



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**UTILIZACIÓN DE FIBRA VEGETAL DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR  
COMO ALTERNATIVA PARA MEZCLAS CON CEMENTO PORTLAND PARA  
PAVIMENTO RÍGIDO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORES:  
ANDRÉS BONILLA Y GALO HERRERA**

**DIRECTOR:  
ING. GUSTAVO YAÑEZ**

**QUITO, MAYO DE 2022**

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos manifestar nuestra eterna gratitud a nuestras familias, por todo el amor y el apoyo que nos ofrecen cada día.

Asimismo, deseamos agradecer a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, en particular a la Facultad de Ingeniería, a su personal administrativo, operativo y docente, y en especial a nuestro director de tesis, el magíster Gustavo Yáñez, quien ha sido un pilar fundamental en el desarrollo de esta investigación y estudio.

Andrés Bonilla y Galo Herrera

**TABLA DE CONTENIDOS**

AGRADECIMIENTOS .....	2
TABLA DE CONTENIDOS.....	3
LISTA DE FIGURAS .....	6
LISTA DE TABLAS.....	6
LISTA DE FOTOS .....	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT .....	9
1. INTRODUCCIÓN .....	10
1.1. Objetivos .....	11
1.1.1 General .....	11
1.1.2 Específicos .....	11
1.2. Metodología .....	12
1.2.1 Tipo de estudio.....	12
1.2.2 Método de investigación .....	12
1.2.3 Técnicas de recolección de datos .....	13
1.2.4 Fuentes primarias .....	13
1.2.5 Fuentes secundarias.....	14
1.2.6 Procesamiento de datos .....	14
1.3 Estructura .....	14
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	16
2.1 Mezclas de cemento .....	16

2.1.1 El uso del cemento a través de la historia .....	16
2.1.2 Tipos de cemento .....	17
2.1.3 Características fisicoquímicas .....	18
2.1.4 Mezclas de cemento para pavimento .....	20
2.2 Criterios y normas de calidad de hormigón para pavimento.....	20
2.2.1 AASHTO.....	21
2.2.2 ASTM.....	23
2.3 Ensayos de caracterización de los materiales.....	26
2.3.1 Equivalente de arena .....	26
2.3.2 Granulometría .....	27
2.3.3 Abrasión .....	28
2.3.4 Gravedad específica y absorción del agregado .....	29
2.3.5 Gravedad específica y absorción del agregado fino.....	30
2.3.6 Gravedad específica y absorción del agregado grueso .....	31
2.4 Resistencia a la compresión .....	32
2.5 Resistencia a la flexión.....	33
3. BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	35
3.1 Contextualización: Situación actual del sector agrícola y de la caña de azúcar	35
3.1.1 Sector agrícola ecuatoriano .....	40
3.1.2 Producción de caña de azúcar en Ecuador .....	54
3.2 Bagazo de caña de azúcar .....	57
3.2.1 Proceso .....	58
3.2.2 Usos.....	59
3.3 Obtención de muestras para el estudio.....	60

4. RESULTADOS .....	61
4.1 Procedimientos.....	61
4.1.1 Muestra.....	61
4.1.2 Preparación de la muestra de bagazo de caña de azúcar en laboratorio....	64
4.1.3 Materiales usados en la investigación: .....	67
4.1.4 Procedimiento: .....	67
4.2 Resultados .....	70
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	74
8. BIBLIOGRAFÍA.....	76

### LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Uso del suelo en el Ecuador 2014 – 2018 (Has.).....	42
Figura 3.2. Principales productos cultivados en Ecuador .....	44
Figura 3.3. Principales productos cultivados en Ecuador .....	51
Figura 3.4. Porcentaje de participación.....	53

### LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Países líderes a nivel mundial en la producción de caña de azúcar .....	39
Tabla 3.2. Países lideren en la utilización de superficie para el cultivo de caña de azúcar .....	39
Tabla 3.3. El rendimiento de caña de los países líderes a nivel mundial .....	40
Tabla 3.1. Distribución de la Tierra de Uso Agropecuario según el tamaño de la Finca.....	46
Tabla 3.2. Uso del Suelo en el Ecuador (2000).....	47
Tabla 3.3. Estrategia agropecuaria ecuatoriana.....	49
Tabla 3.4. Superficie por uso agropecuario .....	52
Tabla 3.5. Superficie con labor agropecuaria.....	52
Tabla 3.6. Producción de cultivos permanentes.....	53
Tabla 3.7. Cifras de producción de caña de azúcar en Ecuador.....	56
Tabla 3.8. Producción de caña de azúcar. ....	56
Tabla 3.9. Participación en la superficie total plantada .....	56
Tabla 3.10 Participación provincial en el VAB elaboración de azúcar. Ecuador 201857	

Tabla 4.1 Caracterización del material.....	68
Tabla 4 2 De acuerdo al ACI se presenta las resistencias en función de la relación agua-cemento .....	68
Tabla 4 3 Diseño por compresión con 0% de Fibra de Bagazo de Caña .....	70
Tabla 4 4 Diseño por compresión con 1% de Fibra de Bagazo de Caña .....	70
Tabla 4 5 Diseño por compresión con 3% de Fibra de Bagazo de Caña .....	71
Tabla 4 6 Diseño por compresión con 5% de Fibra de Bagazo de Caña .....	71
Tabla 4 7 Resumen de datos obtenidos por diseño por compresión de Fibra de Bagazo de Caña.....	72
Tabla 4 8 Resumen de datos obtenidos por diseño por flexión de Fibra de Bagazo de Caña.....	72

### **LISTA DE FOTOS**

Fotos 4.1 y 4.2.....	61
Fotos 4.3, 4.4, 4.5 .....	62
Foto 4.6 .....	62
Fotos 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 .....	63
Foto 4.12 .....	63
Fotos 4.13, 4.14.....	64
Fotos 4.15, 4.16.....	65
Fotos 4.17, 4.18.....	65
Fotos 4.19, 4.20.....	66
Foto 4.21 .....	66

## RESUMEN

El mundo moderno plantea serios desafíos, por ejemplo, el uso eficiente de los recursos para cubrir necesidades humanas; este es el caso de la construcción de infraestructura. En el presente documento, se analiza la factibilidad técnica de la utilización de fibras vegetales de bagazo de caña de azúcar en mezclas con cemento portland para pavimento rígido, con el fin de verificar el cumplimiento de criterios y normas aplicables. A través de un estudio experimental, se realizó un análisis de diferentes mezclas de cemento con 0, 1, 3 y 5 % de contenido de fibra de bagazo de caña de azúcar. Los resultados muestran que la utilización de un 1 % de fibra en la mezcla presentó resultados de carga máxima de 678 KN, mayor al que se presentó en la mezcla sin fibra de caña; asimismo, la mezcla con 1 % de uso de fibra vegetal mostró una resistencia de diseño de 382,18 kg/cm<sup>2</sup>, también superior al valor alcanzado con 0 % de fibra en la mezcla. La mezcla con 1 % de fibra vegetal de caña presentó resultados dentro de lo que establecen las normas internacionales de uso de cementos para pavimentos rígidos; por el contrario, mezclas con mayores porcentajes de uso de fibra vegetal no cumplieron la norma. En tal virtud, se recomienda el uso de bagazo de caña de azúcar en las mezclas sin exceder el 1 % de la composición.

Palabras clave: Mezcla de cemento portland, pavimento rígido, bagazo de caña de azúcar.

### **ABSTRACT**

The modern world poses serious challenges, for example the efficient use of resources to meet human needs; this is the case of infrastructure construction. In this document, the technical feasibility of using plant fibers from sugar cane bagasse in mixtures with portland cement for rigid pavement is analyzed, in order to verify compliance with applicable criteria and standards. Through an experimental study, an analysis of different cement mixtures with 0, 1, 3 and 5 % fiber content of sugarcane bagasse was carried out. The results show that the use of 1% of fiber in the mixture presented maximum load results of 678 KN, higher than that presented in the mixture without cane fiber; Likewise, the mixture with 1% use of vegetable fiber showed a design resistance of 382.18 kg/cm<sup>2</sup>, also higher than the value reached with 0% fiber in the mixture. The mixture with 1% of cane vegetable fiber presented results within what is established by the international standards for the use of cements for rigid pavements; on the contrary, mixtures with higher percentages of vegetable fiber use did not meet the standard. In this virtue, the use of sugar cane bagasse in the mixtures is recommended without exceeding 1% of the composition.

**Keywords:** Portland cement mixture, rigid pavement, sugarcane bagasse.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo actual obliga a la humanidad a la utilización cada vez más efectiva y eficiente de los recursos disponibles (Comisión Europea para el Medio Ambiente, 2011). Este imperativo se aplica, por ejemplo, en la construcción y desarrollo de infraestructura de uso privado o público, para lo que la ingeniería civil tiene un rol fundamental (Forcael, Vargas, Opazo, & Medina, 2013).

Dentro de los procesos constructivos de infraestructura, el desarrollo vial tiene especial interés, no solo por lo extensivo de su uso sino por la flexibilidad en la utilización de diversos materiales e, incluso, modificadores derivados de residuos, tanto de materiales naturales como artificiales (Figueroa-Infante, Fonseca-Santanilla, & Reyes-Lizcano, 2009). Es por esto que continuamente se innova en lo referente a la producción de mezclas, entre las que se encuentran las de cemento portland para pavimento rígido con el uso de materiales de estabilización.

El desarrollo de avances en la utilización de materiales innovadores en mezclas de pavimento requiere, sin embargo, el cumplimiento de ciertos criterios de durabilidad, resistencia al uso y aspectos ambientales, flexibilidad, entre otros, con el fin de asegurar la calidad del producto final y la posibilidad de su uso eficiente (Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte, 2014).

Ecuador, país eminentemente productor de bienes primarios y de origen agrícola (SEMPLADES, 2013), cuenta con varios productos vegetales que generan residuos tras su explotación, como es el caso de la caña de azúcar que, como producto residual, compone bagazo de caña, una fibra vegetal que puede tener varios usos como, por ejemplo, la producción de papel (CEPAL, 2014) y, en el caso del presente estudio de titulación, para su uso en mezclas de cemento para pavimentos.

De la manera señalada, en el presente documento se presentan los resultados de un estudio para determinar la factibilidad técnica (en lo relativo al cumplimiento de criterios y normas aplicables) de la utilización de fibras vegetales de bagazo de caña de azúcar en mezclas con cemento portland para pavimento rígido, a través de un estudio experimental.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1 General**

Determinar la factibilidad del uso de fibra vegetal de bagazo de caña de azúcar como alternativa para mezclas con cemento portland para pavimento rígido.

### **1.1.2 Específicos**

- Establecer la fundamentación teórica y conceptual relacionada con las mezclas con cemento portland para pavimento rígido y el uso de fibras vegetales como mejoramiento de pavimento rígido con bagazo de caña de azúcar.
- Determinar el proceso que permite la obtención de fibra vegetal de bagazo de caña de azúcar y su preparación para el uso en mezclas con cemento portland para pavimento rígido.
- Proponer el diseño de mezclas con cemento portland para pavimento rígido para utilizar la fibra de bagazo de caña de azúcar.
- Evaluar las características de las mezclas con cemento portland para mejoramiento de pavimento rígido con bagazo de caña de azúcar.

## 1.2. Metodología

### 1.2.1 Tipo de estudio

A continuación, se describe el tipo de estudio aplicado en el trabajo de titulación:

- Por el alcance, se trata de un estudio **descriptivo** en vista de que su objeto es llegar a una comprensión del problema, identificar las variables más importantes y caracterizar la situación estudiada (Bernal, 2006, pág. 112).
- Con respecto al nivel de manipulación de las variables, la investigación fue de tipo **experimental** debido a que se prevé la manipulación de las variables de estudio (Bernal, 2006, pág. 115); la mezcla de cemento y la utilización de fibra vegetal de bagazo de caña de azúcar.
- Tomando en consideración la localización del estudio, se aplicó un estudio de **laboratorio** y uno **bibliográfico y documental** en diferentes fases del trabajo de titulación.

La investigación está orientada a decisiones, pues ofrece criterios para establecer la factibilidad de la producción y uso de mezclas de cemento portland para pavimento rígido con utilización de fibras vegetales de desecho y no se limitará a la descripción del proceso.

### 1.2.2 Método de investigación

En la realización del estudio, se utilizaron los siguientes métodos:

- Método inductivo: César Augusto Bernal (2006) señala que este método consiste en obtener “conclusiones generales que parten de hechos particulares” (pág. 56); el método inductivo fue utilizado en el proceso de análisis de los resultados de laboratorio de pruebas que fueron aplicadas a la

mezcla de cemento con el fin de determinar, como conclusión general, la factibilidad del uso de fibras de bagazo de caña de azúcar.

- **Método deductivo:** Este método permite “tomar conclusiones generales para explicaciones particulares” (Bernal, 2006). De esta forma, se aplicaron modelos, métodos y diseños aceptados ampliamente para la producción de mezclas de cemento como insumo para la aplicación en el uso de fibra de caña de azúcar como elemento adicional de dicha mezcla.

### **1.2.3 Técnicas de recolección de datos**

Las principales herramientas utilizadas durante la investigación fueron:

- **Observación directa:** a través de esta técnica se realizó un registro de las actividades tanto previas al diseño de la mezcla de cemento como para la verificación del proceso de ensayo de laboratorio.
- **Experimentación:** esta técnica permitió el desarrollo del diseño de la mezcla y su posterior evaluación en varios criterios derivados de normas relativas al uso como pavimento que se realizaron en los laboratorios respectivos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

### **1.2.4 Fuentes primarias**

Las fuentes primarias de la investigación “son aquellas de donde se obtiene información directa” (Bernal, 2006, pág. 175). Para el trabajo, las fuentes primarias están compuestas por datos estadísticos oficiales, normativa vigente y los resultados de la observación y experimentación a cargo de los autores del trabajo.

### **1.2.5 Fuentes secundarias**

Las fuentes secundarias son datos que se basan en la interpretación y el estudio de otras fuentes y ofrecen una información indirecta sobre la situación estudiada (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010, pág. 56). Como fuentes secundarias del trabajo de titulación se tienen las de origen bibliográfico y documental, relacionadas con el tema de estudio y sus componentes, es decir, las mezclas de cemento portland para pavimento rígido y la fibra del bagazo de caña de azúcar.

### **1.2.6 Procesamiento de datos**

Los datos recopilados a lo largo del estudio documental y bibliográfico fueron seleccionados, organizados, analizados y presentados de forma narrativa, así como a través de tablas y gráficos pertinentes para facilitar la comprensión del tema de estudio para los lectores del trabajo de titulación.

Por otra parte, los resultados derivados del estudio de laboratorio se presentan de manera narrativa y por medio de tablas y gráficos que muestren tanto el proceso como el resultado final para cada uno de los criterios evaluados.

Para el desarrollo y presentación de los resultados, además de los equipos y materiales técnicos necesarios para los ensayos de laboratorio, se usó software de procesamiento de textos y hoja de cálculo como principales herramientas tecnológicas para la presentación final del trabajo de titulación.

## **1.3 Estructura**

El documento se encuentra estructurado en introducción, cuatro capítulos de desarrollo, uno de conclusiones y recomendaciones; y, finalmente, la sección de bibliografía y de anexos. En el Capítulo I, correspondiente a la fundamentación

teórica se expone toda la base conceptual acerca de las mezclas con cemento portland para pavimento rígido, además se profundiza sobre los criterios y normas para establecer la calidad de los pavimentos, en los que se encuentra el AASHTO y ASTM. Finalmente, se describen los procesos de los ensayos para la determinación de cumplimiento de normas. En el Capítulo II: Bagazo de caña de Azúcar se explica qué es el bagazo, sus procesos y su situación en el contexto nacional, además de los métodos de recolección de muestras que se aplicaron posteriormente en el estudio. En el Capítulo III: Diseño de la mezcla con cemento portland para pavimento rígido, se presenta el detalle de las mezclas realizadas. Al fin, en el Capítulo IV: Estudio de Laboratorio se presentan y analizan todos los resultados obtenidos del experimento y se discuten los resultados.

## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1 Mezclas de cemento**

El cemento es uno de los materiales que forma parte de los llamados conglomerantes por su capacidad de adherirse a otros y que mediante transformaciones químicas dan origen a uno nuevo. Este tipo de cemento es parte de los conglomerantes hidráulicos, los que al mezclarse con agua se endurecen.

Para su fabricación, en términos generales, los conglomerantes pasan por un proceso térmico de la mezcla de las materias primarias y luego por la pulverización de los materiales que resultan de la cocción.

Se puede catalogar a los conglomerantes en dos grupos: Hidráulicos y aéreos. El cemento es un conglomerante hidráulico, ya que luego de ser amasado, fragua y se solidifica ya sea bajo agua o al aire. Generalmente es combinado con materiales áridos para obtener hormigón y morteros. El más utilizado de todos es el cemento portland (Yépez, 2015).

#### **2.1.1 El uso del cemento a través de la historia**

A partir de que el ser humano dejó de vivir en caverna, su interés por delimitar su espacio creció. Esto da inicio a construcciones antiguas de las que todavía se pueden ver rastros de materiales cementantes en su construcción.

Los griegos, por ejemplo, cerca del año 500 a. C. construían con mezclas de materiales volcánicos con arena, agua y caliza, en ese entonces esta mezcla era la más resistente. Alrededor del siglo II a. C. cerca del Vesubio, los romanos crearon el cemento romano (puzolánico) mezclando, arenas finas volcánicas o cenizas volcánicas con caliza calcinada, actualmente a esta mezcla se la conoce como puzolana, una combinación de sílice y albumina que mezclada con cal resulta en el

cemento puzolánico, este material tiene un gran rendimiento en cuanto a su durabilidad y resistencia; este se utilizó para la construcción del Teatro de Pompeya, año 75 a. C y el Coliseo Romano año 82 a. C.

Joseph Aspdin y James Parker patentaron la primera mezcla que sería conocida como Cemento Pórtland, el 21 de octubre de 1824. Este cemento se obtiene mezclando carbón y piedra de caliza arcillosa.

Isaac Johnson en 1845 mejoró la fabricación de cemento, al obtenerlo con éxito quemando una combinación de arcilla y de caliza hasta la formar el Clinker. Los hornos rotatorios y el molino tubular, piezas claves para la producción comercial del cemento, fueron patentados por Thomas Alba Edison en el año de 1909.

El avance tecnológico permite ahora, fabricar varios tipos diferentes de cemento acorde y eficiente para la necesidad de sostenibilidad ambiental y de construcción actuales. (Vidaud, 2013)

### **2.1.2 Tipos de cemento**

Los tipos de cemento se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Cemento de aluminato de calcio (CAC):** Producido por Jules Bied, en Francia durante la primera guerra mundial, cuyo maestro, el químico Le Chatelier, años antes había descubierto que era posible endurecer a los fundidos de aluminato monocálico hidráulicamente, obteniendo una alta resistencia.
- **Cementos expansivos:** este tipo de cementos contienen sulfatos y aluminatos en abundantes cantidades; son producto del trabajo de Alexander Klein y Viktor Vasilévich Mikhaïlov alrededor de 1920.

- **Cementos de fraguado controlado:** Lo que se espera de este tipo de cementos es que el fraguado ocurra en un tiempo determinado. En Japón se desarrolló un tipo de cemento similar, conocido como *Jet cement* y en los Estados Unidos el *regulated-set cement*.
- **Cemento portland con una alta resistencia a la acción de los sulfatos:** El cemento «Erzzement», patentado alrededor de 1901 por Krupp-Grusonwerk en Magdeburgo, fue el primer cemento portland, se caracterizaba por su alta resistencia a la acción de los sulfatos; estaba compuesto por poca cantidad de óxido de aluminio y abundante de óxido de hierro. Se lo produjo en la planta Hemmoor, cerca de Hamburgo. Sus propiedades se asemejan a las del cemento Ferrarri, otro tipo de cemento portland y que se fabricó en Italia en 1919.
- **Cemento sobresulfatado:** en 1908 Hans Kühl patentó el “gipsschlackenzemen” (DRP 237777), luego de haber descubierto la activación de los sulfatos de escoria granulada de horno alto, este fue el punto de partida para la fabricación del cemento sobresulfatado.
- **Cementos para pozos de petróleo:** este tipo de cementos deben seguir las normas internacionales ISO 10426. Empezaron a desarrollarse en 1930; su principal característica es que se endurecen y fraguan de manera gradual incluso a altas presiones y temperaturas. Son utilizados para forrar paredes de pozos petroleros y reforzarlas. (Barbudo & Yepez, 2015)

### 2.1.3 Características fisicoquímicas

Debido a que el cemento contiene una gran variedad mineral entre sus elementos, las características físicas mecánicas y químicas del cemento Portland varían según el

estado en el que esté. La composición química del cemento está basada en el proceso de clinkerización, que implica convertir las materias primas en productos, a través de reacciones en su estado sólido, en esta parte el modelo químico está fundamentado en la reacción de los ferroaluminios, óxido, aluminos y silicatos.

Según (Niño Hernández, 2010) NIÑO HERNANDEZ (2010) “Los componentes del cemento Pórtland se presentan en fases que son: la alita (alto contenido de C3S), la belita (se compone principalmente de C2S), el aluminato (donde el material es rico en C3A) y el ferrito (es la solución sólida que está compuesta por ferritos y aluminatos de calcio)”.

Adicionalmente, comentan sobre las propiedades físicas que:

Las propiedades físicas y mecánicas del cemento son: densidad, finura, consistencia, tiempos de fraguado, fraguado rápido, expansión, fluidez, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión. La densidad del cemento Pórtland normal, suele estar alrededor de  $3,15 \text{ g/cm}^3$  y en otros casos como del cemento adicionado, es menor porque el contenido de clinker por tonelada de cemento es inferior y su valor normalmente oscila entre  $2,90 \text{ g/cm}^3$ . Esta propiedad es importante en el cálculo del diseño de la mezcla de concreto, porque sirve para determinar el espacio que ocupa una determinada masa de cemento en dicha mezcla (Ramos, 2021).

Las propiedades mencionadas anteriormente se determinan por medio de ensayos en laboratorio, y que radican en hacer moldes con las materias primas de la mezcla (cemento, agua, arena y grava), y en los que los resultados obtenidos sean afectados por la variación de las propiedades de los agregados utilizados (Niño Hernández, 2010).

### **2.1.4 Mezclas de cemento para pavimento**

El pavimento es el producto obtenido de la mezcla de una determinada cantidad de cemento portland, suelo pulverizado y agua; que una vez mezclados se compactan y curan, con el fin de lograr altas densidades que tengan un endurecimiento más efectivo. Es así como se consigue un material prácticamente impermeable, termo aislante, resistente a esfuerzos de compresión y estable durante mucho tiempo.

Las mezclas de cemento deben cumplir con algunos requisitos para ser utilizados como material de construcción de estructuras para construcciones de cualquier tipo; como ser durables, económicos y tener suficiente liberalidad. Dichos requisitos se cumplen casi siempre, cuando predominan las fracciones gruesas, pero con la adecuada fracción fina que da la cohesión adecuada para que sea posible trabajar con esta masa (Toirac Corral, 2008).

### **2.2 Criterios y normas de calidad de hormigón para pavimento**

A nivel mundial destacan dos grupos de criterios para determinar la calidad de mezclas de cemento: las normas AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes o por sus siglas en inglés) y ASTM (Sociedad Americana de Pruebas de Materiales, por sus siglas en inglés). Ambas instituciones ofrecen criterios o especificaciones mínimas para la determinación de las características del pavimento (AASHTO, 2015).

Ya que se necesita conocer las normas para poder aplicar los ensayos necesarios, resulta relevante para el presente trabajo investigativo describir las normas, no a profundidad, pero lo suficiente para que se comprenda y justifique cada ensayo.

## 2.2.1 AASHTO

### 2.2.1.1 Antecedentes

Antiguamente, la metodología para diseñar las vías era realizada por ingenieros experimentados, pero esto causaba un inconveniente, el método al que ellos llegaban no era universal, es decir, no era aplicable a todo lugar, ya que existen factores que cambian la efectividad de un método como: el tipo de suelo, tráfico y clima. Es por esta razón que la AASHO (Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras) llevó a cabo prácticas, investigaciones y ensayos experimentales tomando en cuenta estas variables, los resultados y conclusiones de estos estudios fueron tomados posteriormente por la AASHTO (Asociación de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte anterior AASHO) para empezar a normar el diseño del pavimento gracias a ecuaciones empíricas (AASHTO, 2020).

Desde que se conformó la AASHTO se realizaron cambios a las normativas debido a la continua evolución tecnológica que presentaba nuevos desafíos como vehículos con mayor capacidad de carga o mayor velocidad, además del incremento en el número de vehículos que transitaban por las vías. Durante décadas se realizaron ensayos y estudios, que terminaban en guías y manuales, el primero de estos en 1962 conocida como “*Guide for Design of Pavement Structures*” o en español *Guía para el diseño de estructuras de pavimento*, esta ha contado con cuatro actualizaciones realizadas en los años 1972, 1981, 1993 y 1998, denominándose ahora como *Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos* (AASHTO, 2020).

En esta última guía se establece el concepto de que el pavimento puede sufrir una falla funcional, sea esta causada por su fabricación o por el desgaste de los materiales debido al uso, por ello se crea la terminología de serviciabilidad, misma que describe

la capacidad del pavimento para ser útil al tráfico, y el comportamiento que expone la capacidad de brindar esa serviciabilidad en el paso del tiempo. Esto determinó entonces la creación de ensayos que determinen la calidad de la mezcla que conformará el pavimento.

### ***2.2.1.2 Normas utilizadas en los ensayos***

Existen diferentes normas y procedimientos de la AASHTO para determinar la calidad de una mezcla para pavimentos, cada uno es utilizado de acuerdo al material y al ensayo al que se someterán (AASHTO, 2020), es así entonces que se enlistan las normas y procedimientos que se utilizan en los ensayos que se describen más adelante en el documento.

- **AASHTO T 22:** Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto.

Este procedimiento determina la resistencia a la compresión de cilindros de concreto, ya sean moldeados o núcleos perforados. Limitándose a hormigón con un peso superior a los 800 kg/m<sup>3</sup> (50 lb/ft<sup>3</sup>). Los valores en pulgada-libra deben tomarse por separado mostrarse entre paréntesis.

Los valores pueden ser no exactos o equivalentes y podrían no dar conformidad a la norma, al mismo tiempo que puede implicar materiales, equipos u operaciones peligrosos (AASHTO, Engineering 360, 2017).

- **AASHTO T 97:** Resistencia a la flexión del concreto

Este es un método que, utilizando una viga simple con carga en el tercer punto, busca la resistencia de la flexión del concreto. Los valores pulgada-libra deben considerarse por separado ya que los valores estándar de casa sistema pueden ser inexacto o no equivalentes y conllevar a la no conformidad de la norma (AASHTO, Engineering 360, 2018).

- **AASHTO T 23:** Prueba para fabricar y curar modelos de concreto

Esta prueba se realiza para cubrir los procedimientos requeridos al producir modelos de cilindros o vigas, partiendo de modelos hechos en concreto fresco para una construcción. Se utiliza para fabricar los modelos una vez se hayan realizado todos los ajustes a las proporciones de la mezcla, los aditivos y el agua adicionados. No debe usarse este método en casos donde no haya un asentamiento medible o que precise de modelos de tamaños y formas distintos (AASHTO, Engineering 360, 2018).

- **AASHTO T 126:** Prueba estándar para fabricar y curar muestras de prueba de concreto en laboratorio

Este método se utiliza para cubrir los procedimientos para fabricar y curar muestras de prueba, con un control preciso de las condiciones y los materiales en el laboratorio. Se usa concreto que pueda ser consolidado por medio de vibración o varillaje (AASHTO, Engineering 360, 2001).

## **2.2.2 ASTM**

### *2.2.2.1 Antecedentes*

Benjamin Dudley fundó la International Association for Testing Materials (IATM) en el año de 1898, el propósito era de establecer un estándar para el control de calidad de los fundidores de acero y los ferrocarrileros. Como consecuencia de su éxito, cuatro años después, en 1902 se creó el brazo autónomo de esa asociación en Estados Unidos nombrándola American Society for Testing and Materials o mejor conocida como ASTM por técnicos alrededor del globo (ASTM, 2021).

Casi sesenta años después la ASTM empezó a expandirse hacia el resto del mundo para cubrir el desarrollo y normas para los distintos materiales y equipos creados a nivel mundial. Fue gracias al Acuerdo Comercial de Barreras Técnicas de la Organización Mundial de Comercio que las normas ASTM fueron definidas (ASTM, 2021).

La creación de las normas dentro de esta asociación se realiza con total transparencia ya que al formularse participan tanto gobierno como particulares, consensuando y tomando decisiones en conjunto. Si bien empezó como un ente regulador de materiales utilizados para la industria ferroviaria, se expandió para regular también todo tipo de materiales y procedimientos para investigar, comprobar nivel de calidad, aprobar productos y transacciones, esto llevó a la ASTM a eventualmente transformarse en la organización a nivel mundial de mayor relevancia en la creación de normas (ASTM, 2021).

En la actualidad las normas creadas por la ASTM son un estándar para aprobar productos y transacciones comerciales en todo el mundo, algunos de los materiales que se han normado por ellos son: metales, pinturas, plásticos, textiles, petróleo, construcción, energía, análisis del medio ambiente, productos para consumidores finales, dispositivos médicos, productos electrónicos, pavimento, entre otros (ASTM, 2021).

El pavimento debe cumplir con ciertas normas de la ASTM por la que se realizan ensayos para comprobar su cumplimiento. A continuación, se dará una breve descripción de estas normas (IHS Markit, 2021):

- **ASTM C 39:** Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto

Este ensayo se realiza solamente para concretos que tengan un peso unitario mayor que 800 kg/m<sup>3</sup>. Se utilizan modelos cilíndricos de concreto, ya sean producto de la extracción de núcleos o fabricados en laboratorio, con la finalidad de determinar la resistencia a la compresión (IMCYC, 2006).

- **ASTM C 78:** Pruebas de flexión del concreto

Este ensayo comprende todas las pruebas de flexión del concreto destinado a pavimentos (estilo 3er punto) y lozas. Utiliza el sistema de pruebas SATEC™ Serie 300DX un accesorio flexible y el software de pruebas de materiales Partner™ (Beams, n.d.) .

- **ASTM C 496:** Prueba normalizada para la determinación de la tracción por hendimiento de las probetas cilíndricas de hormigón.

Mediante este método se pretende establecer que resistencia tienen las probetas cilíndricas de cemento ante la tracción por hendimiento. Se utilizan cilindros moldeados o de núcleos taladrados.

La presente norma ha sido designada C496, el número siguiente se refiere al año de adopción, revisión o última versión (L, n.d.).

- **ASTM C 31:** Prueba para cubrir los procedimientos de fabricación y curado de muestras de vigas y cilindros de concreto fresco, destinados a una construcción.

El cemento que se utilice para fabricar las muestras debe ser probado luego de que los ajustes en el sitio se hayan realizado a la proporción de la mezcla ya incluida la adición de aditivos y agua. Esta prueba no es conveniente para modelos que tengan encogimiento no medible o que demandan formas y tamaños diferentes.

Esta prueba no procura indicar todos los problemas de seguridad relacionados con su uso, esto es responsabiliza al usuario (ASTM, 2003).

- **ASTM C 192:** Ensayo para el proceso de fabricación y curado de muestras de cemento en laboratorio bajo controles específicos de las condiciones del ensayo y los materiales.

Se realiza utilizando cemento que pueda ser consolidado mediante vibrado o varillado. Esta prueba no procura indicar todos los problemas de seguridad relacionados con su uso, esto es responsabiliza al usuario (ASTM, 2003).

### **2.3 Ensayos de caracterización de los materiales**

A continuación, se explican de manera teórica los ensayos que se desarrollan en la sección de resultados de la investigación y que se relacionan con la caracterización de materiales:

#### **2.3.1 Equivalente de arena**

##### *2.3.1.1 Norma*

El Ensayo Equivalente de Arena corresponde a la Norma ASTM D-2419, estas normas son utilizadas y aceptadas a nivel mundial desde 1898, son normas para áreas como: metales, pinturas, plásticos, textiles, petróleo, construcción, energía, el medio ambiente, productos para consumidores, dispositivos y servicios médicos y productos electrónicos. En el caso de la Norma ASTM D-2419 corresponde al área de construcción (ASTM, 2021).

##### *2.3.1.2 Concepto*

Este es un método de prueba de campo rápida, en el que se somete a los agregados de suelo a ciertas condiciones físicas y químicas pasan por tamiz de 4,75 mm (Nº 4)

para mostrar las proporciones relativas de polvo fino o material arcilloso en suelos o agregados graduados (ASTM, 2021).

En los agregados gruesos y finos se espera tener porciones de mezclas gruesas deseables como las partículas de suelos granulados y arena, sin embargo, también se encuentra elementos no deseados como: las arcillas, materiales plásticos y polvos finos (ASTM, 2014). Al someterlos al ensayo se determinan el porcentaje de arena y arcilla que poseen los agregados, esta correlación se expresa en porcentajes y se la conoce como Equivalente de Arena (ASTM, 2021).

### 2.3.1.3 Cálculo

El equivalente de arena de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 1% (ASTM, 2014):

$$EA (\%) = \frac{N_a}{\frac{N_1}{100}} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

EA: Equivalente de arena (%)

$N_a$ : Nivel superior de la arena (mm).

$N_1$ : Nivel superior de la arcilla (mm).

## 2.3.2 Granulometría

### 2.3.2.1 Norma

Este ensayo corresponde a la Norma AASHTO T88 y ASTM D422, estas son normas internacionales reconocidas para la construcción, corresponden a la normalización de procesos de ensayo (INEN, 2011).

### 2.3.2.2 Concepto

Para el diseño de estructura de mezclas con cemento portland para pavimento rígido es necesario conocer las características y resistencias, conocer la capacidad que tiene

el suelo donde se aplicará la mezcla, con el objetivo que resista el impacto y deformación de todo lo que transitaría sobre la misma, así se podrá hacer más resistente a la mezcla (Ulloa, 2011). Por lo que se realiza algunas pruebas o ensayos, uno de ellos es el de granulometría, este ensayo consiste en clasificar una porción de terreno natural y compararlo con la clasificación de materiales de suelos, de acuerdo con las normas ASTM D 422 / AASHTO T 88 (Ulloa, 2011).

La granulometría de los agregados se obtiene a través de dos métodos, uno es el tamizado en seco y el otro el tamizado en lavado. Para el Análisis por Tamizado de Agregados Fino y Grueso se utiliza el método en seco, este corresponde a las normas AASHTO T 27-99 y ASTM C 136-01) y tamizado por lavado. En el caso de Materiales más Finos que Pasan el Tamiz de 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) en se utiliza el método por lavado que corresponde a las normas AASHTO T 11-97 y ASTM C 117-95.

#### 2.3.2.5 Cálculo

$$A = \frac{(B-C)*C}{B} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

A = porcentaje de material más fino que la malla de 75  $\mu\text{m}$  retiene.

B = masa seca de la muestra original, g.

C = masa seca de la muestra después de lavado, g

### 2.3.3 Abrasión

#### 2.3.3.1 Norma

Este ensayo está basado en norma AASHTO: T 96 -2002 con equivalencia en ASTM: C 131-2001, estas normas internacionales establecen el método de ensayo a nivel mundial, para determinar el valor de degradación del árido grueso a través de la

pérdida de masa por desgaste e impacto y se utiliza una maquina llamada Los Ángeles (ASTM, 2001).

#### 2.3.3.2 *Concepto*

Este ensayo permite medir la pérdida de masa o desgaste de los agregados minerales por medio de la maquina Los Ángeles e indica la calidad de los agregados, mientras sea menor el porcentaje el agregado la muestra será de mejor calidad.

Este método pone en práctica procedimientos físicos sobre las partículas de agregado grueso con un tamaño máximo menor a 37.5 mm [1 1/2"], el objetivo es someterlas a ciertas condiciones para evaluar su resistencia a la degradación, es decir, se evalúa la tenacidad del material para resistir el impacto de las cargas abrasivas. Las cargas son esferas de determinado material con una masa definida, que son colocadas durante los procedimientos de fabricación, tendido y compactación de la mezcla.

El valor final del desgaste del método de abrasión resulta de la diferencia entre la masa inicial y la final con respecto a la inicial (ASTM, 2001).

#### 2.3.3.5 *Calculo*

$$\text{Desgaste de los Ángeles (\%)} = \frac{C-Y}{C} * 100 \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Desgaste de Los Ángeles [%] = Desgaste por abrasión en Maquina de Los Ángeles, con aproximación de 1 % (sin decimales). C [g] = Masa de la muestra inicial, con aproximación de 1.0 g (sin decimales). Y [g] = Masa de la muestra final, con una aproximación de 1.0 g (sin decimales).

#### **2.3.4 Gravedad específica y absorción del agregado**

Este tipo de ensayos permite obtener los valores de los pesos específicos aparentes y nominales, así como también el valor de absorción del agregado, los agregados

pueden ser grueso o fino, según eso cada uno responde a diferentes normas (Solís & Moreno, 2006).

Los agregados como consecuencia de su estructura y textura tienen poros, es decir, son espacios vacíos dentro de la partícula, algunos poros se encuentran metidos en lo profundo de las partículas, sin embargo, otros se abren a la superficie y como son espacios de aire permiten el ingreso de agua o cualquier sustancia o agente, esto gracias a la fuerza de gravedad. Por lo que para calcular dicha porosidad se parte de la lectura del volumen de agua que ocupan los poros, esto es de gran utilidad especialmente cuando no se cuenta con los datos de la densidad de las partículas de la muestra (Solís & Moreno, 2006)

Para la realización de este tipo de ensayos sea con agregado fino o grueso, se cree que se debe tomar en cuenta que en peso específico total de la muestra que se escogió debe también incluirse los poros de la muestra. En el caso del peso específico aparente no se debe incluir los poros ni espacios capilares que se llenarían de agua, en el volumen de la muestra (Solís & Moreno, 2006).

### **2.3.5 Gravedad específica y absorción del agregado fino**

#### *2.3.5.1 Norma*

Este método se basa en las normas AASHTO: T 84 - 00 con equivalencia en ASTM: C 128 – 97.

#### *2.3.5.2 Concepto*

En el caso del ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino las lecturas para determinar el peso específico aparente y real, así como la absorción se las realizará después de 24 horas en las que la muestra esté sumergida en agua, los

agregados deberán tener un tamaño inferior a 4.75 mm, se utilizará un tamiz No. 4 (ASTM, 2001).

#### 2.3.5.5 Cálculo

Material que pasa el tamiz 3/8"

$$\text{Gravedad específica de la masa} = \frac{A}{V-W} \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

$$\text{Gravedad específica de S.S.S.} = \frac{500}{V*W} \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

$$\text{Gravedad específica aparente} = \frac{A}{(V-W)-(500-A)} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{500*A}{A*100} \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

A= Peso en el aire de la muestra secada al horno

V= Volumen de la probeta

W= Peso en gramos o en cc del agua añadida

### 2.3.6 Gravedad específica y absorción del agregado grueso

#### 2.3.6.1 Norma

Este ensayo utiliza los estándares internacionales tanto para el material como para el procedimiento en base a las normas AASHTO: T 85 - 91 (2000) con equivalencia en ASTM: C 128 - 88 (1993).

#### 2.3.6.2 Concepto

Este tipo de ensayo pretende saturar de agua la muestra tomada por un tiempo determinado, secar la superficie de las partículas y medir la masa con superficie saturada seca, luego se procede zambullir la muestra a cierta temperatura y obtener las lecturas de masa saturada, con esos datos se puede determinar el peso aparente, finalmente se procede a sacar la muestra para determinar su masa seca. Al finalizar el

procedimiento respectivo se obtiene la densidad relativa o gravedad específica y la absorción del agregado (ASTM, 2015).

### **Cálculo**

Material que pasa el tamiz 1" y retenido en el tamiz 4"

$$\text{Gravedad específica de la masa} = \frac{A}{B-C} \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

$$\text{Gravedad específica de S.S.S.} = \frac{B}{B-C} \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

$$\text{Gravedad específica aparente} = \frac{A}{A-C} \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B-A}{A*100} \quad (\text{Ecuación 2.11})$$

A = Peso en el aire de la muestra secada al horno

B = Peso en el aire de la muestra saturada

C = Peso en el agua de la muestra saturada

### **2.4 Resistencia a la compresión**

Esta resistencia es medida, ensayando modelos cilíndricos de concreto en una máquina para pruebas de compresión. Dicha resistencia es calculada a partir de la ruptura entre el área que resiste a la carga y se reportan en megapascuales (MPa).

El requerimiento de resistencia de compresión es diferente según su uso, para concreto residencial debe ser desde 17 MPa mientras que, para estructuras comerciales, esta debe ser de 28 MPa. En específicas ocasiones se requiere de resistencias de hasta 170 MPa o mayores.

Se realizan pruebas de resistencia de compresión principalmente para determinar que la mezcla de cemento cumpla con los requerimientos especificados de resistencia para  $f'c$ , del proyecto. Los resultados de las pruebas también se usan para realizar

controles de calidad, estimar la resistencia del cemento con el fin de programar la parte operacional de las construcciones.

El resultado de una prueba es obtenido al promediar al menos dos pruebas de resistencia curadas utilizando el procedimiento estándar, con la misma muestra de cemento y realizadas a la misma edad, generalmente se realizan a la edad de 28 días (IMCYC, 2006).

### **2.5 Resistencia a la flexión**

Para los ensayos de resistencia a la flexión, se usa una maquinaria con la capacidad de aplicar cargas en las terceras partes del claro de prueba, para que las fuerzas sean perpendiculares con respecto a las caras horizontales de la viga, siendo aplicadas y distribuidas uniformemente en toda la estructura. Además, debe poder mantener estable la distancia entre los puntos de carga y los puntos de apoyo del modelo con una tolerancia de un intervalo desde menos 2mm hasta más 2 mm; durante el tiempo de la prueba, las reacciones deben estar en la misma dirección de las fuerzas aplicadas durante la prueba. Los puntos de aplicación de las cargas deben tener una distancia entre sí de no menos de uno a la reacción más cercana dividida entre la altura de la viga.

Se requiere que los bloques en los que se aplica la carga y de apoyo de la viga sean de acero y de un ancho igual o mayor al de la viga con una altura de no más de 65 mm, medida a partir del centro de rotación. Los bloques deben estar alineados en posición vertical, ejerciendo presión mediante tornillos con resorte que los mantengan en contacto con los rodillos o rótulas de acero. Debe aplicarse la velocidad uniformemente, de manera que el esfuerzo de las fibras externas no sea de más de 980 kPa/min (10 kgf/cm<sup>2</sup> por min).

Para medir el modelo después de la prueba: Se calcula el ancho promedio, la inclinación y el lugar de la línea de falla, con el promedio de tres medidas, una en el centro y dos sobre las aristas del modelo aproximándolas al milímetro.

Cálculo y expresión de resultados:

Si la fractura se presenta en el tercio medio del claro el módulo de ruptura se calcula como sigue:  $R=(PxL)/(b d^2)$  Donde: R Es el módulo de ruptura, en kPa ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ). P Es la carga máxima aplicada, en N (kgf). L Es la distancia entre apoyos, en cm. b Es el ancho promedio del espécimen, en cm. d Es al peralte promedio del espécimen, en cm. En el cálculo anterior, no se incluyen las masas del bloque de apoyo superior y del espécimen. Si la ruptura se presenta fuera del tercio medio del claro, en no más del 5% de su longitud, se calcula el módulo de ruptura como sigue:  $R=(3 Pa)/(b d^2)$  (YMCYC, 2008).

### **3. BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR**

#### **3.1 Contextualización: Situación actual del sector agrícola y de la caña de azúcar**

En la actualidad, el imparable avance y desarrollo exige que la humanidad utilice los recursos disponibles de forma cada vez más eficiente y efectiva (Comisión Europea para el Medio Ambiente, 2011). Esta exigencia es aplicable, por ejemplo, en sector de la construcción, en el desarrollo de la infraestructura destinada al uso público y privado, donde la ingeniería civil tiene un papel fundamental y de gran importancia (Forcael, Vargas, Opazo, & Medina, 2013).

El cemento tiene un lugar de particular interés en el desarrollo vial, dentro de los procesos constructivos de infraestructura; esto se debe no solo a las amplias opciones para su uso, sino también, a la flexibilidad en la utilización de materiales modificadores, en muchos casos, estos tienen origen de residuos provenientes tanto de materiales artificiales como de materiales naturales (Figueroa-Infante, Fonseca-Santanilla, & Reyes-Lizcano, 2009). Es por esto que existe actualmente una constante innovación en lo que se refiere a la producción de mezclas con cemento portland para pavimento rígido.

Para el desarrollo de avances en el uso de materiales innovadores en las mezclas de cemento es necesario, sin embargo, que se cumpla con ciertos criterios de durabilidad, resistencia al uso, flexibilidad y aspectos ambientales, entre otros, con el objetivo de garantizar la calidad del pavimento y la posibilidad de su uso de manera eficiente (Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte, 2014).

Actualmente la mayor parte de la caña de azúcar que se produce en el mundo, es consumida localmente, en los mismos países que la producen, quienes designan este producto prioritariamente a las industrias de azúcar y alcohol. Esto se ve reflejado en el hecho de que los más grandes consumidores de caña de azúcar en el mundo, son a su vez, prácticamente los mismos países que destacan en las listas de producción mundial. Según los datos publicados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Brasil es el mayor consumidor de caña de azúcar en el mundo, después de Brasil, los principales productores de caña de azúcar en el mundo, en orden descendente, son: Tailandia, India y China, seguidos por México (Fretes, 2011).

Entre 2019 y 2020 se produjeron alrededor de 166,18 millones de toneladas métricas de caña de azúcar, para el periodo comprendido entre 2020 y 2021, se espera que esta cifra se incremente a un aproximado de 182 millones de toneladas métricas. Cerca del 80% del azúcar que se consume en el mundo, se produce a partir de la caña de azúcar cultivada en climas tropicales y subtropicales. El otro 20% se obtiene de la remolacha azucarera, que se cultiva principalmente en las zonas templadas del hemisferio norte.

Más de 120 países producen azúcar a nivel mundial. En general, los países con temperaturas cálidas, más tierras disponibles para el cultivo y una buena cantidad de lluvia, tienden a tener más azúcar. Entre 2019 y 2020 los países productores de azúcar más grandes fueron:

### **Brasil**

Brasil le quitó a la India, su puesto como el primer productor de azúcar a nivel mundial durante el año 2019-2020, con una producción de 29,93 millones de

toneladas métricas de azúcar. Adicionalmente, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) prevé un aumento superior al 40% en la producción azucarera de Brasil durante el año 2020–2021, lo que sería un poco más de 42 millones de toneladas durante este periodo.

Para lograr este significativo aumento deberá trasladarse una parte importante de los cultivos de caña de azúcar destinados a la producción de etanol a la de azúcar. Brasil además de ser el primer productor de azúcar a nivel mundial, tiene el segundo puesto en la producción de etanol, siendo superado solo por Estados Unidos. La cifra de caña de azúcar, sembrada, cosechada y procesada en Brasil se ha triplicado desde la década de los 90. Esto responde a la creciente demanda de combustibles renovables entre los que destaca el etanol. Brasil ha demostrado que puede ser una potencia en la producción de etanol muy eficiente y eficaz.

### **India**

Entre los años 2019 y 2020 India pasó a ocupar la segunda posición en la producción de azúcar, quedando por muy poca diferencia detrás de Brasil. La producción de la India fue de 28,9 millones de toneladas métricas de azúcar, cifra que equivale al 17% de la producción mundial de azúcar, estimada en 166,18 millones de toneladas métricas. La baja en la producción de caña de azúcar de la India viene desde el 2018/2019. Sin embargo, se espera que el país incremente su producción de azúcar en un 17% para los años 2020 y 2021. Esto debido a que se cree que el nivel de consumo interno de azúcar en la India alcanzará una nueva cifra record, estimada en 28,5 millones de toneladas.

### **La Unión Europea**

A pesar de que la Unión Europea está formada por un grupo de países independientes, reúne la política y economía de los mismos. La Unión Europea (UE) es el tercer productor de azúcar en el mundo. En el periodo de 2019/2020, la producción de azúcar de la UE se calcula en 17,25 millones de toneladas métricas.

### **China**

Entre 2019 y 2020 China alcanzó una producción de 10,2 millones de toneladas métricas de azúcar. Aun siendo uno de los principales productores de azúcar a nivel mundial, China es también un gran importados de azúcar, ya que en las últimas décadas la demanda de azúcar en el país se ha incrementado notoriamente. El sector azucarero ha tenido por años que enfrentar la brecha entre los precios altos de producción y bajos de importación, con la finalidad de apoyar a sus agricultores. Debido a que tiene altos costes en la producción de azúcar en comparación con productores extranjeros, china importa cerca de 1,95 millones de toneladas de azúcar al año.

### **Tailandia**

El país alcanzó una producción de caña de azúcar de 8,25 millones de toneladas métricas entre los años 2019 y 2020, siendo este su cultivo más importante. Tailandia es un gran exportador de azúcar además de ser el quinto mayor productor del mundo, exporta anualmente la mayor parte de su producción azucarera.

Se estima que para 2020 y 2021, debido principalmente a la sequía, la producción de azúcar de Tailandia disminuya un poco, rodeando los 7,9 millones de toneladas métricas. Adicionalmente se cree que el consumo local de azúcar aumentará en Tailandia reduciendo incluso más las exportaciones de azúcar (Traders.Studio, 2021).

A continuación, se detalla la producción obtenida de caña de azúcar a nivel mundial, la superficie cosechada y el rendimiento promedio de los países productores. Los datos fueron obtenidos de FAOSTAT, la base de datos de la FAO (Cañada, 2021).

### **Producción obtenida**

En la siguiente tabla se muestra a los países líderes a nivel mundial en la producción de caña de azúcar:

Tabla 3.1 Países líderes a nivel mundial en la producción de caña de azúcar

<b>Orden</b>	<b>País</b>	<b>Producción obtenida (ton)</b>
<b>1</b>	Brasil	752,895,389
<b>2</b>	India	405,416,180
<b>3</b>	Tailandia	131,002,173
<b>4</b>	China, Continental	109,388,100
<b>5</b>	Pakistán	66,880,011
<b>6</b>	México	59,334,059
<b>7</b>	Colombia	32,662,952
<b>8</b>	Australia	32,415,352
<b>9</b>	Indonesia	29,100,000
<b>10</b>	Guatemala	29,087,086

Fuente: FAOSTAT. Elaborado por: FAO

### **Superficie cosechada**

Aquí se pueden ver los países líderes en la utilización de superficie para el cultivo de caña de azúcar. Los valores se detallan en hectáreas.

Tabla 3.2. Países lideren en la utilización de superficie para el cultivo de caña de azúcar

<b>Orden</b>	<b>País</b>	<b>Superficie cosechada (ha)</b>
<b>1</b>	Brasil	10,081,170
<b>2</b>	India	5,061,090
<b>3</b>	Tailandia	1,835,085
<b>4</b>	China, Continental	1,414,002
<b>5</b>	Pakistán	1,039,777

<b>6</b>	México	795,984
<b>7</b>	Argentina	476,176
<b>8</b>	Colombia	457,783
<b>9</b>	Indonesia	443,569
<b>10</b>	Australia	433,154

Fuente: FAOSTAT. Elaborado por: FAO

### **Rendimiento obtenido**

En la siguiente tabla se muestra el rendimiento de caña de los países líderes a nivel mundial. Las cifras de detallan en toneladas por hectárea.

Tabla 3.3. El rendimiento de caña de los países líderes a nivel mundial

<b>Orden</b>	<b>País</b>	<b>Rendimiento promedio (ton/ha)</b>
<b>1</b>	Perú	125.5
<b>2</b>	Egipto	115.7
<b>3</b>	Senegal	113.3
<b>4</b>	Guatemala	107.7
<b>5</b>	Malawi	107.6
<b>6</b>	Chad	103.8
<b>7</b>	Zambia	103.3
<b>8</b>	Burkina Faso	101.0
<b>9</b>	Eswatini	96.4
<b>10</b>	Nicaragua	95.6

Fuente: FAOSTAT. Elaborado por: FAO

#### **3.1.1 Sector agrícola ecuatoriano**

Considerando el aporte del sector agrícola de 7.7% (Banco Central del Ecuador [BCE], 2021) en el Producto Interno Bruto (PIB) para el año 2019, se le reconoce como un sector de vital relevancia en la economía del Ecuador, teniendo en cuenta este importante aporte, el sector agrícola ecuatoriano juega un papel estratégico en la seguridad alimentaria del país, ya que produce alrededor del 95% de los productos alimenticios que se consumen internamente en el Ecuador (Ponce, 2016, p.26). Este

sector también contribuye altamente en el empleo, siendo el sector en el participa la mayor parte de la población trabajadora, en diciembre del año 2019 se calcula que el 29,4% se encuentra vinculado con actividades de agricultura, ganadería caza, silvicultura y pesca (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2019); a su vez la rama agrícola contribuye al empleo adecuado concentrando un 11.1% del total de empleados en este sector durante el periodo mencionado, posicionándose en el cuarto lugar antecedido por el comercio, la enseñanza y la manufactura. En cuanto a lo económico, el sector agrícola genera una cantidad importante de divisas por medio de la exportación de productos tradicionales y no tradicionales. En 2020 las exportaciones del país fueron totalizadas en 20.23 millones de dólares, de los cuales un 18,14% correspondió a banano y plátano (BCE, 2021) (INEC, 2021).

Según el Banco Central del Ecuador, el sector agrícola en 2019 representa el 0,1% del Producto Interno Bruto (PIB).

El Banco Central del Ecuador pronostica que para el año 2020, diferentes cultivos, dentro de la actividad económica como el banano, el café y el cacao representarán un 5% del PIB Para el presente estudio se ha tomado como fuente la ESPAC y sus datos actualizados a 2018, analizando los cultivos transitorios y permanentes. De acuerdo a los datos estudiados, entre los años 2014 y 2018, la mayor parte del suelo ecuatoriano está ocupado por bosques y montes sumando entre los dos el 46,4%, los pastos cultivados por su parte ocupan el 19,3%, el 11,6% corresponde a cultivos permanentes, el 7% es usado para cultivos transitorios y barbecho, los pastos naturales ocupan el 6%, y el 5,4% corresponde a otros usos, el 3,1% son páramos y el 1% se usa para suelos de descanso. En la figura numero ... se puede observar la tendencia a la disminución de la extensión en hectáreas correspondiente a páramos y

un aumento en la superficie de suelos de descanso. En la región sierra se encuentra el mayor número de hectáreas en suelo de páramos, solamente en el año 2018 sumó el 96,48% del total a nivel nacional. Los páramos son de vital importancia debido, entre otros motivos, a que agua proveniente de ellos es utilizada, directa o indirectamente para riego, consumo humano y animal y adicionalmente para la generación de electricidad (María, Vayas, Mayorga, & Freire, 2020).

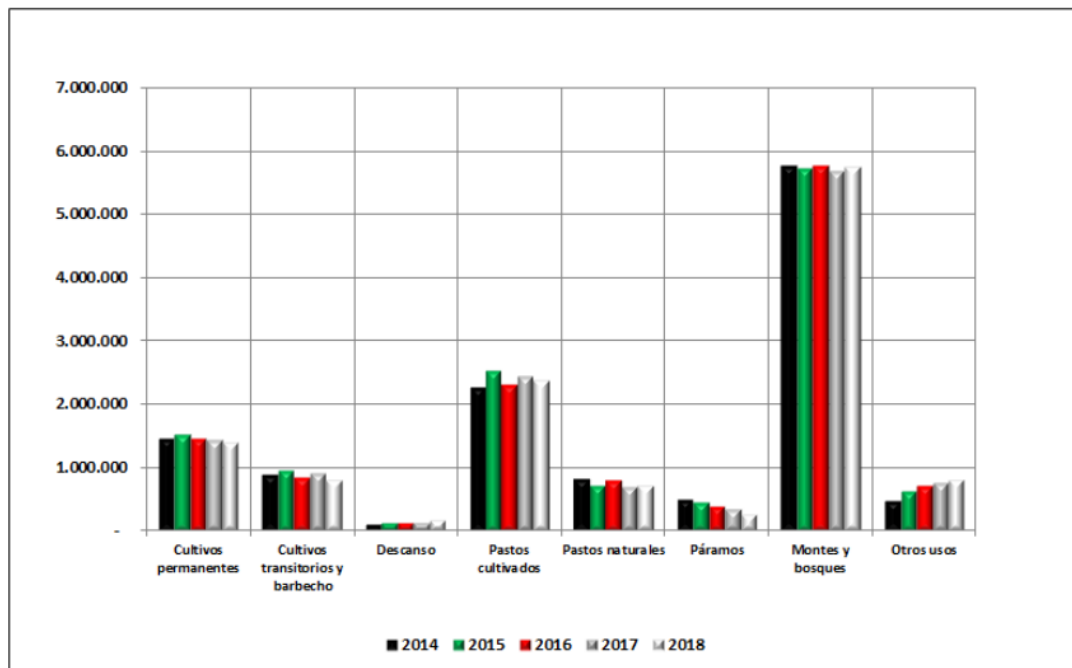
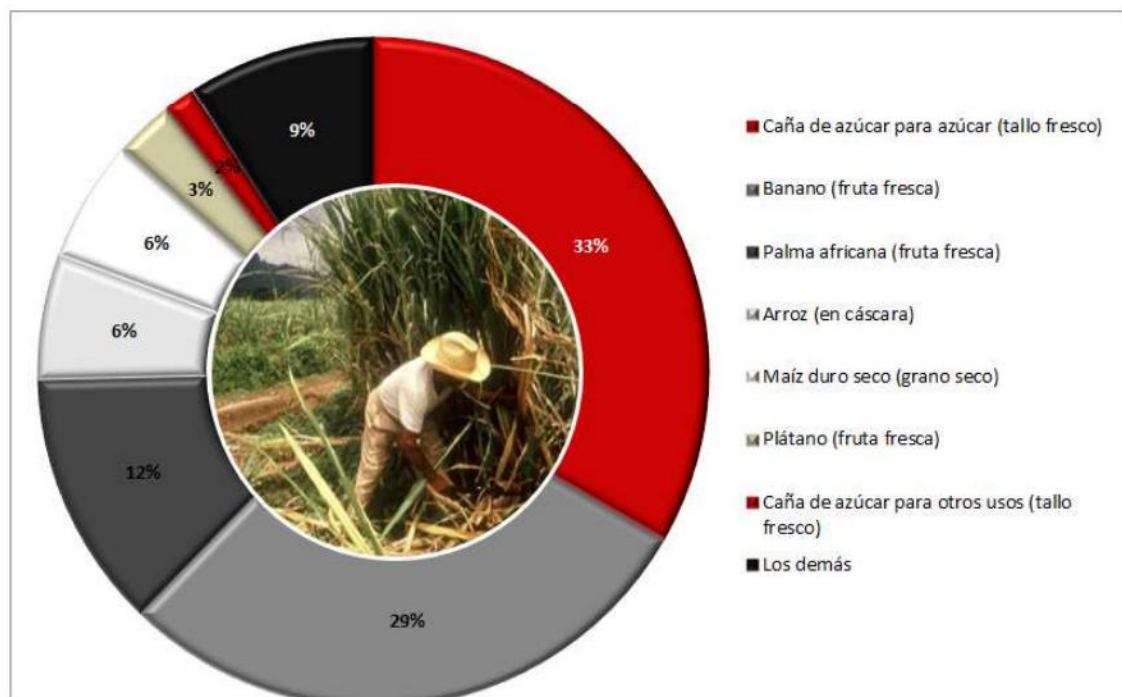


Figura 3.1. Uso del suelo en el Ecuador 2014 – 2018 (Has.).

Fuente: INEC, ESPAC 2014 – 2018

En cuanto a producción y ventas del sector agrícola, en el año 2018, 1'454.589,44 hectáreas fue la superficie total de suelo plantada con cultivos permanentes, con cultivos transitorios se plantaron 941.279,92 hectáreas, mientras que las superficies cosechadas fueron de 1'244.261,28 para los permanentes y de 898.331,13 para los transitorios. Esto evidencia que, se logra cosechar solamente el 89,06% del 100%

plantado. La misma situación se da con las toneladas métricas vendidas y las toneladas métricas producidas, lo que se comercializa es el 91,14% de la producción total. Según estos datos se puede concluir que los cultivos transitorios tienen un menor rendimiento con respecto a los cultivos permanentes. Los sembríos que utilizan la mayor extensión en el suelo ecuatoriano son: 33% la caña de azúcar (para azúcar en tallo fresco), el 29% es ocupado por el banano (fruta fresca), la palma africana (fruta fresca) usa un 12%, un 6% corresponde al arroz en cáscara, el maíz duro seco (grano seco) ocupa un 6%, el plátano (fruta fresca) un 3%, la caña de azúcar (para otros usos) un 2%, y el resto de cultivos ocupan el 9% de la producción. Ya que se habla de cultivos transitorios, vale la pena aclarar que se denominan transitorios a los cultivos que tienen una única cosecha, luego de la cual son eliminados, por otra parte, se llaman cultivos permanentes a aquellos que luego de pasar por la etapa de desarrollo continúan produciendo varias cosechas antes de ser dados de baja (Sánchez, 2020).



### Figura 3.2. Principales productos cultivados en Ecuador

Fuente: INEC, ESPAC 2014 - 2018

La producción de azúcar, es una importante industria que forma parte del aparato reproductivo ecuatoriano y que aporta grandemente a la economía del país.

Sin embargo, acorde con los datos del Banco Central del Ecuador (BCE), a través de los años se ha registrado una disminución de la industria azucarera, ubicándose al final de la lista de las 47 industrias a en el país, aportando la cifra de de \$58,1 millones de dólares en el año 2018 (0,05% del PIB) y, una tasa promedio de variación interanual de -6,9% entre el 2007 y el 2018. Vale recalcar que, en el año 2018, el 97,5% del Valor Agregado Bruto (VAB) de la industria azucarera fue generado por las provincias de Guayas, Cañar, Imbabura y Loja.

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO (por sus siglas en inglés), el cultivo de la caña de azúcar es de gran importancia a nivel mundial tanto para su uso en la industria como para su uso en alimentación, se calcula que hay cerca de 30 millones de hectáreas sembradas con caña de azúcar en el mundo, y se estima un aumento en numerosas regiones, esto se debe a que la caña posee una ventaja específica que permite a los molinos alternar su producción entre la de azúcar y la de etanol, adicionalmente tiene la posibilidad de producir derivados como electricidad (con el excedente de bagazo) y los bioplásticos. De los cultivos de azúcar a nivel mundial, la caña de azúcar ocupa aproximadamente el 86%. Siendo Brasil, India, China y Tailandia los países que lideran su producción. A nivel mundial, el consumo de azúcar presenta un crecimiento anual del 1,6 %, se estima que para el 2028 puede llegar a los 203 millones de toneladas, esto como resultado de un leve frenado en el crecimiento demográfico, la desaceleración en el

crecimiento de la economía mundial y el aumento en la preocupación de las personas en los efectos negativos que podría tener la alta ingesta de azúcar. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) actualmente el consumo de azúcar per cápita es de 22,7kg y se prevé que aumentará a 24,2kg. Se cree que este crecimiento en el consumo se verá en los países en vías de desarrollo en Asia y África, debido al aumento en la demanda de productos de pastelería, repostería, bebidas altamente azucaradas y alimentos procesados. América Latina, por su parte, ya tiene un consumo de azúcar bastante alto, por lo que se considera que el crecimiento en el consumo de azúcar será lento (Vayas, 2020).

#### *3.1.1.1 Uso de la tierra para el cultivo*

En Ecuador, así como en otros países de América Latina, la concentración de propiedad de la tierra en algunos sectores es alta. En la tabla 16 se observan los datos del Censo del año 2000, en el que se encontró que, a nivel nacional, el 64% de las Unidades Productoras Agropecuarias (UPAS) corresponde a fincas con extensiones de menos de 5 hectáreas, ocupando solamente un 6,3% de la superficie; por otro lado, Las UPAS con superficies de más de 50 hectáreas corresponden al 6,4%, sin embargo, solamente utilizan el 61% del terreno, no obstante, se puede notar que durante los últimos 25 años, ha habido una pequeña mejoría en lo que a la distribución de la tierra se refiere (coeficientes de Gini de 0,85 en 1974 y 0,81 en 2000), esto como consecuencia de la aplicación de varios proyectos de reforma agraria y del desenvolvimiento del mercado de tierras. En zonas altamente productivas es donde más se evidencia una mayor concentración de la tierra, en particular en el norte de la Sierra (cerca de Quito), en la cuenca baja del río Guayas y en el centro-sur de la Costa (área bananera y de caña de azúcar). Otro de los

problemas, es la inexistencia de titulación. En la región Amazónica al menos unos 1,6 millones de hectáreas no tienen un título legal y se calcula que en la Sierra al menos la tercera parte de los terrenos están en esta misma situación. Las tierras designadas a la agricultura se contabilizan en 12,4 millones de hectáreas, divididas en unos 843.000 predios. Estos representan un poco menos del 50% de la superficie de tierra del Ecuador y son utilizados de la siguiente manera: pastos cultivados 27,2%, un 11,0% se destina a cultivos permanentes, los cultivos transitorios y barbechos ocupan el 13,1%, los pastos naturales abarcan el 9,1% y el 36% corresponde a otros usos como plantaciones forestales, sistemas mixtos de producción o intervenciones transitorias (Tabla 3.1) (Centro de Inversiones de la FAO/CAF, 2009).

Tabla 3.1. Distribución de la Tierra de Uso Agropecuario según el tamaño de la Finca

Región	Número de fincas	Fincas de menos de 5 hectáreas		Fincas de 5 a 50 hectáreas		Fincas de más de 5° hectáreas	
		% Fincas	% Tierra	% Fincas	% Tierra	% Fincas	% Tierra
<b>1954</b>							
Sierra	260000	81,7	10,8	15,7	17,3	2,6	72,0
Costa	84600	73,1	3,1	22,3	21,5	4,6	75,4
<b>1974</b>							
Sierra	388000	77,1	12,7	20,2	34,3	2,7	53,7
Costa	164900	70,3	6,6	26,1	40,6	3,6	52,8
<b>2000</b>							
Sierra	567622	72,9	13,3	25,0	36,9	3,0	49,8
Costa	219888	41,0	4,2	53,6	34,2	5,4	61,6
Amazonía	55425	10,83	0,4	52,6	26,6	36,6	73,0
<b>Nacional</b>	<b>842882</b>	<b>64,0</b>	<b>6,3</b>	<b>29,6</b>	<b>32,7</b>	<b>6,4</b>	<b>61,0</b>

Fuente: Censos Nacionales Agropecuarios: 1954, 1974, 2000.

Tabla 3.2. Uso del Suelo en el Ecuador (2000)

Concepto	Hectáreas	%
<b>Cultivos perenes</b>	1,363,400	11,0
<b>Cultivos transitorios y Barbecho</b>	1,231,675	10,0
<b>Descanso</b>	381,304	3,1
<b>Pastos cultivados</b>	3,357,167	27,2
<b>Pastos naturales</b>	1,129,701	9,1
<b>Otros usos</b>	4,892,584	39,6
<b>Suma usos agropecuarios</b>	<b>12,355,831</b>	<b>100</b>

Fuente: III Censo Nacional Agropecuario, 2002.

En el Ecuador existen tres extensos sistemas predominantes en la producción agrícola, los mismos que entran en la clasificación de las regiones naturales elaborada por la FAO y el Banco Mundial.

El primero, alberga aproximadamente al 50% la de la población total del país y abarca el 27% de la superficie cultivada, se trata de un sistema mixto y de plantación costera, el mismo que contiene terrenos con favorables posibilidades de riego y tierras agrícolas de buena calidad, las cuales son en parte bosques y pantanos anteriores recuperados. Dichas tierras son utilizadas para la agricultura y producción de productos de exportación tales como el café, el cacao y el banano, entre otros; también se destina a cultivos industriales como de por ejemplo de palma africana y caña de azúcar, otra parte se usa para las siembras de productos para el consumo interno del país siendo los más comunes: yuca, soya, arroz, frijoles, maíz, plátano, y muchos más. Cabe indicar que una porción de esta superficie es utilizada para la ganadería vacuna (básicamente para la obtención de carne). A adicionalmente se encuentra industria camaronera y la pesca que se concentra en la faja costera, con mayor presencia en el Golfo de Guayaquil.

El segundo consiste en un sistema mixto de montaña ubicado en los Andes Ecuatorianos, este alberga al 45% de la población y se estima que al 25% del territorio cultivado. Este sistema está ampliamente diversificado en cuanto a al tipo de entidades productivas y de clases de producción. Los agricultores de subsistencia son los más numerosos produciendo, haba, frejol, papa, maíz suave y cebada; Los agricultores medianos les siguen, con cultivos de casi los mismos productos y también dedican amplios terrenos a ganadería para obtención de leche. El cultivo de brócoli y otras especias para la exportación y para el consumo interno del país es muy grande en la región Andina. Adicionalmente, el sector florícola resalta debido a su producción principalmente destinada a la exportación, este sector utiliza sistemas de cultivo bajo invernadero, es un área de alta inversión y que necesita de tecnologías modernas, en 2002, para finales del año, se registran cerca de 3500 hectáreas de flores cultivadas bajo invernadero. Al todo lo anterior se debe adicionar a las tierras de las partes altas, las cuales tienen ecología de páramos y son unas 600.000 hectáreas aproximadamente, estas se destinan dican para el pastoreo extensivo, sin embargo, tienen importantes intervenciones para cultivos, lo que deja en riesgo la cantidad de agua disponible en dicha región, siendo que los páramos son los ecosistemas de los que cuales salen la mayor parte de las fuentes y los cursos de agua.

El tercero, localizado al oriente de los Andes ecuatorianos, es el sistema amazónico que abarca un 4,5 de la población nacional y el 45% de la superficie. Este está fundamentado en recursos forestales, a los que se les ha sumado gradualmente producciones extensivas de ganado para la producción de carne y de leche, cultivos de palma africana y explotaciones agrícolas menores que generalmente están poco

tecnificadas con plantaciones de subsistencia. Recientemente los cultivos de exportación, principalmente café y cacao, se han extendido, sin embargo, tiene serias dificultades de manejo, poscosecha y transporte. En este sector también predominan las actividades turísticas y de acuicultura, que están acercando a las comunidades de colonos y a las de nativos. En esta región es más difícil fomentar actividades de desarrollo, debido a la gran diversidad étnica que contiene.

En la tabla 18 se compila la información de un estudio llevado a cabo por CORPEI para Ecuador, sobre la estrategia agropecuaria, el estudio realizó una comparación internacional de productividad por cifras y donde se evidencia que esta se encuentra bastante por debajo de la de otros países.

Tabla 3.3. Estrategia agropecuaria ecuatoriana

Producto	País	Cifra	País	Cifra	País	Cifra
Caña de azúcar	Ecuador	70 t/ha	Colombia	120 t/ha	Perú	123 t/ha
Banano	Ecuador	31 t/ha	Costa Rica	49 t/ha	Guatemala	48t/ha
Cacao	Ecuador	0,35 t/ha	Perú	0,56 t/ha	México	0,58 t/ha
Café	Ecuador	0,23 t/ha	Costa Rica	1,29 t/ha	Colombia	0,87 t/ha
Arroz	Ecuador	3,70 t/ha	Colombia	4,80 t/ha	Estados Unidos	7,01 t/ha
Papa	Ecuador	9,31 t/ha	Perú	12 t/ha	Argentina	25,29 t/ha

Fuente: Estrategia agropecuaria ecuatoriana 2005 – 2015. CORPEI, noviembre de

2004. Quito.

Por otro lado, de acuerdo a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), “la productividad de la mano de obra agrícola del país es muy baja; apenas

llega a la mitad del promedio latinoamericano y alcanza apenas el 38% de la productividad de la mano de obra no agrícola ecuatoriana. Argentina y Chile tienen productividades agrícolas 10 veces mayores que Ecuador; Colombia tiene el doble que Ecuador, y Venezuela el triple” (Centro de Inversiones de la FAO/CAF, 2009).

### *3.1.1.2 Geolocalización de los cultivos*

En el año 2018, la extensión destinada a actividades agrícolas en el Ecuador, llegó a los 5,3 millones de hectáreas, de acuerdo con estudios realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), la producción de banano, arroz, caña de azúcar (para azúcar), palma africana, papa y maíz duro seco, sobrepasó el cultivo de otros productos. Las cosechas permanentes de caña de azúcar (para azúcar), de palma africana y de banano, entre otras, sumaron una extensión cultivada de 1'464.589 de hectáreas.

La caña de azúcar tuvo un total de 7'502.251 de toneladas métricas producidas; un 87,1% de dicha producción se dio en la provincia del Guayas. Los Ríos por su parte fue líder en los cultivos de banano, logrando el 38% (acumulando un total de 6'505.635 de toneladas métricas); por otro lado, Esmeraldas, sobresalió con el cultivo de la palma africana con una producción del 42.7% (2'785.756 de toneladas métricas).

En cuanto a los sembríos transitorios que tienen un ciclo de cosecha de menos de 12 meses, como el maíz duro, el arroz y la papa y, junto a otros cultivos de ese mismo tipo, sumaron 941.280 hectáreas sembradas a nivel nacional.

La mayor cosecha de esta categoría fue el arroz, siendo este uno de los productos base de un sinnúmero de platillos consumidos por las familias ecuatorianas, contabilizando un total de 1'350.093 de toneladas métricas. La producción se

centralizó en la provincia del Guayas con una producción total del 72,7% con un territorio sembrado 301.853 hectáreas. Estos datos han sido tomados de la más reciente Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC), en la que también se menciona la producción florícola e informa que la rosa fue el cultivo con la producción más grande con 3.199 millones de tallos cortados en el país.

Con respecto a la ganadería, el ganado vacuno fue el protagonista y líder contabilizando un total de 4.1 millones de cabezas de ganado, le sigue el sector porcino con un total de 1.3 millones de ejemplares; luego está el ovino que tuvo 356 mil animales; el caballar sumó 193 mil; el mular logró 74 mil; el asnal por su parte llegó a 47 mil; y, finalmente, el sector caprino registró 22 mil (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2019).

Como se mencionó anteriormente en el año 2018, la extensión de labores agrícolas se contabilizó en 5,3 millones de hectáreas, siendo destinada la mayor parte de la superficie de tierra apta para el cultivo, a pastos cultivados.

En la siguiente figura se puede observar las cifras de la superficie utilizada para usos agrícolas.

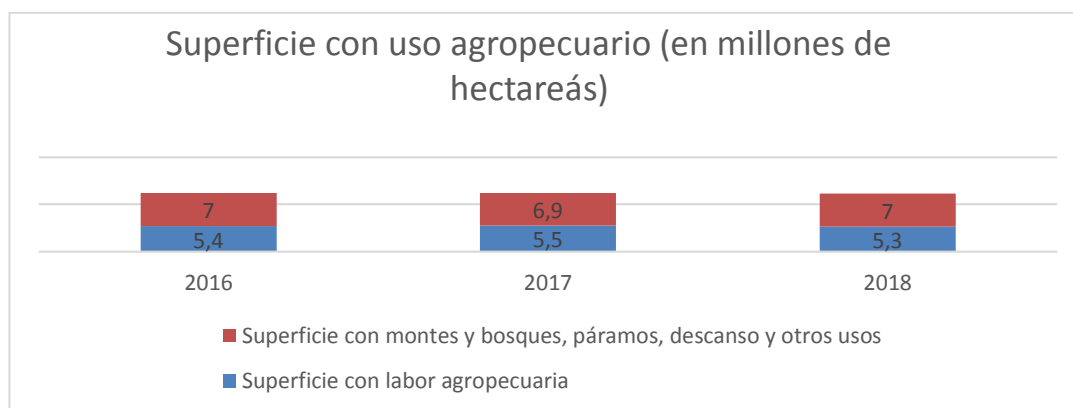


Figura 3.3. Principales productos cultivados en Ecuador

Fuente: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. ESPAC 2018.

A continuación, en la tabla 3.4 se observa las superficies cultivadas por uso agropecuario en millones de hectáreas.

Tabla 3.4. Superficie por uso agropecuario

Año	Pastos cultivados (millones de ha)	Cultivos permanentes (millones de ha)	Cultivos transitorios y barbechos (millones de ha)	Pastos naturales (millones de ha)
<b>2016</b>	2.3	1.4	0.8	0.8
<b>2017</b>	2.4	1.4	0.9	0.7
<b>2018</b>	2.4	1.4	0.8	0.7

Fuente: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. ESPAC 2018

La provincia de Manabí ocupa el primer lugar debido a que cuenta con la extensión más grande de superficie de labor agropecuaria; en donde 777.088 hectáreas se destinan a pastos cultivados y naturales (ESPAC, 2019).

Tabla 3.5. Superficie con labor agropecuaria

Pastos cultivados	Cultivos transitorios y barbechos	Cultivos permanentes	Pastos naturales
<b>45,1%</b>	15,1%	26,2%	13,5%

Fuente: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. ESPAC 2018

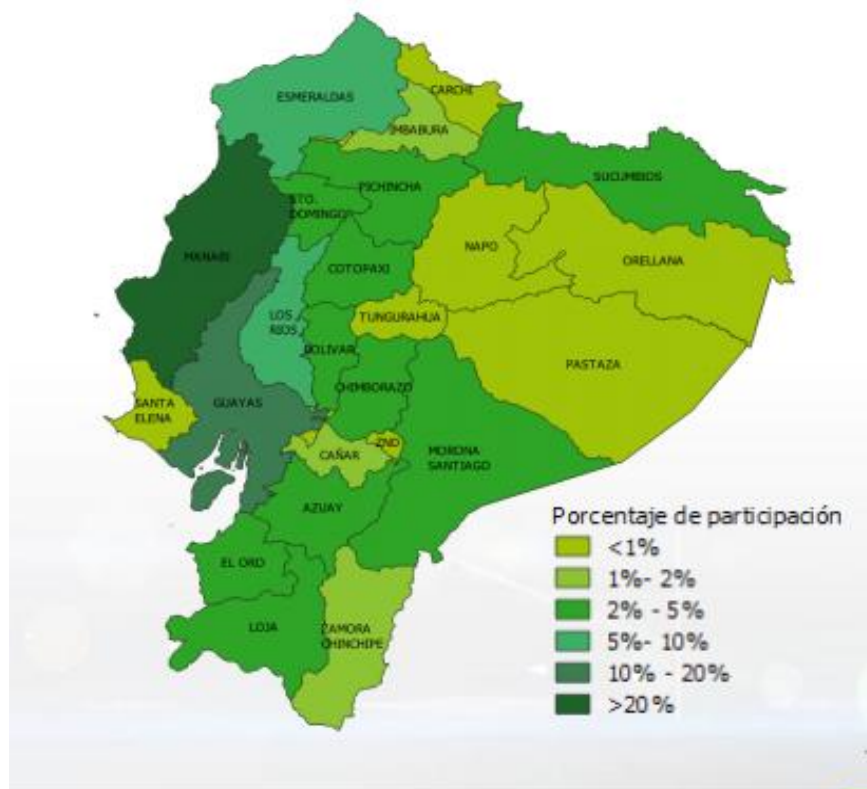


Figura 3.4. Porcentaje de participación

Fuente: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua.

Elaborado por: ESPAC 2018

La superficie total destinada a cultivos permanentes fue de 1'464.589 de hectáreas en el año 2018, el banano, la palma africana y la caña de azúcar para azúcar, registran la cifra más alta de plantaciones a nivel nacional. En la siguiente tabla se observa la producción de cultivos permanentes en miles de toneladas métricas.

Tabla 3.6. Producción de cultivos permanentes

Producción de cultivos permanentes (miles de tm)			
Año	Caña de azúcar para azúcar	Banano	Palma africana
2016	8.662	6.530	3.124
2017	9.030	6.282	3.276
2018	7.502	6.506	2.786

Fuente: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. ESPAC 2018.

En cuanto al porcentaje de la participación en la superficie plantada total, se encuentra que la caña de azúcar (para azúcar) representa el 7,3%, el plátano alcanza el 8,9%, El banano corresponde al 12,4%, la Palma africana suma un 19.1%, el cacao tiene el porcentaje más alto 40,9% y el 11,4% corresponde a otros cultivos permanentes (ESPAC, 2019).

### **3.1.2 Producción de caña de azúcar en Ecuador**

Comprendido lo anteriormente mencionado se tomará únicamente en cuenta la caña de azúcar, debido a que es parte fundamental para el estudio que se realizará con las mezclas con cemento portland para pavimento rígido, es por este motivo que a continuación se profundizará en este tema.

Según los datos de la Federación Nacional de Azucareros - FENAZUCAR, en el Ecuador se utilizan más de 110.000 hectáreas para el cultivo de caña de azúcar, de estas, se estima que entre 80.000 y 85.000 hectáreas son designadas para la producción de azúcar y, lo demás es utilizado para la elaboración de etanol, así también como para la producción de otros derivados, como, por ejemplo, la panela. Los ingenios azucareros más importantes del país son: San Carlos (Naranjito), Coazucar (ex Ingenio La Troncal), Monterrey (Loja) y Del Norte (Imbabura), por nombrar algunos. FENAZUCAR indica que, aunque la caña de azúcar sea un cultivo de ciclo permanente que suele presentar crecimiento anualmente, se han registrado bajas en las ventas de este sector agrícola ecuatoriano, esto se debe en primer lugar a los elevados costos de producción, en los que se incluyen cifras como salarios y agroquímicos utilizados en el proceso siembra, otra razón es el contrabando de azúcar proveniente del vecino país, Colombia, en el año 2017 de acuerdo con la Unión Nacional de Cañicultores del Ecuador - UNCE. 70.000

toneladas habrían sido ingresadas al Ecuador desde éste país. Una razón adicional y muy importante es la caída del precio internacional del azúcar, este fue de más del 50%, evidentemente esto afectó de manera negativa a la industria azucarera del país. Esta baja de precio obedece a la sobreproducción a nivel mundial y al altísimo valor de la tonelada de caña de los ingenios azucareros. En el Ecuador la industria azucarera genera un estimado de 30.000 puestos de trabajo directos y 80.000 empleos indirectos, especialmente durante la temporada seca de la cosecha que va desde el mes de julio hasta el mes de diciembre, esto de acuerdo al BCE y el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCAE. A nivel mundial la industria azucarera favorece a la fuerza laboral con más de 300 millones de empleos (Mayorga, 2020).

En el año 2018 la provincia del Guayas concentró la mayor producción de caña de azúcar con el 87,1 % de la superficie total plantada en el país, que fue 101.898 hectáreas, siendo así la provincia líder en la producción de caña de azúcar (ESPAC, 2019).

En las siguientes tablas se observan las cifras de la superficie plantada y cosechada en hectáreas, así como también la producción y ventas en toneladas métricas, la producción de caña de azúcar en las principales provincias que la cultivan y la participación nacional en esta plantación.

Tabla 3.7. Cifras de producción de caña de azúcar en Ecuador

Producción nacional				
Año	Superficie (ha)		Producción (Tm.)	Ventas (Tm.)
	Plantada	Cosechada		
<b>2016</b>	109.541	104.661	8.661.609	8.651.263
<b>2017</b>	116.483	110.603	9.030.074	8.506.382
<b>2018</b>	101.898	98.856	7.502.251	6.186.779

Fuente: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua.

Elaborada por: ESPAC 2018

Tabla 3.8. Producción de caña de azúcar.

Producción de caña de azúcar (miles de toneladas métricas)			
Año	Provincia del Guayas	Provincia de Cañar	Provincia de Imbabura
<b>2016</b>	6.961	477	256
<b>2017</b>	7.490	463	329
<b>2018</b>	6.536	397	313

Fuente: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua.

Tabla 3.9. Participación en la superficie total plantada

Participación en la superficie total plantada en cada provincia					
Guayas	Cañar	Imbabura	Loja	Los Ríos	Otras provincias
<b>88,2%</b>	6,0%	2,5%	2,1%	1,1%	0,2%

Fuente: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua.

De acuerdo a los datos del Banco Central del Ecuador (BCE), durante el 2019 el país exportó \$29,0 millones de dólares FOB de azúcar, esta cifra representa el 0,13% del total de exportaciones, lo que es igual a 60.363 toneladas métricas. Entre el año 2010

y el año 2019 se registró una tasa de variación anual del 8,8% en la exportación de caña de azúcar. Los datos estadísticos del BCE reflejan \$5.312,1 millones de dólares FOB que corresponden a las exportaciones no tradicionales del año 2019, de esta cifra, la producción de azúcar aportó un 0,55%; adicionalmente, se contabilizaron exportaciones por \$3.377,9 millones de dólares FOB correspondientes a productos industrializados no tradicionales, en este caso la industria azucarera colaboró con el 0,86% (Vayas, 2020).

En la siguiente tabla se detalla la participación por provincia en la producción de azúcar durante 2018.

Tabla 3.10 Participación provincial en el VAB elaboración de azúcar. Ecuador 2018

Participación provincial en el VAB elaboración de azúcar. Ecuador 2018							
Guayas	Cañar	Imbabura	Loja	Los Ríos	Pichincha	Tungurahua	El Oro
<b>62,8%</b>	23,6%	6,2%	4,9%	1,4%	1,1%	0,0%	0,0%

Fuente: Banco Central del Ecuador.

### 3.2 Bagazo de caña de azúcar

El bagazo de caña de azúcar es actualmente considerado como una importante materia prima que es utilizada para la manufactura de diversos productos, despertando un mayor interés en utilizarlo para nuevos estudios, esto también se debe a la creciente preocupación mundial por el uso de materias primas orgánicas y que generen un impacto positivo en el medio ambiente aprovechando al máximo posible los productos y recursos disponibles.

El bagazo es el un residuo agroindustrial restante del proceso de la fabricación de azúcar sacada de la caña de azúcar, es lo que queda de los tallos de la caña después de haber sacado el jugo dulce que esta contiene; el bagazo de caña de azúcar tiene un alto potencial para ser utilizado como materia prima para la producción de celulosa nanofibrilada (CNF) la cual es idónea para una gran cantidad de usos. Hasta la actualidad, tradicionalmente ha sido utilizado, especialmente en los países que tienen una buena producción de caña, como materia prima en la generación de energía en las calderas pertenecientes a centrales azucareras e ingenios. Adicionalmente su uso como base para la producción de papel empezó ya hace más de 150 años, cuando se comenzó a utilizar para fabricación de paneles aglomerados de fibras y de partículas y celulosa para derivados farmacéuticos y aditivos de alimentos (Rutiaga et al, 2002 y Jiménez, 1997) (Aguilar Rivera, 2011).

### **3.2.1 Proceso**

El proceso de obtención del bagazo de caña de azúcar es bastante sencillo. En términos generales es un material lignocelulósico formado principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. El bagazo de caña se consigue a partir de la extracción del jugo de la caña de azúcar en los centros de producción o ingenios azucareros, básicamente se trata de un subproducto o un remanente y constituye entre el 25 y el 40 % del total del material procesado, el porcentaje que se obtiene depende del contenido de fibra de la caña y la eficiencia en la extracción del jugo (MPC, 2001).” Tradicionalmente en los centrales azucareros este desecho se quema para la producción modesta de cierta cantidad de energía y como una forma de limitar la disposición final de este desecho (SICA, 2006)” (Pernalete, 2008).

El bagazo de caña de azúcar es un material leñoso. Consiste en un residuo fibroso obtenido del prensado y extracción de los jugos de la caña. Formado mayoritariamente de agua, fibra celulosa y pequeñas cantidades de sólidos solubles. Su composición variará dependiendo del tipo de caña, su madurez, método de cosecha y la eficiencia del ingenio (Chen, Ferrer, & Medina, 1991).

Una vez que se obtiene el bagazo de caña, este es mezclado con diferentes materiales para la producción de una gran variedad de productos, entre ellos el motivo de este estudio, mezclas con cemento portland para pavimento rígido.

### **3.2.2 Usos**

Tomando en cuenta que el bagazo de caña de azúcar es fácil de obtener, se lo considera como uno de los desechos agrícolas más versátiles y apto para diversas aplicaciones mediante su reutilización. Gracias al constante desarrollo tecnológico actual y la conciencia colectiva de pensar en varias maneras de aprovechar los recursos de forma eficiente de forma que satisfaga múltiples necesidades, es que se ha conseguido diversificar sus aplicaciones.

Los usos más frecuentes son los siguientes:

1. Papel: La industria papelera utiliza la fibra o pulpa de bagazo para fabricar diversos productos como envolturas, pañuelos faciales, toallas, papel corrugado, papel higiénico, y cartón, entre otros.
2. Tablas de fibras prensadas: Estas se obtienen mediante el método de “afieltrado” en el que se utiliza gran presión para entrelazar las fibras y de esa manera obtener tablonés sólidos.

3. Tableros aglomerados: Estos se producen mediante una mezcla de varios materiales como fibras celulósicas, pegamentos, aglutinantes y adicionalmente se aplica presión con el fin de lograr algún material que se pueda utilizar en la construcción.
4. Alfa-Celulosa: aquí se utilizan las partículas finas del bagazo con el fin de producir rayón y altos explosivos.
5. Camas para ganado: El bagazo de caña es utilizado como reemplazo de la paja, a modo de relleno en camas para el ganado vacuno y otros animales.
6. Plásticos: La lignina que se encuentra en el bagazo de caña, se utiliza para la producción de artículos de plásticos.
7. Xilitol de bagazo: Más popular con el nombre de “azúcar de madera,” es un endulzante para diabéticos.
8. Bagazo Hidrolizado: Este se utiliza a modo de alimento para el ganado (Hugot, 1960).

### **3.3 Obtención de muestras para el estudio**

Para el presente estudio se debe tomar una serie de muestras, las cuales serán utilizadas para realización de las pruebas de las mezclas con cemento portland para pavimento rígido. Estas pruebas se hacen mediante muestras fabricadas a partir de materiales mezclados en diferentes porcentajes, los mismos que se deben someter a un proceso de secado. Una vez analizadas las muestras, se podrá determinar cuáles son los porcentajes adecuados para conseguir es la mezcla adecuada que cumpla con la norma. Para el desarrollo de nuestra investigación, se visitó varios lugares de la ciudad de Quito, tomando en cuenta el proceso de desecho del producto, es así que, tomamos bagazo de caña de azúcar del sector de Llano Chico, DM Quito, de la

Provincia de Pichincha, que en su mayoría el producto es de origen, de la ciudad del Puyo, Provincia del Pastaza. Cuando se extrae el jugo de caña este mantiene un porcentaje de contenido de azúcar en un 22% de azúcar total, que debe ser tratado antes de proceder a la preparación de la muestra, para lo cual, hemos introducido en agua por 24 horas el bagazo de caña de azúcar, así nos permite reducir el contenido de azúcares y se procede al secado y trituración de la misma.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Procedimientos

#### 4.1.1 Muestra

Se realizó en el ensayo de resistencia a la compresión a veintiuna probetas cilíndricas, y el ensayo de resistencia a la flexión a doce viguetas; mismas que fueron ensayadas a edades establecidas (7, 14,28) a compresión y a flexión en los mismos porcentajes. Los ensayos se llevaron a cabo a los 7 y 28 días.

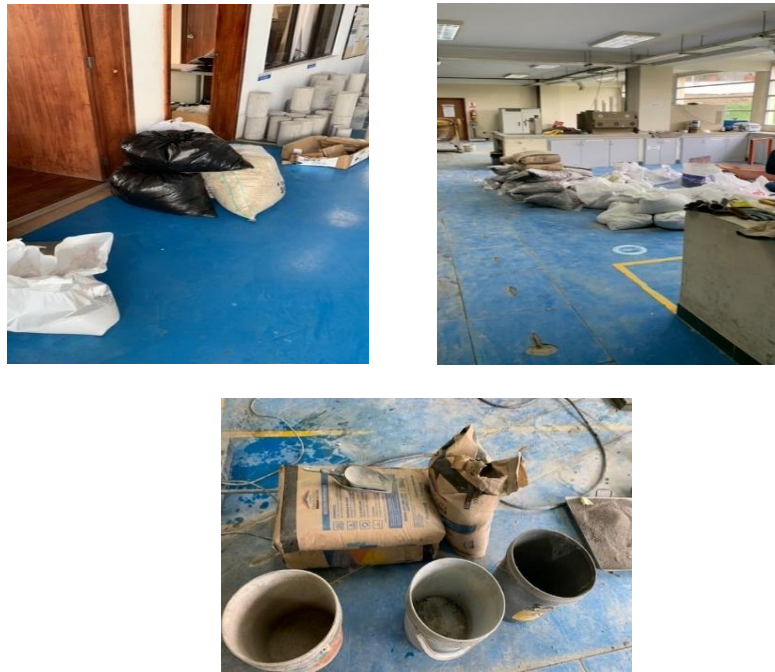
Para la preparación de la fibra que se incorporó a los ensayos de hormigón, fue la siguiente: El bagazo de caña de azúcar después haber sido molido, fue picado en una máquina artesanal para pilar arroz. El bagazo fue pasado dos veces por la máquina. La máquina artesanal para picar arroz, está compuesta por un motor de 1 hp y una cuchilla de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, Esto permite obtener una especie de pajilla de caña de azúcar, que redujo el espacio que ocupó en la muestra de hormigón, al momento de elaborarla.

Fotos 4.1 y 4.2



La mezcla obtenida fue llevada al laboratorio, junto con material de la planta de agregados Holcim Pifo y cemento portland tipo IP, de la marca Chimborazo.

Fotos 4.3, 4.4, 4.5



Indicaciones de procedimientos y cantidad de muestras a tomar, con el tutor ING Gustavo Yáñez.

Foto 4.6



Pesaje de agregados y secado, para verificar la cantidad de humedad contenida en las muestras obtenidas de la planta de agregados de Holcim.

Fotos 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11



Verificación y limpieza de la concretara, para proceder a la elaboración de concreto con la dosificación calculada para una resistencia de  $300 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días.

Foto 4.12



#### 4.1.2 Preparación de la muestra de bagazo de caña de azúcar en laboratorio

1. Se tomaron las muestras no saturadas (en estado natural) para el ensayo
2. Se incorporó agua en las muestras de caña de azúcar para saturarlas, con la finalidad de verificar la capacidad de absorción de la mismas, y ensayar muestras saturadas y no saturadas de hormigón para pavimentos rígidos.
3. Estas muestras de caña fueron dejadas en agua durante 96 horas, las mismas que llegaron a su límite de saturación.

Fotos 4.13, 4.14



Se llevó a cabo la dosificación en el diseño de hormigones como muestra patrón de la investigación, la cual presentó una resistencia máxima a los 28 días. El diseño se realizó en una concretara con un asentamiento verificado en el cono de Abrahams de 3 cm verificable.

Fotos 4.15, 4.16



Se tomaron 4 cilindros para la muestra patrón, que fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días, esta muestra fue sin bagazo de caña de azúcar y se llegó a la resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

Fotos 4.17, 4.18



Se realizó el ensayo de resistencia a la compresión con veintiún probetas cilíndricas, y para el ensayo de resistencia a la flexión con doce viguetas, ensayadas a edades establecidas (7, 14, 28) a compresión y a flexión en los mismos porcentajes; se ensayaron a los 7 y 28 días.

Ensayo de especímenes vigas y cilindros:

Fotos 4.19, 4.20



Ensayo de flexión en hormigón para pavimentos rígidos:

Foto 4.21



Considerando una resistencia de  $300 \text{ kg/cm}^2$  de acuerdo al diseño inicial de hormigón para pavimentos rígidos, se ensayaron a compresión (cilindros) y flexión (viguetas), para cada uno de los porcentajes establecidos (0 %, 1%, 3% y 5%) de fibra vegetal (bagazo de caña de azúcar), estos porcentajes fueron definidos de acuerdo a la matriz de cemento portland tipo I, que está en la dosificación al 0% como hormigón de referencia.

#### 4.1.3 Materiales usados en la investigación:

Arena homogenizada	Planta de agregados HOLCIM Pifo-
Papallacta	
Ripio de $\frac{3}{4}$ ”	Planta de agregados HOLCIM Pifo-
Papallacta	
Cemento portland tipo I	Cemento Chimborazo
Agua	Laboratorio
Fibra de caña (bagazo)	Molino de caña de azúcar “llano chico”
Laboratorio	PUCE

#### 4.1.4 Procedimiento:

Se realizaron ensayos preliminares de los agregados para que se pudiera alcanzar la resistencia del hormigón esperada, esto permitió verificar sus propiedades mecánicas de los materiales que se encuentren dentro de las especificaciones en las normas ASTM, para tener como resultado un hormigón de  $300 \text{ kg/cm}^2$  como base del diseño para la presente investigación.

##### Ensayos de materiales:

Granulometría de agregados finos y gruesos

Densidad saturada de los agregados

Peso volumétrico suelto de los agregados

##### Absorción:

Módulo de finura del agregado fino

Luego de definir que las muestras obtenidas están dentro de los parámetros para obtener la resistencia deseada, se procedió a dosificar el hormigón para tomar 4 muestras en cilindros para el ensayo a compresión con el 0 % de contenido de fibra

vegetal, con esto proporcionó la dosificación del hormigón que alcanzó una resistencia a los 28 días de  $300 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 4.1 Caracterización del material


 <b>"UTILIZACIÓN DE FIBRA VEGETAL DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO ALTERNATIVA PARA MEZCLAS CON CEMENTO PORTLAND PARA PAVIMENTOS RIGIDOS"</b> Tesis: Bonilla A., Herrera G.		
<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES</b>		
	<b>Arido grueso</b>	<b>Arido fino</b>
Gravedad específica seca	2.3	2.5
Gravedad específica sss	2.4	2.6
Gravedad específica aparente	2.6	2.7
% absorción	5.6	3.1
P.U.S. (kg/ m <sup>3</sup> )	1260	1501
P.U.C. (kg/ m <sup>3</sup> )	1339	1767
Módulo de finura	-	3.3
Tamaño máximo	1 pulg	-
Tamaño máximo nominal	3/ 4 pulg	-
Abrasión %	32	-
Cemento	Cemento Chimborazo	

Figura 4.1 Características físicas del cemento Chimborazo

<b>REQUISITOS FÍSICOS</b>	<b>CEMENTO CHIMBORAZO SUPERIOR PORTLAND PUZOLANICO TIPO IP</b>
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.92
Expansion en autoclave ( % )	0,0013
Fraguado Vicat Inicial (minuto)	150
Fraguado Vicat Final (minuto)	240

Tabla 4 2 De acuerdo al ACI se presenta las resistencias en función de la relación agua-cemento

<b>RELACIÓN A/C</b>	<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/m<sup>2</sup>)</b>
0.65	190
0.60	210
0.53	270
0.40	350

Como variable importante de esta investigación se incorporó fibra vegetal (bagazo de caña de azúcar), misma que, a los distintos porcentajes de fibra incorporados en la matriz de hormigón, con un porcentaje en relación a la dosificación de cemento portland tipo I, servirán para establecer conclusiones acerca de la incidencia de la fibra en hormigones para pavimentos rígidos.

Los porcentajes de fibra vegetal de bagazo de caña de azúcar en estado natural son:

1%, 3% y 5% de la dosificación de cemento en kg.

200 gr de fibra vegetal se dejó colocado en agua durante 96 horas para medir el nivel de la capacidad de absorción, para lo que se pesó tanto la fibra sin agua como una vez saturada y se calculó la cantidad de absorción que tuvo.

La cantidad de fibra a incorporar, vade acuerdo al contenido de cemento que tiene en el presente diseño de hormigón, se fue incorporando fibra saturada y no saturada en cada una de las muestras. En el número de muestras detalladas a continuación:

**Compresión:**

3 cilindros al 0%. 7, 14,28

6 cilindros saturadas 1 % 7 días, 14, 28

6 cilindros saturadas 3 % 7 días, 14, 28

6 cilindros saturadas 5 % 7 días, 14, 28

**Flexión:**

3 viguetas de 15\*15\*40 al 0 % 7 y 28 días

3 viguetas de 15\*15\*40 al 1 % 7 y 28 días

3 viguetas de 15\*15\*40 al 3 % 7 y 28 días

3 viguetas de 15\*15\*40 al 5 % 7 y 28 días

## 4.2 Resultados

Conforme a la normativa, de este ensayo se desprende que solamente la mezcla con el 1% de bagazo de caña de azúcar con cemento portland es apta para pavimento rígido.

Tabla 4 3 Diseño por compresión con 0% de Fibra de Bagazo de Caña

Identificación		0% Fibra					
		7 días	7 días	14 días	14 días	28 días	28 días
Resistencia de diseño esperada (kg/cm <sup>2</sup> )		300	300	300	300	300	300
Dureza del Neopreno		50	50	50	50	50	50
Fecha de Fabricación (dd/mm/aa)		27/1/2022	27/1/2022	27/1/2022	27/1/2022	27/1/2022	27/1/2022
Fecha de Ensayo (dd/mm/aa)		3/2/2022	3/2/2022	10/2/2022	10/2/2022	24/2/2022	24/2/2022
Desviación de la Superficie de Carga (mm.)		0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Desviación al Eje Transversal de la probeta (mm./100mm.)		0	0	0	0	0	0
Desviación al Eje Longitudinal de la probeta (mm./100mm.)		0	0	0	0	0	0
Diámetro 1 (mm.)		150,17	152,66	150,66	150,77	153,65	150,97
Diámetro 2 (mm.)		151,93	151,46	151,22	150,24	152,12	152,11
Altura 1 (mm.)		301	302	300	301	301	300
Altura 2 (mm.)		302	302	301	302	300	300
Altura 3 (mm.)		301	301	301	301	301	300
Masa (kg.)		12,02	12,55	12,22	12,50	12,62	12,63
Hora de Ensayo (hh:mm)		10:09	10:12	10:11	10:21	10:00	10:10
Carga Máxima (KN.)		363,7	395,2	456,5	450,9	552,9	550,2
Tipo de Falla		5	4	5	5	5	5
Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )		206,96	221,91	260,14	258,44	307,11	311,06

Tabla 4 4 Diseño por compresión con 1% de Fibra de Bagazo de Caña

Identificación		1% Fibra					
		7 días	7 días	14 días	14 días	28 días	28 días
Resistencia de diseño esperada (kg/cm <sup>2</sup> )		-	-	-	-	-	-
Dureza del Neopreno		50	50	50	50	50	50
Fecha de Fabricación (dd/mm/aa)		3/2/2022	3/2/2022	3/2/2022	3/2/2022	3/2/2022	3/2/2022
Fecha de Ensayo (dd/mm/aa)		10/2/2022	10/2/2022	17/2/2022	17/2/2022	3/3/2022	3/3/2022
Desviación de la Superficie de Carga (mm.)		0,55	0,55	0,55	0,55	0,25	0,25
Desviación al Eje Transversal de la probeta (mm./100mm.)		0	0	0	0	0	0
Desviación al Eje Longitudinal de la probeta (mm./100mm.)		0	0	0	0	0	0
Diámetro 1 (mm.)		153,88	150,87	150,44	152,72	153,02	151,79
Diámetro 2 (mm.)		154,93	150,84	149,56	153,14	153,39	151,74
Altura 1 (mm.)		301,00	301,00	300,00	303,00	307,00	303,00
Altura 2 (mm.)		301,00	301,00	299,00	305,00	307,00	303,00
Altura 3 (mm.)		300,00	302,00	300,00	304,00	305,00	302,00
Masa (kg.)		12,84	12,26	12,12	12,54	12,70	12,28
Hora de Ensayo (hh:mm)		10:30	10:40	13:17	13:27	09:00	09:10
Carga Máxima (KN.)		494,28	452,20	510,00	510,00	666,00	678,00
Tipo de Falla		5	5	5	5	5	5
Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )		269,17	257,98	294,29	283,12	368,39	382,18

Tabla 4 5 Diseño por compresión con 3% de Fibra de Bagazo de Caña

Identificación		3% Fibra					
		7 días	7 días	14 días	14 días	28 días	28 días
Resistencia de diseño esperada (kg/cm <sup>2</sup> )		-	-	-	-	-	-
Dureza del Neopreno		50	50	50	50	50	50
Fecha de Fabricación (dd/mm/aa)		4/2/2022	4/2/2022	4/2/2022	4/2/2022	4/2/2022	4/2/2022
Fecha de Ensayo (dd/mm/aa)		11/2/2022	11/2/2022	18/2/2022	18/2/2022	4/3/2022	4/3/2022
Desviación de la Superficie de Carga (mm.)		0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Desviación al Eje Transversal de la probeta (mm./100mm.)		0	0	0	0	0	0
Desviación al Eje Longitudinal de la probeta (mm./100mm.)		0	0	0	0	0	0
Diámetro 1 (mm.)		150,62	150,76	150,55	152,65	149,98	151,00
Diámetro 2 (mm.)		149,51	149,99	151,02	151,99	152,20	150,06
Altura 1 (mm.)		305,00	306,00	298,00	300,00	298,00	308,00
Altura 2 (mm.)		305,00	307,00	298,00	302,00	300,00	306,00
Altura 3 (mm.)		305,00	306,00	296,00	303,00	302,00	306,00
Masa (kg.)		12,40	12,12	12,22	12,03	11,57	12,35
Hora de Ensayo (hh:mm)		12:57	13:07	13:10	13:20	09:40	09:50
Carga Máxima (KN.)		331,90	351,00	390,30	411,60	465,70	477,60
Tipo de Falla		5	5	5	5	2	2
Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )		191,35	201,53	222,88	230,33	264,86	273,65

Tabla 4 6 Diseño por compresión con 5% de Fibra de Bagazo de Caña

Identificación		5% Fibra					
		7 días	7 días	14 días	14 días	28 días	28 días
Resistencia de diseño esperada (kg/cm <sup>2</sup> )		-	-	-	-	-	-
Dureza del Neopreno		50	50	50	50	50	50
Fecha de Fabricación (dd/mm/aa)		3/2/2022	3/2/2022	3/2/2022	3/2/2022	3/2/2022	3/2/2022
Fecha de Ensayo (dd/mm/aa)		10/2/2022	10/2/2022	17/2/2022	17/2/2022	3/3/2022	3/3/2022
Desviación de la Superficie de Carga (mm.)		0,55	0,55	0,55	0,55	0,30	0,30
Desviación al Eje Transversal de la probeta (mm./100mm.)		0	0	0	0	0	0
Desviación al Eje Longitudinal de la probeta (mm./100mm.)		0	0	0	0	0	0
Diámetro 1 (mm.)		152,02	153,08	150,46	148,80	151,30	154,18
Diámetro 2 (mm.)		151,75	153,80	149,75	148,56	151,57	156,60
Altura 1 (mm.)		299,00	303,00	306,00	300,00	295,00	307,00
Altura 2 (mm.)		300,00	303,00	307,00	300,00	296,00	306,00
Altura 3 (mm.)		300,00	306,00	306,00	300,00	295,00	307,00
Masa (kg.)		11,35	12,32	11,52	11,61	110,06	12,38
Hora de Ensayo (hh:mm)		10:50	11:00	13:37	13:47	09:20	09:30
Carga Máxima (KN.)		243,90	264,46	316,50	305,48	440,98	471,03
Tipo de Falla		2	5	5	5	2	5
Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )		137,27	145,84	182,38	179,42	249,66	253,27

Tabla 4 7 Resumen de datos obtenidos por diseño por compresión de Fibra de Bagazo de Caña

Identificación		0% Fibra		1% Fibra		3% Fibra		5% Fibra	
		28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días
Resistencia de diseño esperada (kg/cm2)		300	300	-	-	-	-	-	-
Dureza del Neopreno		50	50	50	50	50	50	50	50
Fecha de Fabricación (dd/mm/aa)		27/1/2022	27/1/2022	3/2/2022	3/2/2022	4/2/2022	4/2/2022	3/2/2022	3/2/2022
Fecha de Ensayo (dd/mm/aa)		24/2/2022	24/2/2022	3/3/2022	3/3/2022	4/3/2022	4/3/2022	3/3/2022	3/3/2022
Desviación de la Superficie de Carga (mm.)		0,55	0,55	0,25	0,25	0,55	0,55	0,3	0,3
Desviación al Eje Transversal de la probeta (mm./100mm.)		0	0	0	0	0	0	0	0
Desviación al Eje Longitudinal de la probeta (mm./100mm.)		0	0	0	0	0	0	0	0
Diámetro 1 (mm.)		153,65	150,97	153,02	151,79	149,98	151	151,3	154,18
Diámetro 2 (mm.)		152,12	152,11	153,39	151,74	152,2	150,06	151,57	156,6
Altura 1 (mm.)		301	300	307	303	298	308	295	307
Altura 2 (mm.)		300	300	307	303	300	306	296	306
Altura 3 (mm.)		301	300	305	302	302	306	295	307
Masa (kg.)		12,62	12,63	12,7	12,28	11,57	12,35	110,06	12,38
Hora de Ensayo (hh:mm)		10:00	10:10	09:00	09:10	09:40	09:50	09:20	09:30
Carga Máxima (KN.)		552,9	550,2	666	678	465,7	477,6	440,98	471,03
Tipo de Falla		5	5	5	5	2	2	2	5
Resistencia de diseño (kg/cm2)		307,11	311,06	368,39	382,18	264,86	273,65	249,66	253,27

Tabla 4 8 Resumen de datos obtenidos por diseño por flexión de Fibra de Bagazo de Caña

Identificación		0% Fibra		1% Fibra		3% Fibra		5% Fibra	
		28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días
Fecha de Fabricación (dd/mm/aa)		27/1/2022	27/1/2022	27/1/2022	27/1/2022	27/1/2022	27/1/2022	27/1/2022	27/1/2022
Fecha de Ensayo (dd/mm/aa)		24/2/2022	24/2/2022	24/2/2022	24/2/2022	24/2/2022	24/2/2022	24/2/2022	24/2/2022
Longitud (mm.)		540,00	540,00	536,00	536,00	560,00	535,00	560,00	554,00
Ancho (mm.)		152,97	152,47	152,87	152,10	152,96	158,90	154,99	154,70
Altura (mm.)		156,33	154,41	157,13	155,84	159,17	158,95	157,67	152,93
Longitud de apoyo (mm.)		450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00
Masa (kg.)		28,29	28,12	27,39	27,02	29,17	27,66	28,22	26,62
Carga Máxima (KN.)		43,914	47,501	35,62	33,94	34,56	35,42	25,13	21,06
Resistencia de diseño (kg/cm2)		55,10	60,74	44,53	43,21	42,60	40,51	30,45	26,42

De acuerdo con la investigación realizada por Anza & Otiniano (2018), mientras más fibra de bagazo de caña se añadía a la mezcla, menor era la resistencia a la compresión. Siendo la mezcla del 1.5% la que en promedio ofrecía mejores resultados con respecto a la norma (Anza Ramirez, 2018). El valor obtenido por el estudio mencionado se acerca mucho al resultado de la presente investigación en la que con una mezcla del 1% de bagazo de caña de azúcar, se alcanza una resistencia que cumple con la norma.

Por otro lado, en otra investigación realizada por Jairo Alexander Osorio Saraz (2007) se concluye que porcentajes de mezcla de bagazo caña de azúcar de entre 0,5 % y 2,5 % están dentro de parámetros aceptables, a pesar de que la mezcla al 2,5 % se acerca al límite más bajo de aceptabilidad (SARAZ, 2007); estos datos también coinciden con lo hallado en la presente experimentación

Finalmente, Jorge Masaco (2018) encontró en su estudio que las mezclas de cemento portland con porcentajes de fibra vegetal de cabuya en porcentajes de entre 0,5 y 1,25 % es también viable para su uso en pavimentos rígidos (Pinta, 2018); resultado que también da una aproximación razonable a los resultados obtenidos en la experimentación realizada con fibra de bagazo de caña.

Por lo expuesto, se considera que los resultados del estudio realizado son consistentes con experiencias previas, lo que verifica su validez.

## 5. CONCUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

De acuerdo con los objetivos de estudio planteados al inicio de este documento, se establecen las siguientes conclusiones:

Se realizó en el ensayo de resistencia a la compresión a veintiuna probetas cilíndricas, y el ensayo de resistencia a la flexión a doce viguetas; mismas que fueron ensayadas a edades establecidas. Los ensayos se llevaron a cabo a los 7 y 28 días. Se realizaron ensayos con una participación de 0, 1, 3 y 5 % de fibra de bagazo de caña. Para la preparación de la fibra que se incorporó a los ensayos, el bagazo de caña de azúcar fue molido y picado en máquina artesanal para pilar arroz. La mezcla obtenida fue llevada al laboratorio, junto con material de la planta de agregados Holcim Pifo y cemento portland tipo IP.

La mezcla con 0 % de utilización de fibra de bagazo de caña presentó, a los 28 días, una carga máxima de 552,9 KN; la de 1%, 678 KN; la de 3 %, 477,6 KN; y la de 5 %, 471,03 KN. En lo que respecta a la resistencia de diseño calculada en el laboratorio, la mezcla de 0 % obtuvo un resultado de 311,06 kg/cm<sup>2</sup>; la de 1 %, 382,18 kg/cm<sup>2</sup>; la de 3 %, 273,65 kg/cm<sup>2</sup>; y la de 5 %, 253,27 kg/cm<sup>2</sup>. Con estos resultados, se verifica que solamente la mezcla con un uso de 1 % de fibra de caña por peso en la mezcla de cemento cumple con la normativa internacional para su uso en pavimento rígido.

Como conclusión general del estudio, se determina que es factible el uso de fibra vegetal de bagazo de caña de azúcar como alternativa para mezclas con cemento portland para pavimento rígido siempre y cuando se utilice, como máximo, un 1 % en peso de la mezcla.

## **5.2 Recomendaciones**

Es recomendable que se desarrollen más estudios para la utilización de fibra de bagazo de caña, así como otros productos de residuo de procesos industriales, en el desarrollo de mezclas de cemento y asfálticas, con el fin de contribuir al uso eficiente de los recursos.

Si bien el uso de bagazo de caña en mezclas de cemento portland en porcentajes mayores a 1 % no son viables para el uso constructivo de pavimentos rígidos, sí puede constituir una alternativa para usos menos exigentes de cemento, por ejemplo, en pisos de baja circulación, entre otros.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

AASHTO. (01 de January de 2001). *Engineering 360*. Obtenido de <https://standards.globalspec.com/std/10289663/AASHTO%20T%2097>

AASHTO. (2006). *Diseño del stone mastic asphalt (SMA)*. Washington: AASHTO.

AASHTO. (2015). *Especificaciones estándar para materiales de transporte*. Washington: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transporte.

AASHTO. (01 de January de 2017). *Engineering 360*. Obtenido de <https://standards.globalspec.com/std/10159810/aashto-t-22>

AASHTO. (01 de January de 2018). *Engineering 360*. Obtenido de <https://standards.globalspec.com/std/10289663/AASHTO%20T%2097>

AASHTO. (2020). *Organization AASHTO Structure, Strategic Plan and More*. Obtenido de AASHTO: <https://www.transportation.org/home/organization/>

Aguilar Rivera, N. (06 de 2011). *Ingeniería, investigación y tecnología*. Obtenido de [sciELO.org.mx](http://www.scielo.org.mx):  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432011000200008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432011000200008)

Andrade, A. (2005). *Mezcla asfáltica de matriz gruesa " stone mastic asphalt"*. Bogotá.

Anza Ramirez, V. &. (2018). *Diseño de mezcla de concreto utilizando fibras de bagazo de caña de azúcar, para reducir las fisuras por contracción plástica de concreto en losas, a través de ensayos de laboratorio*. Lima: Universidad Ricardo Palma.

Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte. (2 de octubre de 2014). *AASHTO y ASTM se Asocian en el Portal de Transporte*. Obtenido de [https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPSO14/enright\\_sps14.html](https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPSO14/enright_sps14.html)

Asphalt Institute. (1982). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*. Estados Unidos: Asphalt Institute.

Asphalt Institute. (1996). *ANTECEDENTES DEL DISEÑO Y ANALISIS DE MEZCLAS ASFALTICAS DE SUPERPAVE*. Estados Unidos: Asphalt Institute.

ASTM. (2001). *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM. (2001). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

- ASTM. (2003). *INGENIERIA CIVIL EN EL SALVADOR*. Obtenido de Annual Book of ASTM Standards: <http://ingenieriasalva.blogspot.com/2009/04/designacion-c-31c-31m-03a.html>
- ASTM. (2014). *Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM. (2021). *Road Standards and Paving Standards*. Obtenido de ASTM International: <https://www.astm.org/Standards/road-and-paving-standards.html>
- Barbudo, M. Á., & Yopez, S. C. (2015). *Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland*. Alicante: Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Beams, A. C. (s.f.). *Instron*. Obtenido de <https://www.instron.com/en/testing-solutions/by-standard/astm/astm-c78?region=Global%20Site&lang=en>
- Bernal, C. A. (2006). *Metodología de la investigación*. México: Pearson Educación.
- Cañada, O. A. (11 de 03 de 2021). *Países del mundo productores de caña en 2019*. Obtenido de Blog Agricultura: <https://blogagricultura.com/paises-productores-cana-2019/>

Centro de Inversiones de la FAO/CAF (2006). (31 de 07 de 2009). *Ecuador - Nota de Análisis Sectorial: Agricultura y Desarrollo*. Obtenido de fao.org:  
<http://www.fao.org/>

Centro de Inversiones de la FAO/CAF. (31 de 07 de 2009). *Ecuador - Nota de Análisis Sectorial: Agricultura y Desarrollo*. Obtenido de fao.org:  
<http://www.fao.org/>

CEPAL. (2 de enero de 2014). *Bagazo de caña de azúcar como materia prima para papel y celulosa*. Obtenido de  
<http://repositorio.cepal.org/handle/11362/21479>

Chen, J. C., Ferrer, C. A., & Medina, C. A. (1991). *Manual del azúcar de caña : para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados*. México: Editorial Limusa.

Comisión Europea para el Medio Ambiente. (1 de abril de 2011). *Utilización eficiente de los recursos*. Obtenido de  
[http://ec.europa.eu/environment/resource\\_efficiency/documents/factsheet\\_es.pdf](http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/documents/factsheet_es.pdf)

ESPAC. (30 de 04 de 2019). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua - ESPAC*. Obtenido de [ecuadorencifras.gob.ec](http://ecuadorencifras.gob.ec):  
[https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2018/Presentacion%20de%20principales%20resultados.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2018/Presentacion%20de%20principales%20resultados.pdf)

- FEMTO. (2020). *Balanza de laboratorio*. Obtenido de Femto Instruments:  
<https://femto.es/balanza-de-laboratorio>
- Figuroa-Infante, A., Fonseca-Santanilla, E., & Reyes-Lizcano, F. (2009). Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado. *Ingeniería y Universidad vol. 13, núm. 1. ISSN: 0123-2126*, 45-70.
- Forcael, E., Vargas, S., Opazo, A., & Medina, L. (2013). Rol del ingeniero civil en la sociedad chilena contemporánea. *Revista de la Construcción vol.12 no.2. ISSN 0718-915X*, 72-87.
- Frete, F. (Septiembre de 2011). *www.usaid.gov*. Obtenido de CAÑA DE AZÚCAR ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR EN CONCEPCIÓN Y CANINDEYÚ:  
[https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/1862/cana\\_de\\_azucar.pdf](https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/1862/cana_de_azucar.pdf)
- Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México D. F.: McGraw-Hill.
- Hugot, E. (1960). *Handbook of Cane Sugar Engineering*. Elsevier.

- IHS Markit. (2021). *Tienda de estándares*. Obtenido de IHS Markit:  
[https://global.ihs.com/doc\\_detail.cfm?&item\\_s\\_key=00108157&item\\_key\\_date=800131&input\\_doc\\_number=ASTM%20D4791&input\\_doc\\_title=](https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?&item_s_key=00108157&item_key_date=800131&input_doc_number=ASTM%20D4791&input_doc_title=)
- IMCYC. (2006). Problemas Causas y Soluciones. *El Concreto en la Obra*, 20-22.
- INEC, I. N. (05 de 2021). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/>:  
[https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2020/Metodologia%20ESPAC%202020.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Metodologia%20ESPAC%202020.pdf)
- INEN. (2011). *INEN 696 Granulometría: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Ecuador: INEN.
- Institute of Asphaltq. (1989). *Manual del Asfalto*. Estados Unidos: Adventure Words.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (17 de 7 de 2019). *2018: Seis cultivos con mayor producción en Ecuador*. Obtenido de [ecuadorencifras.gob.ec](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/):  
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/2018-seis-cultivos-con-mayor-produccion-en-ecuador/>
- Kraemer, C. (2009). *Ingeniería de carreteras*. Madrid: McGraw-Hill.
- L, O. M. (s.f.). *pdfcoffee*. Obtenido de ASTM C 496 - 96 Método de Ensayo Normalizado para determinar la tracción por hendimiento de las probetas:  
<https://pdfcoffee.com/astm-c496-96-4-pdf-free.html#Orlando+Manriquez+L>

Ley Orgánica de Educación Superior, Registro Oficial No. 298 (Función Ejecutiva 12 de octubre de 2010).

María, S. A., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (19 de 05 de 2020). *Diagnóstico sector agrícola Ecuador*. Obtenido de Cedia: <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/06/Diagn%C3%B3stico-sector-agr%C3%ADcola-Ecuador.pdf>

Mayorga, I. F. (23 de 10 de 2020). *Sector azucarero del Ecuador.pdf*. Obtenido de blogs.cedia.org.ec: <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/12/Sector-azucarero-del-Ecuador.pdf>

Mercado, R., Bracho, C., & Avendaño, J. (2008). *Emulsiones asfálticas*. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.

Minaya, S., & Ordoñez, A. (2006). *Diseño Moderno De Pavimentos Asfálticos*. Lima: ICG.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2015). *Boletín situacional de la caña de azúcar*. Quito: MAG.

Niño Hernández, J. R. (2010). *Tecnología del concreto Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas*. ASOCRETO.

Pernalet, Z. (04 de 2008). *Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco*. Obtenido de [ve.scielo.org](http://ve.scielo.org):

[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612008000100001](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612008000100001)

Pinta, J. I. (2018). *Mortero de cemento y refuearzo de fibra vegetal de cabuya*. Loja: UTPL.

Preciado, C., & Sierra, C. (2013). *Utilización de fibras desechas de procesos industriales como estabilizador de mezclas asfálticas*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.

Putman, B., & Amirkhanian, S. (2004). Utilization of waste fibers in stone matrix asphalt mixtures. *Resources, Conservation and Recycling*, 42(3), 265-274.

RAE, R. A. (2010). *Diccionario de la lengua española*. Barcelona: ESPASA CALPE.

Raffino, M. E. (2021). *Solución química*. <https://concepto.de/solucion-quimica/>: Concepto de.

Ramos, R. (2021). *Análisis comparativo de las propiedades físicas de aluminosilicatos en relación con el cemento puzolánico tipo IP*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.

Reyes, F. (2003). *Diseño Racional de Pavimentos*. Bogotá: Centro Javeriano.

Reyes, F., & Rondón, H. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño*. Bogotá: Ecoe Ediciones.

Sánchez, E. M. (19 de 05 de 2020). *Diagnóstico-sector-agrícola-Ecuador.pdf*.

Obtenido de blogs.cedia.org.ec: <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/06/Diagn%C3%B3stico-sector-agr%C3%ADcola-Ecuador.pdf>

SARAZ, J. A. (2007). *COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín.

SEMPLADES. (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 - 2017*. Quito: SEMPLADES.

Solís, R., & Moreno, E. (2006). Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*.

Toirac Corral, J. (2008). *EL SUELO-CEMENTO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN*. Santo Domingo, República Dominicana: Instituto Tecnológico de Santo Domingo.

Traders.Studio. (12 de 02 de 2021). *Los 5 principales países productores de azúcar*. Obtenido de Traders.Studio: <https://traders.studio/los-5-principales-paises-productores-de-azucar/>

Ulloa, A. (2011). *Guía de pruebas de laboratorio y muestreo en campo para la verificación de calidad en materiales de un pavimento asfáltico*. Costa Rica: LanammeUCR.

Ulloa, A. (Abril de 2011). *Mezclas asfálticas tibias (MAT)*. Obtenido de Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/50625112500/364/15.pdf?sequence=1>

UNICEN. (s.f.). *Probeta graduada*. Obtenido de UNICEN: [https://kitlab.exa.unicen.edu.ar/probeta\\_graduada.html](https://kitlab.exa.unicen.edu.ar/probeta_graduada.html)

Vayas, E. M. (23 de 10 de 2020). *Sector-azucarero-del-Ecuador.pdf*. Obtenido de [blogs.cedia.org.ec](https://blogs.cedia.org.ec): <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/12/Sector-azucarero-del-Ecuador.pdf>

Velázquez, M. (1986). *Manual del Asfaltq*. Bilbao: URMO.

Vidaud, E. (2013). De la historia del cemento. *CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO*, 20-23.

WISE. (2020). *Lo que debes saber de la mezcla asfáltica en frío*. Obtenido de WISE: <https://blog.wise.com.mx/lo-que-debes-saber-de-la-mezcla-asfaltica-en-frio>

Yépez, M. Á. (2015). *Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland*. Alicante: Universidad de Alicante.

YMCYC. (2008). Problemas Causas Y Soluciones. *El Concreto en la Obra*, 60-63.