

**CARACTERIZACIÓN DEL DESECHO AGROINDUSTRIAL DE LA PALMA DE
ACEITE “CUESCO” PARA EL MEJORAMIENTOS DE LAS CAPAS
GRANULARES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO**

ERIKA LORENA BECERRA BECERRA



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA – DIRECCIÓN DE POSGRADOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ
2017**

**CARACTERIZACIÓN DEL DESECHO AGROINDUSTRIAL DE LA PALMA DE
ACEITE “CUESCO” PARA EL MEJORAMIENTOS DE LAS CAPAS
GRANULARES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO**

ERIKA LORENA BECERRA BECERRA



**Proyecto de Grado para optar al título de
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS**

Director

CESAR PALOMINO

Coordinador del programa

GONZALO RÍOS

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA – DIRECCIÓN DE POSGRADOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS**

BOGOTÁ

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

DIRECTOR

JURADO

JURADO

Bogotá, 29 de Junio de 2017

Dedicado a Dios por ser mi guía a lo largo de mi carrera y fortaleza en momentos difíciles. A mis padres Emilio y Julia, por darme la oportunidad de hacer realidad este sueño compartido, por los valores que me han inculcado, por ser un ejemplo a seguir y a mi hermano Cristian por llenar mi vida de grandes momentos que hemos compartido.

AGRADECIMIENTOS

Al director de proyecto ingeniero Cesar Palomino, al coordinador del programa el ingeniero Gonzalo Ríos y a los docentes de la especialización en Pavimentos de la Universidad Militar Nueva Granada, por su apoyo y dedicación que han permitido la culminación de mis estudios con éxito.

A mis compañeros y amigos, que hicieron parte de mi formación y culminación de esta nueva etapa, aportando conocimiento y apoyo.

RESUMEN

El documento describe el procedimiento de la caracterización del desecho agroindustrial de la Palma de Aceite “Cuesco”, para su uso como posible material de mejoramiento de las capas granulares que componen la estructura de pavimento.

El análisis realizado se hizo a partir de ensayos de laboratorio y especificaciones del Instituto Nacional de vías INVÍAS, donde se evaluó que el material cumpliera con los requisitos mínimos de especificaciones técnicas para las capas de Base y Sub base granular. Los principales ensayos de laboratorio que se realizaron al material fueron para determinar su granulometría, desgaste en la máquina de los ángeles, humedad, densidad, entre otros. El objeto de la caracterización es establecer si el material puede ser utilizado como agregado grueso o fino en las capas granulares de la estructura, de tal forma que tuviera un impacto económico y ambiental positivo, debido al reducido costo del material y a las condiciones que presenta la industria palmera con el manejo de estos desechos.

ABSTRACT

This document describes the procedure of the characterization of the agro-industrial waste of the “Palma de Aceite” called “Cuesco”. The main idea is to evaluate its use as an improvement material of the granular layer of the pavement structure.

The analysis that was carried on were based on the laboratory test and the technical specifications of the “Instituto Nacional de Vías – INVÍAS”. The material

was evaluated under the specification of a granular or sub-granular layer. The principal tests for the evaluation were the granulometric curve, waste, moisture content, density, among others. The objective was to establish if the material can be used as an aggregate, coarse or fine, in the granular layers of the structure as a way to make an important economic and environmental impact, result of the relative low price of the material and the conditions of its treatment in the palm industry.

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVOS.....	2
1.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2. MARCO DE REFERENCIA	3
2.1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE	3
3. MARCO TEÓRICO	7
3.1 RESIDUOS AGROINDUSTRIALES.....	8
3.2 LA PALMA DE ACEITE.....	8
3.2.1 Componente de la palma.....	8
3.2.2 Especies	10
3.2.3 Características del Cuesco	11
3.2 CULTIVO DE PALMA DE ACEITE EN EL PAÍS	12
3.2.1 Zona Norte:.....	12
3.2.2 Zona central:.....	12
3.2.3 Zona Suroccidental:.....	12
3.2.4 Zona Oriental:.....	12
4. USOS DEL DESECHO AGRÍCOLA “CUESCO”	15
5. IMPACTO AMBIENTAL	21
5.1 Reacción ante los problemas:.....	21
5.2 Control de la contaminación:.....	21
5.3 Optimización:	21
5.4 Ecoeficiencia:.....	21
5.5 Integración de calidad ambiental:.....	21
6. GESTIÓN AMBIENTAL PARA EL SECTOR PALMERO	22
6.1 Formalización de una política ambiental del sector:.....	22
6.2 Implementación de un sistema de gestión ambiental del sector:	22
6.2.1 Acompañamiento en el establecimiento nuevos cultivos:	22
6.2.2 Palma y cambio Climático:.....	23
6.2.3 Análisis del ciclo de vida de la palma:.....	23

7. APORTES AL DESARROLLO SOSTENIBLE Y SU RELACIONAMIENTO CON EL ENTORNO	24
7.1 En lo económico:.....	24
7.2 En lo social.....	24
7.3 En lo ambiental	25
8. METODOLOGÍA	26
8.1 Recolección de datos.....	26
8.2 Fuente primaria	26
8.3 Fuente secundaria	26
9. DISEÑO METODOLÓGICO	27
9.1 Definición de hipótesis, variables e indicadores.....	27
9.2 Presentación de etapas	27
9.3 Diseño experimental	28
9.4 Proceso de recolección, organización, sistematización de la información y análisis de los datos.....	29
10. ENSAYOS DE LABORATORIO APLICADOS AL DESECHO AGRÍCOLA “CUESCO” DE LA PALMA DE ACEITE	30
10.1 INV. E-218-13 RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 ½”) POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES	30
10.1.1 Resumen del método.....	30
10.1.2 Procedimiento.....	31
10.1.3 Resultados.....	34
10.2 INV. – 213-13 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESO Y FINO.....	35
10.2.1 Importancia y Uso.....	35
10.2.2 Muestra	36
10.2.3 Procedimiento.....	36
10.2.4 Cálculos y resultados.....	38
Fuente propia.....	39
10.3 INV-E-214-13 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ 75 µm (No 200) EN LOS AGREGADOS PÉTREOS MEDIANTE LAVADO	39
10.3.1 Resumen	39

10.3.2	Importancia y uso.....	39
10.3.3.	Procedimiento	40
10.3.4	Cálculos y resultados.....	40
10.4	INV-E-216-13 CONTENIDO TOTAL DE AGUA EVAPORABLE DE LOS AGREGADOS POR SECADO	41
10.4.1	Uso	41
10.4.2	Procedimiento	41
10.4.3	Cálculos y Resultados	42
10.5	INV-E-223-13 DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.....	42
10.5.1	Método.....	42
10.5.2	Importancia y uso.....	42
10.5.3	Procedimiento.....	43
10.5.4	Cálculos y Resultados	45
10.6	INV-E-230-13 ÍNDICES DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS.....	48
10.6.1	Importancia y uso.....	48
10.6.2	Procedimiento	48
10.6.3	Cálculos y resultados.....	49
11.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
12.	CONCLUSIONES.....	61
12.	BIBLIOGRAFÍA	63

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Morichales en el piedemonte llanero. Zona Oriental Cumaral, Meta	9
Figura 2. Partes del fruto de la Palma de Aceite	10
Figura 3. Partes del Fruto de la Palma de Aceite	11
Figura 4. Mapa de distribución de las zonas palmeras en Colombia	13
Figura 5. Usos del cuesco	16
Figura 6. Índices de producción de los principales productos de la palma de aceite	17
Figura 7. Disposición final del Cuesco	20
Figura 8 Degradación del agregado durante el ensayo.	29
Figura 9. Granluometría de muestras para ensayo de degradación en la Maquina de los ángeles	32
Figura 10. Preparación de muestras para ensayo de degradación en la Maquina de los ángeles	32
Figura 11 Muestra en la Maquina de los ángeles	33
Figura 12. Muestras después de la degradación	33
Figura 13. Granulometría de la muestra después de degradación	33
Figura 14. Desprendimiento de material después de degradación.	34
Figura 15 Peso final de la muestra resultado de la degradación	34
Figura 16. Conjunto de tamices para ensayo de granulometría	37
Figura 17. Separación de las muestra según granulometría	38
Figura 18. Preparación de muestra para ensayo de lavado	40

Figura 19. Muestra en condición saturada son superficie seca	44
Figura 20. Preparación de muestra en canastilla	44
Figura 21. Comparación de Franjas granulométricas BG-38 y Cuesco	55
Figura 22. Comparación de Franjas granulométricas BG-25 y Cuesco	55
Figura 23. Comparación de Franjas granulométricas BG-27 y Cuesco	56
Figura 24. Comparación de Franjas granulométricas BG-40 y Cuesco	56
Figura 25. Comparación de Franjas granulométricas SBG-50 y Cuesco	58
Figura 26. Comparación de Franjas granulométricas SBG-38 y Cuesco	59

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Principales Componentes del cuesco, la tusa y la fibra	18
Tabla 2. Porcentaje de aprovechamiento del cuesco, la tusa y la fibra	19
Tabla 3. Esferas según la granulometría del agregado	21
Tabla 4. Granulometrías de las muestras de ensayo	21
Tabla 5. Granulometría obtenida de la muestra de Cuesco	36
Tabla 6. Masa mínima de la muestra según el tamaño máximo nominal	38
Tabla 7. Datos de entrada de ensayo	50
Tabla 8. Calculo de índice de aplanamiento	51
Tabla 9. Cálculo de índice de Alargamiento	51
Tabla 10. Requisitos mínimos de los agregados para Bases granulares	52
Tabla 11. Franjas granulométricas para bases granulares	54
Tabla 12. Requisitos mínimos de los agregados de sub base granular	57
Tabla 13. Franjas granulométricas de sub base granular	58

INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental derivada de la actividad ingenieril es una realidad. Nuevas normativas ambientales, así como líneas de investigación y del pensamiento, buscan la disminución de la contaminación y la reducción en la producción de residuos como un primer paso en mitigar el impacto generado. Varias de estas corrientes han promovido la utilización (o reutilización) de materiales poco convencionales que en su mayoría son el resultado de otros procesos productivos y se consideran productos de desecho, pero que, con un adecuado tratamiento, pueden aportar a mejorar el desempeño del producto final en propiedades como su durabilidad o resistencia.

Ejemplo de lo anterior es el desecho de las plantas procesadoras de aceite de la palma africana llamada cuesco. Este material es usado de forma frecuente para la adecuación y mantenimiento de vías internas de las plantaciones, por sus propiedades. El objeto de este trabajo es caracterizar el material llamado Cuesco para probar la viabilidad de su uso como reemplazo, parcial o total, del agregado grueso en una Base o Sub base Granular.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis de las características físicas del desecho agrícola de la palma de aceite “Cuesco” para evaluar su posible uso para el mejoramiento de capas granulares en la estructura de pavimento, mediante las especificaciones y ensayos de laboratorio de la normatividad del Instituto Nacional de vías INVÍAS, verificando que las características de las partículas del desecho cumplan los estándares mínimos de los agregados de las capas granulares.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Hacer una caracterización del desecho agrícola “Cuesco” como agregado grueso o fino de una base o sub base granular.
- ✓ Realizar ensayos de laboratorio al desecho agrícola “Cuesco” según las especificaciones INVÍAS referentes a bases y sub bases granulares.
- ✓ Evaluar la diferencia existente entre en los resultados de laboratorio y los requisitos mínimos establecidos de la norma INVÍAS.
- ✓ Concluir con respecto al uso del desecho en bases y sub bases granulares según la normatividad vigente utilizada.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

El ser humano se ha preocupado por encontrar el conocimiento para dar respuesta a tantas interrogantes que se le han presentado a lo largo del tiempo. Por ello, la academia ha representado el ambiente ideal para indagar sobre aquellos temas que permiten observar y analizar las características de nuevas técnicas o materiales que están siendo motivo de investigación.

En el área de la ingeniería se han adelantado muchas investigaciones sobre el uso de materiales o productos que se puedan reutilizar debido a sus propiedades y que pueden ser ambientalmente amigables con la naturaleza. En este caso, se hizo una breve recopilación de las investigaciones que se han desarrollado con el uso del desecho de la palma de aceite “Cuesco” en el campo de acción de la ingeniería civil. A continuación se mencionan algunas de las investigaciones:

- El grupo de investigación liderado por el Ing. Ojeda (2010), en su publicación “Fabricación de adoquines para uso en vías peatonales, usando Cuesco de Palma Africana”, encontró que con una adición de cuesco al diseño de mezcla se obtenían valores promedio aceptables de resistencia a la compresión. Para los adoquines testigo a los 28 días de 9.1 MPa, y para los adoquines con la adición del 10% de cuesco de 6.71 MPa. Estos valores dan cumpliendo la norma ICONTEC 2017 que exige una resistencia individual de cada adoquín no inferior a 3.5 MPA y en promedio no debe ser menos de 4.5 MPA.

Así mismo, se realizaron ensayos como densidad y absorción y se obtuvo que los adoquines testigo poseían una densidad de 2.12 g/cm³ vs. Una densidad para los adoquines con cuesco de 1.91 Kg/cm³. La norma exige que el porcentaje máximo de absorción deber de 7% como promedio y 8% en adoquines individuales; para esa investigación se encontró una absorción sin cuesco del 6% y con cuesco de 8.6%, donde, a partir de estos

valores, se puede notar la capacidad del adoquín con cuesco de absorber más humedad pero con menos peso en cumplimiento la norma.

- En el artículo “Estudio preliminar del Potencial Energético de Cuesco de la Palma y cáscara de coco en Colombia” publicado por Forero et al. (2012), se encontró que el uso de residuos agroindustriales en la generación de energía puede ser de gran utilidad. El comportamiento del uso de las cáscaras de coco y del cuesco de la palma para la generación de energía contribuye a la solución de problemas ambientales y energéticos, así como una fuente de empleo en zonas con gran densidad de cultivo de estas plantas.

- En la investigación de “Estabilización de suelos arcillosos mediante la dosificación de la ceniza del cuesco de la palma africana” de Leonel Cotes y Carol Murillo, mediante la utilización de la Ceniza de cuesco de palma de aceite (CCPA), se realizó la evaluación de dos tipos de suelos arcillosos en el departamento de Vichada, se adicionaron 4 porcentajes de cenizas (2.5%, 5%, 7.5% y 10%) y se compararon con suelos sin estabilizar (0% CCPA). Mediante ensayos se obtuvo que el porcentaje óptimo es de 7.5%, valor que evidenció una disminución de la plasticidad del suelo, mejoró la resistencia a la compresión inconfiada y también mejoró la velocidad de ondas sísmicas de cuerpo. Por ello, recomiendan al CCPA como alternativa de estabilizante desde el punto de vista económico y ambiental.

- David Flórez, Jimmy Barco y Sonia Rincón, en su publicación “Análisis comparativo de la carbonización de cuesco de palma de aceite en reactores de lecho fijo” hicieron un análisis del proceso de carbonización de cuesco de palma de aceite en diferentes reactores como miras a su aprovechamiento como fuente de energía renovable, a escala de laboratorio, donde encontraron que el aumento en la tasa de calentamiento de 2.5 K/min a 7.0 K/min ocasiona un 10% de disminución de carbonizado y un aumento de 1.5% y 20% de gas y productos líquidos respectivamente, y

concluyeron que al aumentar el tamaño del reactor se favorece la transferencia de masa y calor y las reacciones secundarias.

- En la investigación de Forero et al, del 2012 “Estudio preliminar del potencial energético de cuesco de palma y cascara de coco en Colombia” se mostró que el aprovechamiento de los residuos de coco y palma aceitera en la generación de energía contribuye a la solución de problemas actuales ambientales y energéticos, tales como el uso de combustibles fósiles para la producción de energía y el inadecuado manejo de residuos agrícolas. Mediante el uso de la cáscara de coco sería posible generar energía suficiente para cerca de 240.000 personas por año teniendo en cuenta un consumo de energía eléctrica equivalente a 984 kW/año, mientras que el cuesco podría favorecer aproximadamente a 1.950.000 personas por año.
- Pérez et al, analizaron la adición de diferentes concentraciones CCPA y cal. Concluyen que la mejor dosificación corresponde a 7.5% CCPA – 4% Cal evaluando la resistencia a la compresión como la tracción Indirecta. Con una temperatura de 30°C y 40°C, y una humedad relativa de 100%, se tiene una resistencia del 50% y 60% para tracción y compresión respectivamente, con un retardo de ingreso de agua, que en promedio absorbe 25% menos de agua. Por esto, los autores recomiendan esta alternativa de estabilizantes no convencionales, que pueden ser más económicos y más amigables con el ambiente.
- El estudio realizado por Reyes et al, lleva a cabo un análisis estadístico para comprobar la cantidad de residuos de la palma, cuesco y fibra, en dos industrias de la región, seguido de una caracterización fisicoquímica de dichos residuos y sus correspondientes cenizas, con discusiones importantes de las propiedades físicas y mecánicas de este material como aditivo del cemento portland. La utilización de la ceniza del cuesco y la fibra de la palma africana como material puzolánico sustituto del cemento para la

construcción de morteros de acuerdo a esta investigación, es propuesta adicionado 5% de esta, para obtener una mayor resistencia, una ligera disminución del pH y el peso específico originando un concreto alto rendimiento.

- Kupaei et al, en el artículo “Mix desing for fly ash based oil palm shell geopolymer lightweight concrete” presentan los resultados de un proyecto de investigación de la utilización de dos materiales de desecho disponibles: Ceniza con bajo contenido de calcio y ceniza del desecho de la palma de aceite “Cuesco”. Se hicieron 32 mezclas usando diferentes proporciones de ceniza con concreto y se encontró que aumenta la resistencia a los 28 días, y se debe evaluar según las necesidades de proyecto donde se vaya a aplicar.

- Los materiales puzolánicos de origen natural o artificial se han utilizado a lo largo del tiempo. En el artículo “Effect of palm oil fuel ash in controlling heat of hidration of concrete” de Awal et al, utilizaron la ceniza del cuesco de la palma de aceite, para evaluar el comportamiento en la reducción del calor de hidratación en el hormigón, sustituyendo al material en dos porcentajes 30% y 70%. Se encontró que la utilización de la ceniza de palma de aceite, es provechosa ya que aumenta la resistencia y tiene un mejor comportamiento de tiempo- temperatura de hidratación.

- Rusbintardjo G. et al, en su publicación “Fundamental and rheological propierties of oil palm fruit ash modified bitumen” concluyeron que la ceniza de la palma de aceite se puede utilizar como betún para reducir la contaminación ambiental. Para ello se hicieron 24 bitúmenes modificados (80/100) y se llevaron a una temperatura de 160°C. Se encontró una mejor resistencia a la susceptibilidad a la temperatura, reducción del agrietamiento, entre otras propiedades que confirman que la utilización del desecho mejora las propiedades de estos materiales.

3. MARCO TEÓRICO

A continuación, se muestran los conceptos que más se relacionan en el desarrollo de esta publicación, para que se pueda hacer una mejor comprensión de los resultados obtenidos.

La agroindustria del aceite de palma se desarrolla en Colombia desde hace cuatro décadas, y actualmente el país se ha posicionado como el primer productor latinoamericano y cuarto en el ámbito mundial. Su desempeño y consolidación han hecho que muchas personas la señalen en estos momentos como una de las actividades más promisorias del agro colombiano. (Palmas, 2020, p.3.)

El sector de la palma de aceite, según proyecciones realizadas coinciden en prever un crecimiento gigantesco del consumo mundial de aceites y grasas, al pasar de 110 millones de toneladas en el año 2000 a 174 millones en el año 2020, así como el mercado del aceite de palma que se incrementara de 20 a 38 millones de toneladas en este periodo (Palmas, 2020, p.3). Este crecimiento de la industria, presenta grandes posibilidades de expansión de forma competitiva teniendo varias ventajas como: condiciones climáticas, mano de obra y experiencia en el cultivo.

Esta proyección está orientada a un atender un mercado ambientalmente sostenible, que se preocupa por el medio ambiente y la influencia de las industrias sobre el mismo, así como tener un crecimiento socioeconómico que puede generar empleo, participación ciudadana, avance tecnológico, calidad de los productos, entre otros.

La fibra y el cuesco de la palma africana son materiales denominados como desecho, que son causales de contaminación ambiental debida a la falencia de alternativas que conllevan al aprovechamiento en procesamiento industrial. Por ello, se hizo una caracterización del desecho de la palma de aceite "Cuesco", para analizar sus características y propiedades y hacer recomendaciones sobre su posible uso en las capas granulares de la estructura de pavimento.

3.1 RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Morelo en su investigación aclaró que los residuos agroindustriales son materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y que ya no son de utilidad del consumo para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social. El problema al que se enfrentan los residuos agroindustriales es que no existe una clara conciencia para su manejo, además de que falta capacidad tecnológica y recursos económicos para darles un destino final, así como la legislación específica para promover la gestión de este tipo de residuos, que asegure un buen manejo desde su generación hasta su disposición final.

3.2 LA PALMA DE ACEITE

La palma de aceite es una monocotiledónea, incluida en el orden Palmales, familia Palmaceae, género *Elaeis* y especie *E. Guineensis* Jac.

Elaeis Guineensis comúnmente conocida como la palma africana es una planta nativa del Golfo de Guinea, creciendo en este sitio de manera silvestre en los claros del bosque tropical húmedo, por debajo de los 500 metros sobre el nivel del mar a lo largo de la franja costera entre los países de Senegal y Angola incluyendo la cuenca del río Congo. (Buzón 2010 p.p.4).

3.2.1 Componente de la palma

En su investigación Buzón 2010, hace una breve descripción de los componentes de la palma de aceite, como se resume a continuación:

La palma africana es una planta monocotiledónea, que requiere para su obtención un proceso que demora entre 12 y 14 meses los cuales comprenden la germinación de la semilla y el desarrollo de la planta en vivero.

La palma de aceite es una planta con hojas suaves de 3 a 7 metros de largo que salen de troncos de diferente longitud: de 20 a 30 de estas hojas forman la corona de la palma. Esta a su vez, produce flores masculinas y femeninas, las cuales nacen de la base de cada hoja, específicamente en la corona. La inflorescencia usualmente empieza de 12 a 18 meses después del trasplante, iniciando la recolección en el tercer o cuarto año de plantada en el sitio definitivo. Al principio, la producción es baja, pero aumenta paulatinamente hasta alcanzar su nivel normal alrededor del octavo año.

La vida útil o económica es de 20 a 22 años debido a que a partir de esa edad la palma posee una altura que origina dificultades para su cosecha, registrando altos costos, por ende es más fácil y económico renovar la plantación. Los racimos poseen un peso que va desde 15 a 30 Kilos, pero en algunos casos pueden llegar a cosecharse hasta 50 Kilos o más. Un racimo contiene entre 1200 y 4000 frutos, los cuales contienen una almendra redondeada de cuesco el cual a su turno, es rodeado del pericardio que contiene aceite. Cada futa pesa de 3 a 20 gramos.



Figura 1. Morichales en el piedemonte llanero. Zona Oriental Cumaral, Meta. Adaptada de guía ambiental de la Agroindustria de la Palma de Aceite en Colombia.

3.2.2 Especies

La palma tiene tres variedades de especies que son: *Dura*, *Tenera* y *Pisifera*; de ellas la variedad *Tenera* es la que más se utiliza comercialmente para la extracción del aceite y es un cruce entre las otras dos variedades. Las diferencias se observan entre los dos frutos: el tamaño de pulpa, el espesor del cuesco y el tamaño de la almendra. En la variedad *Dura*, el cuesco tiene un espesor de 2-8 mm, recubierto por un anillo de fibra alrededor y usualmente alargada. En la variedad *Tenera*, el cuesco tiene un grosor de 0.5 a 4 mm y es el tipo más apto para plantaciones comerciales.

La clasificación de la palma de aceite en variedades se basa principalmente en la forma, color y composición del fruto y en la forma de la hoja. Las partes del fruto son:

1. Estigma
2. Exocarpo
3. Mesocarpo o pulpa
4. Endocarpo o cuesco
5. Endospermo o almendra
6. Embrión

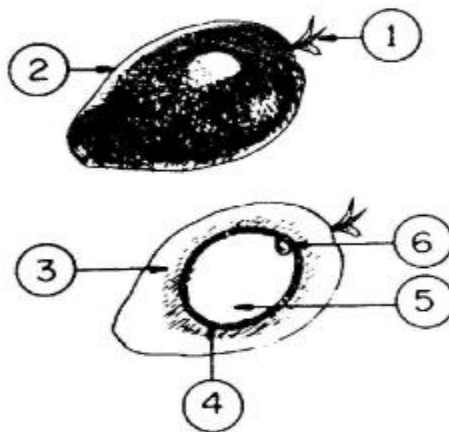


Figura 2. Partes del fruto de la Palma de Aceite. Adaptado de "La palma de Aceite". Recuperado de <http://www.angelfire.com/biz2/palmaaceitera/infotecnica.html>

3.2.3 Características del Cuesco

Gómez, Rincón y Klose (2010) describen al cuesco como un material duro que protege a la almendra y corresponde a un residuo de los procesos de extracción del aceite de palma.

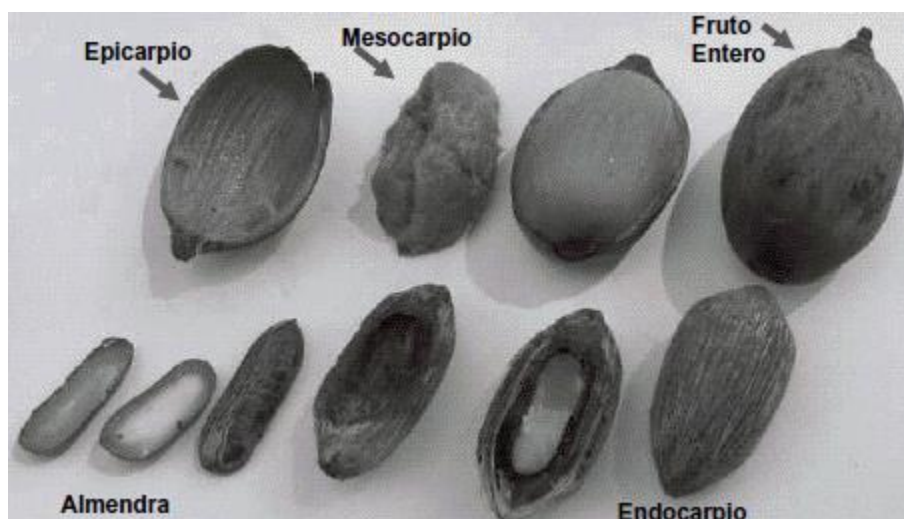


Figura 3. Partes del Fruto de la Palma de Aceite. Adaptado de “**Características del fruto de la palma yagua (*Attalea burtyracea*) y su potencial para producción de aceites**” por Cordero et al (2009) Recuperado el 07 de abril de 2017, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S131633612009000100006&lng=es&tlnq=es

Para Forero et al. (2012), el cuesco se refiere a la cáscara que recubre la almendra y a la fibras resultantes del proceso de prensado del fruto. (...) las cascaras de la almendra tienen un poder calorífico de 12.56 MJ/Kg y equivalen aproximadamente al 7% del peso del racimo, mientras que las fibras tienen un poder calorífico de 8.97 MJ/ Kg y son el 10% del peso del racimo.

El cuesco de la palma se obtiene en forma concentrada y triturada luego de la recuperación de la almendra y constituye un residuo del proceso de extracción del aceite de palma

Buzón comenta con su investigación que con el fin de encontrar soluciones para sectores sociales de bajos ingresos, investigaciones recientes en el campo de la

ingeniería civil, la arquitectura y la construcción, se ha buscado insumos no convencionales para reducir los costos de proyectos mediante la utilización de productos no convencionales, como es el caso de desecho de la palma de aceite “Cuesco”. A continuación, se hace un breve recorrido por sus diferentes usos.

3.2 CULTIVO DE PALMA DE ACEITE EN EL PAÍS

Según la Fedepalma (2011), el cultivo de la palma de aceite se ha expandido en Colombia, desde la década de 1960 y hoy existen cerca de 483.733 Hectáreas distribuidos en 121 Municipios y 20 departamentos conformados en cuatro (4) zonas palmeras, así:

3.2.1 Zona Norte: Antioquia, Atlántico, Bolívar, Cesar, Sucre, Choco, Córdoba, La Guajira y el Magdalena.

3.2.2 Zona central: Antioquia, Bolívar, Caldas, Cesar, Cundinamarca, Santander y Norte de Santander.

3.2.3 Zona Suroccidental: Chaqueta, Cauca y Nariño.

3.2.4 Zona Oriental: Arauca, Casanare, Cundinamarca, Meta y Vichada.

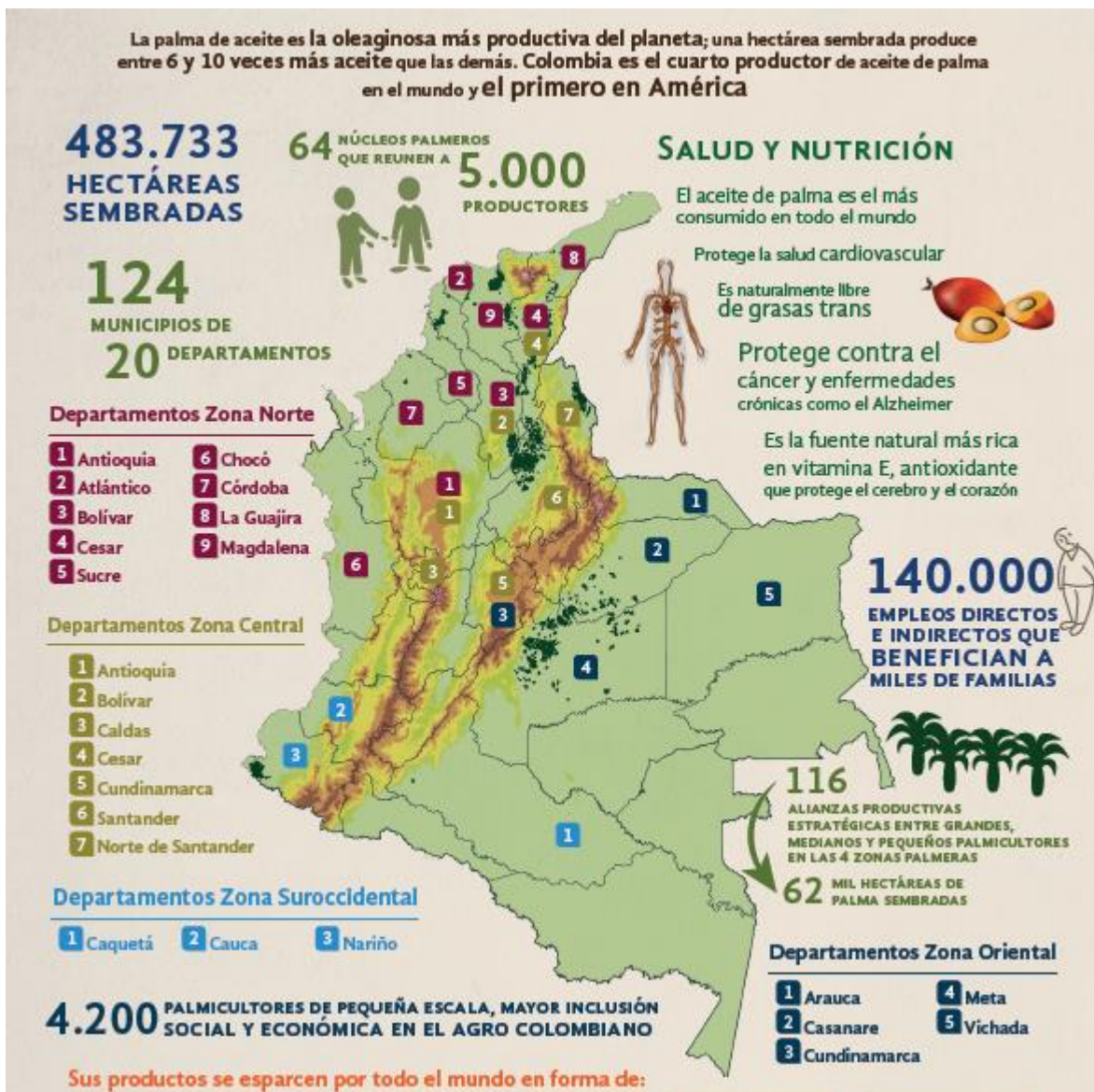


Figura 4. Mapa de distribución de las zonas palmeras en Colombia. Adaptado de SISPA Sistema de Información Estadística del Sector Palmero. Recuperado de <http://sispaweb.fedepalma.org/SitePages/Home.aspx>

Como se pudo observar en la figura anterior los diversos usos o aplicaciones que se obtienen del proceso industrial de la palma africana, se convierte en un producto con alta demanda debido a su economía.

El proceso de transformación que se realiza al fruto de la Palma de aceite africana, incluye la esterilización, desgranado, macerado extracción del aceite de la pulpa, clasificación y recuperación de las almendras del bagazo resultante. De las almendras se obtienen productos como el aceite y la torta de palmiste; al final de la transformación se producen residuos como el cuesco y el afrecho.

El cuesco siendo desecho de la obtención de los productos mencionados, posee una alta resistencia, de hecho su desprendimiento del racimo se da solo por el calentamiento en horno y su trituración por altos procesos industrializados, por lo que ha sido utilizado en la haciendas y plantas extractoras como capa fortalecedora de la sub rasante, brindando hasta el momento resultados satisfactorios. (Buzón 2010 p.p.7).

4. USOS DEL DESECHO AGRÍCOLA “CUESCO”

Hoy en día, debido a la volatilidad en los precios del petróleo, el abatimiento de las reservas mundiales del mismo, los problemas de calentamiento global, y exigencias ambientales así como el óptimo aprovechamiento de los recursos disponibles (García et al 2010), se ha incitado a que se cree innovación en la reutilización de productos que se consideraban como desecho, para contribuir al medio ambiente, así como las expectativas y el interés por ser más productivos y competitivos a lo largo de toda la cadena productiva. Este sector busca, por tanto direccionar esfuerzos hacia el aprovechamiento de la biomasa residual que se genera durante el procesamiento de fruto de palma de aceite. (García et al 2010).

El uso de residuos agroindustriales en la industria energética ha tomado fuerza en los últimos años debido a que su aplicación como biomasa ha solucionado dos problemas actuales; el tratamiento de residuos sólidos y la emisión de gases de efecto invernadero. En Colombia, existen varios residuos agroindustriales, entre ellos, la cáscara de coco (protege la pulpa blanca) y el cuesco de la palma africana (cascara del fruto) utilizados en la generación de energía gracias a su poder calorífico (Forero et al. 2012 p.19).

Este desecho se posee características mecánicas interesantes: una alta dureza, alta resistencia al desgaste y bajo peso o poca densidad. Estas características la han sabido aprovechar los cultivadores e industriales, pues en lugar de llevar este excedente a botaderos, lo arrojan sobre las vías internas de las plantaciones como material base o capa de rodadura, mejorando así la movilidad de las mismas (Buzón. (2010 p.p 67).

El cuesco se obtiene de manera concentrada lo que constituye una ventaja respecto a otro tipo de biomasa residual que se presentan de manera dispersa y que implican costos elevados para su recolección y transporte en sitios de procesamiento. La humedad con que se obtiene el cuesco en las plantas extractoras de aceite de palma depende de las condiciones del proceso de extracción y de la región geográfica. Un promedio para el porcentaje de humedad

el cuesco, bajo las condiciones colombianas se encuentra entre 5-20% en relación a su propio peso. (Gómez et al. 2010. p.p.7)

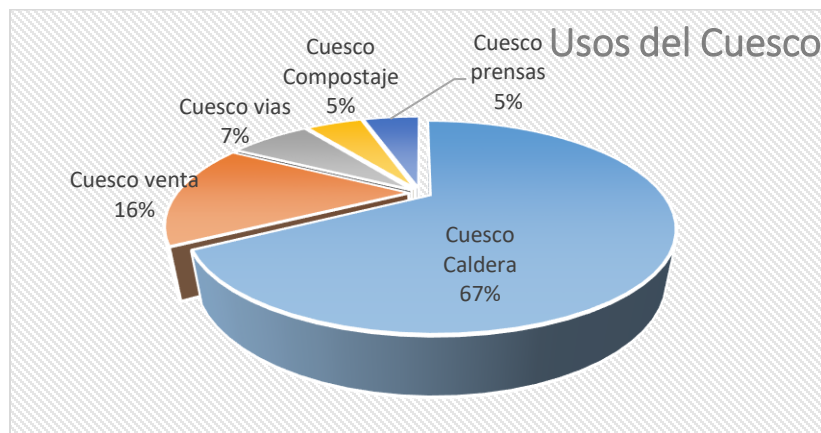


Figura 5. Usos del cuesco. Fuente

La figura anterior presenta los porcentajes y diferentes formas de aprovechamiento del cuesco, destacando que el 67% (102.508 t) del total obtenido es utilizado como combustible para calderas, y el 37% restante es dispuesto de la siguiente manera: 16% (24.480 t) se dispone para la venta a otras industrias como combustible sustituto del carbón especialmente, 5% (7.650) es enviado para la elaboración de compostaje y el 7% (10.710 t) es utilizado como acondicionador en las vías de las plantaciones. El restante 5% (7.650 t) es empleado en las plantas de beneficio que por usar prensa monotornillo requiere mezclarlo con el fruto digerido para mejorar el proceso de extracción. (García et al, 2010).

Sánchez (2014), cita la anterior grafica sobre los usos del cuesco de la industria palmera, y se observa que más del 50% se lleva a calderas debido a la acumulación del desecho, y el menor porcentaje de 7% para usarlo en las vías internas de las plantaciones. Según esto, se puede apreciar que no se está aprovechando el desecho en su totalidad, y que un gran porcentaje se está llevando a calderas aumentando la contaminación ambiental.

Es de resaltar que el cuesco es el único sub producto de los que conforman la biomasa residual de la agroindustria de la palma que en la actualidad se está

vendiendo a otras industrias, con precios que oscilan entre los \$15.000 y \$40.000 por tonelada puesta en el punto de acopio de las plantas extractoras.

El cuesco constituye un residuo importante en los cultivos de palma de aceite; su adecuado uso y disposición presenta en la actualidad problemas importantes en este sector de la agroindustria en Colombia. Este material constituye entre el 5 y 7% del peso total del racimo de fruta fresca (RFF), es de consistencia dura y en su forma natural posee estructura porosa. Para el 2015 la producción mundial de cuesco de palma fue de 14.800 Kt, en Colombia la producción fue de 260 Kt, con un potencial energético de 2677.44 T/año. (Ramos et al 2016).

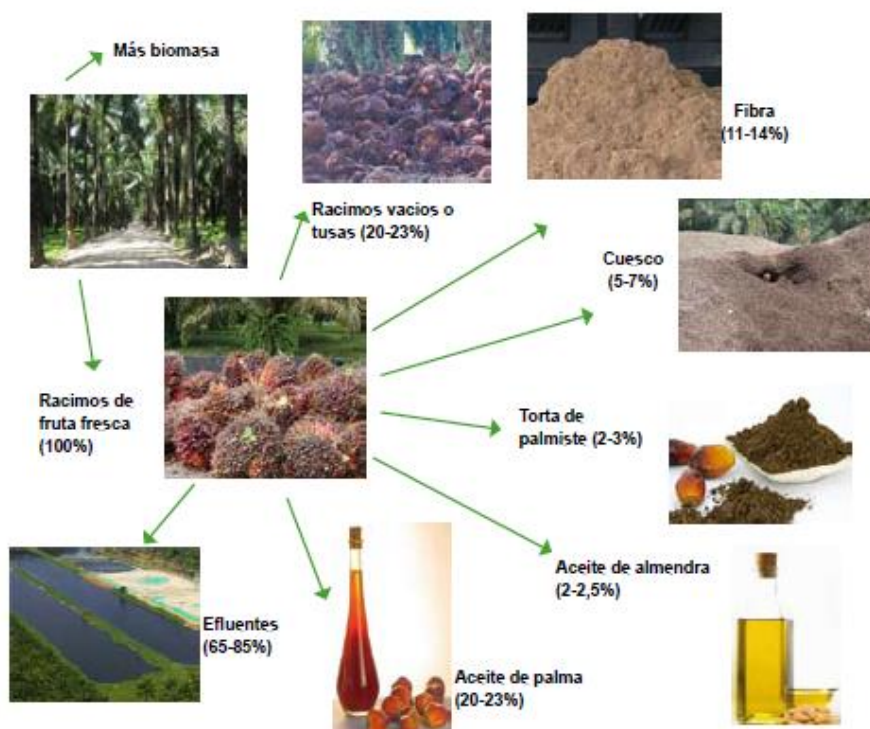


Figura 6. Índices de producción de los principales productos de la palma de aceite. Adaptado de figura 1 Índices de producción de biomasa y productos principales de la palma de aceite. El porcentaje de efluentes líquidos producidos tiene en cuenta el agua adicionada al proceso. Archivo Cenipalma, 2008. García J; Cárdenas M; Yañez E. "Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia". 2010.

Según el diagnóstico hecho por García et al (2010), realizado en 29 plantas de beneficio de fruto de palma de aceite ubicadas en la Zona Norte (departamento de Magdalena, Cesa y Bolívar), Zona central (Norte de Santander, Santander y sur del Cesar) y zona Oriental (departamentos del Caquetá, Casanare, Cundinamarca y Meta). Las plantas encuestadas, procesaron el 76.7 % del fruto de palma de aceite del total reportado por las 53 plantas de beneficio en 2008. Las plantas de beneficio visitadas estaban nueve ubicadas en la Zona central, ocho en la zona Norte y doce en la Zona Central, en la cual se solicitó información principalmente sobre:

- Fruto procesado
- Cantidades de tusa, fibra y cuesco generadas por Racimo
- Uso actual de biomasa
- Disponibilidad de biomasa para evaluar alternativas de aprovechamiento diferentes a las actuales.
- Costos de disposición

A continuación se muestra, una tabla con los componentes encontrados en el fruto de la palma de aceite consultadas

Tabla 1. Principales Componentes del cuesco, la tusa y la fibra

Componentes	Biomasa		
	Cuesco	Tusa	Fibra
Lignina (%)	49.58	10.23	21.79
Celulosa (%)	30.28	44.97	33.21
Hemicelulosa (%)	12.72	19.92	16.58
Extractivos (%)	7.13	19.32	19.34
*PCS (KJ/Jg)	21,455	8,165	19,201
* Poder calorífico superior			

Fuente. Adaptado de tabla 1. García et al (2010).

De la biomasa residual generada, aunque en la actualidad presenta diversas formas de aprovechamiento, se destaca el uso de un alto porcentaje de fibra y cuesco como combustible en la caldera, y el de la tusa la cual en su mayoría es

enviada al campo como acondicionados de suelo en las plantaciones de palma de aceite, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Porcentaje de aprovechamiento del cuesco, la tusa y la fibra

Zonas Central, Norte y Oriental		% RFF	
% Total de aprovechamiento	Tusa	Caldera	0.41
		Campo	17.36
		Compostaje	3.07
	Fibra	Cama para cerdos	0.1
		Caldera	10.5
		Campo	1.78
		Compostaje	0.75
		Vías	0.4
	Cuesco	Venta	0.86
		Compostaje	0.26
		Caldera	3.582
		Prensas	0.24

Fuente. Adaptado de tabla 1. García et al (2010).

Colombia es uno de los países con mayor cobertura forestal y desarrollo forestal-industrial de América Latina, tiene un amplio potencial para aumentar las hectáreas de plantación comerciales (Pérez et al 2015). Junto con la palma de aceite hay otros cultivos que igualmente son fuente de residuos de cosecha que se pueden llamar residuos agroindustriales o biomasa residual (Sánchez, 2014).

Debido a su gran potencial de biomasa y residuos agroindustriales que en algunos casos son desperdiciados, sin aprovechar su potencial como materia prima en procesos alternos de conversión, como en el caso de la palma africana durante la extracción de aceite que generan un 20% aceite crudo, 4% de torta de Palmiste, 25% raquis. 7% fibra, 10% de cuesco, 3% y 5% de otros efluentes. La fibra puede ser usada directamente como combustible sólido en calderas. Sin embargo tanto la fibra como el cuesco tienen potencial para producir biocombustibles gaseosos y líquidos. (Arteaga et al 2012).

Sin embargo, atendiendo concepción de Competividad y globalización, es necesario buscar usos alternativos y sostenibles de la bioenergía y los bioproductos, que generan un valor agregado. Por lo tanto se crea la necesidad de estudiar la bio-refinería forestal como alternativa energética y fuente de productos de alto valor agregado para el sector. (Pérez et al. 2015).

Como se citó en Sánchez. 2014, por falta de un sistema de almacenamiento que permita acumular el cuesco, se tiene quemar el exceso de cantidades innecesarias en las calderas o se disponen para la adecuación de vías en las plantaciones del cultivo por lo que se tiene que encontrar alternativas de aprovechamiento del material para evitar contaminación durante estas actividades.



Figura 7. Disposición final del Cuesco. Fuente Sánchez 2014

La combustión del cuesco ha presentado inconvenientes ya que la ceniza obstruye tuberías y ductos debido al alto contenido de sodio y potasio en forma de óxidos que contiene. (Ramos et al 2016). Por ello, se crea la necesidad de reutilizar estos residuos resultados de procesos agroindustriales a partir del cuesco, mediante la incorporación al suelo para hacer un mejoramiento de las propiedades de los materiales granulares o colocación directa del mismo sobre la superficie.

Para Sánchez (2014), el cuesco como una fracción de los residuos presenta una dificultad para su aprovechamiento en razón de su alto contenido de lignina que dificulta la incorporación al suelo, y su no uso como combustible por la obstrucción de tuberías. Por ello, el cuesco por presentar ciertas características físicas, se emplea para afirmar los caminos en los cultivos de palma, obteniendo buenos resultados en cuanto a su comportamiento.

5. IMPACTO AMBIENTAL

Sánchez (2014) cita a Monroy et al (1999), para evaluar el desarrollo de la Gestión ambiental, y proponen los siguientes parámetros:

5.1 Reacción ante los problemas: Enfoque reactivo ante los problemas medioambientales

5.2 Control de la contaminación: se busca cumplir la reglamentación medio ambiental mediante el control de las fuentes de contaminación.

5.3 Optimización: se aplican técnicas de optimización de procesos para mitigar el impacto ambiental de la industria y reducir los desperdicios

5.4 Ecoeficiencia: mayor visión del futuro, se reconoce que es más rentable prevenir la contaminación que combatirla. Analiza todo el sistema del producto e integra la eficiencia ambiental con la eficiencia económica.

5.5 Integración de calidad ambiental: la calidad ambiental se adopta como una de las dimensiones de la calidad total y se reconoce como una ventaja competitiva.

6. GESTIÓN AMBIENTAL PARA EL SECTOR PALMERO

La importancia de la gestión ambiental para el negocio de la palma de aceite se muestra principalmente desde dos ángulos diferentes. En primera instancia, su capacidad productiva depende principalmente, como la de todos los negocios agrícolas, de los servicios que brinda el medio ambiente. La disponibilidad del agua, el clima, la presencia de plagas y enfermedades, la capacidad de recuperación y la fertilidad de la tierra, son algunos de ellos, cuya oferta determina en gran medida la rentabilidad. (Van Hoof, 2007, p.p 116).

En segunda instancia, el cultivo de la palma de aceite es un negocio sensible en cuanto a su imagen ambiental se refiere, pues la influencia de las entidades ambientales afecta la imagen del sector y las preferencias comerciales.

Van Hoof, en su investigación explica que la gestión ambiental debe ser una parte integral del negocio, y proponen los siguientes parámetros para profundizar en la competitividad del sector:

6.1 Formalización de una política ambiental del sector: esta política busca proyectar a la palma de aceite como una alternativa sostenible gracias a su eficiencia de su balance energético, su potencial para el aprovechamiento de sub productos para enriquecer la biodiversidad.

6.2 Implementación de un sistema de gestión ambiental del sector: Genera transparencia dentro del sector y ayuda a distinguir a las empresas responsables y que incentivan el Mejoramiento continuo.

Desarrollo de programas y proyectos: es importante la implementación de programas y proyectos que beneficien la gestión ambiental. Se destacan tres temas prioritarios:

6.2.1 Acompañamiento en el establecimiento nuevos cultivos: los empresarios deben afiliarse a Fedepalma, para que se pueda promover los criterios para el establecimiento sostenible de cultivos.

6.2.2 Palma y cambio Climático: con el proyecto Sombrilla del sector palmero que consiste en incentivar la participación de las empresas para la implementación de la metodología que busca eliminar, mitigar y controlar emisiones, vertimientos y olores y la mejora de cambio climático (Mazorra, 2008, p.67).

6.2.3 Análisis del ciclo de vida de la palma: es la planeación estratégica que parte del inventario y la evaluación integral de todos los impactos ambientales generados, desde el establecimiento de los cultivos hasta la extracción en las plantas y transporte.

7. APORTES AL DESARROLLO SOSTENIBLE Y SU RELACIONAMIENTO CON EL ENTORNO

En la Guía ambiental de la Agroindustria de la palma de aceite en Colombia, analiza los principales aportes del subsector al desarrollo sostenible y su relacionamiento con el entorno se visualiza de la siguiente forma:

7.1 En lo económico:

- Desarrollo planificado teniendo en cuenta la zonificación de tierras aptas para los nuevos establecimientos de cultivos de palma de aceite.
- La aplicación del principio de transparencia en todos los procesos.
- Llevar inversión en proyectos palmeros y contribuir con el desarrollo económico de sus localidades y sus regiones.
- Ser un proveedor de materias primas sostenibles para los diferentes mercados y usos.

7.2 En lo social

- Apoyar y promover la participación de medianos y pequeños productores en el esquema de Alianzas Estratégicas para ganar en productividad y competitividad.
- Apoyar el empoderamiento de sus asociados y mejorar su clima de bienestar social.
- Generar empleo bien remunerado y establecerlo para beneficio de su núcleo familiar
- Contribuir con la disminución de la pobreza de muchas personas en Colombia.
- Dar mejores oportunidades de acceso en educación, vivienda y salud para las personas que trabajan en las empresas palmeras organizadas.
- Contribuir con la seguridad ciudadana y el desarrollo por valores en sus núcleos familiares.

7.3 En lo ambiental

- Aplicación de buenas practica productiva en todos los procesos para evitar y disminuir impactos negativos al medio ambiente y sus recursos naturales renovables.
- Promover en todo momento el uso eficiente de los diferentes recursos naturales renovables.
- Apoyar la valoración del patrimonio natural dentro de su área de influencia y conocer el alcance y la aplicación de los servicios ambientales que se derivan de su protección y manejo.
- Desarrollar proyectos de interés general que contribuyan con el uso de energías renovables y la reducción de gases de efecto invernadero

-

8. METODOLOGÍA

La investigación realizada es de tipo experimental. Se busca determinar las propiedades físicas y mecánicas del material como parte de su caracterización como desecho agroindustrial. De sus propiedades se determinan cuáles serían sus posibles usos en las capas granulares de la estructura de pavimento con el fin de hacer un buen uso y resolver la problemática de la disposición final.

8.1 Recolección de datos

La recolección de datos se hace a través de la búsqueda de información en trabajos de grados, artículos, bases de datos, entre otros. Así como la información obtenida en ensayos de laboratorio según las norma de referencia INVÍAS.

8.2 Fuente primaria

La fuente de información primaria es tomada directamente de laboratorio, según los ensayos aplicados a las muestra.

8.3 Fuente secundaria

La fuente de información secundaria se realiza por medio de la revisión bibliográfica. Es fundamental para relacionar los resultados obtenidos en otros estudios, para hacer un mejor manejo de la información y tener una vista más amplia del tema.

9. DISEÑO METODOLÓGICO

9.1 Definición de hipótesis, variables e indicadores

El problema de la investigación busca brindar una solución a una problemática específica, descrita en enunciados anteriores, confiriéndole la calidad de una investigación aplicada. Para este fin se opta por el uso de una investigación del tipo cuantitativo donde la recolección de información numérica proveniente de los ensayos propuestos será el indicador de la veracidad de las hipótesis planteadas. Para el caso se definen las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula: El uso del residuo agroindustrial “Cuesco” como material granular en reemplazo parcial o total del material de base granular cumple con las especificaciones mínimas solicitadas por el INVÍAS.

Hipótesis alternativa: El uso del residuo agroindustrial “Cuesco” como material granular en reemplazo parcial o total del material de base granular no cumple con las especificaciones mínimas solicitadas por el INVÍAS y no puede ser usado para esta aplicación.

El planteamiento de las anteriores hipótesis requiere para su verificación de la recolección de información proveniente de un plan de ensayos que se enunciará más adelante.

9.2 Presentación de etapas

Para efectos de validez del modelo experimental se plantea una aleatorización de las variables donde la combinación de tratamientos planteados para los diferentes ensayos se escoge de manera aleatoria del total planteado. Para el cometido de tal fin se programan las siguientes etapas del proceso.

ETAPA 1. Recolección de información secundaria. Se realizará la revisión del estado del arte relacionado a la investigación o campos afines para buscar fuentes de error que puedan ser puestas en consideración y puedan modificar el diseño

experimental inicialmente planteado con el fin de evitar la inclusión de errores o sesgos durante las fases de experimentación y análisis.

ETAPA 2. Registro e inspección de ensayos de acuerdo a la normativa INVÍAS. Para el registro y verificación de los resultados obtenidos. Estos formatos estarán de acuerdo a un plan de inspección que lleve registro continuo de la calidad de la investigación así como de los factores involucrados en esta, ya sean materiales, equipos, herramientas, etc.

ETAPA 3. Recolección de información primaria. Esta etapa corresponde a la fase experimental de la investigación donde se lleva a cabo el plan de ensayos.

ETAPA 4. Consolidación y análisis de la información. Una vez se haya completado el plan de ensayos se consolidará y organizará la información. Se determinará en primera instancia la variabilidad de los resultados para cada grupo de ensayos de cada tratamiento escogido por separado con el fin de detectar posibles errores en la ejecución; si este es el caso se repetirá todos los ensayos del tratamiento afectado de acuerdo a la etapa 3, se registrará y verificará nuevamente. Una vez verificada la información se procederá a hacer un análisis.

9.3 Diseño experimental

Determinar las propiedades físicas y mecánicas del material “Cuesco” corresponde a un plan de ensayos que requiere de la realización de los siguientes:

- INV. E-218-13 Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½”) por medio de la máquina de los ángeles
- INV. – 213-13 Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino
- INV-E-214-13 Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz 75 µm (no 200) en los agregados pétreos mediante lavado
- INV-E-216-13 contenido total de agua evaporable de los agregados por secado
- INV-E-223-13 Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso

- INV-E-230-13 Índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras

El proceso de caracterización determina la observación del factor sin la necesidad de tratamientos que modifiquen su comportamiento. Para el caso particular la **variable de respuesta** corresponde a las características propias del material.

Se definen también “variables de bloqueo” cuyo objetivo es controlar y evitar variabilidad en la investigación producida por factores externos. Estas variables de bloqueo se consideran:

- Tamaño de las muestras a ensayar según la normativa INVÍAS
- Temperatura de ensayos según normativa INVÍAS
- Velocidad de ensayo (si aplica) según normativa INVÍAS
- Demás condiciones particulares de cada ensayo

9.4 Proceso de recolección, organización, sistematización de la información y análisis de los datos.

En la etapa 2 se definió la adopción de formatos para la consigna de los datos recopilados del plan de ensayos. Una vez finalizado el plan de ensayos se procede a organizar la información en un libro de MS Excel para permitir el uso de filtros de búsqueda para la rápida consulta de información específica. Se relacionan todos los resultados tanto en hojas separadas para su consulta como en una hoja resumen que contenga el total de la información para poder realizar los análisis estadísticos mencionados. Finalmente la información se analizará en base a los niveles de correlación para un nivel de significancia del 95% definido según investigaciones similares en el campo referenciadas en el estado del arte del proyecto.

10. ENSAYOS DE LABORATORIO APLICADOS AL DESECHO AGRÍCOLA “CUESCO” DE LA PALMA DE ACEITE

10.1 INV. E-218-13 RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 ½”) POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES

Este método se refiere al procedimiento a seguir para medir la resistencia a la degradación de agregados gruesos de tamaño menor a 37.5 mm (1 ½”) por medio de la máquina de los Ángeles.

10.1.1 Resumen del método

Este método mide la degradación de un agregado pétreo con una composición granulométrica definida, como resultado de una combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y moliendo en un tambor de acero rotatorio que contiene un número determinado de esferas metálicas, el cual depende de la granulometría de la muestra de ensayo.

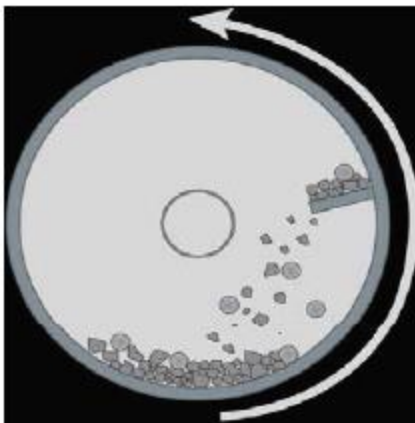


Figura 8 Degradación del agregado durante el ensayo. Adaptado de figura 218-1 INVÍAS

Carga La carga consistirá en esferas de acero, de diámetro aproximado, de un diámetro aproximado de 46.8 mm (1 27/32”) y una masa comprendida entre 390 g y 445 g). La carga abrasiva dependerá de la granulometría del ensayo: A, B, C o D.

Tabla 3. Esferas según la granulometría del agregado

GRANULOMETRÍA	NÚMERO DE ESFERAS	MASA DE LA CARGA, g
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±25
D	6	2500±25

Adaptado de Normas INVÍAS.

De la tabla 4, se elige la granulometría más parecida a la del agregado que se va a usar en obra. Se separa la muestra en las fracciones indicadas en la tabla, de acuerdo a la granulometría elegida

Tabla 4. Granulometrías de las muestras de ensayo

TAMAÑO DE TAMIZ		MASA DE LAS DIFERENTES FRACCIONES, g			
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRANULOMETRÍA			
		A	B	C	D
37.5 (11/2")	25 (1")				
25 (1")	19 (3/4")	1250±25			
19 (3/4")	12.5 (1/2")	1250±25			
12.5 (1/2")	9.5 (3/8")	1250±10			
9.5 (3/8")	6.3 (1/4")	1250±10	2500±10		
6.3 (1/4")	4.74 (No 4)		2500±10	2500±10	
4.74 (No 4)	2.36 (No 8)			2500±10	5000±10
Total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Fuente Tabla 218-1 Norma INVÍAS

10.1.2 Procedimiento

Se tomó la muestra la material y se hizo granulometría donde se usaron los siguientes tamices: 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", y No 4. Se hizo un análisis del material retenido en cada uno de ellos, y se tomó la decisión de tomar el método C, porque era el que más se ajustaba a la granulometría de la muestra.



Figura 9. Granluometria de muestras para ensayo de degradación en la Maquina de los ángeles.
Fuente Propia

Según el Método C, se tomaron 2500 gr del material retenido en el Tamiz 3/8" y pasa 1/4".



Figura 10. Preparación de muestras para ensayo de degradación en la Maquina de los ángeles.
Fuente propia

Se colocó la muestra en el tambor de la máquina de los ángeles con las 8 esferas como se indica en la norma, y se hizo girar a una velocidad entre (30 y 33 rpm) hasta llegar a las 500 revoluciones.



Figura 11 Muestra en la Maquina de los ángeles. Fuente propia

Una vez se cumplió el número de vueltas prescrito, se descargó el material del tambor y se separó la muestra, empleando el tamiz de abertura mayor al de 1.70 mm (No 12).



Figura 12. Muestras después de la degradación. Fuente propia



Figura 13. Granulometría de la muestra después de degradación. Fuente propia



Figura 14. Desprendimiento de material después de degradación. Fuente Propia



Figura 15 Peso final de la muestra resultado de la degradación. Fuente propia

10.1.3 Resultados

El resultado del ensayo es la diferencia entre la masa original y la masa fina de la muestra ensayada, expresado como tanto por ciento de la masa original:

$$\% \text{ de pérdidas} = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100$$

Dónde: P1: Masa de la muestra seca antes del ensayo, g

P2: Masa de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz 1.70 mm (No 12), g

$$\% \text{ pérdidas} = \frac{5000g - 4831.9}{5000} \times 100 = 3.362\%$$

Como se observa en la imágenes del procedimiento de laboratorio, el cuesco no presenta fractura a lo largo de la superficie, pero si desprendimiento de las pequeñas fibras que lo componen. Según los resultados obtenidos en laboratorio para este ensayo de degradación, el material presenta un desgaste 3.362%. Esto demuestra que el material tiene una alta dureza, por lo tanto una buena resistencia.

10.2 INV. – 213-13 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESO Y FINO

Por medio de este ensayo se desea conocer la granulometría del material a caracterizar. Los resultados se emplean para determinar el cumplimiento de las especificaciones en relación con la distribución de las partículas y las propiedades que poseen

10.2.1 Importancia y Uso

El método se usa, para determinar la granulometría de los materiales propuestos como agregados. Con los resultados se determina el cumplimiento de las especificaciones en relación con la distribución de partículas y para suministrar los datos necesarios para el control de la producción de los agregados y de las mezclas que los contengan.

10.2.2 Muestra

La muestra se deberá mezclar completamente y reducir a un tamaño apropiado para el ensayo, una vez cuarteada, se debe tener una masa aproximada requerida para el ensayo.

a) Agregado fino: Después de seca, la muestra de agregado para el análisis granulométrico deberá tener una masa mínima de 300g.

b) Agregado grueso: la masa mínima de la muestra del agregado grueso para el análisis granulométrico, después de secada, depende del tamaño máximo nominal, como se indica en el siguiente cuadro:

Tabla 5. Masa mínima de la muestra según el tamaño máximo nominal

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL TAMICES CON ABERTURAS CUADRADAS mm (pg)	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO Kg (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
2.5 (1/2)	2 (4)
9 (3/4)	5 (11)
25 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
25 (5)	300 (660)

Fuente Adaptada del numeral 5.4 INVÍAS

Según la granulometría de la muestra en estudio el tamaño máximo nominal de la muestra corresponde al Tamiz $\frac{3}{4}$ ".

10.2.3 Procedimiento

1. Se seca la muestra a una temperatura de $110 \pm 5^\circ$, hasta obtener una masa constante.

2. Se selecciona un grupo de tamices de tamaños adecuados para suministrar la información requerida por la especificación del material que se va a ensayar. Se encajan los tamices en orden decreciente por tamaño de abertura y se coloca la muestra (o porción de muestra si el material se va a tamizar por porciones) sobre el tamiz superior. Se agitan los tamices a mano o por medio de la tamizadora mecánica en un periodo de tiempo determinado.



Figura 16. Conjunto de tamices para ensayo de granulometría. Fuente propia

3. La cantidad de material sobre un tamiz dado se debe limitar de forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación de tamizado.

4. Se continúa el tamizado por un periodo suficiente, de tal forma que después de terminado no más del 1% de la masa del material retenido en un tamiz pase por este tamiz, tras un (1) minuto de tamizado continuo a mano.

Para este caso, se hizo un tamizado a mano y se hizo el procedimiento se la siguiente manera, como se describe en la norma: se sostiene el tamiz en una posición ligeramente inclinada en una mano, con y tapa y un fondo ajustado. Se golpea bruscamente el lado del tamiz, y con un movimiento hacia arriba contra el talón de la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, se va girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta en cada intervalo de 25 golpes.

5. se determina la masa de la fracción retenida en cada tamiz, empleando una balanza. La masa total del material después de tamizado debe ser muy cercana a la original. Si las cantidades difieren en más de 0.3% de la masa original, los resultados no se podrán usar con fines de aceptación.



Figura 17. Separación de las muestra según granulometría. Fuente propia

10.2.4 Cálculos y resultados

Se calculan los siguientes porcentajes:

(1) El porcentaje que pasa, (2) el porcentaje total retenido, o (3) el porcentaje de las fracciones de diferentes tamaños, redondeados a 0.1% con base en la masa total de la muestra inicial seca.

Tabla 6. Granulometría obtenida de la muestra de Cuesco

Tamiz		RETENIDO			% Que Pasa
pulg	mm	(gr)	%	% acumulado	
1 1/2	37.5		0	0	100
1	25		0	0	100
3/4	19		0	0	100
3/8	9.5	69.7	6.97	6.97	93.03
4	4.75	654.2	65.42	72.39	34.58
10	2	232.4	23.24	95.63	76.76

40	0.425	32.2	3.22	98.85	96.78
200	0.075	10.7	1.07	99.92	98.93
	Fondo	0.8	0.08	100	99.92
	Σ	1000	100		

Fuente propia

10.3 INV-E-214-13 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ 75 μm (No 200) EN LOS AGREGADOS PÉTREOS MEDIANTE LAVADO

Por medio de este ensayo se determina la cantidad de material que pasa el tamiz 75 μm (No 200) en un agregado. Durante el ensayo se separan de la superficie del agregado, por lavado, las partículas que pasan el tamiz No 200, tales como limo, arcilla, polvo de los agregados y materiales solubles en el agua.

10.3.1 Resumen

Se lava la muestra de agregado, ya sea usando agua pura o agua en un agente humectante. El agua decantada, la cual contiene material suspendido y disuelto, se pasa a través del tamiz de 75 μm (No 200). La pérdida de masa como resultado del tratamiento de lavado, se calcula como porcentaje de la masa seca de muestra original y se presenta en el informe como el porcentaje que pasa por el tamiz fino obtenido por lavado.

10.3.2 Importancia y uso

El material fino que pasa por el tamiz de 75 μm (No 200) se puede separar de las partículas mayores en forma mucho más eficiente y completa mediante tamizado por vía húmeda, a través del tamizado en seco.

El agua natural es adecuada para separar el material más fino del grueso en la mayoría de los agregados. En algunos casos, sin embargo, el material fino está adherido a las partículas más gruesas; ello puede suceder con algunos materiales arcillosos y de otro tipo que pueden estar cubriendo los agregados extraído de las

mezclas bituminosas. En tales casos, el material fino se separa más fácilmente añadiendo un agente humectante al agua de lavado.

10.3.3. Procedimiento

Se toma completamente la muestra y se reduce por cuarteo hasta un tamaño adecuado, de acuerdo en el tamaño máximo del material.

Para este caso, se tomó el procedimiento con agua natural según la especificación a una temperatura constante.

Se toma la muestra seca, y se determina su masa, la muestra de ensayo se coloca en el recipiente (vasija o bandeja) donde se agrega una cantidad de agua suficiente para cubrirla. Se agita vigorosamente el contenido del recipiente para separar las partículas finas de las gruesas y dejar el material fino en suspensión. De inmediato, se vierte el agua de lavado con las partículas suspendidas y disueltas sobre el juego de tamices.

Se debe repetir esta operación hasta que el agua de lavado sea clara.



Figura 18. Preparación de muestra para ensayo de lavado. Fuente propia

10.3.4 Cálculos y resultados

Se calcula la cantidad de material que pasa por el tamiz de 75 μm (No 200), por lavado, de la siguiente forma:

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Dónde: **A:** Porcentaje del material fino que pasa por el tamiz de 75 μm (No 200), obtenido por lavado

B: Masa original de la muestra seca;

C: Masa de la muestra seca después de lavada, g.

$$A = \frac{300\text{gr} - 259.3\text{gr}}{259.3\text{gr}} \times 100 = 15.70 \%$$

10.4 INV-E-216-13 CONTENIDO TOTAL DE AGUA EVAPORABLE DE LOS AGREGADOS POR SECADO

Este método se aplica para determinar la humedad evaporable en una muestra de agregado, por secado del agua libre y de la contenida en los poros permeables al agua. Algunos agregados pueden tener agua combinada químicamente con los minerales, la cual no es evaporable, y por lo tanto, no queda incluida en el porcentaje determinado mediante este método de ensayo.

10.4.1 Uso

Este método es lo suficientemente exacto para los propósitos rutinarios, y permite medir la humedad de la muestra que se ensaya.

10.4.2 Procedimiento

Se debe tomar una muestra representativa del contenido de agua que tiene la provisión que va a ser ensayada.

Se usa un horno de temperatura controlable cuando el calor excesivo pueda alterar las características del agregado o se requiera una medida precisa de humedad.

Se determina la masa de la muestra con una aproximación de 0.1%, después de que se ha enfriado lo suficiente.

10.4.3 Cálculos y Resultados

$$Wp = \frac{W - D}{D} \times 100$$

Dónde: **Wp**: Humedad evaporable de la muestra, %

W: Masa original de la muestra seca;

D: Masa de la muestra seca, g.

$$Wp = \frac{500gr - 481.7gr}{481.7gr} \times 100 = 3.80\%$$

10.5 INV-E-223-13 DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Este ensayo se usa para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado grueso (sin incluir los vacíos entre ellas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso. Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente.

10.5.1 Método

Se sumerge en agua una muestra del agregado durante un periodo de 24 ± 4 h, para llenar sus poros permeables. Una vez retiradas del agua, las partículas del agregado se secan superficialmente y se determina su masa. Posteriormente se determina el volumen de la muestra por el método de desplazamiento de agua. Finalmente la muestra se seca al horno y se determina su masa seca.

10.5.2 Importancia y uso

La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente empleada para calcular el volumen ocupado por el agregado en mezclas como las de concreto hidráulico, asfáltico y otras que se dosifican o analizan sobre la base

de un volumen absoluto. La densidad relativa (gravedad específica) SSS se usa si el agregado está húmedo, es decir, si su absorción ha sido satisfecha. Por el contrario, la densidad relativa (gravedad específica) en condición seca (SH) se usa para los cálculos requerido cuando el agregado está seco se asumo que lo está.

La densidad aparente y la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) se refieren a las partículas del agregado excluyendo todo espacio en ellas que sea accesible al agua.

Los valores de absorción se usan para calcular el cambio de masa de un agregado a causa del agua absorbida por los poros permeables de sus partículas, en relación con la masa en condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua un tiempo suficiente para satisfacer la mayoría de su potencial de absorción.

10.5.3 Procedimiento

Dependiendo del tamaño de las partículas de la muestra para el ensayo se debe tomar una cantidad mínima para en ensayo.

Para este caso, el tamaño máximo nominal que se presenta es de 3/4", por lo tanto se toman 3 Kg ó 6.6 lb de muestra.

El material se debe secar en un horno a $110 \pm 5^\circ$ hasta masa constante, o a una temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Posteriormente se sumerge en agua, también a temperatura ambiente, durante un periodo 24 ± 4 horas.

Luego del periodo de inmersión, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un paño absorbente de gran tamaño, hasta que se elimine el agua superficial visible. A continuación, se determina la masa de la muestra en la condición saturada con superficie seca (SSS).



Figura 19. Muestra en condición saturada son superficie seca. Fuente propia

Después de determinar la masa en el aire, se coloca la masa en el interior de una canastilla metálica y se determina su masa sumergida en el agua a temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$. Se debe evitar la inclusión de aire en la muestra antes de determinar su masa, agitando la canastilla muestra está sumergida.



Figura 20. Preparación de muestra en canastilla. Fuente propia

Se seca la muestra en horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ hasta masa constante se enfría al aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 h o hasta que el agregado sea manipulable (Aproximadamente 50°C) y, en seguida, se determina su masa.

10.5.4 Cálculos y Resultados

a) Densidad Relativa (gravedad específica):

Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno (SH)

$$SH = \frac{A}{(B - C)}$$

Dónde: **A:** Masa al aire de la muestra seca al horno, gr

B: Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca; gr

C: Masa aparente de la muestra saturada en agua, gr.

$$SH = \frac{2000gr}{(2321gr - 1935gr)} = 5.181$$

b) Densidad relativa (gravedad específica) en condición saturada y superficialmente seca SSS

$$SSS = \frac{B}{(B - C)}$$

$$SSS = \frac{2321gr}{(2321gr - 1935gr)} = 6.013$$

c) Densidad relativa Aparente (gravedad específica aparente)

$$= \frac{A}{(A - C)}$$

$$= \frac{2000gr}{(2000gr - 1935gr)} = 30.770$$

d) Densidad en condición seca al horno (SH)

$$Densidad (SH), kg/m^3 = \frac{997.5 A}{(B - C)}$$

$$Densidad (SH), \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5 (2kg)}{(2.321Kg - 1.935Kg)} = 5168.39$$

$$Densidad (SH), lb/pe^3 = \frac{62.27 A}{(B - C)}$$

$$Densidad (SH), \frac{lb}{pie^3} = \frac{62.27 (4.409 lb)}{(5.117lb - 4.266lb)} = 322.618$$

Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS)

$$Densidad SSS, kg/m^3 = \frac{997.5 B}{(B - C)}$$

$$Densidad SSS, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5 (2.321Kg)}{(2.321Kg - 1.935Kg)} = 5997.921$$

$$\text{Densidad, } \frac{lb}{pie^3} = \frac{62.27 B}{(B - C)}$$

$$\text{Densidad, } \frac{lb}{pie^3} = \frac{62.27 (5.117lb)}{(5.117lb - 4.266lb)} = 374.425$$

e) Densidad aparente

$$\text{Densidad Aparente, } kg/m^3 = \frac{997.5 A}{(A - C)}$$

$$\text{Densidad Aparente, } \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5 (2Kg)}{(2Kg - 1.935Kg)} = 30692$$

$$\text{Densidad, } lb/pie^3 = \frac{62.27 A}{(A - C)}$$

$$\text{Densidad, } \frac{lb}{pie^3} = \frac{62.27 (4.409lb)}{(4.409lb - 4.266lb)} = 1919.92$$

10.6 INV-E-230-13 ÍNDICES DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS

Este ensayo se aplica para agregados de origen natural o artificial. El ensayo para determinar el índice de aplanamiento no es aplicable a los tamaños de partículas menores de 6.3 mm (1/4") o mayores de 63 mm (2 1/2"); mientras que la prueba para hallar el índice de alargamiento no aplica a los tamaños de partículas menores de 6.3 mm (1/4") o mayores de 50 mm (2").

10.6.1 Importancia y uso

La forma de las partículas de los agregados es importante en la construcción de carreteras, porque las partículas de forma defectuosa suelen generar inconvenientes. Las partículas planas y alargadas tienden a producir mezclas de concreto poco trabajables, y puede afectar la durabilidad. En las capas granulares, esas partículas con propensas a la rotura y de integración durante del proceso de compactación, modificando la granulometría del agregado y afectando adversamente su comportamiento.

10.6.2 Procedimiento

El material recibido se reduce por cuarteo hasta obtener una muestra representativa, de masa mínima acorde con el tamaño máximo nominal del agregado. Se seca la muestra a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ$) hasta alcanzar masa constante. Se retira del horno y se permite que alcance la temperatura ambiente.

SE realiza el ensayo de granulometría y se descartan las partículas retenidas en el tamiz (2 1/2") y las que pasan el de 6.3 mm (1/4"); mientras que para el ensayo de índice de alargamiento se deben descartar las partículas retenidas en el tamiz 50mm (2") y las que pasan el de 6.3 mm (1/4").

a) Índice de aplanamiento:

Se usa el tamiz de barras apropiado para cada fracción, se tamiza la fracción respectiva por Él. El cribado se realiza manualmente y se considerar terminado

cuando el rechazo varíe en más de 1% durante un minuto de tamizado. Entonces, de trata de pasar manualmente las partículas retenidas en el tamiz, pero sin forzarlas ni romperlas.

b) Índice de alargamiento:

Se toma una de las fracciones del material, y de manera manual, se intenta pasar cada una de las partículas por su mayor dimensión entre el par de barras del calibrador que representa dicha fracción. Una partícula alargada que será aquella cuya mayor dimensión le impide pasar por dicho espacio.

10.6.3 Cálculos y resultados

a) Índice de aplanamiento

$$IA_i = \frac{m_i}{R_i} \times 100$$

Donde R_i : Masa de la fracción d_i/D_i g;

M_i : Masa de las partículas planas de la fracción d_i/D_i , g

El índice de aplanamiento global, IA, se calcula como:

$$IA = \frac{M_3}{M_1 \text{ ó } M_2} \times 100$$

Donde M_1 o M_2 : Masa total de la muestra empleada en la determinación del índice de aplanamiento, g;

M_3 : Masa de las partículas que pasaron las barras de los tamices o las ranuras del calibrador de aplanamiento, g;

b) Índice de Alargamiento

$$IL_i = \frac{n_i}{R_i} \times 100$$

Donde

Ri: Masa de la fracción di/Di g;

ni: Masa de las partículas alargadas de la fracción di/Di, g

El índice de alargamiento global, IA, se calcula como:

$$IA = \frac{M13}{M11 \text{ ó } M12} \times 100$$

Donde

M11 o M12: Masa total de la muestra empleada en la determinación del índice de alargamiento, g;

M3: Masa de las partículas que pasaron las barras de los tamices o las ranuras del calibrador de alargamiento, g;

Tabla 7. Datos de entrada de ensayo

TAMIZ	Retenido gr	
	Muestra 1	Muestra 2
Pulg		
3/8	63.3	41
1/4	436.7	459
	500	500

Fuente propia

Tabla 8. Calculo de índice de aplanamiento

Tamices	Masa Inicial de cada Fracción (Ri)	Granulometría (Fracción entre Tamices)	Granulometría	Masa de las Partículas Planas (mi)	Índice de Aplanamiento por Fracción (mi/Ri)x100
			Corregida (Si hay alguna Fracción que represente menos de 5% del total)		
Retiene	g	%	%	g	
3/8"	52.15	10.43		22.7	43.53
1/4"	447.85	89.57		240.1	53.61
Totales	500	100		262.8	
	M1			M3	
IA	52.56				

Fuente propia

Tabla 9. Cálculo de índice de Alargamiento

Tamices	Masa Inicial de cada Fracción (Ri)	Granulometría (Fracción entre Tamices)	Granulometría	Masa de las Partículas Alargadas (mi)	índice de Alargamiento por Fracción (mi/Ri)x100
			Corregida (Si hay alguna Fracción que represente menos de 5% del total)		
Retiene	g	%	%	g	
3/8"	52.15	10.43		10.2	19.56
1/4"	447.85	89.57		417.65	93.26
	500	100		427.85	
IL	85.57				

Fuente propia

11. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según las especificaciones técnicas de la **Normatividad Colombiana INVÍAS**, se exige que las capas granulares que componen a la estructura de pavimento, Base y Sub base granular, cumplan con requisitos mínimos de calidad para que puedan usarse en la estructura de pavimento.

En el Capítulo 3, el artículo 330-13 se presentan aquellos requisitos mínimos de los agregados para bases granulares así:

Tabla 10. Requisitos mínimos de los agregados para Bases granulares

CARACTERÍSTICA	NORMA DE	BASE GRANULAR		
	ENSAYO INV.	CLASE C	CLASE B	CLASE A
Dureza (O)				
Desgaste n la máquina de los Ángeles (Gradación A) máximo%	E-218	40	40	35
500 revoluciones		8	8	7
100 revoluciones	E-238		30	25
Degradación por abrasión en el Equipo Micro- Deval, máximo %				
Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10 % de finos	E-224		70	90
Valor en seo, mínimo (KN)			75	75
Relación húmedo/seco, mínima (%)				
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)	E-220	12	12	12
Sulfato de sodio		18	18	18
Sulfato de magnesio				
Limpieza (F)				
Límite Líquido máximo (%)	E-125	25		
	E-125 y E-	3	0	0
Índice de plasticidad, máximo (%)	126			
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, máximo	E-235	10	10	10

Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	2	2	2
Geometría de las Partículas (F)				
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	35	35	35
Caras fracturadas, mínimo (%)				
Una cara	E-227	50	70	100
Dos caras			50	70
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239		35	35
Resistencia del material (F)				
CBR (%): Porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado; el CBR se medirá sobre muestras sometidas a inmersión.	E-149	≥80	≥80	≥95

Fuente. Adaptado de Tabla 330-2. Requisitos de los agregados para bases granulares.

Según los resultados obtenidos de granulometría para el desecho agrícola Cuesco, se tiene la siguiente comparación con la franja granulométrica para Base granular de la norma INVÍAS. Se observa que el Cuesco **NO** presenta ajuste dentro de la franja.

Tabla 11. Franjas granulométricas para bases granulares

TAMIZ		% QUE PASA							
		BASES GRANULARES DE GRADACIÓN GRUESA				BASES GRANULARES DE GRADACIÓN FINA			
mm	Pulg.	BG-40	BG-27		BG-38		BG-25		
37.5	1 1/2	100	100			100	100		
25	1	75	100	100	100	70	100	100	100
19	3/4	65	90	75	100	60	90	70	100
9.5	3/8	45	68	52	78	45	75	50	80
4.75	No 4	30	50	35	59	30	60	35	65
2	No 10	15	32	20	40	20	45	20	45
0.42	No 40	7	20	8	22	10	30	10	30
0.075	No 200	0	9	0	9	5	15	5	15

Adaptado de Tabla 330-3. Franjas granulométricas del material de base granular.

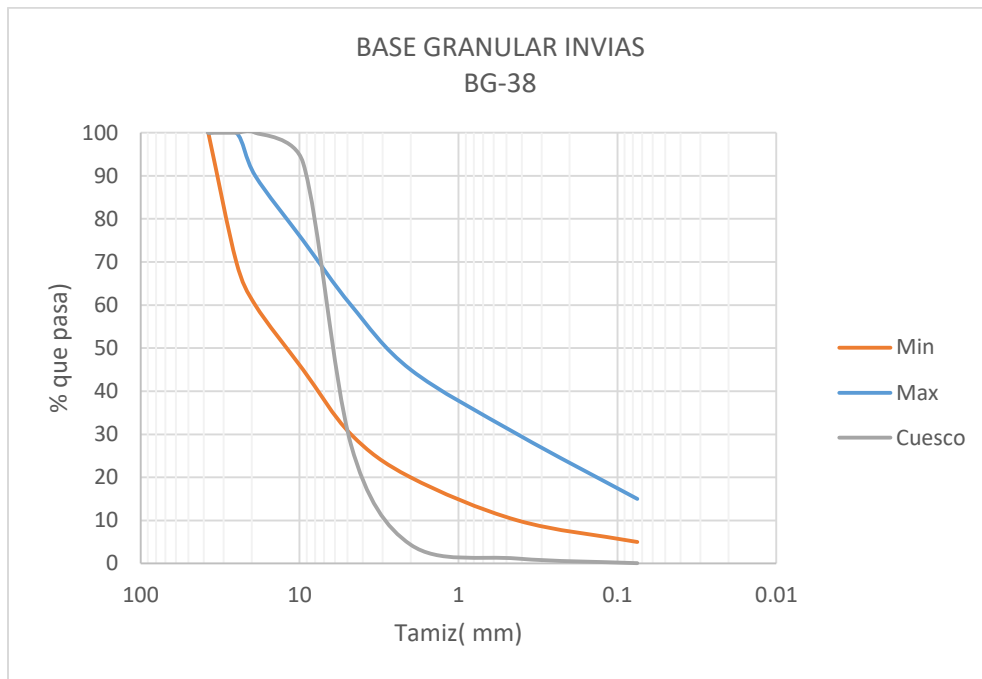


Figura 21. Comparación de Franjas granulométricas BG-38 y Cuesco. Fuente propia.

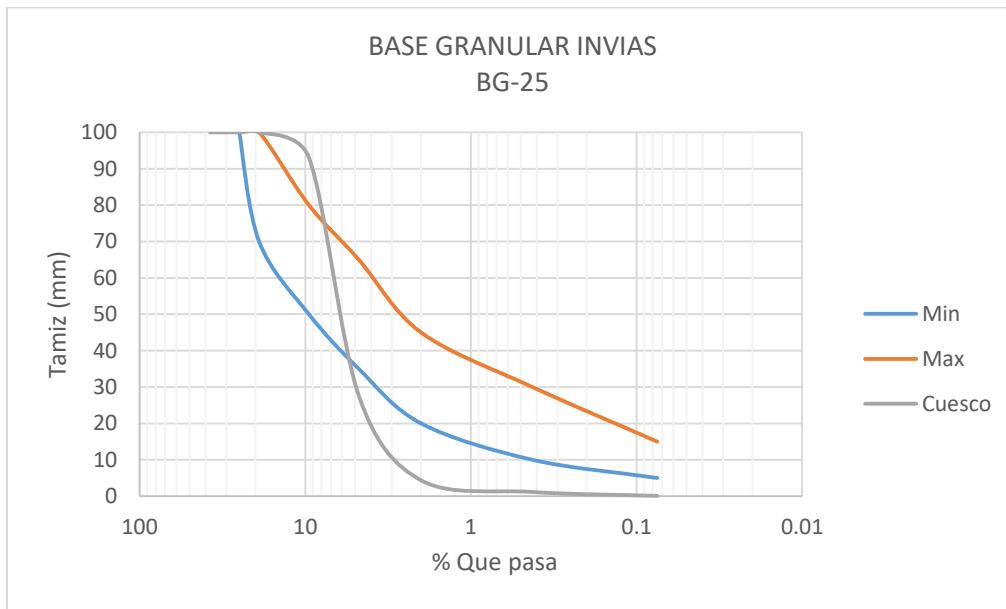


Figura 22. Comparación de Franjas granulométricas BG-25 y Cuesco. Fuente propia.



Figura 23. Comparación de Franjas granulométricas BG-27 y Cuesco. Fuente propia

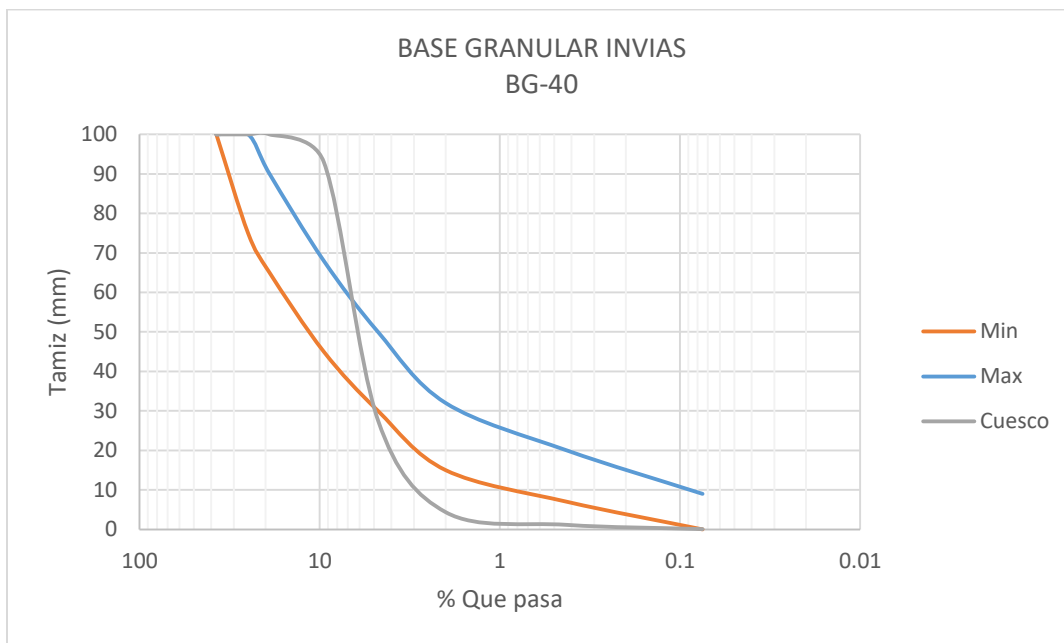


Figura 24. Comparación de Franjas granulométricas BG-40 y Cuesco. Fuente propia.

En las gráficas anteriores se muestra una comparación de la granulometría de las capas granulares base y sub base de la estructura de pavimentos, y se observa que este parámetro **NO** cumple con exigido en la Normatividad para este tipo de material, debido a la distribución de las partículas.

En el Capítulo 3, el artículo 320-13 se presentan aquellos requisitos mínimos de los agregados para sub bases granulares así:

Tabla 12. Requisitos mínimos de los agregados de sub base granular

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV.	SUB BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
Dureza (O)				
Desgaste n la máquina de los Ángeles (Gradación A) máximo%	E-218	50	50	50
500 revoluciones				
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238		35	30
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)	E-220			
Sulfato de sodio		12	12	12
Sulfato de magnesio		18	18	18
Limpieza (F)				
Límite Líquido máximo (%)	E-125	25		
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	3	0	0
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, máximo	E-235	10	10	10
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	2	2	2
Resistencia del material (F)				
CBR (%): Porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado; el CBR se medirá sobra muestras sometidas a inmersión.	E-149	30	30	40

Fuente. Adaptado de Tabla 320-2. Requisitos de los agregados para sub bases granulares

Tabla 13. Franjas granulométricas de sub base granular

TAMIZ		% QUE PASA			
mm	pulgadas	SBG-50		SBG-38	
50	2	100	100		
37.5	1 1/2	70	95	100	100
25	1	60	90	75	95
12.5	1/2	45	75	55	85
9.5	3/8	40	70	45	75
4.75	No 4	25	55	30	60
2	No 10	15	40	20	45
0.425	No 40	6	25	8	30
0.075	No 200	2	15	2	15

Adaptado de tabla 320-3 Franjas granulométricas del material de sub base granular.

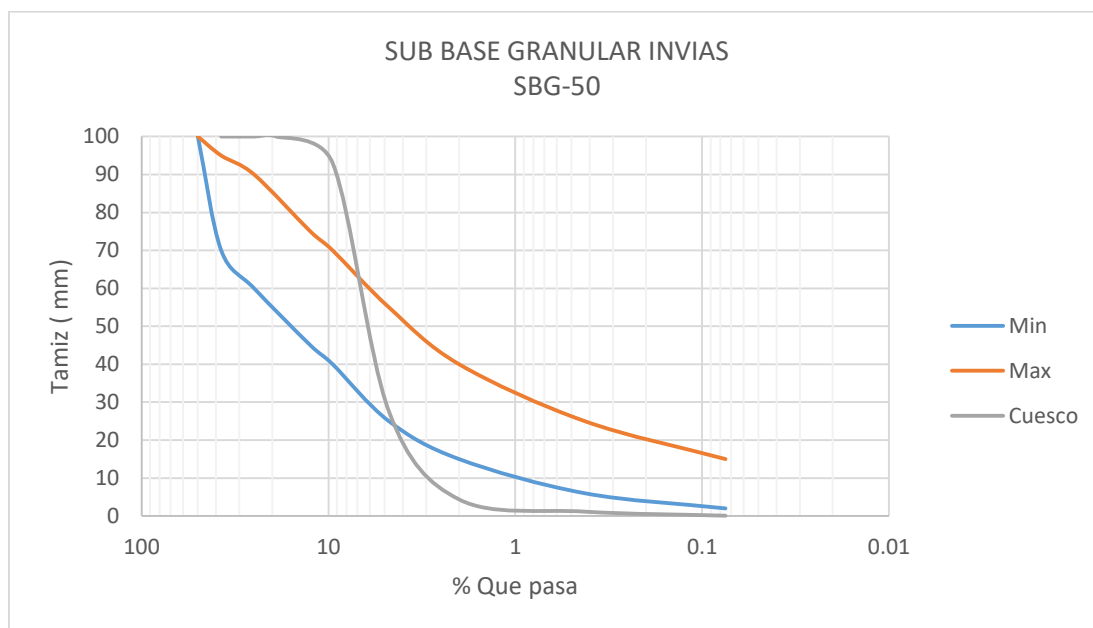


Figura 25. Comparación de Franjas granulométricas SBG-50 y Cuesco. Fuente propia.

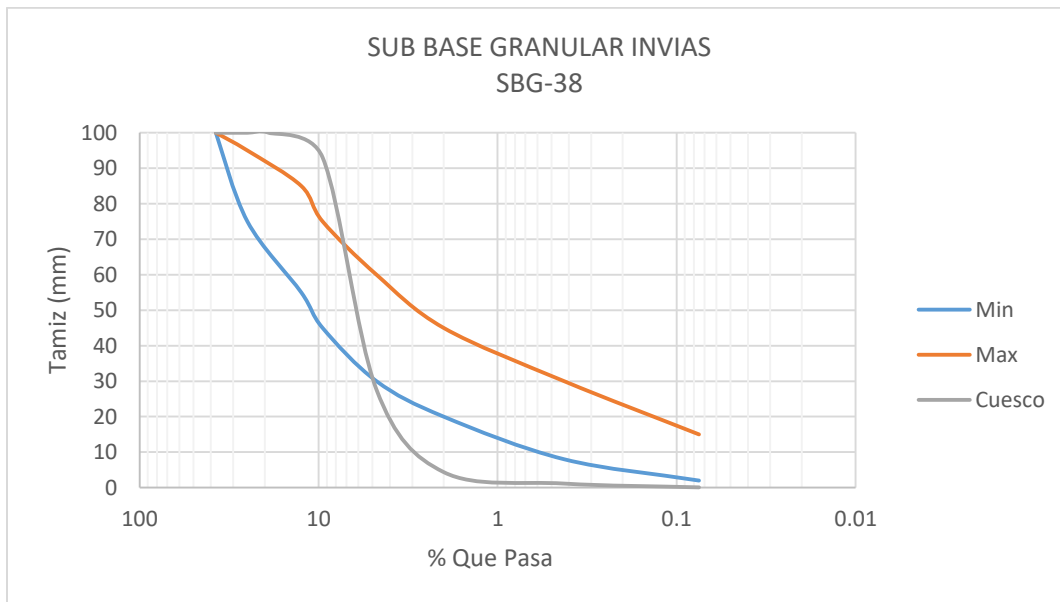


Figura 26. Comparación de Franjas granulométricas SBG-38 y Cuesco. Fuente propia.

- En el ensayo de desgaste en la máquina de los ángeles para 500 revoluciones se obtiene un porcentaje de 3.36%, para la muestra ensayada. Este resultado, es **favorable** ya que según las norma el máximo porcentaje permitido es del 50% para las diferentes clases de tránsito, esto quiere decir que las partículas del material tienen una superficie muy resistente a la abrasión y desgaste que al interactuar con una acción mecánica no hay desprendimiento de partículas finas o fractura del mismo. Esta característica es muy importante, en el uso de capas granulares ya que los agregados que las componen tienden a desgastarse por las cargas que tiene que soportar.
- Para el ensayo de alargamiento y aplanamiento se obtuvo valores de 85.57% y 52.56% respectivamente, para el material caracterizado Cuesco, mostrando que sus partículas tienen una geometría irregular e indefinida y **no se podrían usar** como agregado en el mejoramiento de las capas granulares base y sub base granular, ya que sus valores exceden los

valores de 35% máximo permitido para que cumplan con los requisitos de calidad del material.

- El cuesco físicamente tiene una sensación aceitosa al tacto, y puede que en su configuración se retenga cierto porcentaje de humedad, para el caso del ensayo de contenido de total de agua evaporable se obtuvo un valor de 3.80%, donde se observó que no se evaporó un gran porcentaje de humedad no es representativa y no implica grandes variaciones en el volumen del material, ni pérdida de resistencia.
- En la determinación de cantidad de material que pasa por el tamiz No 200 por lavado, se obtuvo un porcentaje de 15.70%, que evidencia la existencia de finos que se encuentran adheridos a las partículas de cuesco que pueden afectar las propiedades del material, por ello, se recomienda hacer un lavado previo a la utilización del material.
- Para el análisis granulométrico de las partículas, se observó que el cuesco tiene un comportamiento que no se encuentra dentro de las franjas granulométricas definidas por la norma, para la base y sub base granular.

12. CONCLUSIONES

- ✓ El desecho agrícola de la palma de aceite “Cuesco” **no es viable** en su uso como agregado de base o sub base granular como reemplazo total en su estado natural de obtención en la planta. El material sin tratar no cumple con algunas de las especificaciones técnicas solicitadas por el INVÍAS, principalmente en cuanto a su granulometría.
- ✓ La granulometría del Cuesco mostró mayoritariamente una tendencia uniforme donde la mayoría de las partículas se agrupan en un sólo tamaño. Esto puede ser explicado por el proceso de obtención en la planta producto de la trituración.
- ✓ Entre los ensayos aplicados aquel que mostró un resultado más favorable fue el de desgaste. Esto sugiere un material con alta dureza y resistencia a la abrasión que argumenta su uso como material de mejoramiento. Pese a que no se cumpla con otras especificaciones técnicas para su uso como base granular, esta propiedad puede estudiarse más a fondo con tratamientos del material, como trituración o mezcla, para mejorar propiedades de materiales granulares tales como su resistencia.
- ✓ Si bien la normativa INVÍAS que rige para Colombia en el campo de la ingeniería de pavimentos no contempla productos o materiales alternativos, pero tampoco es excluyente con estos. Se comprueba que materiales tales como los desechos agro-industriales pueden resultar benéficos en algunas de sus propiedades con un adecuado tratamiento. En este sentido la norma colombiana es flexible.
- ✓ Según las investigaciones adelantadas en la Universidad Nacional de Colombia, se podría utilizar la ceniza de cuesco para el mejoramiento de las capas granulares de la estructura de pavimento, ya que podría mejorar las propiedades del material debido a los antecedentes de las

investigaciones que evidencian un mejoramiento en algunas propiedades de suelos. Estos resultados validan las observaciones de la necesidad de un tratamiento adicional para el cumplimiento de las especificaciones requeridas.

- ✓ Estudios como los mencionados en el estado del arte muestran que el material tiene un comportamiento complejo a nivel microscópico. Esto quiere decir que la interacción de las partículas más finas que componen el material posiblemente sean el factor determinante en su comportamiento.
- ✓ El uso del material en forma de ceniza como un método de mejoramiento de resistencia implica una modificación en la superficie específica de los materiales y por tanto unas mayores fuerzas de adhesión. De forma análoga su uso en forma triturada para el mejoramiento de suelos de tipo arcilloso implica una afectación de la interacción electro-magnética de las partículas microscópicas que lo componen, mejorando las condiciones de las fuerzas de atracción-repulsión y controlando factores como la deformabilidad o compresibilidad.
- ✓ Es importante continuar con la investigación en la caracterización del material Cuesco para poder encontrar otros posibles usos del material, ya sea en su estado de obtención o tratado, en las vías terciarias que componen la infraestructura del país.

12. BIBLIOGRAFÍA

Awal A. y Hussin W. (2011). Effect of palm oil fuel ash in controlling heat of hydration of concrete. Science Direct, Procedia Engineering 14, 2650-2657.

Buzón Ojeda, J.E. (2010) Fabricación de adoquines para uso en vías peatonales, usando cuesco de palma africana. Revista Inge-CUC/ Vol.6 /Octubre 2010/Barranquilla – Colombia / ISSN 0122-6517 Pág. (67-77)

Cotes L.E.; Murillo C.A. Estabilización de suelos arcillosos mediante la dosificación de la ceniza del cuesco de la palma africana. Universidad Nacional de Colombia. Pag. (1-9).

Forero Núñez, C.A.; Cediell Ulloa A.; Rivera Gil J.L; Suaza Montalvo A.; Sierra Vargas F.E.; Sierra Vargas F.E. (2012). Estudio preliminar del potencial energético de cuesco de palma y cascara de coco en Colombia. Revista Ingeniería Solidaria, Volumen 8, Numero 14, Enero-Junio.Pag. (19-25).

Flórez Ramos, D.F, Barco Burgos, J; y Rincón Prat, S.L. (2016). Análisis comparativo de la carbonización de cuesco de palma de aceite en reactores de lecho fijo. Revista Tecnura, 20 (49), 45-58. Doi:10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.3.a03

Fedepalma (2011). Guía Ambiental de la Agroindustria de la Palma de aceite en Colombia.

Fedepalma. (2000) .Visión de la palmicultura Colombiana al 2020. Palmas, Volumen 21. Pág. (3-6).

García, J.A.; Cárdenas, M.M.; Yáñez, E.E.; (2010). Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia. Revista Palmas Volumen 31, No 2. Pág. (41-48).

Instituto Nacional de vías, INVÍAS (2013). Especificaciones Generales de Construcción. Capítulo 3 Afirmados, subbases y bases.

Instituto Nacional de vías, INVÍAS (2013). Normas de ensayo de materiales para carreteras.

Mazorra M.A. (2008). Proyecto sombrilla MDL para la captura de metano, desplazamiento de fuentes fosiles y cogeneración de energía renovable en el sector de la palma de aceite en Colombia. Revista Palmas, Volumen 29 No Especial. Pág (67-68)

Kupaei H.R, Alengaram J.U, Jumaat Bin Z.M, y Nikraz H. (2012). Mix desing for fly ash based oil palm Shell geopolymner lightweight concrete. Elsevier, Construction and Building Materials 43 (2013) 490-496.

Pérez, G.R; Buenaventura C.A; y Ortiz A.; (2016). Estabilización de un suelo arcilloso mediante el uso de ceniza de Cuesco de Palma africana y cal. XV congreso colombiano de Geotecnia & II conferencia internacional especializada en Rocas Blandas, Cartagena 5 al 7 de Octubre de 2016. Pág. (1-8).

Reyes Ortiz S.; Ortiz J.A.; Aprovechamiento de los Residuos de la Palma africana. Universidad Cooperativa de Colombia. Pag. (1-8)).

Rusbintardjo G, Hainin R. M. y Yussoff M.I. (2013). Fundamental and rheological properties of oil palm fruit ash modified bitumen. Elsevier, Construction and building Materials 49, 702-711.

Van Hoof B. (2007). Asimilar la gestión ambiental como parte del corazón del negocio palmero. Sostenibilidad social y ambiental. Mesa Redonda. Revista Palmas, Volumen 28, No 2. Pag. (116-118).