol_feb_2016.pdf
- Ep Petro Ecuador. (2021). *Home*. <https://www.eppetroecuador.ec/>
- Euán, A. (2014). *Afectación de la salinidad en la vida útil de las mezclas asfálticas en caliente de las carreteras costeras; caso Yucatán*. Universidad Autónoma de Querétaro: <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/747>
- Fiallos, J. (2017). *Investigación de un Plan de Manejo del deterioro del pavimento de la vía Cumbe- La Jarata*. Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28457/1/Trabajo-de-Titulacion.pdf>
- Gabela, D. (2013). *Plan de mantenimiento de la carpeta asfáltica de la sección del paso lateral de Ambato comprendida entre Huachi Grande y el redondel del terremoto*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6030>
- Gavilenes, N. (2012). *Diseño de la estructura del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo e la carretera Zumbahua - La Maná*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6427>
- González, R. (2018). *Estudio del Tráfico vehicular para conocer su incidencia en el deterioro del pavimento Flexible de la vía Barcelona desde la abscisa 1+000 hasta la abscisa 1+450 ubicada en el Cantón Milagro provincia del Guayas*. Universidad de Guayaquil:

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/35951/1/BMAT-V087-2018-Ing.Civil-Gonzales-Cedeño-Rafael-Richard.pdf>

Guerrón, S. (2013). *Comparación de resultados de densidad de campo por los métodos cono y arena, volumétrico y densímetro nuclear*. Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1294>

Haro, A., Borja, A., & Triviño, S. (Mayo de 2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Revista Científica Dominio de las Ciencias*, 3(2), 506-525. doi:<http://dx.doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2017.3.2.esp.506-525>

Hernández, M., Racero, J., Guerrero1, F., & Racero, G. (2010). *Diseño de un Sistema de Diagnóstico de la Modalidad en Planes de Movilidad Urbana Sostenible*. <https://core.ac.uk/download/pdf/157762718.pdf>

Icaza, K., & Mera, W. (2018). *Influencia de los asfaltos mejorados con rejuvenecedores en el comportamiento de las mezclas asfálticas*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/11229>

Idrovo, A. (2019). *Tesis de maestría: Diseño de retornos en el tramo del P.K. 7+000 al P.K. 15+000 de la Vía a la Costa*. <https://m.riunet.upv.es/handle/10251/131634>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2016). *Boletín Meteorológico Mes: Febreo de 2016. Año: XXXX N°492*. Dirección Gestión Meteorológico Estudios e Investigaciones Meteorológico.

León, M., Meneses, P., & Torres, R. (2021). *Análisis de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con granulado de neumático reciclado, incorporado como reemplazo parcial del agregado fino*. Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22964>

- López, M., Maia, M., Dinis-Almeida, M., Martinho, F., & Fael, C. (2019). *Estudio del rendimiento de mezclas bituminosas con incorporación de fibras celulósicas*. XX Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto.
- López, P. (2018). *Desarrollar una propuesta de diseño para incrementar la durabilidad de los hormigones asfálticos en la región utilizando el método SMA (Stone Mastic Asphalt), elaborándolos en base a materiales locales*. Universidad de Cuenca: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30450/1/Tesis.pdf>
- Mardones, L., Valdés, G., Sánchez, E., & Calabi, A. (2019). Ensayo dinámico axial en probetas cilíndricas entalladas para medir el comportamiento a fatiga en mezclas asfálticas. *Ingeniería y Desarrollo*, 37(1), redalyc.org/journal/852/85263723003/85263723003.pdf.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones "Año del Fomento de la Vivienda". (1990). *Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación. Catálogo de fallas*. Departamento de Administración y Evaluación de Pavimentos.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. <https://www.camino.gob.gt/files/Desc-LibroAzul-Sept2001.pdf>
- Moncayo, M., Vargas, J., Moncayo, G., & Barzola, I. (2017). Análisis sobre la recurrencia de terremotos severos en Ecuador. *Prisma Tecnológico*, 8(1), 12-17.
- Moya, D., & Revelo, V. (2008). *Modelo para la estabilización de taludes en las carreteras del subtrópico del nor occidente del Ecuador a fin de evitar accidentes de tránsito y disminuir los costos de operación vehicular*. Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2714/1/Maestriada-V.T.40-Revelo-Burgos-Vicente-Ulpiano.pdf>
- Navarrete, E. (2021). *Empleo de la prueba "ideal" para el control del agrietamiento en mezclas asfálticas*. Universidad Católica de Santiago

de Guayaquil: <http://201.159.223.180/bitstream/3317/17465/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-418.pdf>

Pallasco, J. (2018). *Evaluación y propuesta de mantenimiento del pavimento flexible de la Avenida Quevedo en Santo Domingo de los Tsáchilas*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15816>

Pinargote, K., & Ramos, K. (2019). *Control de calidad a cementos asfálticos producidos en la refinería de Esmeraldas durante el 2018*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12612>

Quinde Martinez, P., & Reinoso Angulo, E. (2016). estudio de peligro sísmico den Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca. *Revista de Ingeniería Sísmica*(94), 1-26.

Quinde, P., & Reinoso, E. (2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca. *Revista de Ingeniería Sísmica*, (94), 94-126.

Reyes, O., & Camacho, J. (2008). Efecto de la radiación ultravioleta en las propiedades mecánicas y dinámicas de una mezcla asfáltica. *Ingeniería e Investigación*, 28(3), 22-27. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092008000300003&lng=en&tlng=es.

Rincón, G., & Sagñay, J. (2020). *Base para inventario de emisiones del parque automotor en la ciudad de Guayaquil. Trabajo final para la obtención del título: Maestría en Cambio Climático*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/49677/1/D-76531%20Sagnay.pdf>

Rodriguez, D., Rodriguez, C., Ramirez, S., & Flórez, C. (2012). Evaluación del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80-100 modificado con lignina. *INGENIARE*, (20), 47-61. doi:10.18041/1909-2458/ingeniare.20.408

- Rojas, F., Bonifaz, H., & Tipán, J. (2012). Control de calidad de cementos asfálticos tipo ap-3 utilizados en la fabricación de hormigón asfáltico para capas de rodadura de las carreteras del ecuador, mediante ensayos en laboratorio. *Artículos Académicos - Carrera de Ingeniería Civil ESPE*.
- Tipán, J. (2012). *Control de calidad de cementos asfálticos tipo ap-3 utilizados en la fabricación de hormigón asfáltico para capas de rodadura de las carreteras del ecuador, mediante ensayos en laboratorio*. Escuela Politécnica del Ejército: <https://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/5594/1/T-ESPE-033711.pdf>
- Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. (2022). *Plan estratégico de desarrollo institucional 2022 – 2026*. ucsg.edu.ec/wp-content/uploads/transparencia/pedi_2022-2026.pdf
- Velasco, G., & Cabrera, E. (2009). *Generación fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura*. V Seminario Euro Latinoamericano de Sistemas de Ingeniería (FIEE): <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9350>
- Vera, J. (2012). *Caracterización de mezclas asfálticas por su resistencia a fatiga por reflexión*. Pontificia Universidad Javeriana: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/2547/VeraSilvaJonathan2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vila, R., & Jaramillo, J. (2018). Incidencia del empleo de polímeros como modificadores del asfalto. *Revista Lasallista de Investigación*, 15(2), 315-26. doi:10.22507/rli.v15n2a24
- Vintimilla, A. (2014). *Análisis de factores climáticos en las diferentes regiones del Ecuador para el diseño de pavimentos*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1356>

DECLARACION Y AUTORIZACIÓN

Yo, Espinoza Díaz, Ítalo Daniel, con C.C: 0705459964 autor del Trabajo de Titulación: **Fibras del raquis del banano como componente del concreto asfáltico para mejorar sus propiedades mecánicas**, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entrega a la SENESCYT en formato digital una copia del referido Trabajo de Titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido Trabajo de Titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigente.

Guayaquil, 22 de febrero del 2023



f. _____

Espinoza Díaz, Ítalo Daniel

C.C: 0705459964



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Fibras del raquis del banano como componente del concreto asfáltico para mejorar sus propiedades mecánicas.		
AUTOR(ES)	Ítalo Daniel, Espinoza Díaz		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Colón Gilberto, Martínez Rehpani		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	22 de febrero del 2022	No. DE PÁGINAS:	89
ÁREAS TEMÁTICAS:	Pavimentos		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Fibras de Raquis, Innovación, Concreto Asfáltico, Preservación, Tecnológica, Familias.		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>Con este trabajo de investigación, se observó en distintos ensayos, el aumento de la resistencia a la deformación de las mezclas y la reducción de la presencia de fisuras; además, se analizaron las nuevas condiciones de servicio y mantenimiento. Asimismo, se estudió el uso de la fibra de raquis del banano en el concreto asfáltico, al dosificarlo en 0.0 %, 0.3 % y 0.5 % mezclado por vía húmeda y con un contenido de cemento asfáltico del 6 %, para determinar la dosis óptima porcentual de fibras del raquis del banano, que se debía emplear en la mezcla asfáltica con respecto al peso de agregados y que así, se produjera el mejor comportamiento mecánico posible.</p> <p>Además, se determinó que al introducir cemento asfáltico a la fibra de raquis de banano en proporción del 320 % del peso a 120 °C, se produce un reforzamiento en la estructura interna, que ayuda a la resistencia a flexión; del mismo modo, se estableció una propuesta social de preservación ambiental con innovación tecnológica y económica, con base en el aprovechamiento de un desecho agrícola abundante, que puede beneficiar a las familias de las zonas rurales.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 999 76 1241	E-mail: italo.espinoza@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Ing. Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-984616792		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			