

**USOS DEL DESECHO AGROINDUSTRIAL (CUESCO) DE LA PALMA DE ACEITE
AFRICANA EN LA INGENIERÍA CIVIL**



JUAN SEBASTIÁN ESCOBAR ROJAS



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2023

**USOS DEL DESECHO AGROINDUSTRIAL (CUESCO) DE LA PALMA DE ACEITE
AFRICANA EN LA INGENIERÍA CIVIL**

JUAN SEBASTIÁN ESCOBAR ROJAS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director (a)

Esp. Andrés Fabricio Mosquera Flórez

Codirector (a)

MSc. Esp. Erika Lorena Becerra Becerra

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2023

Autoridades Académicas

Fray José Gabriel Mesa Ángulo, O.P.

Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.

Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea Sierra Tobón

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Luis Fernando Díaz Cruz

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

Dedicatoria

Todo el proceso que me ha llevado hasta aquí y que como resultado presento este documento para optar por el título de ingeniero civil es dedicado a mi madre Edy Sabel Rojas Silva y a mi padre Jhon F. Escobar Sánchez.

Agradecimientos

Agradezco primeramente a mis padres Jhon F. Escobar Sánchez y Edy Sabel Rojas Silva que, sin su apoyo incondicional, su gran paciencia y el increíble amor que me dan día a día, nada de esto hubiese sido posible, así mismo, agradezco el apoyo de todos aquellos que en algún momento me animaron a lograrlo, este logro se los debo a ellos y a los/las que ya no están en este mundo terrenal, gracias a todos por darme la fuerza que necesité en algún momento de mi carrera universitaria.

Finalmente, agradezco a la Universidad Santo Tomás por la oportunidad y el aprendizaje que me brindó en todos los ámbitos posibles, así mismo, a cada uno de los docentes que formaron mis aptitudes y mi carácter para enfrentar las situaciones adversas que la vida me presente.

Contenido

	Pág.
Resumen	10
Abstract.....	11
Glosario.....	12
1. Introducción.....	14
2. Formulación del problema.....	15
3. Objetivos	16
3.1. Objetivo general	16
3.2. Objetivos específicos.....	16
4. Justificación.....	17
5. Estado del arte	18
6. Metodología.....	21
7. Entorno del cultivo de palma africana.....	23
7.1. Definición del cuesco	23
7.2. Entorno descriptivo	25
8. Problemática ambiental	28
9. Áreas de aplicación del cuesco en el entorno de la ingeniería civil	31
9.1. Usos comunes del cuesco	31
9.2. Caracterización de las propiedades del cuesco	33
9.3. Marco estructural.....	33
9.3.1 Cuesco como sustituto del cemento para mortero	34
9.3.2 Monografía del efecto de la ceniza de cuesco de palma africana (CCPA) como micro material en concretos	35
9.3.3 Elaboración de bloques de mampostería mediante el uso de mortero adicionando ceniza de cuesco y fibra de palma africana	35
9.3.4 Uso del cuesco de la palma africana en la fabricación de adoquines y bloques de mampostería	36

9.3.5	Evaluación de la resistencia a la compresión de concreto utilizando el cuesco proveniente de los residuos de fruto fresco de la palma africana y el concreto de residuos de construcción y demolición de obras civiles (RCD)	37
9.4.	Marco de vías y transporte	39
9.4.1	Evaluación de la influencia de la adición de ceniza del cuesco de palma africana en el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas fabricadas con material laterítico	39
9.4.2	Caracterización del desecho agroindustrial de la palma de aceite “cuesco” para el mejoramiento de las capas granulares de la estructura de pavimento	41
9.5.	Marco de mejoramiento de suelos.....	42
9.5.1	Utilización de la ceniza del cuesco de la palma africana (CCPA) como una alternativa económica y eficiente a los estabilizadores de suelos tradicionales.....	42
10.	Ventajas y desventajas	45
10.1.	Ventajas	45
10.2.	Desventajas	45
11.	Conclusiones y recomendaciones	47
12.	Referencias bibliográficas.....	48

Lista de Tablas

Tabla 1. Estado del arte de la investigación.....	18
Tabla 2. Metodología planteada en la investigación.....	21
Tabla 3. Resultado del ensayo de resistencia a la compresión.....	34

Lista de Figuras

Figura 1. Estructura interna del fruto de palma africana	24
Figura 2. Cuesco de palma producto del prensado	24
Figura 3. Descripción del eje económico de la industria palmera	25
Figura 4. Zonificación de cultivos de palma de aceite	25
Figura 5. Resumen del sector palmero colombiano.....	26
Figura 6. Descripción del eje social de la industria palmera	27
Figura 7. Descripción del eje social de la industria palmera	30
Figura 8. Sector palmero y sus productos derivados de la producción de aceite	31
Figura 9. Usos comunes del cuesco	32
Figura 10. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión	38
Figura 11. Esquema general de una mezcla asfáltica en caliente y sus variables.....	40
Figura 12. Resultado de la caracterización de las muestras de suelo	43
Figura 13. Resultados de las propiedades químicas de las muestras de suelo.....	43

Resumen

Este documento tiene como objetivo estudiar las propiedades del material denominado como el desecho agroindustrial de la palma africana (cuesco) en diferentes áreas de la ingeniería civil, estableciendo una metodología basada en la revisión de la bibliografía relacionada al planteamiento del problema, el análisis de las áreas en las que se ha implementado y la determinación de las ventajas, desventajas y viabilidades del material.

Así mismo, se concluye finalmente que la viabilidad del material es muy dependiente de las variables que posee el mismo, así como también de las variables que posee el área en la cual se hará la implementación, ya sean asfaltos, suelos, concretos, cementos o diferentes mezclas usadas en todo el desarrollo de actividades de la ingeniería civil.

Palabras Clave: Agroindustrial, Cuesco, Desecho, Ingeniería, Palma, Viabilidad.

Abstract

The purpose of this document is to study the properties of the material known as the agro-industrial waste of the African palm (cuesco) in different areas of civil engineering, establishing a methodology based on the review of the bibliography related to the approach of the problem, the analysis of the areas in which it has been implemented and the determination of the advantages, disadvantages and feasibility of the material.

Likewise, it is finally concluded that the viability of the material is highly dependent on the variables that it possesses, as well as the variables that the area in which the implementation will be made has, whether asphalt, soil, concrete, cement or different mixtures used throughout the development of civil engineering activities.

Key Words: Agroindustrial, Cuesco, Engineering, Palm, Viability, Waste.

Glosario

Adoquín: Es una piedra o bloque labrado de forma rectangular que se utiliza en la construcción de pavimentos.

Agroindustria: La agroindustria, agricultura intensiva, agronegocio o agroextractivismo, es la actividad económica que se dedica a la producción, industrialización y comercialización de productos agrícolas, ganaderos, forestales y otros recursos naturales biológicos.

Asfalto: Es la mezcla de brea, que es un material viscoso, pegajoso y de color plomo (gris oscuro) con arena o gravilla, para pavimentar caminos y como revestimiento impermeabilizante de muros y tejados.

Base Granular: Es un material granular grueso compuesto por triturados, arena y material fino.

Ceniza Volante: Residuos sólidos que se obtienen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas por carbones pulverizados.

Comportamiento puzolánico: Capacidad para reaccionar con el hidróxido de calcio para formar compuestos hidráulicos similares a los que se generan durante la hidratación del Clinker del cemento.

Compresión: Aplicación de fuerzas equilibradas hacia adentro ("empujar") a diferentes puntos de un material o estructura, es decir, fuerzas sin suma neta o torque dirigidas para reducir el tamaño del material o estructura en una o más direcciones.

Concentración Volumétrica: Cantidad de volumen de dicha especie que hay en la disolución respecto a la cantidad de volumen total de la muestra, en términos porcentuales.

Cuesco de palma: Residuo de la producción de aceite de palma que corresponde a la parte que recubre la almendra del fruto.

Densidad: Relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.

Desgaste: Erosión de material sufrida por una superficie sólida por acción de otra superficie.

Granulometría: Distribución por tamaños de las partículas de un árido

Humedad: Cantidad de agua que el suelo contiene en el momento de ser extraído

Ingeniería Civil: Profesión que trata con la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de proyectos de infraestructura relacionados con las carreteras, puentes, presas, edificios, sistemas de alcantarillado, edificios de desecho, entre otras.

Mampostería: Sistema constructivo basado en la disposición manual de mampuestos que suelen emplearse sin labrar.

Material Laterítico: Relleno que se realiza con trozos pequeños de piedra, ladrillo, grava y otros materiales para pavimentar un camino o cubrir un hueco.

Mortero: Mezcla de aglutinantes inorgánicos, agregados finos y agua, y posibles aditivos que sirven para aparejar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras, bloques de hormigón, etc.

Módulo de elasticidad: Es una constante elástica derivada de las propiedades elásticas de los materiales, gases, fluidos y sólidos, que involucra una medida relacionada con la tensión y una medida relacionada con la deformación.

Penetración: Indicador del nivel de compactación de un suelo

Plasticidad: Propiedad mecánica de algunas sustancias, capaces de sufrir una deformación irreversible y permanente cuando son sometidas a una tensión que supera su rango o límite elástico.

Subbase Granular: Es un material granular grueso compuesto por triturados, arena y material grueso.

Tracción: Esfuerzo interno al que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo

1. Introducción

El presente documento refiere principalmente a la recopilación literaria de documentos científicos que avalen el uso del cuesco de palma de aceite como un material que pueda ser utilizado en las diferentes áreas constructivas de la ingeniería civil, potencialmente en sus agregados pétreos para la fabricación del concreto, la estabilización de suelos y la fabricación de mezclas asfálticas.

A partir de allí, se establecen unos objetivos claros en relación con la recopilación de la información necesaria, al establecer estos en función de la búsqueda, observación y desarrollo de resultados, establecidos así dichos objetivos se tiene presente la necesidad de definir el cuesco como un material que puede aventajar o no a las diferentes áreas constructivas investigadas, así como el beneficio que el uso de este puede tener en el medio ambiente.

El medio ambiente es un tema crucial en el desarrollo de la investigación, esto debido a que hace parte de la justificación por la cual se realiza, el impacto ambiental que genera el desecho agroindustrial es abismal por el simple hecho de que la producción de aceite vegetal es masiva y su uso es muy común, por lo tanto, crea una necesidad de mitigación la cual se ha visto satisfecha por algunas investigaciones ya planteadas, así como diferentes proyectos a raíz de esto.

2. Formulación del problema

En años recientes, el cambio con respecto al entorno ambiental ha sido una de las problemáticas a nivel mundial, el cual día a día sigue creciendo paulatinamente, por lo tanto, la iniciativa presentada en este documento es lograr resolverla logrando mantener el cuidado del medio ambiente, el uso de un material que se desperdicia tal como el residuo de la palma africana o aceitera en su proceso industrial para mitigar los problemas en el entorno, además de establecer de manera superficial algunos procesos en el ámbito de la ingeniería civil en donde este recurso puede ser usado. (Pitto & Carvajal, 2017)

Respecto a lo anterior, el cuesco de la palma aceitera ha sido quemado durante todos los años en los que se ha producido aceite de forma masiva, por lo tanto, ha sido un problema ambiental al cual no se le ha dado la suficiente y necesaria atención a pesar de las mitigaciones que se realizan a diario en el proceso de producción del aceite de palma. Este residuo ha sido utilizado en algunos ensayos y procesos investigativos en recientes años, tales como, la posibilidad de usarlo como combustible, el mejoramiento de la resistencia en el concreto, la fabricación de adoquines y bloques de mampostería, así como diferentes aprovechamientos del residuo natural, es fundamental recalcar su capacidad calórica como una de las ventajas que tiene este material, este se puede aprovechar en diferentes procesos en donde sean necesarias las altas temperaturas.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Estudiar las propiedades del material denominado como el desecho agroindustrial de la palma africana (cuesco) en diferentes áreas de la ingeniería civil.

3.2. Objetivos específicos

- Indagar en la literatura e infografías necesaria para una tener una definición más clara en cuanto a las propiedades principales del material en diferentes aspectos.
- Identificar los procesos de la ingeniería civil en los cuales podría ser útil la implementación del cuesco de palma de aceite africana.
- Establecer las ventajas y desventajas del uso de este material en las diferentes áreas de estudio de la ingeniería civil.

4. Justificación

La reutilización del cuesco es muy importante tanto en términos ambientales como para el desarrollo de los procesos constructivos. En el entorno ambiental, el cuesco tiene grandes repercusiones que hacen de este un recurso contaminante debido a que en los cultivos de palma de aceite africana que son aledaños a las productoras de aceite se practica la quema de estos residuos, producto del proceso de la elaboración del aceite en su fase última, además de esto, también se conocen algunos impactos ambientales negativos en donde estos residuos pueden causar cuando la incineración de estos no se realiza.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos determinar que al ser un residuo que se produce en masa en una industria de gran magnitud es un desperdicio en muchas ocasiones que, así como ocasiona daños al entorno también es un desaprovechamiento del recurso, se ha comprobado en algunos estudios que, a pesar de su poco uso en cuanto a las actividades de la producción de aceite, en otros campos se puede usar como material aprovechable para diferentes aspectos.

En el ámbito constructivo se pueden agregar de una forma técnica y precisa para obtener un mejor desempeño en el desarrollo de diferentes procesos en el campo de la ingeniería civil, en la zona del Departamento del Meta, la cantidad de desechos producidos por la palma africana afecta la región en una magnitud importante en cuanto al entorno ambiental, por otro lado, la temperatura que este material puede soportar es muy alta y esto se ha demostrado con la incineración del mismo, ya que a temperaturas bajas aún quedan residuos enteros los cuales no son del todo consumidos, con lo cual esto nos da un índice de algunas actividades y procesos en los cuales este material puede ser utilizado a favor.

5. Estado del arte

Tabla 1. Estado del arte de la investigación

Título	Año	Autores	Descripción
Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia.	2010	Jesús Alberto García, Mónica M. Cárdenas y Edgar Eduardo Yáñez.	En una investigación hecha en el año 2010 en Colombia se determinó que los porcentajes de biomasa (especialmente del cuesco) reportados en diferentes zonas están sujetos a apariciones entre ellas, la falta de un almacenamiento que presente la opción de acumular cantidades representativas para la venta, conlleva a que se quemen cantidades excesivas innecesarias en la caldera. Los resultados mostrados en dicha investigación muestran que aproximadamente seiscientos veintiocho mil ochocientos noventa y siete toneladas anuales de biomasa están disponibles para crear alternativas de aprovechamiento del desecho diferentes a las actuales, lo que demuestra a que la oferta del material es muy grande.
Proyecto Sombrilla MDL para la captura de metano, desplazamiento de fuentes fósiles y cogeneración de energía renovable en el sector de la palma de aceite en Colombia.	2008	Miguel Ángel Mazorra.	En el año 2008 se realizó un proyecto llamado Proyecto Sombrilla-Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL, en el cual se juntan diferentes empresas en diferentes zonas palmeras con el fin de capturar metano, desplazar fuentes fósiles y cogenerar energía renovable en el sector de la palma de aceite en Colombia, el nivel de confianza en este proyecto es muy alto por parte del sector palmero en dicho país además de las excelentes características ambientales de las empresas USTA Sede Villavicencio – Facultad de Ingeniería Civil nueve participantes, el objetivo y beneficio principal de este proyecto según las autoridades ambientales es reducir, eliminar o controlar emisiones, vertimientos y olores, y por contribuir de forma concisa con la reducción de gases de efecto invernadero y la mejora del cambio climático

Tabla 1. Continuación

Fabricación de adoquines para uso en vías peatonales, usando cuesco de palma africana.	2010	Jorge Elías Buzón Ojeda.	En 2010 se elaboraron unos adoquines para un uso en vías peatonales, usando cuesco de palma, en el que en su diseño se fabricaron dichos componentes, con 10% de cuesco de palma africana en proporción a la arena del diseño, también se fabricaron adoquines sin cuesco para comparar los resultados, los cuales fueron positivos pues cumplían la norma, con lo cual se cumplió el objetivo de la investigación que era demostrar que no se perdía resistencia al tener un agregado como este y a su vez, se mitiga el impacto ambiental que puede causar el cuesco.
Aprovechamiento de los residuos de la palma africana.	2009	Julio Ortiz, Sandra Patricia Reyes Ortiz y Normando Perazzo Barbosa.	En la ciudad de Villavicencio se realizó una investigación sobre el aprovechamiento de los residuos de la palma africana, en la cual se concluyó que la utilización de la ceniza adicionada en un 5% obtiene una mayor resistencia, una ligera disminución del pH y del peso específico del concreto, lo que genera un concreto de alto rendimiento, lo que demuestra que es aplicable a las obras de ingeniería civil dado que sus características disminuyen el peso de la estructura en la mezcla de pega y mortero de muro disminuyendo costos de cimentación y refuerzos además de la reducción del impacto ambiental.
Caracterización del desecho agroindustrial de la palma de aceite “cuesco” para el mejoramiento de las capas granulares de la estructura del pavimento.	2017	Erika Lorena Becerra Becerra.	En el año 2017 se elaboró la caracterización del material conocido como “cuesco” de palma africana con el objetivo de implementarse en el mejoramiento de capas granulares involucradas en la estructura del pavimento, este análisis se realizó a partir de una investigación previa, así como la realización de ensayos de laboratorio con el fin de que cumpliera con los requisitos mínimos de algunas especificaciones técnicas para su uso. La caracterización es fundamental para la investigación debido a que nos brinda datos relacionados a las propiedades físicas y químicas de este que se pueden adaptar a diferentes áreas de la construcción.

Tabla 1. Continuación

Elaboración de bloques de mampostería mediante el uso de mortero, adicionado con ceniza del cuesco y de fibra de palma africana en el Departamento del Meta.	2018	Brayan Antonio Barrios Trejo, Yonatan Sneyder Castro Cruz y Heidy Lorena Daza Novoa.	En este documento se realiza una investigación experimental en la cual evalúan la posibilidad de la creación de bloques de mampostería con la adaptación del cuesco de palma haciendo parte de la manufacturación de estos lo que permite una mitigación al daño ambiental que se genera periódicamente debido a la industria palmera, esta investigación es una demostración más de lo útil que es en las áreas de construcción y que, por lo tanto, es fundamental en el proceso de la investigación actual.
--	------	--	--

6. Metodología

La incertidumbre de la investigación es indagar una solución a una problemática propia, detallado previamente en secciones anteriores, verificando la calidad de una investigación aplicada. Con este propósito se opta por el uso de una investigación de tipo cualitativa donde la acumulación de información escrita proveniente de los documentos de investigación encontrados será el indicador de la veracidad de las hipótesis abordadas.

En cuanto a la técnica de recolección de información, se establece de manera práctica que esta se realizará mediante un análisis de los documentos de investigación pertinentes que permitan un mejor entendimiento del uso de este recurso, así como un aprendizaje sobre las características y propiedades de este.

Tabla 2. Metodología planteada en la investigación

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Indagar en la literatura e infografías necesarias para tener una definición más clara en cuanto a las propiedades principales del material en diferentes aspectos.	1. Investigación en las bases de datos investigativas a disposición. 2. Recopilación de documentos que aporten a la información solicitada para la investigación.	Aquí se realizarán diferentes búsquedas en relación a los diferentes aspectos a evaluar tanto en el material como en los procesos en los cuales se agregará este.	Investigador.
Determinar los procesos de la ingeniería civil en los cuales podría ser útil la implementación del cuesco de palma.	1. Análisis de los documentos y datos recolectados mediante una selección objetiva previa.	A partir de los documentos anteriores, se realizará una selección a partir de la cual se podrá determinar de manera más precisa los procesos en los cuales integrar el material.	Investigador.

Tabla 2. Continuación

Establecer las ventajas y desventajas del uso de este material en las diferentes áreas de estudio de la ingeniería civil.	Establecer la viabilidad del material teniendo en cuenta la disyuntiva que se presente entre lo que favorece y lo que no de manera pertinente.	Teniendo en cuenta las especificaciones anteriores, por cada uno de los procesos integrados en la investigación se establecerán las posibles ventajas o desventajas del uso del material para un futuro uso.	Investigador.
---	--	--	---------------

7. Entorno del cultivo de palma africana

7.1. Definición del cuesco

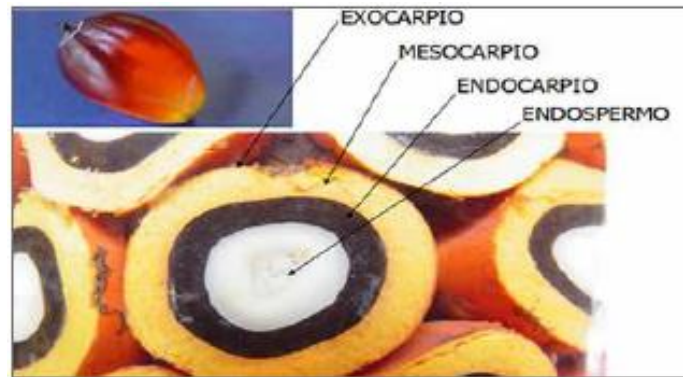
Con el fin de contextualizar y dar a conocer una definición certera del cuesco de palma africana, es importante entender todo el proceso preliminar que este concepto trae consigo, la palma de aceite es un espécimen del trópico que se clasifica como la más productiva de las oleaginosas en el planeta, puede alcanzar rendimientos desde 3.000 a 5.000 kg de aceite de palma por cada hectárea, así como también puede producir desde 600 hasta 1.000 kg de aceite de palmiste. (Pitto & Carvajal, 2017)

El autor menciona que “su producción inicial es tardía pues su ciclo productivo inicia a los 4 o 5 años después de su implementación, alcanzan su punto más alto de rendimiento entre los 20 y 30 años” (Pitto & Carvajal, 2017), así mismo, al llegar a este punto se plantea la disyuntiva entre continuar su ciclo productivo o acabar con su vida útil, esto se debe a que la altura de la palma (a causa de su edad) empieza a dificultar la cosecha del fruto, lo cuál genera altos costos dando a entender que la renovación del cultivo es la opción más óptima. (Becerra, 2017)

Los racimos de la palma pueden llegar a pesar entre 15 a 30 kg, sin embargo, se pueden llegar a cosechar hasta 50 kg por racimo, estos contienen entre 1.200 y 4.000 frutos que contienen una almendra redondeada de cuesco que a su vez está rodeado del “pericarpio” que contiene aceite, el peso aproximado de este fruto está entre 3 y 20 gr dependiendo de su tamaño. (Becerra, 2017)

Estos frutos poseen una forma ovoide midiendo entre 3 y 6 centímetros de largo, constan de una piel (pericarpio) la cual se caracteriza por ser lisa y brillante, una pulpa o tejido fibroso que contiene células con el aceite (mesocarpio), una semilla que se compone de un cuesco lignificado de grosos variable (endocarpio) y una almendra o palmiste (endospermo) (Trejo, Cruz, & Novoa, 2018).

Figura 1. Estructura interna del fruto de palma africana



Nota. Adaptado de Trejo, B. A., Cruz, Y. S., & Novoa, H. L. (2018). *Elaboración de bloques de mampostería mediante el uso de mortero, adicionado con ceniza del cuesco y de fibra de palma africana en el departamento del meta.*

De acuerdo con lo anterior, el cuesco se puede definir como “un material duro que protege a la almendra y corresponde a un residuo de los procesos de extracción del aceite de palma que se obtiene en forma concentrada y triturada luego de la recuperación de la almendra”. (Becerra, 2017)

Figura 2. Cuesco de palma producto del prensado

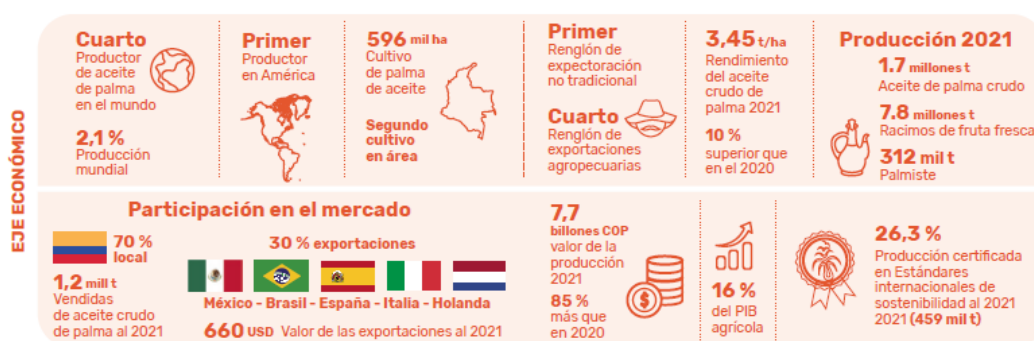


Nota. Adaptado de Dam, J. V. (2016). *Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa. Holanda.*

7.2. Entorno descriptivo

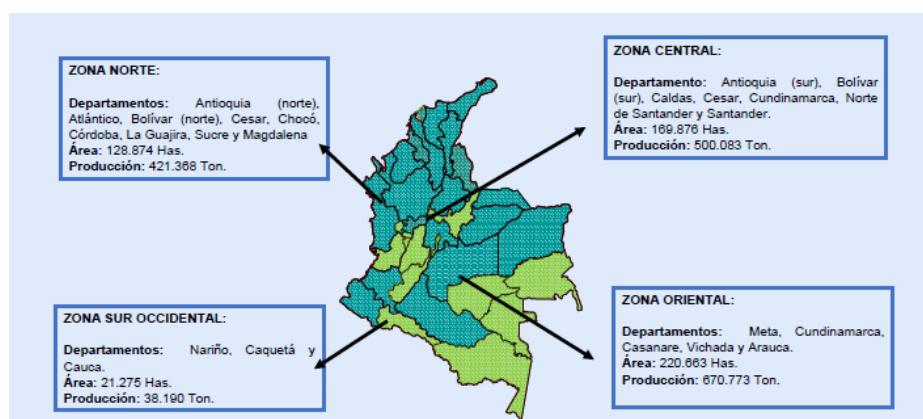
La producción de aceite de palma en Colombia ocupa un aproximado de 600.000 hectáreas de terreno en planta, produciendo alrededor de 2 millones de toneladas de aceite ocupando el cuarto puesto y primero en Latinoamérica, esto reúne a un total de más de 6.000 palmicultores de los cuales 4.200 son palmicultores a pequeña escala lo que convierte al sector en el de mayor inclusión económica del agro colombiano, esto ha logrado caracterizarlo como “uno de los más eficientes y versátiles, siendo esta especie la de mayor rendimiento en producción de aceite vegetal por hectárea”. (MINISTERIO DE AGRICULTURA, 2019)

Figura 3. Descripción del eje económico de la industria palmera



Nota. Adaptado de Fedepalma. (2022). *Reporte de sostenibilidad del sector palmero 2018-2021*.

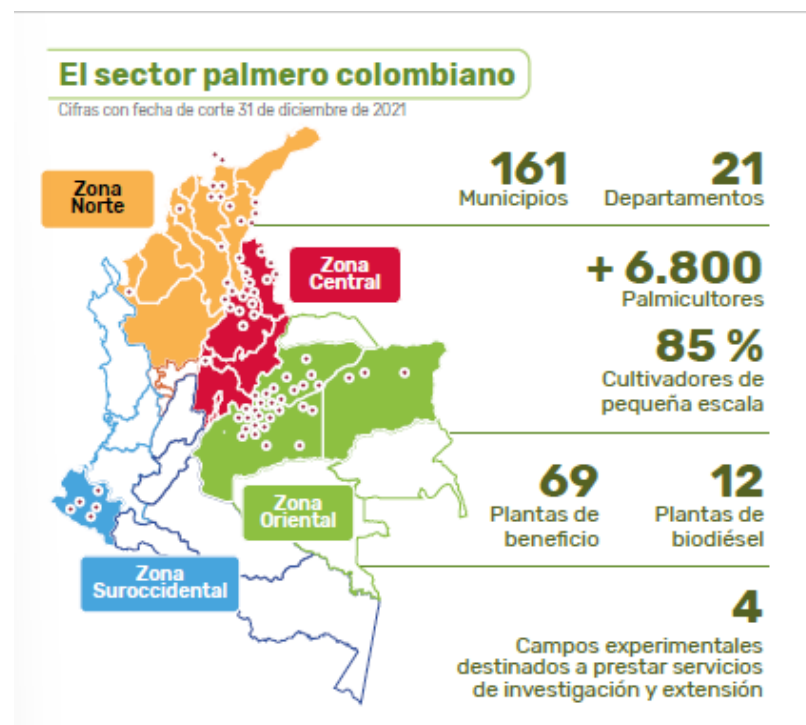
Figura 4. Zonificación de cultivos de palma de aceite



Nota. Adaptado del Ministerio de agricultura. (Septiembre de 2019). Cadena de palma de aceite. *Indicadores e instrumentos*.

El reporte presentado por la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma) afirma que el sector palmero colombiano hace presencia en 161 de los 1123 municipios y 21 de los 32 departamentos de la nación en los que se encuentran alrededor de 69 plantas de beneficio y 12 plantas de biodiésel, así como 4 campos experimentales destinados a prestar servicios de investigación y extensión. (FEDEPALMA, 2022)

Figura 5. Resumen del sector palmero colombiano



Nota. Adaptado de Fedepalma. (2022). *Reporte de sostenibilidad del sector palmero 2018-2021*.

Así mismo, la federación brinda datos vitales acerca de los beneficios en el entorno social que este sector le brinda, generando empleo, contratación, producción a menor escala, educación, beneficios a los productores del sector, contribución a la disminución de cultivos ilícitos, entre otros. (FEDEPALMA, 2022)

Figura 6. Descripción del eje social de la industria palmera

Nota. Adaptado de Fedepalma. (2022). *Reporte de sostenibilidad del sector palmero 2018-2021*.

Por otra parte, el ingeniero de petróleos William Caiza menciona que la palma de aceite africana (*Elaeis Guineensis*) es uno de los cultivos agroindustriales que ocupa gran cantidad de área productiva y que a su vez se ha convertido en una parte importante de la economía de un país en referencia al comercio internacional. De acuerdo a esto, también establece que “el aceite de palma africana se obtiene de la parte pulposa de la fruta, en este proceso se utilizan algunas operaciones de tipo convencional y de las cuales se derivan subproductos como raquis (racimos vacíos), torta de palmiste, cuesco, fibra y efluentes” (Caiza & Aguiar, 2021) con lo cual argumenta que el aprovechamiento de todos estos “subproductos” o desechos (como algunos lo llaman) presenta muchas complicaciones a la hora de su reutilización o el aprovechamiento de estos debido a los procesos que requieren para dicho uso.

Por lo tanto, la poca reutilización de primera mano de estos desechos provenientes del proceso productivo de la palma hace que la problemática ambiental sea aún mayor, esto debido a que de por sí, este proceso productivo genera ya un impacto severo en cuatro diferentes entornos, como lo son el agua, el suelo, el aire y la biodiversidad. (Pitto & Carvajal, 2017)

8. Problemática ambiental

El concepto de impacto ambiental que se ha generado alrededor de la industria palmera tiene un gran campo de acción, así que se puede establecer a partir de los tipos de impactos ambientales en los que se puede clasificar, existe un impacto provocado por el aprovechamiento de recursos naturales ya sean renovables o no, un impacto provocado por la contaminación y un impacto provocado por la ocupación del territorio. (Pitto & Carvajal, 2017)

Para efectos de la presente investigación, el enfoque principal se realiza en base a impactos ambientales derivados de la contaminación y la ocupación del territorio, esto debido a que son los más resaltantes frente a otros, como impacto potencial respecto a la contaminación está el recurso del aire el cuál se ve afectado principalmente por los procesos industriales realizados con el producto útil y los subproductos resultantes de la extracción de este.

El cultivo de palma se puede dividir en dos secciones, en un sector agrícola en el cual se establecen diferentes etapas tales como la adecuación de tierras, los previveros, los viveros, la siembra, el cultivo, el plateo, la poda, la cosecha, la recolección de fruto y la renovación de plantaciones, para este caso, el impacto más grande que se puede generar a base de esta sección es la sustitución de bosques naturales por sistemas agrícolas como lo puede ser un monocultivo de palma de aceite, esto puede representar un daño directo tanto en la producción de dióxido de carbono como la biodiversidad presente en el área, el departamento del Meta al ser una región significativa en la producción de cultivos de palma de aceite, es muy propenso a presentar este tipo de monocultivos debido a su alta condición de productividad por unidad de superficie lo que puede ser proporcional a la destrucción de los ecosistemas. (Pitto & Carvajal, 2017)

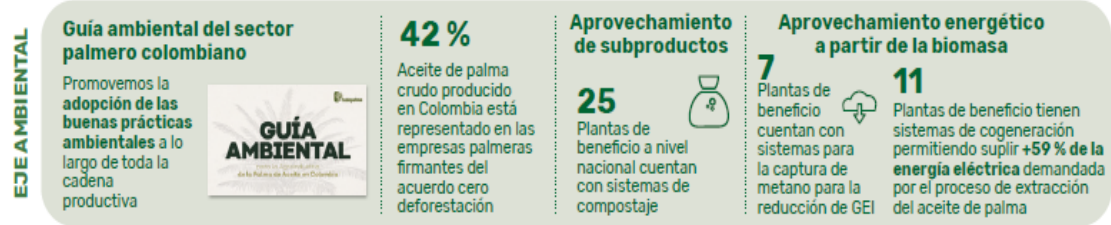
En cuanto a la segunda sección, esta se desarrolla más en el sector industrial de la producción de aceite, este se puede dividir en etapas tales como la recepción del fruto, la esterilización, el desfruto, la digestión, el prensado, la clarificación, el almacenamiento y el deslodado, en este sector, las etapas de desfruto, digestión y prensado son las que más producen una alteración de la calidad del aire por el material particulado y los gases provenientes de la combustión, así mismo, la contaminación directa a los cuerpos de agua representa una gran problemática para el desarrollo sostenible “las plantas extractoras de aceite de palma están ubicadas principalmente cerca de ríos, debido a que se requieren grandes cantidades de agua para la operación de estas. E normal que los primeros días, descarguen el efluente (resultante del

proceso industrial) directamente al río, lo cual afecta la vida acuática y el hábitat de diferentes organismos presentes en ellos. (Pitto & Carvajal, 2017)

Por otra parte, estas plantas extractoras deben establecer un Plan de Manejo Ambiental (PMA) al estar involucradas directamente con la afectación ambiental, es el caso de la empresa PALMERAS DE PUERTO WILCHES S.A en donde establece los diferentes procesos industriales que se realizan para la extracción del aceite, identificando las posibles afectaciones de cada uno de ellos y en que entorno o recurso pueden hacerlo directa e indirectamente, así mismo los evalúan y realizan una relación y descripción de estas, clasificándolos y calificándolos para finalmente darles un manejo de prevención, mitigación y compensación, así como los costos pertinentes de dicho manejo y un plan de contingencia y seguridad industrial. (Contreras, 2017)

Las recomendaciones y estrategias más certeras respecto al manejo ambiental de este tipo de impactos son la exigencia y control de esta industria desde la normatividad legal como por parte de las entidades regionales, esto en referencia al proceso que llevan a cabo a la hora de realizar la producción de aceite, estos controles se basan en la disposición final de residuos, en los permisos y licencias referentes a la ocupación del espacio y al ciclo producto, en la realización de diagnósticos profundos por parte de cada una de las empresas extractoras y agrícolas, en la reutilización y aprovechamiento de los subproductos derivados el proceso industrial, en la erradicación de la práctica de quema de estos subproductos y en un mantenimiento y recuperación de las zonas aledañas a estas áreas ya sean cuerpos hídricos, zonas verdes, entre otras. (Pitto & Carvajal, 2017)

Fedepalma por su parte, establece que en el eje ambiental el sector palmero colombiano se promueve la adopción de las buenas prácticas ambientales, así como el aprovechamiento físico de los subproductos como también el energético a partir de la biomasa. (FEDEPALMA, 2022)

Figura 7. Descripción del eje social de la industria palmera

Nota. Adaptado de Fedepalma. (2022). *Reporte de sostenibilidad del sector palmero 2018-2021*.

9. Áreas de aplicación del cuesco en el entorno de la ingeniería civil

9.1. Usos comunes del cuesco

La información al respecto de la utilización del subproducto agroindustrial derivado de la producción de aceite de palma “cuesco” es clara y concisa, sin embargo, es necesario establecer los usos de dicha producción, esto debido a que se transforma en una justificación para su coproducción y uso, el fin del proceso industrial realizado por el sector palmero es llegar a diferentes consumidores nacionales e internacionales que transformen su producto en derivados tales como productos alimenticios, alimentos concentrados para animales, productos de aseo, cosméticos, biocombustible, entre otros. (FEDEPALMA, 2022)

Figura 8. Sector palmero y sus productos derivados de la producción de aceite

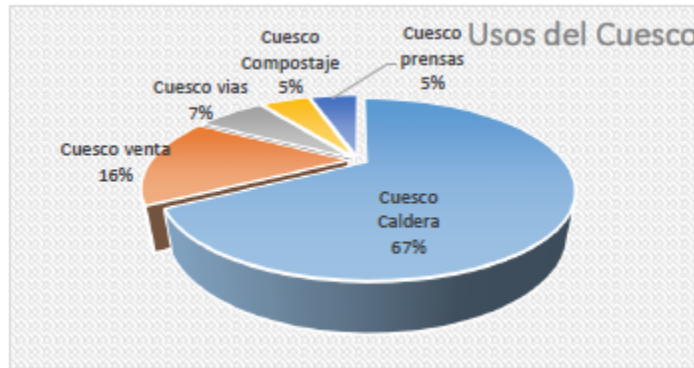


Nota. Adaptado de Fedepalma. (2022). *Reporte de sostenibilidad del sector palmero 2018-2021*.

Teniendo clara esta información, los usos que se le da al cuesco de la palma africana son en diferentes áreas, Erika Becerra en su tesis relaciona estos usos con entornos en los cuales se desarrollan estableciendo que “el 67% del total obtenido es utilizado como combustible para calderas, y el 37% restante es dispuesto de la siguiente manera: 16% se dispone para la venta a otras industrias como combustible sustituto del carbón especialmente, 5% es enviado para la

elaboración de compostaje y el 7% es utilizado como acondicionador en las vías de las plantaciones. El restante 5% es empleado en las plantas de beneficio que por usar prensa monotornillo requiere mezclarlo con el fruto digestado para mejorar el proceso de extracción”. (Becerra, 2017).

Figura 9. Usos comunes del cuesco



Nota. Adaptado de Becerra, E. L. (2017). *Caracterización del desecho agroindustrial de la palma de aceite "cuesco" para el mejoramiento de las capas granulares de la estructura de pavimento.*

Así mismo, se aprecia que más del 50% del total del cuesco recolectado es utilizado en las calderas lo que evidencia un desaprovechamiento del subproducto y un aumento en el impacto ambiental generado al recurso del aire.

Por otra parte, Leonel Cotes en su tesis de maestría expone que en nuestro país se ha venido usando el cuesco de palma africana para la producción de carbón activado, lo cual ha transformado el concepto de desecho en una generación de energía que puede representar un beneficio económico y ambiental, también se ha experimentado en la gasificación por medio de un modelo de equilibrio termodinámico. (Cotes, 2017)

Respecto a la elaboración de carbón activado, el artículo elaborado por David Santiago Gómez del periódico UN de la Universidad Nacional de Colombia, establece que para el aprovechamiento del cuesco como carbón activado es crucial mezclarlo con un agente deshidratante para volver el material más poroso, el fin de esto es la purificación del aire y el agua estableciéndose ya sea mediante monolitos o filtros respectivamente, estas dos alternativas permiten solucionar varias problemáticas, por una parte no apilar los residuos del cultivo y por

otro, incentivar formas de cuidar estos recursos lo cual ayudaría a la industria a tener planes de manejo de desecho mejor estructurados. (Mendoza, 2014)

En cuanto a la ingeniería civil, Cotes menciona que se ha estudiado la posibilidad de la utilización de la ceniza de cuesco de palma africana (CCPA) como una alternativa para la estabilización de suelos tradicionales, también en diferentes mezclas de concreto con el fin de realizar mampostería a base de una adición porcentual del material, finalmente, expresa que en Malasia, país en donde más se generan desechos agroindustriales por esta industria, se han realizado estudios en los que adicionan cuesco a diferentes mezclas asfálticas con el fin de evaluar su viabilidad y también se ha implementado la posibilidad de realizar concreto permeable, debido a las propiedades básicas del subproducto. (Cotes, 2017)

9.2. Caracterización de las propiedades del cuesco

Para la iniciación de cualquier investigación es necesario tener claras las propiedades del material de manera individual, esto debido a que se pueden establecer algunas conclusiones o resultados respecto a los documentos, por lo tanto, la caracterización del cuesco es esencial y fundamental en las diferentes investigaciones, estas logran evidenciar los componentes físicos, químicos y mecánicos que posee el material agroindustrial.

Sin embargo, es importante dejar en claridad que la caracterización del material depende netamente del uso que se le vaya a dar a este, por lo tanto y para este caso, en el área de la ingeniería civil dependiendo del marco al que se va a enfocar se determina su caracterización a partir de diferente normatividad y así mismo se clasifica de acuerdo con su comportamiento mecánicas, físicas o químicas dando valores óptimos para cada estudio en particular.

9.3. Marco estructural

De acuerdo a la investigación realizada y la información recolectada, este entorno es el que más ha sido desarrollado a nivel investigativo y práctico, debido a que la elaboración de diferentes estudios de la adición del cuesco de palma (independientemente del estado del material) a los diferentes componentes que abarca el marco estructural han sido consistentes, en este caso, se tienen estudios referentes a la evaluación de la resistencia a la compresión de un concreto con

adiciones de cuesco ya sea de manera general, en forma de mampostería, de adoquines e incluso en combinación con otros materiales.

9.3.1 Cuesco como sustituto del cemento para mortero

Sandra Patricia Reyes y Julio Alberto Ortiz en su artículo tienen como objetivo el uso del cuesco como un sustituto del cemento para mortero basada en una metodología en la cual se realiza una caracterización previa del cuesco en forma de ceniza, se realiza una dosificación del material, se elabora una mezcla homogénea de un cemento hidráulico, se evalúa la resistencia a la compresión de morteros de dicho cemento y finalmente se realiza una determinación el pH; estas pruebas de resistencia a la compresión dieron como resultado la *Figura X* en donde se evidencian el número de cubos fallados, el peso unitario, el reemplazo de cemento por ceniza y la resistencia de acuerdo a los tiempos de fraguado. (Ortiz)

Tabla 3. Resultado del ensayo de resistencia a la compresión

Número de cubos	Peso unitario (g/cm ³)	Reemplazo de cemento por ceniza (%)	Resistencia a la compresión de morteros (Mpa)		
			3 días	7 días	28 días
9	2,278	0	14,77	17,93	33,43
9	2,245	5	14,51	21,87	39,35
9	2,198	10	8,86	17,31	31,67

Nota. Adaptado de Ortiz, J. A. (s.f.). *Aprovechamiento de los residuos de la palma africana*.

De acuerdo con el enfoque de la presente investigación, los autores concluyeron que 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 con esta investigación es propuesta adicionando 5% de esta para obtener una mayor resistencia, una ligera disminución del PH y del peso específico, originando un concreto de alto rendimiento, así mismo, establecen que Esta ceniza es aplicable a las obras de ingeniería civil dado que sus características disminuyen el peso de la estructura en la mezcla de pega y mortero de muro, disminuyendo los costos de cimentación y de refuerzos, además del impacto ambiental al utilizar desechos agroindustriales, estos valores no tienen un valor esperado o referente a una resistencia establecida. (Ortiz)

9.3.2 Monografía del efecto de la ceniza de cuesco de palma africana (CCPA) como micro material en concretos

Camilo Alberto Martelo y José Antonio Sepúlveda en su monografía del efecto de la ceniza como micro material en concretos, a partir de la revisión bibliográfica del uso de la CCPA como sustitución parcial del cemento y como material cementicio evaluando su comportamiento mecánico y durabilidad estableció que no es recomendable usar de manera directa la ceniza del cuesco de palma debido a que es un subproducto proveniente de la producción de combustible de aceite de palma y que por lo tanto, es un material naturalmente porosos y con bajas propiedades físicas y químicas, se busca una mejor calidad bajo procesos que mejoren dicha propiedad por medio de molienda y tratamientos con temperatura. (Martelo & Medina, 2022)

Así mismo, mencionan que las propiedades físicas y químicas de la ceniza se ven afectadas directamente por la ubicación geográfica, la temperatura de combustión, los tratamientos previos al cuesco y por su proceso de obtención, concluyeron que en cuanto a los tratamientos químicos que se le pueden realizar al material, una solución de cal y un recubrimiento con alcohol polivinílico reducen significativamente la capacidad de absorción de agua en el material, así mismo, mejoran sus propiedades mecánicas. Finalmente mencionan que los resultados de manera general fomentan el uso de la ceniza de cuesco de palma africana en el concreto, incluso a niveles altos de reemplazo, esto indica un gran aporte tanto a la tecnología de materiales como una contribución al desarrollo sostenible en la mitigación del daño ambiental. (Martelo & Medina, 2022)

Sin ser muy específicos, de la basta normatividad presentes en todos los estudios evaluados, la más destacable es la Norma Técnica Colombiana NTC 3493 de 2019 que especifica las propiedades de las cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas para el uso del concreto.

9.3.3 Elaboración de bloques de mampostería mediante el uso de mortero adicionando ceniza de cuesco y fibra de palma africana

En la ciudad de Villavicencio, estudiantes de la Universidad Cooperativa de Colombia realizaron bloques de mampostería mediante el uso de mortero adicionando ceniza de cuesco y

fibra de palma africana en los cuales los bloques debían cumplir con ciertas propiedades establecidas en las normas técnicas, en este caso, para mampostería estructural se establece la NTC 4026 mientras que para la mampostería no estructural se establece la NTC 4076, dichas propiedades son la densidad, la resistencia a la compresión, la absorción y las dimensiones. (Trejo, Cruz, & Novoa, 2018)

Para dicha práctica se estableció una metodología a partir de un proceso de elaboración que se basó en la recolección del material, el desgaste de la ceniza, la granulometría de la ceniza, la preparación de cubos para en ensayo de resistencia del mortero, la determinación de la dosificación óptima, la elaboración de un bloque estructural y la evaluación de la resistencia a compresión de este, finalmente se realiza un análisis comparativo. (Trejo, Cruz, & Novoa, 2018)

Se estableció a partir de los resultados que la dosificación óptima es de un 3% en reemplazo del cemento, sin embargo, de acuerdo a la NSR-10 la resistencia de los bloques de mampostería estructurales y no estructurales debe ser de 10 y 4Mpa respectivamente y de acuerdo a los resultados, dicha resistencia no se cumple debido a que el promedio resultante de la evaluación de resistencia a compresión fue de 3.42Mpa, esto se puede deber al método artesanal mediante el cual se realizaron los bloques de mampostería, a pesar de lo anterior, la ceniza de palma funciona como material puzolánico, permite mejorar las propiedades mecánicas del mortero y esto hace que se puede utilizar en la elaboración de bloques de mampostería apostando a la disminución del impacto ambiental negativo que genera la industria enfocada al desarrollo de la infraestructura. (Trejo, Cruz, & Novoa, 2018)

9.3.4 Uso del cuesco de la palma africana en la fabricación de adoquines y bloques de mampostería

El autor Jorge Buzón Ojeda establece una metodología para la fabricación de adoquines y bloques de mampostería con el fin de sustituir parcialmente el consumo de materias primas convencionales (agregado grueso y fino principalmente) para la preparación de mezclas de concreto y mortero con sus múltiples aplicaciones, con lo cual realiza los ensayos pertinentes a la determinación del asentamiento de la mezcla con cuesco de palma, elabora cilindros de concreto para evaluar la resistencia a la compresión y finalmente realiza un análisis comparativo con respecto a un producto con agregados comunes. (Ojeda, 2009)

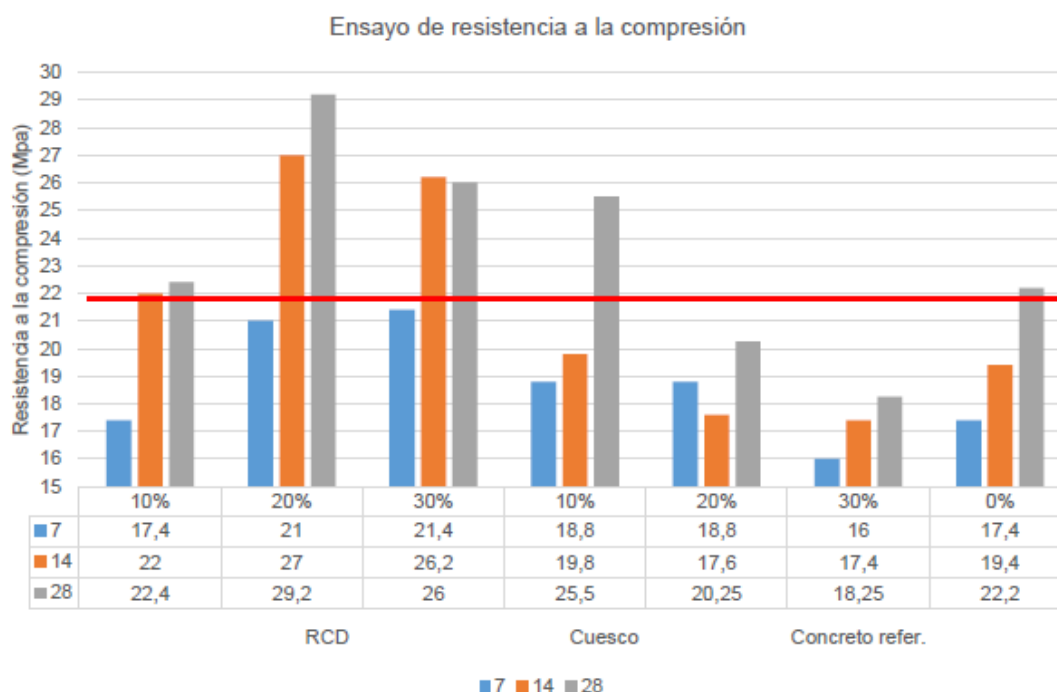
Estos agregados se definieron en un mortero de relación 1:4 dosificando un 25 y un 50% de cuesco, formando así morteros con relaciones 1:3:1 y 1:2:2, a partir de una prueba de dureza al cuesco de palma mediante una prueba de desgaste (INVIAS, Instituto Nacional de Vías) se evidenció que los valores eran positivos entre un 11 y 12%, incluso mejores que el canto rodado de arroyo que arrojó un 25%. (Ojeda, 2009)

Finalmente se concluyó que los valores tanto de los adoquines fabricados a partir de mortero y cuesco como de los bloques de mampostería cumplen satisfactoriamente con la normativa respecto a la resistencia obtenida (9.1Mpa y 2Mpa respectivamente) validando su viabilidad técnica, sin embargo, el autor menciona que para futuros estudios es recomendable incrementar en un bajo porcentaje la cantidad de cemento, cuidar los tiempos de mezclado para una mejor integración, considerar una arena más gruesa por efectos de trabajabilidad y resistencia, finalmente variar un poco las relaciones de los materiales a la hora de dosificar. (Ojeda, 2009)

9.3.5 Evaluación de la resistencia a la compresión de concreto utilizando el cuesco proveniente de los residuos de fruto fresco de la palma africana y el concreto de residuos de construcción y demolición de obras civiles (RCD)

Para este estudio, los autores Brayan Edilson García y Luis Miguel Díaz realizaron la práctica más detallada de las diferentes investigaciones evaluadas en el presente documento, esta fue realizada con el objetivo de evaluar la resistencia a la compresión del concreto elaborado a partir de la sustitución de porcentajes de agregado grueso por residuo de cuesco proveniente del racimo de fruto fresco de palma africana (RFF) y el concreto de residuos de construcción y demolición, para esto se estableció una metodología basada en la recolección de muestras de RCD y cuesco, la elaboración de ensayos de laboratorio establecidos para la caracterización de cada material, la elaboración de cilindros con diferentes porcentajes de agregado de los dos materiales (cuesco y RCD), realización de pruebas de resistencia a la compresión y un análisis comparativo con respecto a la resistencia esperada (21Mpa). (Velásquez & Morales, 2019)

Los ensayos realizados al cuesco fueron un lavado básico con agua y jabón, un secado al horno, una granulometría, fueron pasados por una mezcladora para la elaboración de cilindros y finalmente en conjunto con los agregados, el ensayo de resistencia a la compresión. (Velásquez & Morales, 2019)

Figura 10. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión

Nota. Adaptado de Velásquez, B. E., & Morales, L. M. (2019). *Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto utilizando el cuesco proveniente de los residuos de fruto fresco de la palma africana y el concreto de residuos de construcción y demolición en obras civiles (RCD)*.

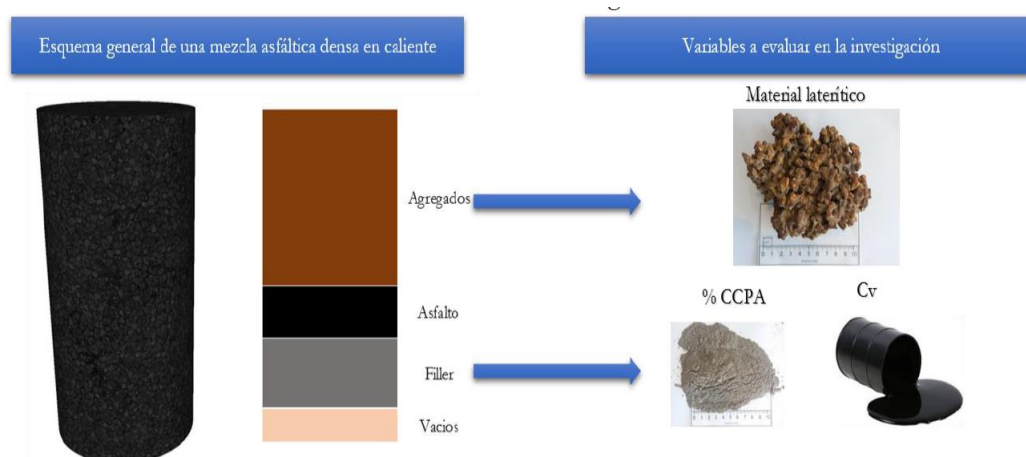
Finalmente se concluyó que, en términos de resistencia la única muestra de adición de cuesco que superó la resistencia a la compresión establecida (21Mpa) fue aquella a la que se le adicionó el 10% mientras que los porcentajes correspondientes al 20 y 30% no superaron el umbral, sin embargo, el autor recomienda evaluar las propiedades químicas del cuesco para mejorar sus resistencia a la compresión, así mismo, profundizar los estudios en los dos materiales con el fin de viabilizar el uso de estos de una forma más argumentativa y clara ampliando el campo en diferentes propiedades y estados de estos. (Velásquez & Morales, 2019)

9.4. Marco de vías y transporte

9.4.1 Evaluación de la influencia de la adición de ceniza del cuesco de palma africana en el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas fabricadas con material laterítico

El autor Leonel Eduardo Cotes, elaboró su tesis en base a la evaluación de la adición de la ceniza de cuesco en el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas fabricadas a base de material laterítico (ripio) con el fin de evaluar la viabilidad técnica al adicionar este material como modificador de las mezclas fabricadas en caliente para ser utilizadas como material en vías del departamento del Vichada, esto debido al contexto social y económico presente en el departamento, para ello se estableció una metodología basada en la caracterización física y química de los materiales utilizados (asfalto, material laterítico y ceniza de cuesco de palma), la modificación de las propiedades básicas del asfalto por medio de la adición de la ceniza, una evaluación del efecto de la ceniza en las interfaces de asfalto-agregado por medio de propiedades termodinámicas así como una evaluación de las propiedades mecánicas de estas. (Cotes, 2017)

Los valores por evaluar son la proporción de ceniza de cuesco de palma africana (CCPA) y la concentración volumétrica (CV) del llenante mineral en la mezcla asfáltica con material laterítico y en las propiedades básicas del asfalto, en la *Figura X*, se evidencia un esquema general de una mezcla asfáltica densa en caliente y las variables a evaluar en la investigación, así como la composición a la que pertenecen en el esquema. (Cotes, 2017)

Figura 11. Esquema general de una mezcla asfáltica en caliente y sus variables

Nota. Adaptado de Cotes, L. (2017). *Evaluación de la influencia de la adición de ceniza del cuesco de palma africana en el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas fabricadas con material laterítico.*

En la evaluación de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, para el ensayo de estabilidad de Marshall, los valores óptimos son del 50% de CCPA y 0.33 CV debido a que se obtuvieron los mayores valores en dicho ensayo, sin embargo, todas las combinaciones fueron superiores al valor mínimo establecido en la normativa colombiana, lo cual demuestra un buen comportamiento de la mezcla. Para el ensayo de resistencia de ahuellamiento los valores óptimos son del 100% de CCPA y 0.47 de CV. Para el ensayo de la resistencia a la tracción indirecta, los valores establecidos entre el 15 al 100% de CCPA cumple con la resistencia conservada establecida en la normativa (80%), se puede afirmar que las mezclas adicionadas con estos porcentajes de CCPA son menos susceptibles al daño por húmedas. De manera general la inclusión de la CCPA en una mezcla asfáltica evidencia un mejoramiento en el comportamiento mecánico llegando a su punto máximo con el 100% de adición, en cuanto a la zona de estudio (Vichada) los resultados son favorables en referencia a la temperatura que logra un mejor rendimiento y duración en su vida útil. (Cotes, 2017)

El autor concluye que Cuando se establece una mezcla asfáltica elaborada con material laterítico, de acuerdo con los resultados establecidos a partir de los ensayos se adopta un 50% de CCPA como porcentaje óptimo con el fin de definir principios prácticos de diseño en mezclas asfálticas, así mismo, menciona que con la información presentada se viabiliza técnicamente la utilización de la ceniza de cuesco de palma africana como modificador de mezclas asfálticas en

caliente fabricadas en material laterítico y recomienda que con el fin de prolongar las investigaciones del mismo índoles es recomendable evaluar el comportamiento de las mezclas asfálticas con la adición de la CCPA en estado húmedo o que esta mezcla sea realizada con materiales convencionales y no lateríticos, así como también, evaluar dichas mezclas a largo plazo. (Cotes, 2017)

9.4.2 Caracterización del desecho agroindustrial de la palma de aceite “cuesco” para el mejoramiento de las capas granulares de la estructura de pavimento

En este caso, la autora Erika Lorena Becerra elaboró este estudio con el fin de caracterizar el desecho agroindustrial de la palma de aceite “cuesco” para evaluar el posible mejoramiento de capas granulares en la estructura de pavimento mediante especificaciones y ensayos establecidos por el INVIAS verificando que cumpla con los estándares planteados, para ello se estableció una metodología basada en la revisión de información con el fin de relacionar el cuesco a diversos usos, el registro e inspección de ensayos acordes a la caracterización en el INVIAS, la recolección de información obtenida de la elaboración de ensayos pertinentes para la caracterización y la consolidación y análisis de la información. (Becerra, 2017)

Para esto se realizaron ensayos de resistencia a la degradación, un análisis granulométrico, la determinación del material que pasa por el tamiz N° 200, el contenido de agua evaporable, la densidad, densidad, relativa y absorción del agregado grueso y finalmente, los índices de aplanamiento y alargamiento de agregados. (Becerra, 2017)

Como resultado se obtuvo que, con respecto a la comparación de la granulometría de las capas granulares base y subbase de la estructura de pavimento, no cumple con lo exigido en la normatividad para este tipo de material. Para el ensayo de desgaste en la máquina de los ángeles para 500 revoluciones se obtiene un porcentaje muy bajo por debajo del 4% con lo cual es favorable en cuanto al valor establecido por la norma (50%). Para el ensayo de alargamiento y aplanamiento se obtuvieron valores por encima de la norma demostrando su irregularidad morfológica e inhabilitando su uso. Para el ensayo de agua evaporable se obtuvo un valor del 3.8% que no es representativo en cuanto al cambio de volumen del material, por lo que representa favorabilidad. Para el ensayo de determinación del material que pasa por el tamiz N° 200 se

determina un 15.70% lo cual indica la presencia de finos adheridos a las partículas del cuesco. (Becerra, 2017)

Finalmente, la autora define el cuesco como un desecho agroindustrial que no es viable en el uso de agregados para bases y subbases granulares como reemplazo total, debido a que este en su estado natural no cumple con las especificaciones técnicas dadas por el INVIAS, así mismo, establece que el material es argumentativamente útil en el mejoramiento debido a los resultados frente al desgaste de este, sin embargo, tendría que ser modificado su estructura inicial y también, se propone el uso del material en forma de ceniza, sin embargo, esto representa una modificación en la superficie específica de los materiales que puede generar un mayor costo o un proceso extra que puede generar impactos ambientales negativos. (Becerra, 2017)

9.5. Marco de mejoramiento de suelos

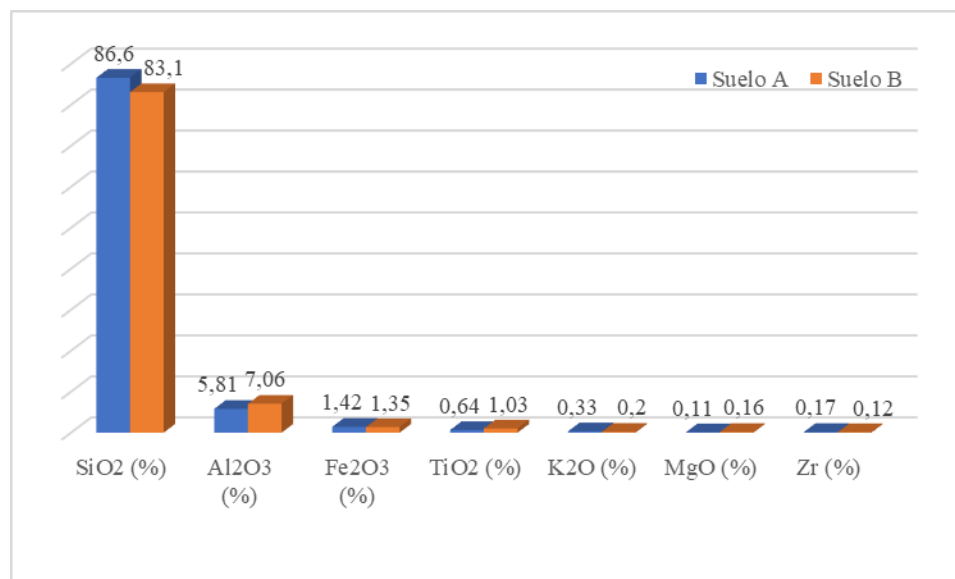
9.5.1 Utilización de la ceniza del cuesco de la palma africana (CCPA) como una alternativa económica y eficiente a los estabilizadores de suelos tradicionales.

Los autores Leonel Cotes y Carol Murillo establecen este artículo con el objetivo principal de evaluar la utilización de la ceniza del cuesco de la palma africana (CCPA) como una alternativa económica y eficiente a los estabilizadores de suelos tradicionales estableciendo una metodología basada en la caracterización de dos tipos de suelo extraídos en el departamento del Vichada (física, química y mecánica), la adición de diferentes porcentajes de CCPA, la caracterización mecánica de los suelos adicionados en términos de resistencia a compresión inconfiada a través de mediciones de velocidades de ondas ultrasónicas y finalmente, la determinación del porcentaje óptimo, en la *Figura 13* y la *Figura 14* se pueden evidenciar la clasificación de los suelos a partir de su caracterización, dando como resultado arcillas con baja plasticidad, así como su composición química.

Figura 12. Resultado de la caracterización de las muestras de suelo

Propiedades	Suelo A	Suelo B
Contenido Natural de Agua (%)	5.5	17.6
Límite Líquido (%)	26.36	20.90
Límite plástico (%)	14.34	13.62
Índice de Plasticidad (%)	12.02	7.28
Gravedad Específica	2.62	2.69
Clasificación USCS	CL	CL

Nota. Adaptado de Cotes, L., & Murillo, C. (2015). *Estabilización de suelos arcillosos mediante la dosificación de la ceniza del cuesco de la palma africana*

Figura 13. Resultados de las propiedades químicas de las muestras de suelo

Nota. Adaptado de Cotes, L., & Murillo, C. (2015). *Estabilización de suelos arcillosos mediante la dosificación de la ceniza del cuesco de la palma africana*

Para la caracterización de los dos tipos de suelo con la adición de CCPA se realizaron ensayos de plasticidad, compactación, densidad máxima y humedad óptima, resistencia y velocidades de onda para la medición de módulos de elasticidad, como resultado se obtienen efectos de la CCPA en la plasticidad, la compactación, la resistencia a la compresión inconfiada y a las velocidades de onda.

A partir del estudio realizado, el autor concluye que la plasticidad se disminuyó en el suelo A y el aumentó en el suelo B lo que puede generar incertidumbre debido a que sus características son similares, por lo tanto, objetivamente puede deberse a algún agente externo a la prueba, así mismo establece que en todas las pruebas se alcanza un valor óptimo de adición del 7.5% al aumentar o disminuir el porcentaje del material ve afectada la propiedad en cuestión a excepción de la plasticidad que presenta un comportamiento más proporcional y acorde al tipo de suelo.

10. Ventajas y desventajas

10.1. Ventajas

De acuerdo con lo establecido en los estudios, prácticas e investigaciones relacionadas anteriormente, se establece que el subproducto “cuesco” del fruto de la palma africana es un material con una viabilidad de uso muy alta, que aunque respecto a su marco normativo no sea claro en su uso ni características, sus valores estadísticos en todos los documentos demuestran una apertura a la experimentación del material en diferentes estados, algunos autores recomiendan que se emplee en forma de ceniza para su uso en relación a las áreas donde se requiera material derivado del concreto, esto debido a que según la caracterización química de diferentes autores, tiene un alto contenido de óxido de sílice lo que lo vuelve un material muy cementante.

En cuanto a los marcos de vías y transporte como el de mejoramiento de suelos, es necesario recalcar que dependen mucho de las circunstancias en cada caso, los tipos de suelo van a reaccionar diferente a la adición de un material como la ceniza de cuesco, así como también las mezclas asfálticas de diferente índole, sin embargo, en condiciones ideales, la mezcla de estos dos puede generar una viabilidad a su uso en esta índole.

Así mismo, la búsqueda por la determinación de los beneficios del uso y aprovechamiento de este material acarrea beneficios propios en la industria palmera debido a la mitigación de los impactos ambientales negativos que genera la producción de aceite, así como también una mejora en cuanto al entorno económico de las empresas productoras, si este subproducto se viabiliza como un material comercial genera ingresos y empleos en las empresas a partir de que se establezca un proceso de preparación para la comercialización de este.

10.2. Desventajas

La poca información relacionada al aprovechamiento del material respecto al área de la ingeniería civil dificulta la conformación de procesos sean industriales o artesanales que preparen este tipo de materiales para su uso correcto, esto se debe al poco interés por la industria y al desconocimiento del proceso agroindustrial que tiene el sector palmero para la producción de aceite.

El hecho de que el material en crudo no sea muy útil en el entorno de la construcción de infraestructura, genera costos adicionales a la hora de tener que cambiarlo de estado físico, químico o mecánico con el fin de darle propiedades ideales para su correcto uso.

11. Conclusiones y recomendaciones

- La viabilidad del cuesco como uso pertinente en diferentes áreas de la ingeniería civil aún no es muy clara, sin embargo, queda demostrado que el material posee buenas propiedades para su uso en los diferentes marcos evaluados, esta incertidumbre se debe a las variables que se ven afectadas a la hora de implementar el cuesco en sus diferentes estados, los dos materiales generan variaciones a pesar de que los métodos de ensayo y las normativas se encuentren estandarizadas.
- En Colombia es necesaria la implementación de una normatividad que establezca una estandarización de acuerdo con el uso de materiales de este tipo, que se puedan caracterizar física, química y mecánicamente con el fin de adicionarlo en procesos ya conocidos, en este caso, en el ámbito de la ingeniería civil y que a su vez tenga el objetivo de establecer un desarrollo sostenible con la industria, en este caso, la de producción de aceite por palma africana.
- La implementación de este material depende netamente de la continua investigación y la conciencia respecto al daño medioambiental que generan algunos procesos industrializados, en el Departamento del Meta se tiene una gran capacidad para la continuación de esta investigación debido a la basta producción de aceite presente en este, en especial, en el mejoramiento de suelos de vías terciarias las cuales presentan una mala estructura debido a la falta de soporte económico que garantice su correcto uso y aprovechamiento, así como en departamentos con poca infraestructura vial como lo es el Vichada.
- Es necesario el control con respecto a los impactos ambientales negativos que puede generar la industria de la producción de aceite mediante palma africana, esto debido a que no se tiene en cuenta en el desarrollo de los procesos y en muchas ocasiones los planes de manejo ambiental no se cumplen acorde a la información presentada ante las entidades, esto demuestra una realidad a nivel nacional que no solo se da en este tipo de industria.

12. Referencias bibliográficas

- Becerra, E. L. (2017). *Caracterización del desecho agroindustrial de la palma de aceite "cuesco" para el mejoramiento de las capas granulares de la estructura de pavimento*. [Título de posgrado. Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16516>
- Caiza, W. A., & Aguiar, R. J. (2021). *Caracterización físico-química del cuesco y fibra obtenidos del procesamiento de palma africana para un aprovechamiento eficiente de la energía térmica en calderas*. *Perspectivas*, 6(21), 110–126. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.perspectivas.6.21.2021.110-126>
- Contreras, N. C. (2017). Plan de manejo ambiental. <https://www.palmwil.com/wp-content/uploads/2017/02/Documento1.pdf>
- Cotes, L. (2017). *Evaluación de la influencia de la adición de ceniza del cuesco de palma africana en el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas fabricadas con material laterítico*. [Tesis de posgrado. Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79624>
- Cotes, L., & Murillo, C. (2015). *Estabilización de suelos arcillosos mediante la dosificación de la ceniza del cuesco de la palma africana*. XV Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica. 10.3233/978-1-61499-603-3-1678
- Dam, J. V. (2016). *Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa*. *Palmas*, 37, 149–156. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11930>
- Fedepalma. (2022). *Reporte de sostenibilidad del sector palmero 2018-2021*. <https://elpalmicultor.fedepalma.org/reporte-sostenibilidad-sector-palmero-2018-2021/>
- Martelo, C. A., & Medina, J. A. (2022). *Efecto de la ceniza de cuesco de palma africana como micro material en concretos*. [Tesis de grado. Universidad de Cartagena]. Repositorio <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/15724>
- Mendoza, D. S. (Mayo de 2014). Residuos de palma africana purifican agua y aire. *UN Periódico*, pág. 15. <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/residuos-de-palma-africana-purifican-agua-y-aire>
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural (Minagricultura). (Septiembre de 2019). *Cadena de palma de aceite. Indicadores e instrumentos*.

- <https://sioc.minagricultura.gov.co/Palma/Documentos/2019-0930%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ojeda, J. B. (2009). *Uso del Cuesco de la Palma Africana en la fabricación de Adoquines y Bloques de mampostería*. 7th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. https://www.laccei.org/LACCEI2009-Venezuela/Papers/EII202_BuzonOjeda.pdf
- Reyez Ortiz, S.P. & Ortiz, J.A. (s.f.). Aprovechamiento de los residuos de la palma africana. Universidad Cooperativa de Colombia. <https://docplayer.es/15607815-Aprovechamiento-de-los-residuos-de-la-palma-africana.html>
- Pitto, L. D., & Carvajal, A. D. (2017). *Monografía de estudio sobre los impactos ambientales que generan el cultivo y producción de palma de aceite africana (Elaeis Guineensis jacq.) en el departamento del Meta*. [Trabajo de grado. Universidad Nacional Abierta Y A Distancia -UNAD]. Repositorio. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13482/1121911388.pdf?sequence=7>
- Trejo, B. A., Cruz, Y. S., & Novoa, H. L. (2018). *Elaboración de bloques de mampostería mediante el uso de mortero, adicionado con ceniza del cuesco y de fibra de palma africana en el departamento del meta*. [Tesis de grado. Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio. <https://repository.ucc.edu.co/items/f401fd1c-d470-4d63-92ae-a239ac0a6e82>
- Velásquez, B. E., & Morales, L. M. (2019). *Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto utilizando el cuesco proveniente de los residuos de fruto fresco de la palma africana y el concreto de residuos de construcción y demolición en obras civiles (rcd)*. [Tesis de grado. Universidad Santo Tomás]. Repositorio. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/21277>