

**ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA
DE MACADAMIA COMO MATERIAL DE AGREGADO EN EL CONCRETO
HIDRÁULICO
(Proyecto de investigación)**

DANIEL STEVEN DIAZ POLINDARA

MIGUEL ÁNGEL FREIRE FUELTALA



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2016**

**ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA
DE MACADAMIA COMO MATERIAL DE AGREGADO EN EL CONCRETO
HIDRÁULICO**

**Daniel Steven Díaz Polindara
Miguel Ángel Freire Fuelta**

**Trabajo de grado modalidad investigación para optar al título de Ingeniero
Ambiental**

**Directora
María Elena Castro Caicedo
Ingeniera Civil, Msc. Ingeniería Ambiental**

**Asesor
Juan Manuel Mosquera Rivera
Ingeniero civil, PhD. Estructuras**

**Asesor
Jhonathan Lozada Aldana
Geo-tecnólogo**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN**

2016

Nota de aceptación:

Jurado

Jurado

**Ing. MSc. María Elena Castro Caicedo.
Directora**

Popayán, octubre de 2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos la fuerza y sabiduría al encaminarnos por el sendero de lo correcto y justo, a nuestros padres, hermanos y demás familiares por brindarnos su apoyo en todo lo que nos hemos propuesto, por nunca dejarnos caer y siempre estar presentes. A aquellos amigos, por ser parte de esta etapa en nuestras vidas.

Gracias a cada persona que contribuyó en nuestro crecimiento académico, en especial a la ingeniera MSc. MARÍA ELENA CASTRO por su apoyo, paciencia, tiempo y dedicación que tuvo para que este proyecto culminara exitosamente; al Ingeniero PhD. JUAN MANUEL MOSQUERA por su tiempo y conocimiento en el desarrollo de este proyecto, al Geo-tecnólogo JHONATHA LOZADA ALDANA y a todo el equipo de trabajo de PREDELCA S.A.S por el tiempo, apoyo y dedicación en el desarrollo de la práctica, por ultimo a la Empresa “Coberturas del Cauca” por facilitarnos el material que se utilizó como agregado no convencional

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
1. INTRODUCCION.	4
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
3. JUSTIFICACIÓN	6
4. OBJETIVOS	7
4.1. OBJETIVO GENERAL	7
4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	7
5. MARCO TEÓRICO	8
5.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	8
5.2. RESIDUOS SÓLIDOS	10
5.3. ORÍGENES Y DISTRIBUCION DE LA MACADAMIA EN COLOMBIA	10
5.4. CEMENTO	11
5.5. CONCRETO Y SUS CARACTERISTICAS	12
5.5.1. Composición del concreto	12
5.5.2. Propiedades importantes del concreto	13
5.6. CONCRETO LIVIANO	13
5.6.1. Propiedades de los concretos con agregados ligeros	13
5.7. ANÁLISIS QUÍMICOS REALIZADOS	14
5.7.1. Calorimetría diferencial de barrido DSC	14
5.7.2. Análisis termo-gravimétrico (TGA)	14
5.7.3. Análisis proximal	15
5.8. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES	15
5.8.1. Gravedad específica y absorción	15
5.8.2. Análisis granulométrico	15
5.8.3. Curva granulométrica	16
5.8.4. Densidad Bulk	16
6. METODOLOGIA	17
6.1. ANALISIS QUIMICO GENERAL DE LA CÁSCARA DE MACADAMIA	17

6.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS COMO AGREGADO PARA EL CONCRETO HIDRÁULICO.	17
6.3. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS Y LA DOSIFICACIÓN DEL MATERIAL A UTILIZAR EN LA MEZCLA DE CONCRETO SIMPLE	18
6.4. ELABORACIÓN DE LOS CILINDROS DE CONCRETO Y ENSAYO A LA COMPRESIÓN SIMPLE	18
6.5. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	18
7. PRESENTACION DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
7.1. ANALISIS QUIMICO AL AGREGADO NO CONVENCIONAL (cáscara de macadamia)	19
7.1.1. Determinación de temperaturas de transición térmica de calorimetría por barrido diferencial (DSC)	19
7.1.2. Análisis termo-gravimétrico de polímeros	21
7.1.3. Análisis proximal	23
7.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS	24
7.2.1. Granulometría del agregado fino	24
7.2.2. Granulometría del agregado grueso	27
7.2.3. Granulometría del agregado no convencional (Cáscara de macadamia)	29
7.2.4. Granulometría combinada del agregado grueso y no convencional al 10%	31
7.2.5. Granulometría combinada del agregado grueso y no convencional al 20%	33
7.2.6. Granulometría combinada del agregado grueso y no convencional al 30%	35
7.2.7. Gravedad específica del agregado fino	37
7.2.8. Gravedad específica del agregado grueso	38
7.2.9. Gravedad específica del agregado no convencional	39
7.2.10. Masa unitaria de materiales	40
7.3. DOSIFICACIÓN DE MATERIALES	41
7.4. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	44
7.5. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	55

8. CONCLUSIONES	58
9. RECOMENDACIONES	59
10. BIBLIOGRAFIA	60

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1 Temperatura y energía obtenida en la prueba DSC	19
Tabla 2 Resultados de análisis de termo-gravimétrico de polímeros (TGA).	21
Tabla 3 Análisis proximal de la cáscara de macadamia.	23
Tabla 4 Granulometría de la cáscara de macadamia.	29
Tabla 5 Granulometría del diseño 1.	31
Tabla 6 Granulometría diseño 2.	33
Tabla 7 Granulometría diseño 3.	35
Tabla 8 Gravedad específica a la cáscara de macadamia.	39
Tabla 9 Masas unitarias.	40
Tabla 10 Dosificación teórica de materiales para la mezcla patrón	42
Tabla 11 Dosificación teórica de materiales para el diseño 1.	42
Tabla 12 Dosificación teórica de materiales para el diseño 2.	42
Tabla 13 Dosificación teórica de materiales para el diseño 3.	43
Tabla 14 dosificación real de materiales para el diseño 1	43
Tabla 15 dosificación real de materiales para el diseño 2	43
Tabla 16 dosificación real de materiales para el diseño 3	44
Tabla 17 Ensayos de compresión a los 7 días.	44
Tabla 18 Ensayos de compresión a los 14 días.	45
Tabla 19 Ensayos de compresión a los 28 días	45
Tabla 20 Ensayos de compresión a patrones.	46
Tabla 21 Comparación de diseños con patrones.	47
Tabla 22 Costo de fabricación de 1m ³ de concreto.	57

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1 Cáscara y fruto de macadamia	10
Figura 2 Componentes principales del cemento	11
Figura 3 Resultados muestra 1 DSC en Universal Analysis 2000	20
Figura 4 Resultados muestra 1 TGA en Universal Analysis 2000	22
Figura 5 Granulometría agregado fino por PREDELCA S.A.S	25
Figura 6 Curva Granulométrica del agregado fino	26
Figura 7 Granulometría agregado grueso por PREDELCA S.A.S	27
Figura 8 Curva granulométrica del agregado grueso	28
Figura 9 Curva granulométrica de la cáscara de macadamia	30
Figura 10 Curva granulométrica del diseño 1	32
Figura 11 Curva granulométrica del diseño 2	34
Figura 12 Curva granulométrica del diseño 3	36
Figura 13 Gravedad específica agregado fino por PREDELCA S.A.S	37
Figura 14 Gravedad específica agregado grueso por PREDELCA S.A.S	38
Figura 15 Diseño de mezcla para 1 m ³	41
Figura 16 Comparación de diseños con respecto al patrón a los 7 días	48
Figura 17 Comparación de diseños con el patrón a los 14 días	49
Figura 18 Comparación de diseños con el patrón a los 28 días	49
Figura 19 Evolución de la resistencia en el tiempo	50
Figura 20 Pérdida de resistencia con relación al porcentaje de sustitución a los 7 días	51
Figura 21 Pérdida de resistencia con relación al porcentaje de sustitución a los 14 días	52
Figura 22 Pérdida de resistencia con relación al porcentaje de sustitución a los 28 días	52
Figura 23 Cilindro Patrón en prueba de resistencia a la compresión	53
Figura 24 Cilindro con agregado no convencional cáscara de macadamia	54
Figura 25 Relación densidad- resistencia a la compresión	54
Figura 26 Dosificación para 1 m ³ de concreto estándar	56
Figura 27 Dosificación para 1 m ³ de concreto con 10% de agregado no convencional	56
Figura 28 Dosificación para 1 m ³ de concreto con 20% de agregado no convencional	57
Figura 29 Dosificación para 1 m ³ de concreto con 30% de agregado no convencional	57

LISTA DE ANEXOS DIGITALES

ANEXOS

- **Anexo 1** CÁLCULOS Y GRAFICAS Programa Excel 2013
- **Anexo 2** ENSAYOS A LA MACADAMIA 10%
- **Anexo 3** ENSAYOS A LA MACADAMIA 20%
- **Anexo 4** ENSAYOS A LA MACADAMIA 30%
- **Anexo 5** ANÁLISIS PROXIMAL
- **Anexo 6** M123_SER_DSC.001
- **Anexo 7** M124_SER_DSC.002
- **Anexo 8** M125_SER_DSC.002
- **Anexo 9** M69_SER_TGA.001
- **Anexo 10** M70_SER_TGA.001
- **Anexo 11** M71_SER_TGA.001
- **Anexo 12** ENSAYOS GRANULOMETRICOS
- **Anexo 13** GRAVEDAD ESPECIFICA ARENA
- **Anexo 14** MASA UNITARIA Y GRAVEDAD
- **Anexo 15** ENSAYOS MACADAMIA
- **Anexo 16** DISEÑO DE MEZCLA

RESUMEN

La alta producción de residuos, y alta demanda de materiales pétreos, han incrementado la creación e investigación del uso de residuos sólidos en la elaboración de concreto, para así buscar soluciones a la problemática de los residuos y obtener rentabilidad en el campo de la construcción. En este sentido este trabajo de investigación suministra información de la incorporación de cáscara de macadamia, un residuo agroindustrial producido en la región, como sustituto de la grava en porcentajes de sustitución del 10%, 20% y 30% en volumen, en la elaboración de concreto, con unas especificaciones de diseño de mezcla pre establecida por la empresa PREDELCA S.A.S, dicha información se muestra en los resultados de análisis de costos y resistencia del concreto, que se realizaron en esta investigación.

También se caracterizó el material de forma individual y se elaboraron un total de 31 cilindros, 9 con 10 % de remplazo, 9 con remplazo del 20% y 9 con remplazo de 30%, además de cuatro patrones. A los 31 cilindros se les realizó pruebas de resistencia a los 7, 14 y 28 días, en las que se pudo establecer que a medida que se aumentaba el porcentaje de sustitución de cáscara de macadamia el valor de resistencia disminuía. Sin embargo se obtuvieron resultados alentadores en los porcentajes de 10 y 20 % de sustitución con porcentajes de 81% y 84 % de resistencia con respecto al patrón, a diferencia de la sustitución del 30 % donde el resultado fue del 74 % de la resistencia con respecto al patrón.

En la elaboración del análisis de costos, el beneficio económico es directamente proporcional a la sustitución, no obstante se plantea un nuevo rango para futuras investigaciones, dentro del 10% y el 20% de sustitución, ya que dentro de este rango no se presentaron diferencias significativas en la resistencia, además el beneficio económico representa un ahorro considerable.

1. INTRODUCCION.

La producción de residuos sólidos es una problemática que aumentó con la industrialización y el consumismo, con esta alta producción de residuos se ve afectado el medio ambiente de tal manera que su equilibrio entra en peligro. Recientemente se han creado políticas, estrategias e innovadores inventos para evitar que estos residuos finalicen su ciclo productivo, y se conviertan como subproductos o materias primas de nuevos productos, para poder así reducir los problemas de manejo de basuras producidos.

El crecimiento de la producción agrícola e industrial, trae como contrapartida el incremento de residuos, haciendo cada vez más difícil, costoso y ambientalmente insustentable su tratamiento y disposición final. Por ello es creciente en todo el mundo el interés en la utilización de los diversos residuos en distintas áreas, consiguiendo no solo beneficios ambientales sino económicos. (Behak y Núñez 2008).

El reprocesamiento de los residuos, en la actualidad ha cobrado un papel importante en las agendas ambientales de las naciones, ya que se dejó de ver a estos como simples desechos inservibles y se pasó a una idea más sostenible en la que su aprovechamiento no solo implica una ayuda a los ciclos naturales del planeta, sino que adicionalmente representa una fuente de importantes ingresos. Un ejemplo de lo anterior es el uso de desechos industriales y agroindustriales los cuales son sometidos a diferentes procesos, con el fin de introducirlos a nuevas operaciones industriales o procesos agrícolas. La experiencia más abordada en cuanto a la reutilización de desechos es el reciclaje de plástico, papel y vidrio para distintos usos, además del uso y la gran variedad de investigaciones sobre desechos orgánicos en la producción de compost y abonos naturales.

Además de esta problemática sobre residuos sólidos se aborda en este estudio la alta demanda de materiales pétreos, para su utilización en el sector de la construcción, materiales que son recursos no renovables y que en un tiempo determinado pueden llegar a escasear.

Los retos que supone la crisis ambiental de la producción y almacenamiento de los residuos sólidos, además de la alta demanda en la actualidad de los materiales pétreos, instan a la formulación de nuevos usos de los desechos, como en la utilización de estos últimos en el campo de la construcción y así abordar las dos problemáticas citadas anteriormente, es por esto que se utilizó el residuo de la cáscara de macadamia, residuo agroindustrial producido en grandes proporciones en la región, para reemplazarlo en porcentajes del 10%, 20% y 30% en lugar de la grava, en la elaboración de mezclas de concreto simple y determinar el grado de resistencia a la compresión, además se realiza un análisis en la reducción de costos que implicaría el uso de este residuo, como material de construcción, de esta manera aportar a solucionar las dos problemáticas planteadas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las problemáticas que se abordaron en la investigación comprenden la alta producción de residuos y su manejo inadecuado, así como la demanda de materiales pétreos de canteras dispuestos para la construcción. En cuanto a la producción de basuras actualmente se cuenta con información de que en Colombia se generan aproximadamente 26 726 toneladas diarias de residuos, el 82 % (911) de los municipios del país disponen sus residuos de forma adecuada, representando el 95 % del total producido por día. (Ministerio de vivienda ciudad y territorio, 2014)

Muchos de estos residuos son quemados, lo que ocasiona una alta contaminación del aire. La contaminación del aire es actualmente un problema que enfrentan las ciudades, teniendo impactos negativos sobre la salud pública cuando las concentraciones de los contaminantes alcanzan niveles significativos. Se estima que la quema de biomasa, como madera, hojas, árboles y pastos incluidos los residuos agrícolas, produce 40% del dióxido de carbono (CO₂), 32% del monóxido de carbono (CO), 20% del material particulado o partículas de materia suspendidas (PM) y 50% de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) emitidos al ambiente a escala mundial (CCA, 2014). Este problema ambiental se une a la problemática generada por el aumento de la demanda de materiales pétreos, los cuales son recursos naturales no renovables, y el uso excesivo puede provocar un agotamiento en el futuro. Esto se ve evidenciado en los datos consultados de demanda y el crecimiento de la industria de la construcción en Colombia en los últimos años. La demanda de materiales creció 5,8% en promedio, impulsada principalmente por la construcción de edificaciones que utiliza aproximadamente el 42% de la oferta de materiales y obras civiles que precisan alrededor del 32% (LA REPUBLICA; 2014).

La industria de construcción de Colombia es la tercera de mayor tamaño en América Latina y el Caribe. (Business Monitor International, 2013). Con el propósito de aportar a la solución de estos problemas desde la ingeniería ambiental, se trabajó en un modelo que incluya la cáscara de macadamia como agregado no convencional en la elaboración de concreto hidráulico, y buscar una solución en la producción de residuos agroindustriales incorporándolos en el sector de la construcción.

3. JUSTIFICACIÓN

Los esfuerzos a nivel mundial, y nacional, respecto al manejo integral de residuos sólidos se ha encaminado hacia el aprovechamiento y valoración de estos, de tal manera que se integren el reciclaje y la reutilización. La reutilización de los residuos industriales y agroindustriales toma cada día un papel más importante en las dinámicas de producción, pues el grave problema de manejo de residuos y el impacto sobre el planeta está llevando a que las naciones reglamenten políticas de reciclaje y reutilización; se destaca mucho la reutilización de los residuos agroindustriales, pues estos residuos se han convertido en una importante fuente de materia prima en diversos campos de la producción, estos procesos abren la posibilidad a implementar un modelo circular en la producción y tratar de cerrar el ciclo.

Estos procesos dan como resultado productos como el compostaje, abonos orgánicos y actualmente se está trabajando en la generación de energía con estos residuos orgánicos, pero es aquí donde se plantea abarcar otros sectores de la producción y poder expandir los usos de los residuos orgánicos como inorgánicos.

El uso de la cáscara de macadamia como material de construcción se convierte en una alternativa a la reutilización de residuos agroindustriales en sectores como la construcción; en la Empresa “Coberturas del Cauca” con sede en el municipio de Timbio que cuenta con un área de 150 hectáreas sembradas con árbol de macadamia, se cosechan en promedio entre 11 y 12 toneladas mensuales de fruto, de los cuales el 50% de su peso es la cáscara dura de la nuez de macadamia, que es el producto que se usó como agregado no convencional en el concreto hidráulico. El valor estimado entregado por la empresa está en 5 a 6 toneladas mensuales de cáscara dura. El conocimiento de estas cantidades de residuo llevó a buscar alternativas en las que se deje atrás el clásico proceso de disposición final de residuos y se indague en convertirlo en la fuente de material de otros procesos industriales, en caso de este proyecto, la elaboración de concreto hidráulico usando la cáscara dura de macadamia como agregado no convencional, se pretende abrir paso a otros subproductos con características similares para que puedan ser implementados en este sector de gran impacto ambiental que es la construcción.

El fin buscado con el proyecto es poder mostrar que se puede crear un modelo con carácter interdisciplinar entre la ingeniería civil y la ingeniería ambiental, con el fin de que los dos programas participen en proyectos para buscar innovar el campo de la ingeniería, y generar alternativas sostenibles ambiental y económicamente.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la viabilidad para el aprovechamiento de la cáscara de macadamia como material de agregado en el concreto hidráulico.

4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el efecto de la cáscara de macadamia en la resistencia del concreto hidráulico mediante el ensayo de la comprensión simple.
- Evaluar el aprovechamiento potencial de la cáscara de macadamia como agregado no convencional del concreto hidráulico
- Realizar el análisis de costo beneficio en la elaboración de concreto hidráulico con agregado no convencional cáscara de macadamia.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Con la finalidad de buscar proyectos de investigación que tuvieran en cuenta la reutilización de residuos agroindustriales en la elaboración de materiales de construcción se llevó a cabo una búsqueda de documentos que sirvieran como base para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Se han presentado experiencias relacionadas con el uso de compuesto orgánico, como el estudio de donde se preparó un material compuesto por bagazo de caña y concreto, estudio realizado por JAIRO ALEXANDER OSORIO SARAZ, que tiene como título, COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, aceptado el 12 de febrero del 2007 y realizado en la facultad de ciencias agrarias de la universidad nacional-sede Medellín, donde Se preparó un material compuesto de fibra de bagazo de caña y concreto (Alexander Saraz, Varón Aristizábal, & Herrera Mejía, 2007).

La publicación de Mafla Andrés a Inventum No. 6 Facultad de Ingeniería Uniminuto Junio de 2009 ISSN 1909 2520 titulada Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción, recibida el 19 de febrero de 2009. Aprobado el 4 de mayo de 2009 y pruebas llevadas a cabo en la Universidad del Cauca, en este documento se presenta, introducción de cascarilla de arroz en la elaboración de concreto, en este estudio se introdujo el dióxido de silicio obtenido de la cascarilla de arroz, el cual presentó buenas propiedades como material puzolánico. Su alta pureza y su alta superficie específica hacen que al mezclarlo con el cemento portland y en presencia de agua reaccione fácilmente con el calcio o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ libre (Mafla, 2009). Se encontró otro estudio relacionado con la cascarilla de arroz, donde se reemplazó cascarilla de arroz, ceniza de la cascarilla de arroz y ceniza volante por un porcentaje del contenido de cemento (caracterizadas mediante ensayos de granulometría, masa unitaria y humedad), en 10, 15 y 20 %, manteniendo constante la cantidad de agua y arena de mezclado del bloque (N. Fuentes Molina, O.Fragozo Tarifa, 2015). Los estudios arrojaron muy buenos resultados con los que se plantean alternativas de ladrillos ecológicos y más livianos estructuralmente

En esta misma labor de investigación y consulta se encontró el trabajo especial de grado que en junio de 2011, fue presentado por la estudiante Marte Marlenin, como requisito para optar el título de Máster en innovación tecnológica en edificación que se dicta en la universidad politécnica de Madrid, titulado utilización

de la cáscara de nuez Chandler en el yeso, en él se realizan pruebas de compresión y de resistencia al fuego. Es de resaltar que se utilizaron porcentajes de sustitución de materiales por cáscara de nuez arrojando los mejores resultados en los porcentajes 10 % y 15 % de sustitución.(Marte Rosario, 2011)

En el campo de la construcción con materiales orgánicos en su composición se encontró una publicación presentada en la Revista de Arquitectura e Ingeniería por M.C. Francisco Javier de la Cruz Acosta titulada Concreto Ligerito utilizando Cáscara de Nuez. En este estudio se presenta una sustitución en el agregado del concreto con cáscara de nuez (sin precisar la especie utilizada) y humo de sílice, para observar el comportamiento del concreto en las pruebas de dureza efectuadas. Este trabajo de investigación arroja buenos resultados en las pruebas con las siguientes conclusiones: Con un 15% de cáscara de nuez sin humo de sílice, se obtuvo un resultado sorprendente, el cual no se esperaba, ya que se obtiene un valor máximo en la resistencia a la compresión, que está por arriba de las dosificaciones realizadas con el 10% y 20%, La cáscara de nuez puede ser usada como un agregado ligero de un mortero, y con humo de sílice se puede obtener un mortero con características de resistencia a la compresión y a la flexión semejantes al mortero normal (De la cruz, Saens, & Cortes, 2015)

Adicionalmente se encontró una interesante investigación titulada estudio comparativo de las propiedades del concreto usando cáscara de coco y cáscara de almendra de palma como agregados gruesos de la universidad Obafemi Awolowo en Nigeria, en dicho estudio se presentan los resultados de una investigación en la cual se compara el uso de cáscara de coco con el uso de cáscara de almendra de palma como sustitutos, en porcentajes de sustitución del 0%, 25%, 50%, 75% y 100%, para el agregado grueso convencional. Para llevar a cabo dicha comparativa se realizan análisis de costos y pruebas de resistencia al hormigón para así seleccionar la mejor opción. Los resultados de las pruebas mostraron que la resistencia a la compresión del hormigón disminuye a medida que el porcentaje de las cáscaras iba aumentando en los dos mezclas. Sin embargo, el hormigón obtenido a partir de cáscaras de coco exhibió una resistencia a la compresión mayor que el hormigón con cáscara de almendra de palma, del núcleo de las dos proporciones de la mezcla. Los resultados también indicaron la reducción de costes del 30% y el 42% para el hormigón producido a partir de cáscaras de coco y cáscara de almendra de palma, respectivamente. (Olanipekun, Olusola, Ata, 2004).

Existen antecedentes prácticos del uso de la macadamia en concreto, en un ensayo previo realizado por la ingeniera civil MSc María Elena Castro, el cual se realizó en los laboratorios de la Universidad del Cauca. En febrero del año 2015, la directora del proyecto realizó unas pruebas preliminares con el fin de determinar en forma aproximada la cantidad de cáscara de macadamia a utilizar en la mezcla del concreto. Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Suelos, Materiales y Pavimentos bajo la orientación del jefe de laboratorio, ingeniero Carlos Benavides

y la asesoría del Doctor Juan Manuel Mosquera Rivera. Se realizó el análisis granulométrico a la cáscara de macadamia y con base en los datos de materiales presentes en el laboratorio se diseñaron las mezclas para elaborar 4 cilindros, los cuales se sometieron a los ensayos de compresión simple a los 7 días. Dos cilindros sin contenido de cáscara y los otros dos con porcentajes diferentes de cáscara en reemplazo del material grueso. Los resultados se presentan en el anexo 1, 2. Como conclusión se observó que el cilindro número 4 obtuvo una resistencia del 60% respecto a los cilindros sin cáscara; lo cual permite determinar que si es posible alcanzar una resistencia aceptable y además tener un estimado de la cantidad de cáscara que se debe reemplazar, esto con el fin de adelantar las investigaciones subsiguientes con datos más concretos.

5.2. RESIDUOS SÓLIDOS

Son los restos de actividades humanas, considerados por sus generadores como inútiles, indeseables o desechables, pero que pueden tener utilidad para otras personas. En sí, es la basura que genera una persona. Los residuos sólidos tienen varias fuentes de generación tales como: hogares, mercados, centros educativos, comercios, fábricas, vías públicas, restaurantes, hospitales, entre muchos más ("Residuos Sólidos - Todo Sobre el Medio Ambiente," 2016.). Los residuos agroindustriales son de naturaleza orgánica y prácticamente están clasificados en origen, lo cual facilita su reciclaje transformando así "un problema en una oportunidad" ("Residuos Agroindustriales," 2016.)

5.3. ORÍGENES Y DISTRIBUCION DE LA MACADAMIA EN COLOMBIA

Figura 1 Cáscara y fruto de macadamia



Fuente: <http://www.batafood.com/products/macadamia-nuts/>

La Macadamia fue introducida a Colombia en 1969 por la Federación Nacional de Cafeteros a la Subestación Experimental Paraguaicito (Quindío) con semilla procedente de Florida-USA. Posteriormente a finales de los 80s, se establecieron huertos en los departamentos de Cundinamarca, Risaralda, Caldas, Tolima, Quindío y Huila. En la década de los 90s y teniendo en cuenta la buena adaptación agronómica, se fomentó el cultivo en la zona cafetera por intermedio del Programa de Desarrollo y Diversificación de la Federación Nacional de Cafeteros. (Walforth y De los Ríos).

El fomento se realizó inicialmente con 5 variedades introducidas de Costa Rica. Posteriormente se realizaron otras introducciones al país por intermedio de las empresas AGROCAL y DEL ALBA S.A. Recientemente agricultores han introducido materiales de Costa Rica y Ecuador. (Walforth y De los Ríos).

En la actualidad existen en Colombia alrededor de 27 materiales introducidos de países como Costa Rica, California, Hawái, Israel y Ecuador entre otros. El área sembrada ha aumentado aproximadamente de 300 hectáreas en 1988 a 1000 en 2007, distribuidas en los departamentos de Cauca, Caldas, Cundinamarca, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca. (Walforth y De los Ríos).

5.4. CEMENTO

El cemento se obtiene de la calcinación a 1,450°C de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El producto del proceso de calcinación es el Clinker principal ingrediente del cemento que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos para producir cemento. (Cemex.2015)

Figura 2 Componentes principales del cemento

Nombre del compuesto	Composición del óxido	Abreviatura
Silicato tricálcico	3CaOSiO_2	C_3S
Silicato dicálcico	2CaOSiO_2	C_2S
Aluminio tricálcico	$3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminaotetracálcico	$4\text{CaOFe}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3$	C_4AF

Fuente: DIEGO SANCHEZ DE GUZMAN, Tecnología del concreto y el Mortero. 5 ed. Bogotá: 2001. p 12

5.5. CONCRETO Y SUS CARACTERISTICAS

El concreto u hormigón puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (Cemento portland hidráulico), un material de relleno (agregados o áridos), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. (SANCHEZ DE GUZMAN, 2011)

5.5.1. Composición del concreto

Según Gutiérrez (2003), Los agregados constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles. Por ejemplo el volumen de los agregados en el concreto hidráulico es de un 65% a 85%, en el concreto asfáltico es del 92% al 96%. Por lo anterior el estudio de sus propiedades físicas y mecánicas son de especial importancia para su adecuada y eficiente utilización.

Antes de empezar a estudiarlos es conveniente definir algunos términos utilizados:

- Agregado o árido: conjunto de materiales de composición mineral, naturales o artificiales, generalmente inertes, usados en la construcción de obras civiles.
- Agregado grueso o grava: material retenido en el tamiz No. 4, con un tamaño entre 7,6 mm y 4,76 mm.
- Agregado fino o arena: material pasante de la malla No. 4 y retenido en la malla No. 200, con tamaños entre 4,76 mm y 74 Mieras (0,074 mm.).
- Finos: son partículas pasantes del tamiz No. 200 con tamaños entre 0,074 mm y 0,002 mm.
- Sucio de río: término empleado para denominar en su totalidad el material de arrastre de un río sin separación de tamaños, y tal como se puede extraer de un depósito natural. En algunas regiones del país a este material se llama Champurriado.
- Gravilla: material de río o de cantera, separado en la fuente en tamaños pasantes del tamiz 3/4" y retenido en el No.4, con tamaños entre 19,1 mm y 4,76 mm.
- Arenón: arena natural de río o de veta, con tamaños pasantes del tamiz 3/8" y retenidos en el tamiz No.40, es decir con tamaños entre 9,51 mm y 0,420 mm.
- Cascajo: hace referencia exclusivamente al agregado rodado pasante del tamiz 1 1/2" y retenido en el tamiz No.4, con tamaños entre 38,1 mm y 4,76 mm.

5.5.2. Propiedades importantes del concreto

El concreto se puede encontrar en estado fresco o estado endurecido y en cada uno de estos se presentan diferentes propiedades que determinan su desempeño y rendimiento. Según Sánchez de Guzmán 2011 estas propiedades son:

- Propiedades en estado endurecido: Existen dos propiedades importantes. La resistencia y la durabilidad. La primera tiene que ver con el proceso de curado de la mezcla y la resistencia obtenida después de fraguado. La propiedad que se escogió para determinar si se obtendrá un concreto de calidad será la resistencia.
- Resistencia: Es la propiedad más importante del concreto, ya que en forma directa influye en las demás características de significado práctico. Los concretos más resistentes son más densos, menos permeables y más resistentes a la intemperie y ciertos agentes destructivos.
- Resistencia mecánica: Se divide en tres tipos de resistencia: Resistencia a la compresión, Resistencia a la tracción y Resistencia a la flexión, aparte de estas también se encuentra la resistencia al fuego. La prueba de resistencia a la compresión simple será la prueba a realizar a los concretos elaborados en esta investigación.

5.6. CONCRETO LIVIANO

El concreto estructural de peso liviano posee una densidad in situ en el orden de 1441,37 Kg/m³ a 1841,75 Kg/m³, en comparación con el concreto de peso normal, que presenta una densidad en el rango de 2242,13 Kg/m³ a 2402,28 Kg/m³. Para aplicaciones estructurales, la resistencia del concreto generalmente deberá ser superior a 2500 psi (17Mpa). Para analizar el concreto ligero o celular se deben estudiar previamente sus propiedades y características, en relación a las de aquellos concretos tradicionales. La característica más evidente es su densidad, la cual es considerablemente menor que la del concreto normal y con frecuencia sólo implica una fracción de la misma (ASTM 169C, 2001)

5.6.1. Propiedades de los concretos con agregados ligeros

Permiten que los rangos de densidades oscilen entre 300 kg/m³ a 1850 kg/m³. Los rangos correspondientes de resistencia van entre 0,3 a 40 MPa, e incluso mayores. Todos los agregados ligeros producen concretos totalmente diferentes entre sí por lo que se requiere un cuidadoso control. Las propiedades del concreto además se ven afectadas por la granulometría del agregado, el contenido de

cemento y la relación agua/cemento. Los agregados ligeros tienen mayor y más rápida absorción de agua. Las mezclas son más ásperas, lo cual se puede disminuir con la inclusión de aire, reduciendo el requerimiento de agua. Generalmente los contenidos de aire totales por volumen son de 4% a 8% para tamaño máximo de agregado de 20 mm, y de 5 a 9% para tamaño máximo de 10 mm. (HUERTA RAUL, 2004)

5.7. ANÁLISIS QUÍMICOS REALIZADOS

5.7.1. Calorimetría diferencial de barrido DSC

La calorimetría diferencial de barrido (DSC, Differential Scanning Calorimetry) permite el estudio de aquellos procesos en los que se produce una variación entálpica, por ejemplo determinación de calores específicos, puntos de ebullición y fusión, pureza de compuestos cristalinos, entalpías de reacción y determinación de otras transiciones de primer y segundo orden.

En general, el DSC puede trabajar en un intervalo de temperaturas que va desde la temperatura del nitrógeno líquido hasta unos 600 °C. Por esta razón esta técnica de análisis se emplea para caracterizar aquellos materiales que sufren transiciones térmicas en dicho intervalo de temperaturas. La familia de materiales que precisamente presenta todas sus transiciones térmicas en ese intervalo es la de los polímeros. Por esta razón, el DSC se emplea fundamentalmente para la caracterización de estos materiales y es por lo que, de aquí en adelante, nos centraremos fundamentalmente en transiciones térmicas en polímeros estudiadas por DSC. (JARA, 2011)

5.7.2. Análisis termo-gravimétrico (TGA)

El análisis termo-gravimétrico consiste en registrar continuamente la variación de la masa del material en estudio conforme se varía la temperatura a una tasa térmica constante (cambio de temperatura lineal). Este tipo de procedimiento termo-gravimétrico se conoce como análisis dinámico. Existe la opción de hacer un análisis termo-gravimétrico isotérmico, en el cual se mantiene la temperatura constante por un periodo establecido. Como resultado del análisis termo-gravimétrico se obtienen los datos de cambio de masa con respecto a la temperatura o al tiempo y un termo-grama, el cual representa gráficamente las variaciones porcentuales de la masa. Este tipo de técnica es ampliamente utilizada en la caracterización cuantitativa y caracterización cinética de polímeros, carbón y arcillas, entre otros materiales. (RODRIGUEZ, Ellen. 2012)

5.7.3. Análisis proximal

Los análisis comprendidos dentro de este grupo, también conocido como análisis proximales Weende, se aplican en primer lugar a los materiales que se usarán para formular una dieta como fuente de proteína o de energía y a los alimentos terminados, como un control para verificar que cumplan con las especificaciones o requerimientos establecidos durante la formulación. Este análisis indicará el contenido de humedad, proteína cruda (nitrógeno total), fibra cruda, lípidos crudos, ceniza y extracto libre de nitrógeno en la muestra. Una descripción más amplia de estos análisis se puede encontrar en Osborne y Voogt (1978), MAFF (1982) y AOAC (1984). (Análisis proximales, 2012)

5.8. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

5.8.1. Gravedad específica y absorción

La Gravedad Específica es la relación entre la densidad del agregado y la del agua (1000 kg/m^3), sin embargo todos los agregados son porosos hasta cierto punto, lo que permite la entrada de agua en los espacios de los poros o capilares cuando se colocan en la mezcla de hormigón, o bien, ya están húmedos cuando entran al hormigón. Por lo tanto, la definición cuidadosa de la gravedad específica debe tomar en cuenta tanto el peso como el volumen de la porción de agua contenida dentro de las partículas. El agua libre que se encuentra sobre las superficies exteriores del agregado húmedo no entra en el cálculo de la gravedad específica, pero contribuye a la relación A/C del hormigón.

La absorción es el valor de la humedad del agregado cuando tiene todos sus poros llenos de agua, pero su superficie se encuentra seca. En esta condición se hacen los cálculos de dosificación para elaborar el concreto. Sin embargo el agregado en los acopios puede tener cualquier contenido de humedad. Si la humedad del agregado es inferior a la absorción, se deberá agregar más agua al hormigón para compensar la que absorberán los agregados. Por el contrario, si la humedad supera a la absorción, habrá que disminuir la cantidad de agua que se pondrá a la mezcla ya que los agregados estarán aportando agua. (ASTM C-127, ASTM C-128)

5.8.2. Análisis granulométrico

Es la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen una masa de agregados; se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en dividir una muestra representativa del agregado en fracciones de igual tamaño de

partículas; la medida de la cuantía de cada fracción se denomina como granulometría.

El análisis granulométrico consiste en hacer pasar el agregado a través de una serie de tamices que tienen aberturas cuadradas y cuyas características deben ajustarse a la norma NTC 32. Actualmente la designación de tamices se hace de acuerdo a la abertura de la malla, medida en milímetros o en micras. La norma NTC 32, incluye algunos tamices intermedios que no cumplen la relación 1:2 de la abertura, pero se usan frecuentemente para evitar intervalos muy grandes entre dos mallas consecutivas. (Rivera, 2010)

5.8.3. Curva granulométrica

Para una mejor comprensión e interpretación de los resultados se acostumbra a representar gráficamente el análisis granulométrico en la curva denominada granulométrica o línea de cribado.

En la curva de granulometría se representa generalmente sobre el eje de las ordenadas el porcentaje pasa, en escala aritmética; y en las abscisas la abertura de los tamices en escala logarítmica. El propósito del análisis granulométrico, es determinar el tamaño de las partículas o granos que constituyen un suelo y fijar en porcentaje de su peso total, la cantidad de granos de distintos tamaños que el suelo contiene. (Rivera, 2010)

5.8.4. Densidad Bulk

El ensayo correspondiente a la densidad bulk o también denominado peso unitario de los agregados ya sean sueltos o apisonados nos permite evaluar el material de forma tal que podamos utilizarla en la selección de proporción de mezcla para asfaltos. Se debe tomar en cuenta las normas de ensayo de materiales de las especificaciones generales de construcción de carreteras de INVIAS, el cual incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de vacíos entre las partículas. Se expresa en kg/m³ o Lb/pe³. (INV-217)

6. METODOLOGIA

6.1. ANALISIS QUIMICO GENERAL DE LA CÁSCARA DE MACADAMIA

Se realizaron los siguientes análisis químicos a la cáscara de macadamia

- Determinación de temperaturas de transición térmica por calorimetría de barrido diferencial DSC. (ASTM D 3418-08)
- Análisis termo-gravimétrico de polímeros TGA. (ASTM E 1131-08)
- Análisis proximal (Metodología Hoyos y Vélez, 2007)

Las dos primeras pruebas se realizaron en el laboratorio de reología, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca y la última en los laboratorios de análisis de agua de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas de la Educación, todos los análisis químicos se realizaron a tripletas al material cáscara dura o endocarpio molido de la nuez de macadamia

6.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS COMO AGREGADO PARA EL CONCRETO HIDRÁULICO.

Se procedió con pruebas estandarizadas en la reglamentación de INVIAS, las cuales son:

- Toma de muestras (INVE-201)
- Análisis granulométrico (INVE-213)
- Gravedad específica y absorción de agregados finos (INVE-222)
- Gravedad específica y absorción de agregados gruesos (INVE-223)
- Masa unitaria o densidad BULK y vacíos de los agregados compactos y suelos (INVE-217)

6.3. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS Y LA DOSIFICACIÓN DEL MATERIAL A UTILIZAR EN LA MEZCLA DE CONCRETO SIMPLE

La dosificación de los componentes de la mezcla se realizó teniendo como base la mezcla estandarizada por la empresa PREDELCA S. A. S.

6.4. ELABORACIÓN DE LOS CILINDROS DE CONCRETO Y ENSAYO A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Los cilindros de concreto y cáscara dura de macadamia se realizaron con los porcentajes establecidos de sustitución de material pétreo en volumen, porcentajes que se realizaron en 10%, 20% y 30% respectivamente del total en volumen del agregado grueso.

Los porcentajes de sustitución se denominaron con los siguientes nombres:

- 10% Cáscara dura de macadamia, DISEÑO 1
- 20% Cáscara dura de macadamia, DISEÑO 2
- 30% Cáscara dura de macadamia, DISEÑO 3

Las pruebas están estandarizadas en el reglamento INVIAS actualizado en el 2014; las pruebas son:

- Ensayo de asentamiento con el cono (INVE-404)
- Masa unitaria y contenido de aire en el concreto fresco; mezclado manual (INVE-405)
- Ensayo de resistencia a compresión (INVE-410)

6.5. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Se estableció el costo de los materiales en la elaboración de un metro cubico de concreto hidráulico y se estimó la reducción de este costo por metro cubico al utilizar la mejor opción de sustitución de agregado no convencional al agregado pétreo.

7. PRESENTACION DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. ANALISIS QUIMICO AL AGREGADO NO CONVENCIONAL

(cáscara de macadamia)

7.1.1. Determinación de temperaturas de transición térmica de calorimetría por barrido diferencial (DSC)

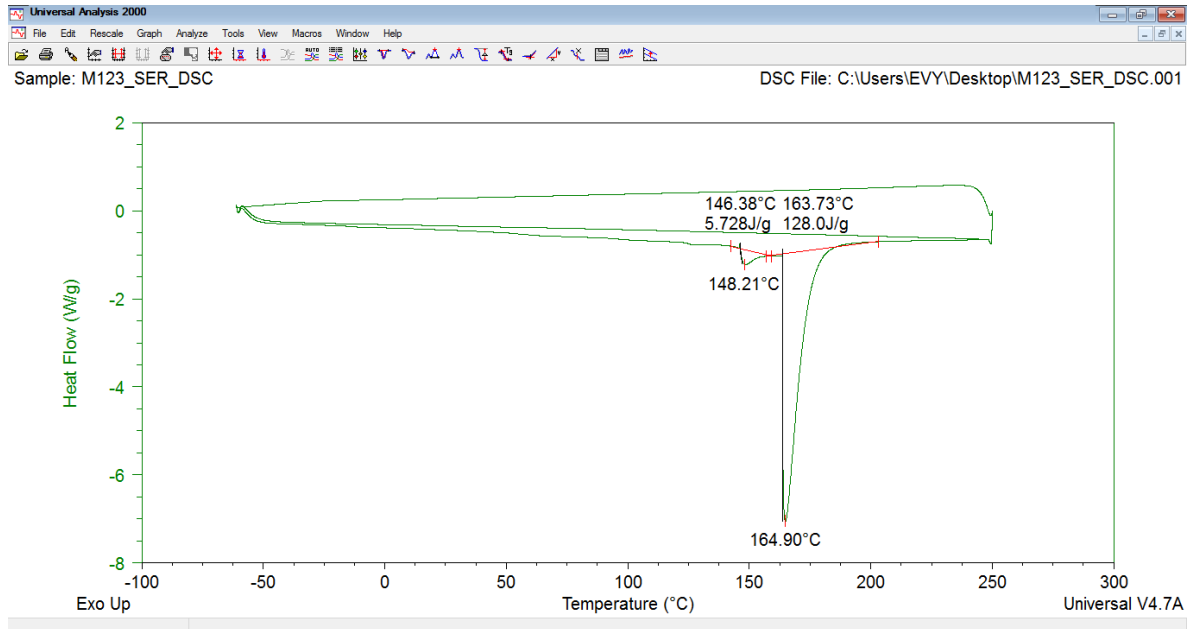
En la tabla 1 se presenta el análisis químico DSC realizado a la cáscara de macadamia, la prueba se realizó con el fin de presentar una caracterización química inicial del material y que sirva como fuente de información en futuros estudios. En la figura 3 se observa uno de los tres análisis TGA (Termo-Gravimétrico) realizado a la cáscara, donde los picos en la gráfica indican la temperatura de fusión, se realizaron 3 réplicas para obtener un promedio de la temperatura de fusión. El análisis químico DSC permite determinar la temperatura máxima y la energía necesaria para alcanzar la fusión del material.

Tabla 1 Temperatura y energía obtenida en la prueba DSC

Muestra	DSC	
	Temperatura (°C)	Energía (J/g)
1	164,31	128,0
2	151,91	120,4
3	162,24	123,9

Fuente: elaboración propia

Figura 3 Resultados muestra 1 DSC en Universal Analysis 2000



Fuente: Laboratorio de Reología Universidad del Cauca

Las fichas de los análisis DSC se encuentran en los anexos digitales 6, 7, y 8

El promedio de temperatura de fusión del material es de 160,12°C y la energía necesaria para alcanzar esta fusión del material es 124,1 J/g, en las gráfica anteriores realizadas en el programa Universal Analysis 2000 se notan valores alternos de temperatura máxima y energía, estas crestas son consecuencia de la adherencia de fruto al endocarpio, estos alteraciones se pueden notar en la cresta alterna más pequeña a la esperada.

Antes de realizar la prueba se esperaba este comportamiento ya que despojar la cáscara de macadamia de esta fina capa resulta poco práctico, por lo que se procedió a realizar el molido del material para ser sometido a la prueba.

Lo anterior indica que la cáscara presenta componentes adicionales que pueden aportar otras características no propias de la cáscara

7.1.2. Análisis termo-gravimétrico de polímeros

Compuesto 1. Rastro de fruto presente en la muestra

Compuesto 2. Endocarpio (cáscara dura de la nuez de macadamia)

En la tabla 2 se presentan los valores de temperatura y pérdida de peso de los compuestos 1 y 2, su pico máximo se alcanza en la descomposición química del material. El compuesto 1 es la presencia de rastros de fruto adherido al endocarpio.

Tabla 2 Resultados de análisis de termo-gravimétrico de polímeros (TGA).

TGA			
Muestra	Compuesto 1	Compuesto 2	% Pérdida de peso
	Temperatura (C°)	Temperatura (C°)	
1	51,71	365,22	62,66
2	55,27	367,14	62,86
3	53,01	365,56	65,11

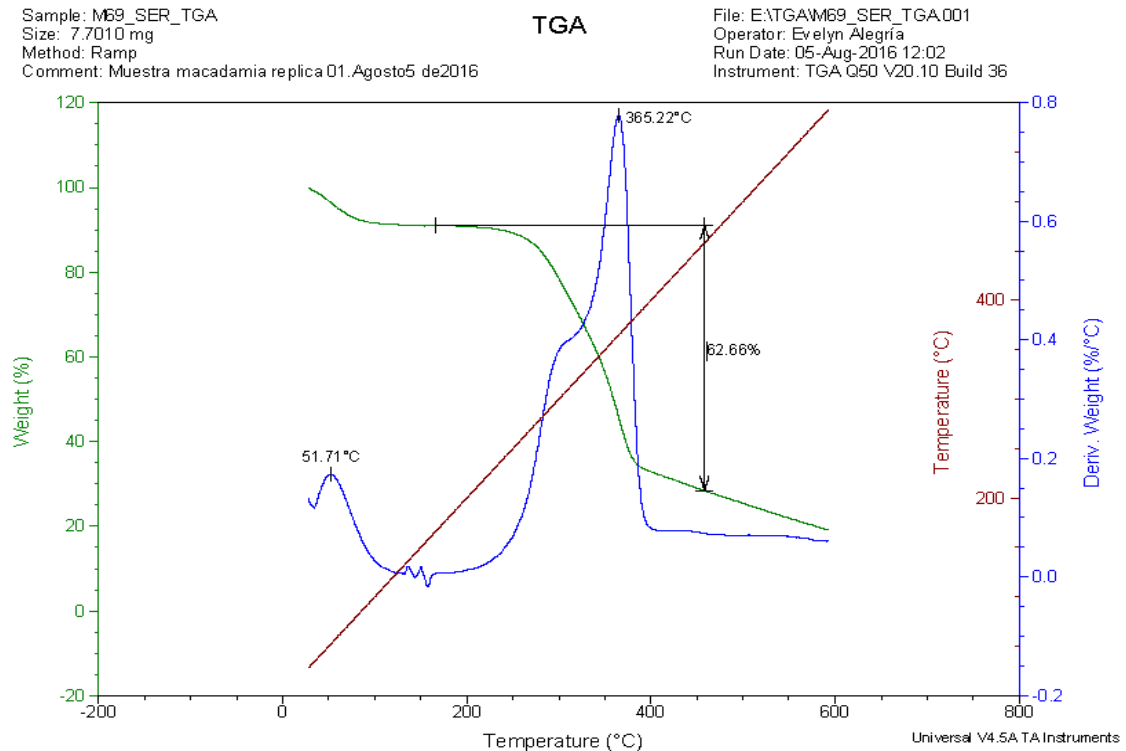
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4 se presenta una de las tripletas del análisis químico TGA, las demás serán presentadas en los anexos, este procedimiento consiste en una degradación de las muestras hasta llegar a un punto de entalpía en el que se hace la toma de temperatura y el porcentaje de peso que se pierde en este procedimiento, se realizan tripletas para determinar similitudes y estimar promedio de los resultados. En las tres curvas se pueden notar pequeñas cresta con temperaturas más bajas que la principal cresta, estas pequeñas crestas indica la presencia de un segundo compuesto en la muestra, la temperatura más baja es la del segundo compuesto por lo que se logra intuir es la presencia de restos de fruto que no pudo ser retirado por la adherencia de este al endocarpio.

Los estudios químicos de TGA y DSC se presentan como información para la caracterización del material, además estas temperaturas se pueden usar para evaluar el comportamiento del material en un posible incendio, en una edificación donde se use el concreto desarrollado. A pesar de que en Colombia no está reglamentado un ensayo de fuego a los materiales es importante analizar que este punto de fusión es relativamente bajo, comparándolo con ensayos a los agregados encontrados en España, en ellos se describen diferentes materiales con su respectiva temperatura, comparando la temperatura de fusión de la

cáscara de macadamia se asemeja a la temperatura registrada de la madera a la cual empieza a arder a 200 grados centígrados en menos de 5 minutos (SAVAL, 2011). Dado que la cáscara de macadamia está incorporada en el concreto esta temperatura va a aumentar pero su poder calorífico se conserva.

Figura 4 Resultados muestra 1 TGA en Universal Analysis 2000



Fuente: Laboratorio de Reología Universidad del Cauca

Las fichas de los análisis TGA se encuentran en los anexos digitales 9, 10, y 11

La elaboración de concreto se realiza a temperatura ambiente, por lo tanto la temperatura registrada por el análisis TGA no representa ningún peligro en la alteración de la composición de la cáscara por lo tanto no genera inconveniente en la elaboración de concreto ni en la durabilidad del concreto final, si este no es expuesto a temperaturas mayores a 260 grados centígrados.

En la tabla 3 se hace la presentación del análisis proximal, este análisis se presenta con el fin de hacer una caracterización del material y sus compuestos básicos. La fibra presenta representa el 61,79% del total de compuestos de la cáscara de macadamia, este valor es representativo entre carbohidratos y en su mayor porcentaje lignina, que es un valor de referencia que indica su bajo nivel de biodegradabilidad en condiciones normales de biodegradación y aún más bajo

para las condiciones en las que se plantea el proyecto, ya que la cáscara de macadamia como agregado no convencional queda encapsulada por el concreto por motivo de su baja densidad.

7.1.3. Análisis proximal

Tabla 3 Análisis proximal de la cáscara de macadamia.

Análisis	Resultados \pm Desviación Estándar
Humedad (%)	10,56 \pm 0,07
Cenizas (%)	0,193 \pm 0,011
Grasa (%)	0,968 \pm 0,012
Proteína (%)	1,88 \pm 0,07
Fibra (%)	61,79 \pm 0,90
Extracto libre de nitrógeno (%)	24,61 \pm 0,94

Fuente: elaboración propia

La ficha completa del análisis se encuentra en el anexo digital 5

El porcentaje de humedad se asemeja al encontrado por los métodos tradicionales en agregados pétreos que se mostrara más adelante, en lo que respecta al análisis proximal valores de humedad superiores al 8 % favorecen la presencia de insectos, esto se evidencio porque en la manipulación de la cáscara se evidencio la presencia de polillas. La grasa y la proteína evidencian un bajo contenido de materiales biodegradables, y la fibra arroja alto contenido de compuestos químicos complejos ramificados como la lignina.

En análisis encontrados en la literatura se encuentran una caracterización de esta en donde se encuentra un porcentaje del contenido de lignina de 40 %, este alto contenido de lignina se expresa en el mayor tiempo de degradación que la materia orgánica común. Y en las condiciones de concreto, donde se va a encontrar la cáscara, este material necesita mayor tiempo para degradarse ya que el oxígeno y otros aspectos que influyen se disminuirán, es necesario evaluar con los años si esta degradación en años es la adecuada, pero esto sería el estudio de otra investigación.

7.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

7.2.1. Granulometría del agregado fino

Este proyecto se basó en los diseños de PREDELCA S.A.S. con el fin de comparar los resultados con la sustitución de cada uno de los porcentajes por grava; además se tuvieron en cuenta los análisis granulométricos de los agregados utilizados en PREDELCA S.A.S. con el fin de confrontarlos con los resultados de granulometría de cada una de las sustituciones realizadas.

En las figuras 5, 6, 7 y 8 se presentan los análisis granulométricos, con sus respectivas curvas de los agregados fino y grueso, empleados por PREDELCA S.A.S. los cuales se utilizarán para realizar la confrontación anteriormente mencionada. En estos resultados se observa que el agregado fino utilizado tiene un módulo de finura 3,49 esto hace que se catalogue como arena gruesa según Rivera en su libro Tecnología del concreto (Rivera, 2010), esto se debe a que se utiliza un agregado fino de triturado y no de río.

Figura 5 Granulometría agregado fino por PREDELCA S.A.S



**ANALISIS
GRANULOMETRICO**

OBRA:	Control Agregados	FECHA:	10/08/2016
DESCRIPCION:	Arena de Trituración 3/8"	NORMA:	INVIAS
MUESTRA:	M# 01	ENSAYO:	E-213
FUENTE:	Trituradora CONEXPE		

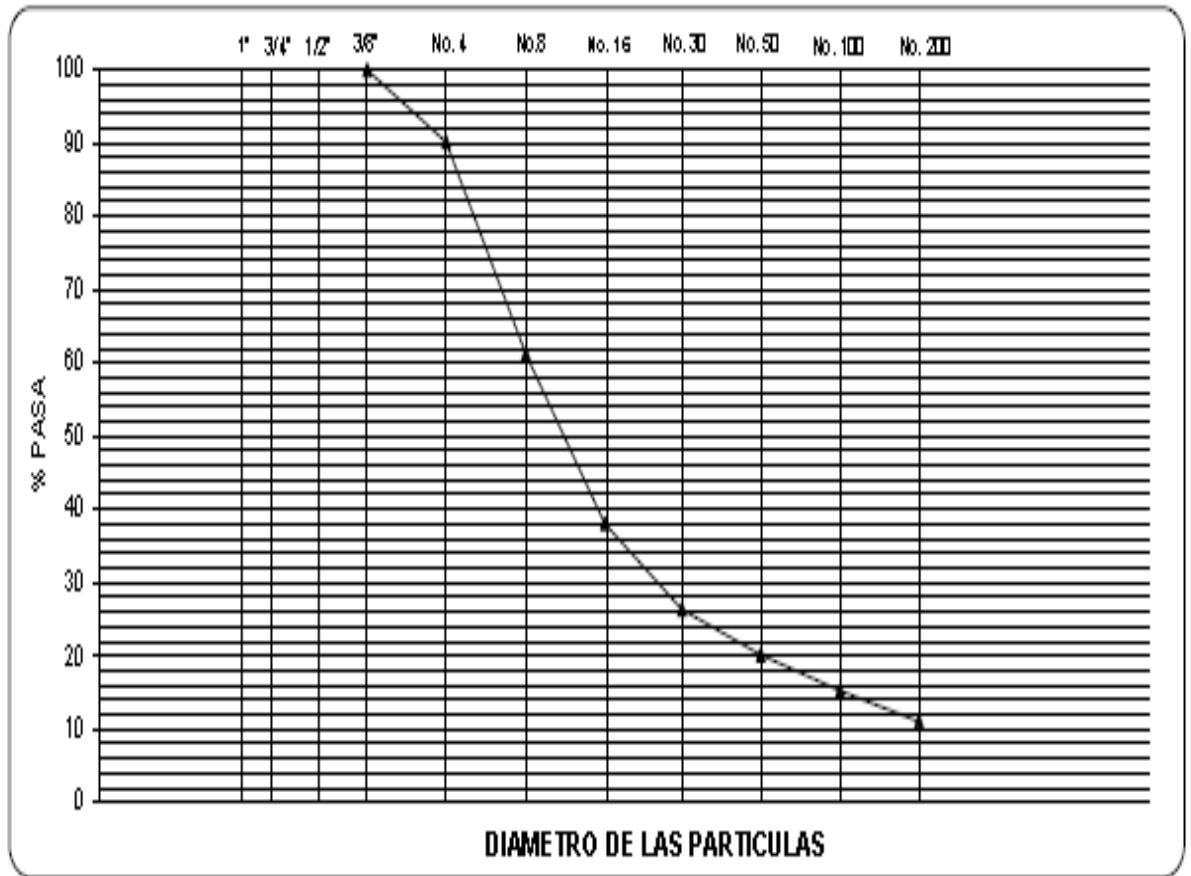
Peso seco inicial **1805,0** Peso seco despues de lavado **1606,0**

TAMICES	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	ESPECIFICACION	MODULO FINURA	
1"						1 1/2"	0
3/4"						3/4"	0,0
1/2"						3/8"	0,0
3/8"	0,0	0,0	0,0	100		No. 4	9,9
No. 4	178,0	9,9	9,9	90		No. 8	38,8
No. 8	522,0	28,9	38,8	61		No. 16	61,9
No. 16	418,0	23,2	61,9	38		No. 30	73,7
No. 30	212,0	11,7	73,7	26		No. 50	79,9
No. 50	112,0	6,2	79,9	20		No. 100	84,8
No. 100	88,0	4,9	84,8	15,2		MF	3,49
No. 200	76,0	4,2	89,0	11,0		GRUESA	
Pasa No. 200	199,0	11,0	100				

Fuente: PREDELCA S.A.S

Anexo digital 12

Figura 6 Curva Granulométrica del agregado fino



Fuente: PREDELCA S.A.S

7.2.2. Granulometría del agregado grueso

Figura 7 Granulometría agregado grueso por PREDELCA S.A.S



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

OBRA:	Control Agregados	FECHA:	10/08/2016
DESCRIPCIÓN:	Grava de Trituración TMN 3/4"	NORMA:	INVIAS
MUESTRA:	M# 01	ENSAYO:	E-213
FUENTE:	Trituradora Conexpe		

Peso seco inicial **3820,0**

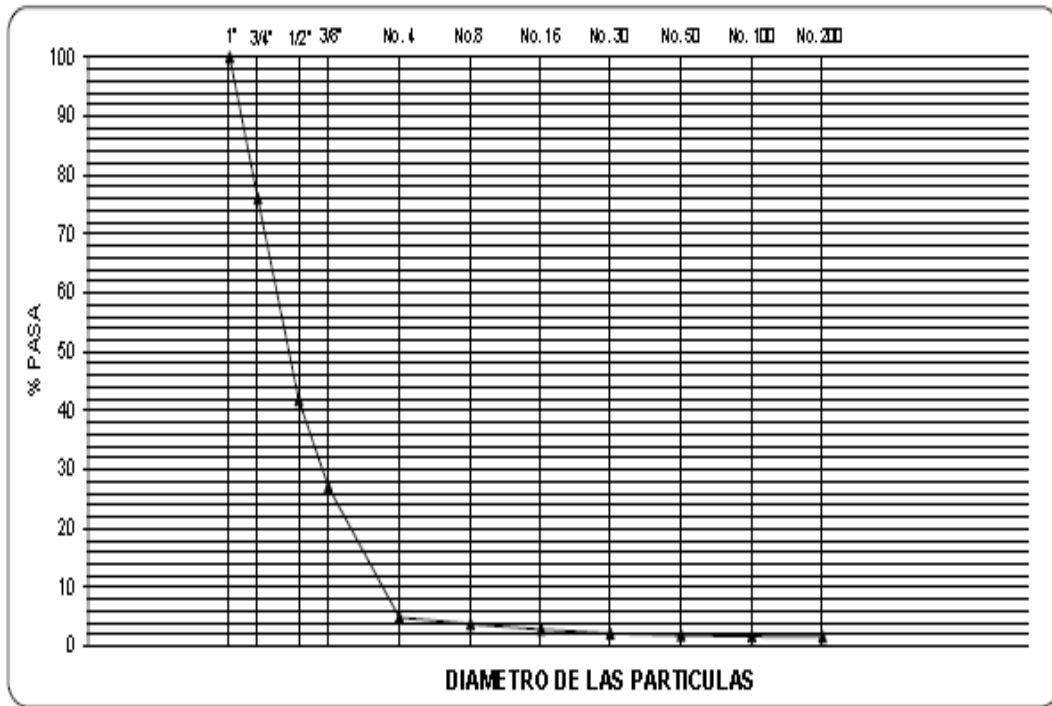
Peso seco después de lavado **3758,7**

TAMICES	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	MODULO FINURA
1 1/2"					3"
1"	0	0	0	100	1 1/2"
3/4"	916,8	24,0	24,0	76	3/4"
1/2"	1306,4	34,2	58,2	42	3/8"
3/8"	561,5	14,7	72,9	27	No. 4
No. 4	948,0	22,2	95,1	4,9	No. 8
No. 8	42,0	1,1	96,2	3,8	No. 16
No. 16	34,4	0,9	97,1	2,9	No. 30
No. 30	26,7	0,7	97,8	2,2	No. 50
No. 50	11,5	0,3	98,1	1,9	No. 100
No. 100	7,6	0,2	98,3	1,7	
No. 200	3,8	0,1	98,4	1,6	MF
Pasa No. 200	61,3	1,6	100		

Fuente: PREDELCA S.A.S

Anexo digital 12

Figura 8 Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: PREDELCA S.A.S

En las figuras 7 y 8 se observa que el agregado grueso utilizado, tiene la mayor parte de su granulometría entre los tamices $\frac{3}{4}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{3}{8}$ y número 4, obteniendo mayor porcentaje retenido en el tamiz $\frac{1}{2}$. En la tabla 4. se observó que existía un gran porcentaje de cáscara de macadamia retenido en el tamiz número 4 y 8, esta información permitió establecer que se podía reemplazar el agregado grueso por cáscara de macadamia, ya que en el agregado convencional el porcentaje retenido en estos tamices era considerable. Sin embargo, se presentaba una dificultad a la hora de reemplazar el material pétreo por el no convencional, debido a que era necesario no afectar significativamente la granulometría del agregado convencional, pero también se debía pensar en la practicidad, esto último intentando acercarse más a la vida cotidiana y a la dificultad que traía consigo separar cada componente, retirar el agregado grueso convencional y posteriormente adicionar el porcentaje necesario de cáscara de macadamia, al no ser viable esta separación se optó por reemplazar directamente los porcentajes de cáscara de macadamia en el total del agregado grueso, sabiendo que la gradación final de cada muestra iba a sufrir un cambio significativo y a causa de ello se esperaba una reducción en la resistencia final del concreto. No obstante esta sustitución permite practicidad en la elaboración de la mezcla, además de observar el comportamiento de la cáscara de macadamia como sustituto del agregado grueso, su adherencia y la resistencia del concreto final, comparándolo

con un patrón y posteriormente si existe la viabilidad y la resistencia no se ve tan afectada por los diferentes cambios realizados, podría hacer paso a otra investigación, elaborando un diseño de mezcla ajustado a las granulometrías mostradas aquí.

7.2.3. Granulometría del agregado no convencional (Cáscara de macadamia)

La tabla 4 expresa la granulometría de la cáscara de macadamia, la cual se retiene en su mayoría en los tamices 3/4, numero 4 y 8.

Tabla 4 Granulometría de la cáscara de macadamia.

Peso inicial 667,7 g

Norma: INVIA; Ensayo E-213

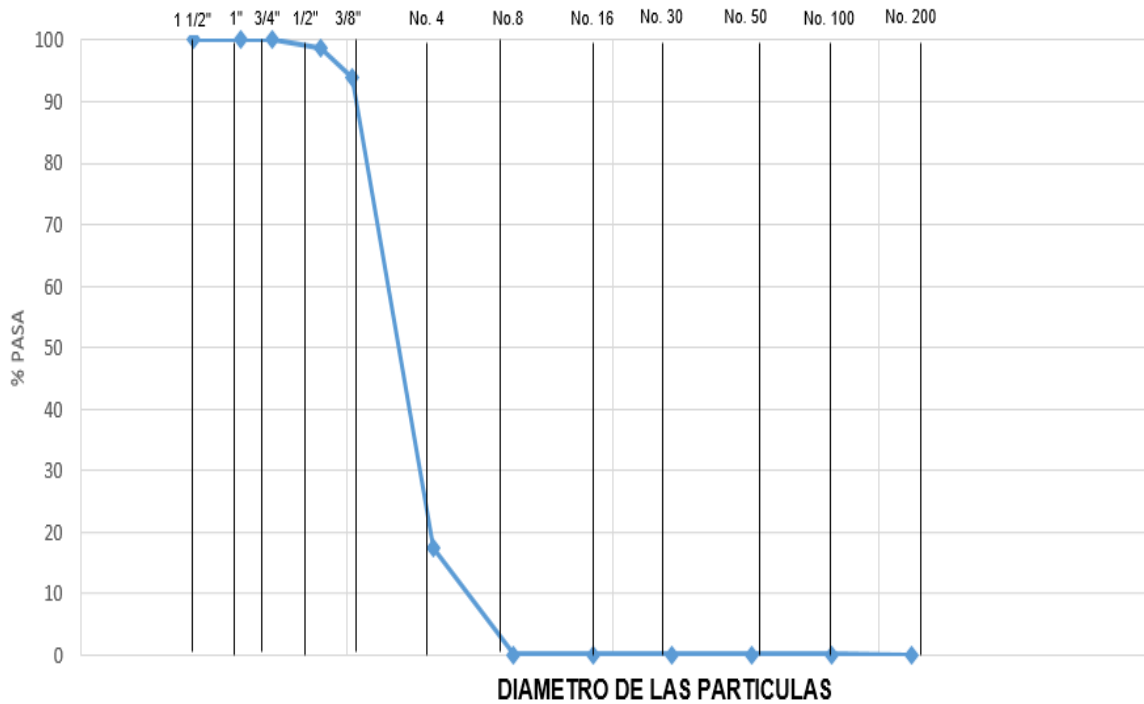
Muestra: Cáscara de Macadamia; Fuente: Coberturas del Cauca

TAMICES	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
1 1/2"	0,0	0	0	100
1"	0,0	0,0	0,0	100
3/4"	0,0	0,0	0,0	100
1/2"	8,1	1,2	1,2	99
3/8"	31,6	4,7	6,0	94
No. 4	510,2	76,5	82,5	17,5
No. 8	116,2	17,4	99,9	0,1
No. 16	0,0	0,0	99,9	0,1
No. 30	0,0	0,0	99,9	0,1
No. 50	0,0	0,0	99,9	0,1
No. 100	0,0	0,0	99,9	0,1
No. 200	0,6	0,1	100,0	0,0
Pasa No. 200	0,0	0,0	100	

Fuente: elaboración propia

Los cálculos se encuentran en Anexo digital 15

Figura 9 Curva granulométrica de la cáscara de macadamia



Fuente: elaboración propia

En las tablas 5,6 y 7 se muestran los resultados de los análisis granulométricos de las muestras reemplazando el 10 %, 20 % y 30 % de material pétreo por cáscara de macadamia respectivamente. En ellas se puede observar lo planteado en el párrafo anterior, se ve una gran disminución del porcentaje retenido en los tamices $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$, además se observa un pequeño aumento en el porcentaje retenido en el tamiz $\frac{3}{8}$ y un aumento considerable en la retención de los tamices número 4 y 8.

7.2.4. Granulometría combinada del agregado grueso y no convencional al 10%

Tabla 5 Granulometría del diseño 1.

Peso inicial 2042,4 g

Norma: INVIAS; Ensayo E-213

Muestra: Cáscara de Macadamia; Fuente Coberturas del cauca

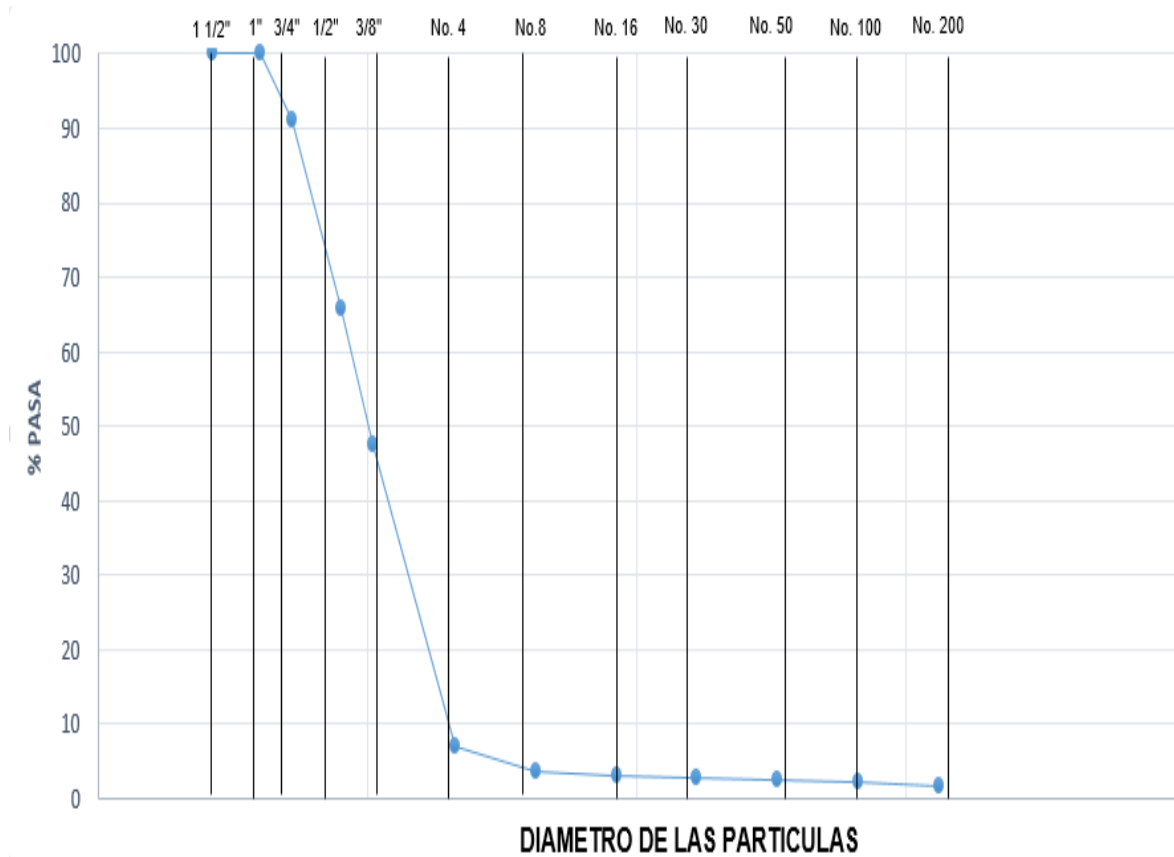
Muestra: Grava; Fuente: Trituradora CONEXPE

TAMICES	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
1 1/2"	0,0	0	0	100
1"	0,0	0,0	0,0	100
3/4"	182,0	8,9	8,9	91
1/2"	515,4	25,2	34,1	66
3/8"	372,0	18,2	52,4	48
No. 4	828,9	40,6	92,9	7,1
No. 8	71,2	3,5	96,4	3,6
No. 16	9,9	0,5	96,9	3,1
No. 30	5,2	0,3	97,2	2,8
No. 50	6,7	0,3	97,5	2,5
No. 100	8,5	0,4	97,9	2,1
No. 200	9,7	0,5	98,4	1,6
Pasa No. 200	32,9	1,6	100	

Fuente: Elaboración Propia

Los cálculos se encuentran en Anexo digital 1

Figura 10 Curva granulométrica del diseño 1



Fuente: elaboración propia

Este cambio en la gradación causa una variación en las curvas de cada uno de los porcentajes de reemplazo con respecto a la curva del patrón y provoca un cambio considerable en el diseño de mezcla, que en este trabajo no se tendrá en cuenta debido a que se quiere solo observar el comportamiento de la cáscara en el concreto final, y presentar un antecedente y una viabilidad para futuras investigaciones.

7.2.5. Granulometría combinada del agregado grueso y no convencional al 20%

Tabla 6 Granulometría diseño 2.

Peso inicial 2275,0 g

Norma: INVIAS; Ensayo E-213

Muestra: Cáscara de Macadamia; Fuente: Coberturas del Cauca

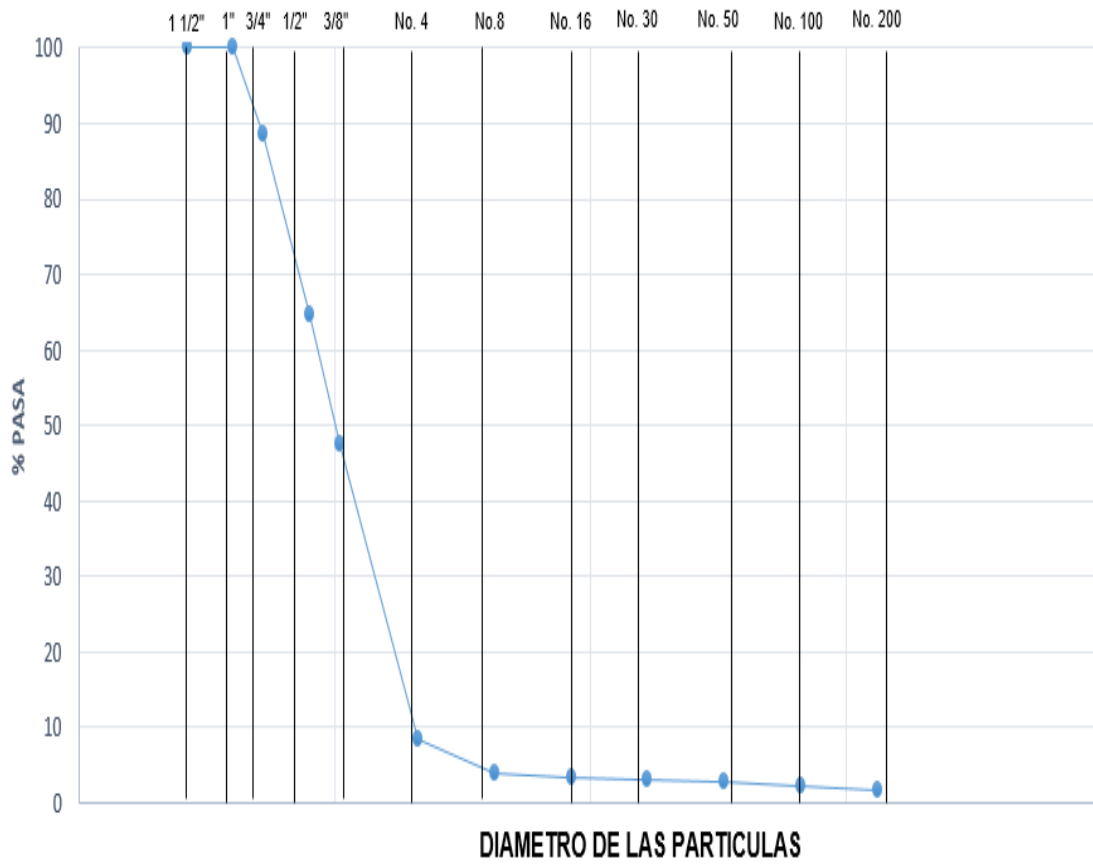
Muestra: Grava; Fuente: Trituradora CONEXPE

TAMICES	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
1 1/2"	0,0	0	0	100
1"	0,0	0,0	0,0	100
3/4"	258,0	11,3	11,3	89
1/2"	545,2	24,0	35,3	65
3/8"	393,9	17,3	52,6	47
No. 4	886,6	39,0	91,6	8,4
No. 8	105,5	4,6	96,2	3,8
No. 16	11,3	0,5	96,7	3,3
No. 30	6,4	0,3	97,0	3,0
No. 50	7,6	0,3	97,3	2,7
No. 100	10,4	0,5	97,8	2,2
No. 200	12,6	0,6	98,4	1,6
Pasa No. 200	37,5	1,6	100	

Fuente: Elaboración propia

Los cálculos se encuentran en Anexo digital 2

Figura 11 Curva granulométrica del diseño 2



Fuente: elaboración propia

7.2.6. Granulometría combinada del agregado grueso y no convencional al 30%

Tabla 7 Granulometría diseño 3.

Peso inicial 2268,9 g

Norma: INVIAS; Ensayo E-213

Muestra: Cáscara de Macadamia; Fuente: Coberturas del Cauca

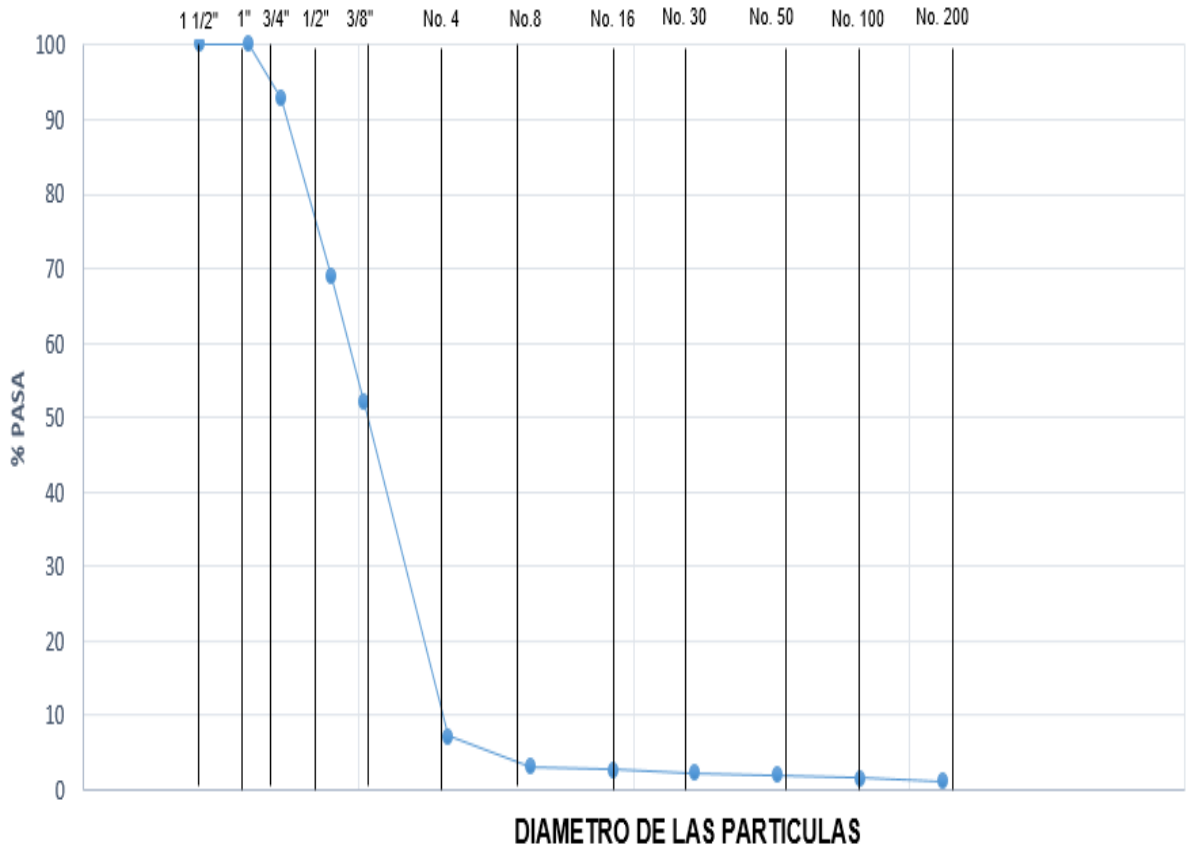
Muestra: Grava; Fuente: Trituradora CONEXPE

TAMICES	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
1 1/2"	0,0	0	0	100
1"	0,0	0,0	0,0	100
3/4"	166,0	7,3	7,3	93
1/2"	542,4	23,9	31,2	69
3/8"	378,0	16,7	47,9	52
No. 4	1020,7	45,0	92,9	7,1
No. 8	91,1	4,0	96,9	3,1
No. 16	11,0	0,5	97,4	2,6
No. 30	7,9	0,3	97,7	2,3
No. 50	8,9	0,4	98,1	1,9
No. 100	8,9	0,4	98,5	1,5
No. 200	9,9	0,4	98,9	1,1
Pasa No. 200	24,1	1,1	100	

Fuente: Elaboración Propia

Los cálculos se encuentran en Anexo digital 3

Figura 12 Curva granulométrica del diseño 3



Fuente: elaboración propia

Se debe tener en cuenta que el material que se retira va a ser reemplazado por material más pequeño en tamaño y esto ocasiona que la prueba de resistencia disminuya su valor.

Al tratarse de una tesis para optar al título de ingeniero ambiental, se busca más la viabilidad de la utilización de la cáscara de macadamia en la incorporación del concreto, por lo que las pruebas granulométricas y las pruebas de diseño de mezcla, las cuales son del campo de acción de la ingeniería civil, se dejan como información extra para futuros diseño, dependiendo de la viabilidad de este proyecto, y las conclusiones finales y recomendaciones a las que se lleguen. El análisis se profundizará un poco más en los resultados de los ensayos de compresión a la resistencia, además de la reducción de costos que se pueda ver en la utilización de cáscara en el concreto y los beneficios ambientales de su utilización.

7.2.7. Gravedad específica del agregado fino

Figura 13 Gravedad específica agregado fino por PREDELCA S.A.S

OBRA:	Control de Calidad Agregados	
DESCRIPCION:	Arena De Rio TM 3/8"	FECHA: 26/01/2015
MUESTRA:	M# 01	NORMA: INVIAS
FUENTE:	Trituradora Conexpe	ENSAYO: E-222

PRUEBAS	1	2	3	PROMEDIO
Peso de la muestra seca(grs), A	490,2	490,8		
Peso del picnómetro aforado lleno de agua, (grs.), B	651,9	666,0		
Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua, (grs), C	964,9	979,4		
Peso de la muestra saturada, con superficie seca (grs), S	500,0	500,0		
Volúmen del picnómetro(c.c.), V	500	500		
Gs. Aparente = $A/(B+A-C)$	2,766	2,767		2,766
Gs. Bulk(s.s.s.) = $S/(B+S-C)$	2,674	2,680		2,677
Gs. Bulk = $A/(B+S-C)$	2,621	2,630		2,626
Absorción (%) = $(S-A)*100/A$	2,00	1,87		1,94

Observaciones: _____

*

Precisión de un solo operador:	Ensayo	Especificación	
Gravedad específica Bulk (seca)	0,009	0,032	Cumple
Gravedad específica Bulk (sss)	0,006	0,027	Cumple
Gravedad específica aparente	0,000	0,027	Cumple
Porcentaje de absorción	0,12	0,31	Cumple

Fuente: PREDELCA S.A.S

Anexo digital 13

7.2.8. Gravedad específica del agregado grueso

Figura 14 Gravedad específica agregado grueso por PREDELCA S.A.S

OBRA:	Control Agregados		
DESCRIPCION:	Grava de Trituración 3/4"	FECHA:	10/10/2016
MUESTRA:	M# 01	NORMA:	INVIAS
FUENTE:	Trituradora CONEXPE	ENSAYO:	E-223

PRUEBAS	1	2	PROMEDIO
Peso de muestra seca (g), A	2938	2602	
Peso de la muestra saturada superficialmente Seca (g), B	2986	2646	
Peso de la canastilla, en el agua(grs), C	1880	1661	
Temperatura del ensayo ° C	22	22	
Gs. Bulk seca = $A/(B-C)$	2,66	2,64	2,65
Gs. Bulk (s.s.s.) = $B/(B-C)$	2,70	2,69	2,69
Gs. Aparente = $A/(A-C)$	2,78	2,77	2,77
Absorción (%) = $(B-A)/A*100$	1,63	1,69	1,66

Observaciones: _____

Precisión de un solo operador:	Ensayo	Especificación	
Gravedad específica Bulk (seca)	0,01	0,025	Cumple
Gravedad específica Bulk (sss)	0,01	0,02	Cumple
Gravedad específica aparente	0,01	0,02	Cumple
Porcentaje de absorción	0,06	0,25	Cumple

Fuente: PREDELCA S.A.S

Anexo digital 14

7.2.9. Gravedad específica del agregado no convencional

En la tabla 8 se indica la gravedad específica del material no convencional, además del porcentaje de absorción, estos resultados son comparados con los de la figura 14, los cuales corresponden a la absorción y gravedad específica del agregado grueso. Al comparar estos resultados es evidente que la densidad o gravedad específica del material no convencional es la mitad del agregado grueso, es por esto que se tuvo en cuenta a la hora de realizar los diseños de mezcla, ya que esto indicaba que la cantidad de cáscara macadamia en peso iba a ser demasiado grande en comparación con la grava, por lo anterior se decidió hacer los diseños en volumen y usando la masa unitaria, que posteriormente se mostrará, se podría tener valores de masa a utilizar.

Tabla 8 Gravedad específica a la cáscara de macadamia.

Muestra: Cáscara de Macadamia

Norma INVIAS ensayo E-223

PRUEBAS	1	2	PROMEDIO
Peso de muestra seca (g), A	498,7	516,1	
Peso de la muestra saturada superficialmente Seca (g), B	638,0	659,4	
Peso de la canastilla, en el agua(g), C	150,2	159,0	
Temperatura del ensayo ° C	21	21	
Gs. Bulk seca = $A/(B-C)$	1,02	1,03	1,03
Gs. Bulk (s.s.s.) = $B/(B-C)$	1,31	1,32	1,31
Gs. Aparente = $A/(A-C)$	1,43	1,45	1,44
Absorción (%) = $(B-A)/A*100$	27,93	27,77	27,85

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la absorción se evidencia que la cáscara de macadamia tiene un porcentaje bastante elevado en comparación con la grava, lo que indica que almacena más agua en sus poros, lo cual puede afectar la resistencia final del concreto, al comparar este resultado con la humedad se observa que la absorción es mayor que la humedad lo cual indica que se debe agregar más agua al concreto para compensar la absorción que absorben los agregados. La densidad resulta menor a la del agregado grueso convencional, causando que se necesite

más cantidad de grava en relación que la de grava. Observando también su humedad la cual para este fue del 12 %. Le va a quitar agua a la mezcla para su saturación

7.2.10. Masa unitaria de materiales

En la tabla 9 se presentan los datos de masa unitaria de cada uno de los agregados utilizados, en la cáscara de macadamia presenta un valor por debajo de la registrada por Rivera en “concreto simple para agregados ligeros” la cual está entre 480 kg/m³ –1040 kg/m³. Esta masa unitaria se emplea para la conversión de la dosificación en volumen.

Tabla 9 Masas unitarias.

Masa Unitaria (Kg/m³)	
Macadamia	674,9
Agregado Grueso	1350,0
Agregado Fino	1308,0

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de humedad se calculó mediante la siguiente ecuación

$$\%humedad = \frac{\textit{peso antes de ser secado} - \textit{peso después de ser secado}}{\textit{peso después de ser secado}} \times 100$$

7.3. DOSIFICACIÓN DE MATERIALES

En la figura 15 se presenta el diseño de mezcla para 1 m³ de concreto elaborado teniendo como base el que usa la empresa PREDELCA S.A.S

Figura 15 Diseño de mezcla para 1 m³

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ESPECIFICACIONES

TIPO DE CONCRETO	CONCRETO BOMBEABLE
RESISTENCIA	210 Kg/cm ² , 3000 PSI
T.M.N	¾"
ASENTAMIENTO	6 ± 1

MATERIAL	PROVEEDOR	CANTIDAD
CEMENTO	CEMEX	396 Kg
ARENA	CONEXPE	1116,5 Kg
GRAVA	CONEXPE	693 Kg
AGUA		264 L

Fuente: PREDELCA S.A.S

Anexo digital 16

Los cálculos de dosificación real y teórica se encuentran en el anexo digital 1

En la tabla 10, 11,12 y 13 se encuentra la dosificación teórica a partir del diseño de mezcla entregado por la empresa PREDELCA S.A.S, la dosificación teórica no tiene en cuenta la humedad de los materiales por lo que se procedió a recalcular la verdadera dosificación ya con la humedad como factor; la dosificación se realizó para 220 dm³ que es la cantidad para 40 cilindros de concreto.

Tabla 10 Dosificación teórica de materiales para la mezcla patrón

Patrón

Materiales	Cantidad
Cemento	7,92 kg
Arena	22,33 kg
Grava	13,86 kg
Agua	5,28 L
Macadamia	0 kg

Fuente: Elaboración propia

El total de diseños patrón fueron 4, dos para ser sometidos a la prueba de resistencia a los 7 días y dos para realizar el mismo procedimiento a los 28 días, es aquí que se evidencia el cambio en la dosificación en la tabla 10 con respecto a las tablas 11,12 y 13.

Tabla 11 Dosificación teórica de materiales para el diseño 1.

Diseño 1

Materiales	Cantidad
Cemento	22,32 kg
Arena	62,93 kg
Grava	33,06 kg
Agua	14,88 L
Macadamia	1,85 kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Dosificación teórica de materiales para el diseño 2.

Diseño 2

Materiales	Cantidad
Cemento	22,32 kg
Arena	62,93 kg
Grava	29,38 kg
Agua	14,88 L
Macadamia	3,70 kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Dosificación teórica de materiales para el diseño 3.

Diseño 3

Materiales	Cantidad
Cemento	22,32 kg
Arena	62,93 kg
Grava	25,71 kg
Agua	14,88 L
Macadamia	5,54 kg

Fuente: Elaboración propia

La humedad de la macadamia resultó de un 12,03 %, de la grava 0,7% y de la arena 2,7% con estos valores se recalculó el diseño, arrojando valores reales utilizados en la elaboración de los cilindros, los cuales se presentan en las tablas 14, 15 y 16 para los diseños 1, 2 y 3 respectivamente.

Tabla 14 dosificación real de materiales para el diseño 1

Diseño 1

Materiales	Cantidad
Cemento	22,32 kg
Arena	64,63 kg
Grava	33,31 kg
Agua	17 L
Macadamia	2,1 kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 dosificación real de materiales para el diseño 2

Diseño 2

Materiales	Cantidad
Cemento	22,32 kg
Arena	64,63 kg
Grava	29,60 kg
Agua	17 L
Macadamia	4,16 kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16 dosificación real de materiales para el diseño 3

Diseño 3

Materiales	Cantidad
Cemento	22,32 kg
Arena	64,63 kg
Grava	25,91 kg
Agua	17 L
Macadamia	6,21 kg

Fuente: Elaboración propia

7.4. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Los cálculos de las tablas 17, 18, 19,20 y 21 se encuentran en el anexo digital 1

En las tablas 17,18 y 19 se presenta los valores obtenidos en la prueba de compresión en la máquina universal de ensayos, siguiendo la metodología recomendada por la norma INV – 410, en la tabla 19 se presentan los valores obtenidos a los 28 días para los diseños 1,2 y 3 respectivamente, Los resultados de este ensayo se pueden usar como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto; para el cumplimiento de especificaciones y como control para evaluar la efectividad de aditivos y otros usos similares (INV-410).

Todos los cilindros cumplen con la relación longitud vs diámetro (L/ϕ), para el caso de los cilindros estudiados la relación tiene un valor promedio de $L/\phi = 2,05 \pm 0,03$

Tabla 17 Ensayos de compresión a los 7 días.

7 días								
% macadamia	Longitud (Cm)	Perímetro (Cm)	Radio (Cm)	Área (Cm²)	Fuerza (KN)	Presión (KgF/cm²)	Presión (psi)	Promedio (psi)
10%	30,4	48,2	7,67	184,88	206	113,62	1612,67	1523,87
	30,4	48,2	7,67	184,88	193,5	106,73	1514,81	
	30,4	47,0	7,48	175,79	175,4	101,75	1444,13	
20%	29,8	45,4	7,23	164,02	136,5	84,86	1204,46	1393,63
	30,4	48,2	7,67	184,88	188,1	103,75	1472,54	
	29,8	48,4	7,70	186,42	193,7	105,95	1503,87	
30%	30,4	48,4	7,70	186,42	175,6	96,05	1363,35	1331,86
	30,2	48,4	7,70	186,42	163,1	89,22	1266,30	
	30,2	47,8	7,61	181,82	171,6	96,24	1365,95	

Fuente: elaboración propia

Tabla 18 Ensayos de compresión a los 14 días.

14 días								
% Macadamia	Longitud (Cm)	Perímetro (Cm)	Radio (Cm)	Área (Cm ²)	Fuerza (KN)	Presión (KgF/cm ²)	Presión (psi)	Promedio (psi)
10%	30,6	49,4	7,86	194,20	238,5	125,23	1777,49	1781,21
	30,0	47,2	7,51	177,29	227,6	130,91	1858,06	
	30,4	48,4	7,70	186,42	220	120,34	1708,06	
20%	30,4	48,4	7,70	186,42	214,9	117,55	1668,47	1692,00
	30,2	45,4	7,23	164,02	197,7	122,91	1744,49	
	30,2	48,4	7,70	186,42	214,2	117,17	1663,03	
30%	30,2	48,2	7,67	184,88	208,2	114,83	1629,89	1633,12
	30,4	49	7,80	191,07	203,1	108,39	1538,47	
	30,4	48,6	7,73	187,96	224,8	121,96	1731,00	

Fuente: elaboración propia

Tabla 19 Ensayos de compresión a los 28 días

28 días								
% macadamia	Longitud (Cm)	Perímetro (Cm)	Radio (Cm)	Área (Cm ²)	Fuerza (KN)	Presión (KgF/cm ²)	Presión (psi)	Promedio (psi)
10%	30,4	48,8	7,77	189,51	269,3	144,90	2056,69	2130,56
	30,4	48	7,64	183,35	271,8	151,16	2145,55	
	30,6	48,4	7,70	186,42	282	154,26	2189,43	
20%	30,2	47,2	7,51	177,29	265,4	152,65	2166,65	2092,65
	29,6	48,2	7,67	184,88	261,9	144,45	2050,28	
	29,4	46,8	7,45	174,29	248,2	145,21	2061,02	
30%	30,2	48,8	7,77	189,51	227,4	122,36	1736,69	1834,58
	30,2	48,4	7,70	186,42	247,6	135,44	1922,35	
	30,4	48,4	7,70	186,42	237,6	129,97	1844,71	

Fuente: elaboración propia

Tabla 20 Ensayos de compresión a patrones.

7 Días						
Longitud (Cm)	Radio (Cm)	Área (Cm ²)	Fuerza (KN)	Presión KgF/cm ²	Presión (psi)	Promedio (psi)
48,2	7,67	184,88	235,4	129,84	1842,83	1802,90
48,2	7,67	184,88	225,2	124,21	1762,98	
28 Días						
Longitud (Cm)	Radio (Cm)	Área (Cm ²)	Fuerza (KN)	Presión KgF/cm ²	Presión (psi)	Promedio (psi)
48,2	7,67	184,88	323,1	178,21	2529,39	2565,40
48,2	7,67	184,88	332,3	183,28	2601,41	

Fuente: elaboración Propia

La edad de 28 días se eligió en los momentos en que se comenzaba a estudiar a fondo la tecnología del concreto, por razones técnicas y prácticas. Técnicas porque para los 28 días ya el desarrollo de resistencia está avanzado en gran proporción y para la tecnología de la construcción esperar ese tiempo no afectaba significativamente la marcha de las obras (Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión, 2013).

Estos valores posteriormente son comparados como se hace en la tabla No. 21, en la cual se hace una representación de los valores promedios de cada diseño y sus respectivos días de toma de muestra. Las muestras se comparan con los resultados obtenidos por parte de los patrones los cuales se encuentran contenidos en la tabla 20, la comparación de estos valores de compresión a la resistencia por parte de los cilindros se enfocó en los resultados obtenidos a los 28 días, una aclaración en la norma acerca de los valores es que los resultados obtenidos dependen del tamaño y forma del espécimen, de la bachada, de los procedimientos de mezclado, de los métodos de muestreo, moldes y fabricación, así como de la edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado (INV-410).

En el desarrollo de la práctica uno de los principales factores que presentó variaciones fue la temperatura, hubo fluctuaciones entre los 21°C a 27°C al medio día, y en las noches se registraron temperaturas promedio de 14°C y 16°C, factores que impactan directamente desde la elaboración del diseño de mezcla a el periodo de curado y endurecimiento de los cilindros.

Tomando como base de análisis los resultados en la tabla 21 donde se encuentran los valores de resistencia promedio de cada diseño en comparación con los patrones, las variaciones en la cantidad de agua que se necesitó para cada diseño se vio afectada por la humedad de los materiales que varía con las oscilaciones de la temperatura en el transcurso del día.

Continuando con la interpretación de los valores de resistencia en la tabla 21, se observó que el porcentaje de pérdida de la resistencia en todos los diseños respecto al patrón, el diseño que presenta la mayor pérdida de resistencia es el diseño 3 el cual corresponde a una sustitución del 30% del total en volumen del agregado grueso, en el transcurso del estudio presentó un valor promedio de 74,92% del valor de resistencia por parte del patrón, por lo que se hace el descarte de esta opción. El diseño 2 presenta un valor promedio de 81,57 % de la resistencia respecto al patrón a los 28 días, el diseño 1 tiene un valor promedio de 83,05% respecto al patrón a los 28 días; no se alcanza el valor recomendado de un mínimo de 90% respecto al patrón para ser aceptado como concreto estructural, pero estas dos últimas mezclas siguen siendo la mejor opción. Con estas condiciones y los resultados depositados en las tablas hay que buscar la mejor opción en los diseños planteados

Tabla 21 Comparación de diseños con patrones.

Valores Promedio				
% Macadamia	Días	Presión Muestra (psi)	Presión Patrón (psi)	% Respecto al Patrón
10	7	1523,87	1802,90	84,52
20		1393,63		77,30
30		1331,86		73,87
10	14	1781,21	2057,07	86,59
20		1692,00		82,25
30		1633,12		79,39
10	28	2130,56	2565,40	83,05
20		2092,65		81,57
30		1834,58		71,51

Fuente: elaboración propia

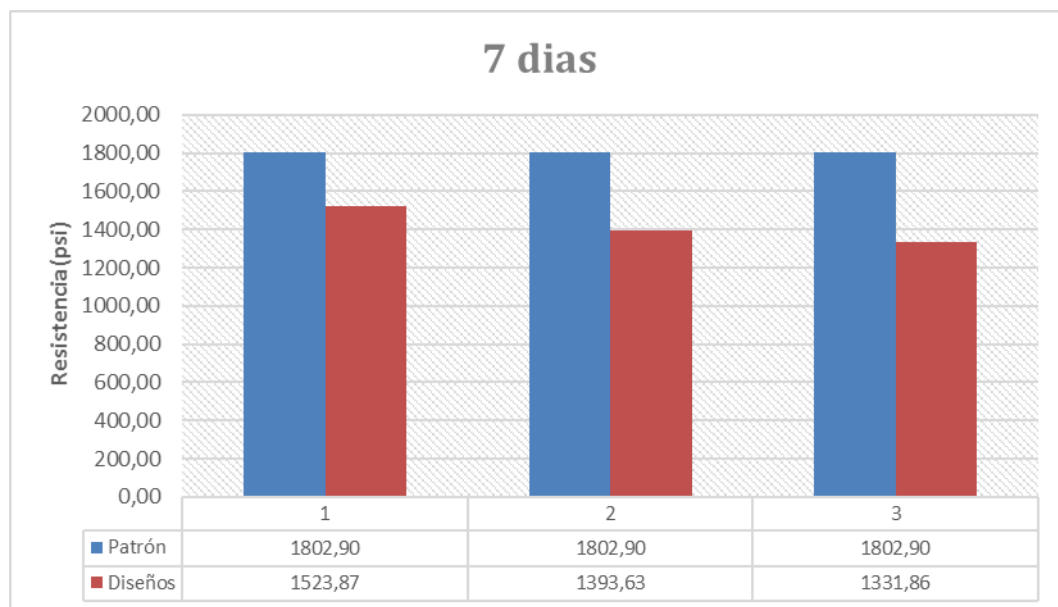
Arreglar tabla

Es aquí donde hay que tener en consideración las variables económicas que implica una sustitución por parte del 10% y 20% de la grava en la elaboración de concreto hidráulico, la cercanía en el promedio corrobora la necesidad de realizar posteriormente estudios en los que la sustitución por parte del material sea dentro de estos rangos, con el fin de buscar la mejor opción.

La búsqueda de estas opciones sería principalmente económicas y ambientales, como es la prioridad del estudio de la viabilidad de la cáscara de macadamia como agregado no convencional. Estos dos puntos deben ser tenidos en cuenta pero no se puede dejar de lado la pérdida de resistencia por parte de los diseños con cáscara de macadamia respecto al patrón, aunque la sustitución de la grava por cáscara de macadamia es uno de los principales factores, en esta pérdida hay que tener en cuenta los factores tanto ambientales y la misma elaboración de los cilindros, el proyecto trató de ajustarse a la manera más práctica en la que se podría usar en un futuro este tipo de desecho, al hacerlo de esta manera y no cumplir con las expectativas brinda importantes conclusiones con el fin de buscar una nueva metodología pero que siga siendo viable tanto económicamente como en la práctica al momento de ajustarse a los requerimientos de las plantas concreteras.

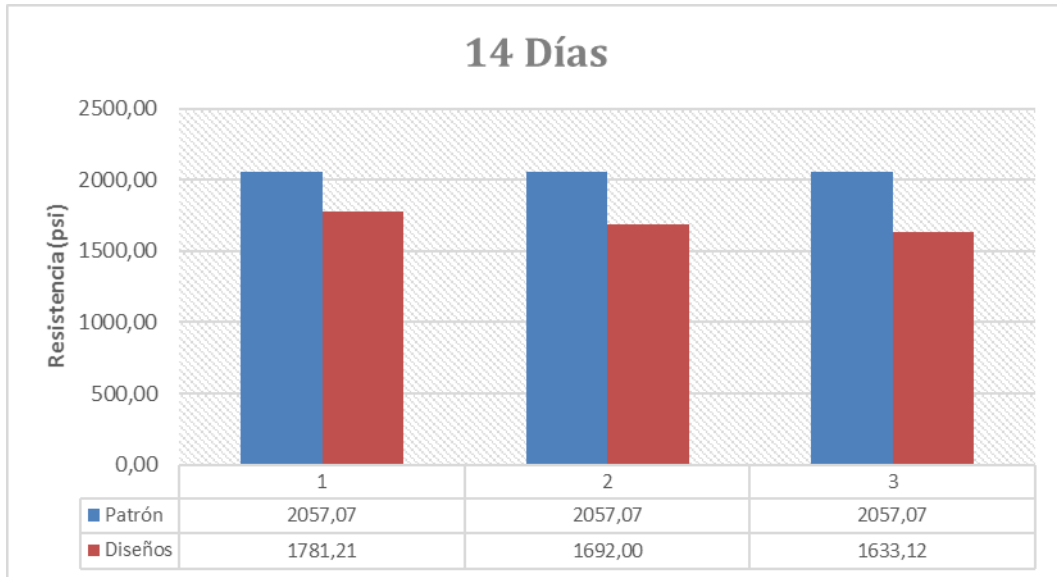
En las figuras 16,17 y 18 se presenta el comportamiento de los diseños respecto al patrón, y se esquematiza lo presentado en la tabla 21. En los anteriores diagramas de barras se observa de una manera más didáctica la evolución de los patrones y diseños en el tiempo, en la figura 18 se observa como la resistencia para los diseños 1,2 y 3 a los 28 días no alcanzan el mismo valor de resistencia que la muestra patrón, y es aún más claro que el resultado de resistencia a la compresión por parte del diseño 3 no alcanza el umbral de los 2000 PSI, por lo que se afianza la idea de ser descartada.

Figura 16 Comparación de diseños con respecto al patrón a los 7 días



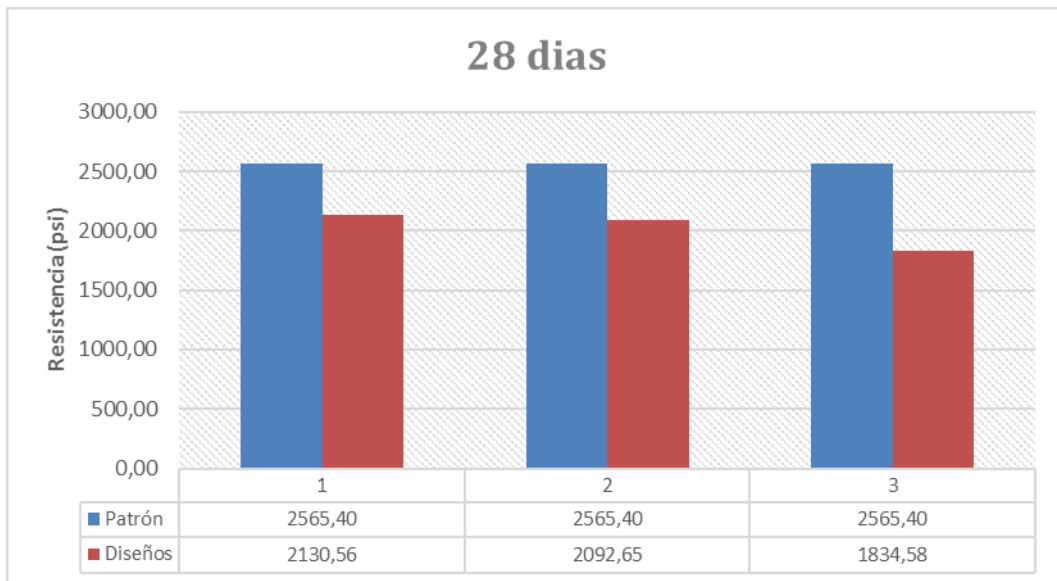
Fuente: elaboración propia

Figura 17 Comparación de diseños con el patrón a los 14 días



Fuente: elaboración propia

Figura 18 Comparación de diseños con el patrón a los 28 días

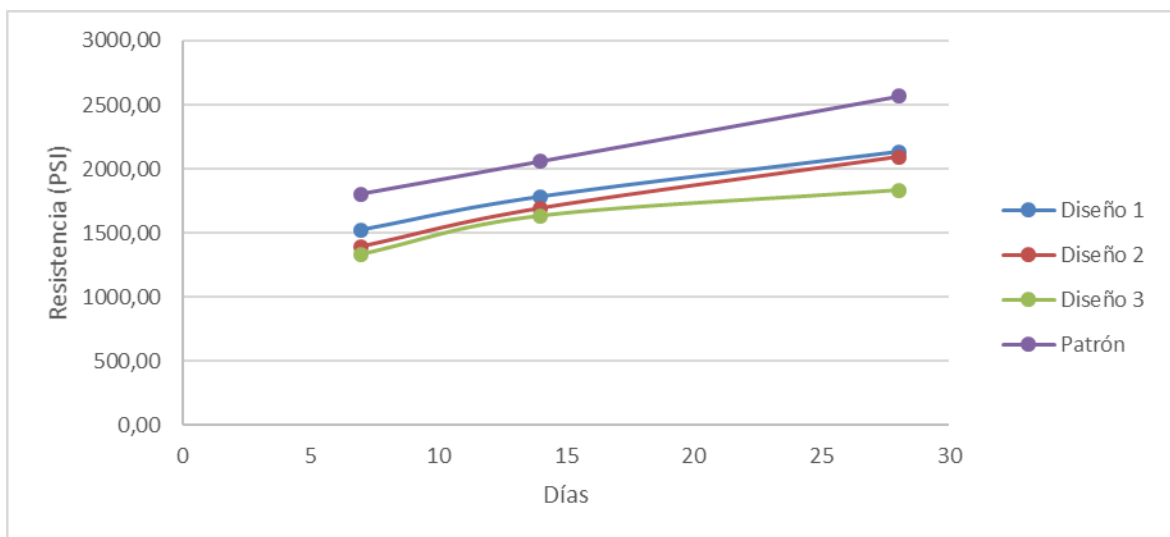


Fuente: elaboración propia

Prosiguiendo con la interpretación de resultados el análisis se enfocará en los diseños 1 y 2, diseños que presentan valores relativamente cercanos en cuanto a la resistencia, estas proporciones se convierten en un valor de referencia en un futuro replanteamiento del proyecto, comenzando con un cambio en el diseño de

mezcla con el fin de mejorar la resistencia. En la figura 19 se observa la evolución de la resistencia de cada diseño en el transcurso de 28 días, los diseños 1 y 2 a los 28 muestran cómo sus curvas toman valores relativamente cercanos de resistencia, como lo notamos en las curvas ninguno de los diseños alcanza el valor del patrón a los 28, por lo que podemos concluir que necesitaría más de 28 días para alcanzar el valor de resistencia del valor patrón, el número de días no se puede afirmar con precisión ya que la resistencia depende de factores ambientales y los componentes con los que se elabore el concreto.

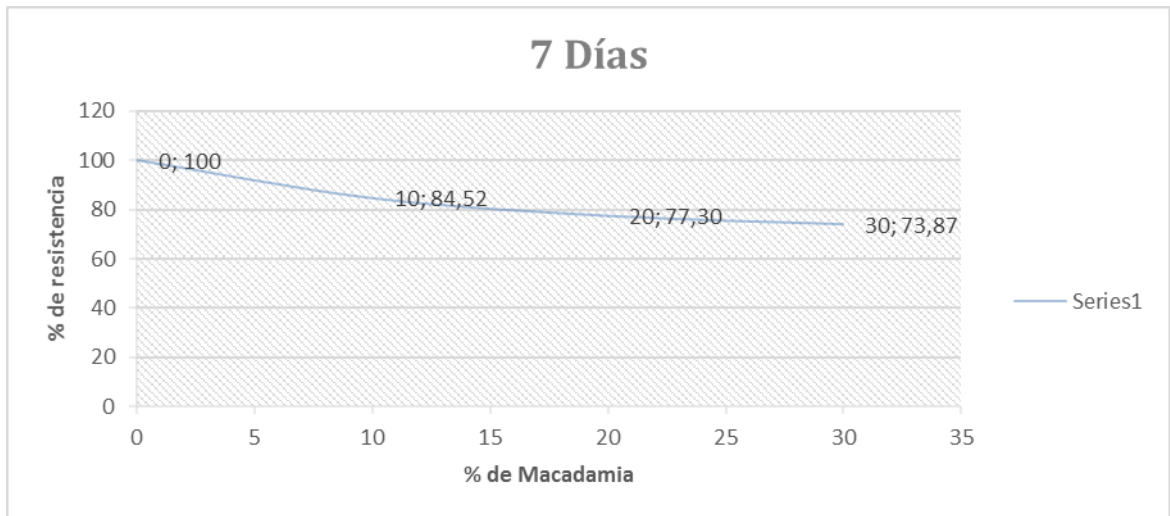
Figura 19 Evolución de la resistencia en el tiempo



Fuente: elaboración propia

En las figuras 20,21 y 22 se muestra el porcentaje de la resistencia pérdida con relación al porcentaje de sustitución de cáscara de macadamia como agregado no convencional para cada diseño. Las gráficas presentan los valores promedio de resistencia a los 7,14 y 28 días, se procedió a calcular el valor significativo en porcentaje de resistencia de cada diseño frente al valor total de resistencia del patrón para cada día de toma de muestras como se nota en cada gráfica con el fin de mostrar una curva en la que se puede analizar de una manera didáctica la influencia en la pérdida de resistencia a medida que aumenta el porcentaje en volumen sustituido de agregado grueso por agregado no convencional.

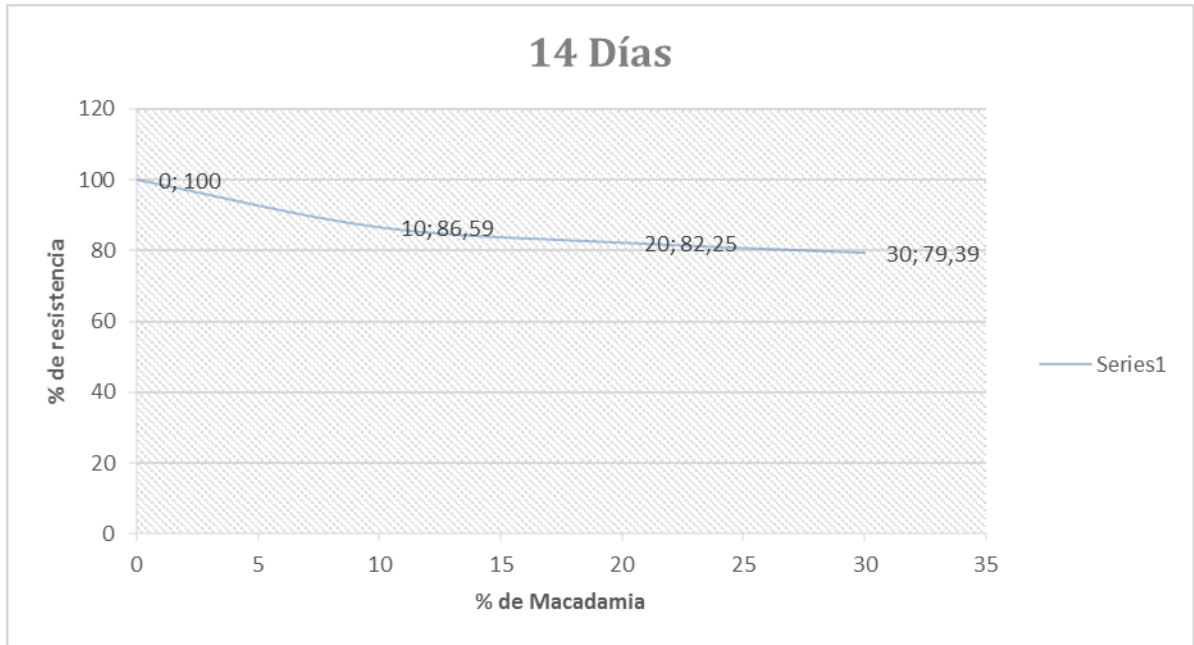
Figura 20 Pérdida de resistencia con relación al porcentaje de sustitución a los 7 días



Fuente: elaboración propia

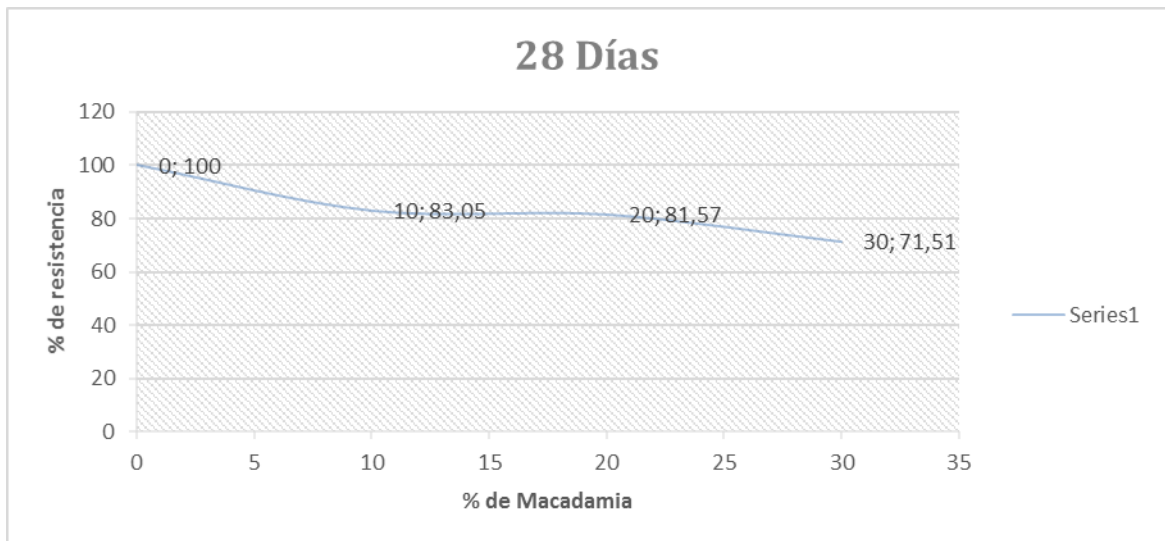
Lo que se busca con las últimas gráficas es mostrar al lector la pérdida de resistencia de los diseños en una curva, en la figura 20 la caída se mantiene constante a medida que aumenta el porcentaje de cáscara de macadamia reemplazado terminando con el diseño 3. En las figuras 21 y 22 se observa como la curva amortigua su caída para el caso de los diseños 1 y 2, y como se indicó anteriormente, estos diseños representan valores muy cercanos de resistencia a la compresión para el caso de los 14 y 28 días aunque mantengan la condición inferior en la resistencia frente a los patrones.

Figura 21 Pérdida de resistencia con relación al porcentaje de sustitución a los 14 días



Fuente: elaboración propia

Figura 22 Pérdida de resistencia con relación al porcentaje de sustitución a los 28 días



Fuente: elaboración propia

En la figura 23 observamos un cilindro patrón siendo sometido a la prueba de resistencia a la compresión a los 28 días, el esquema del tipo de falla es el tipo c, cono y corte, esta apreciación se hace siguiendo como fuente la norma INV-410.

Prosiguiendo con la esquematización del tipo de falla de los cilindros con agregado no convencional (cáscara de macadamia), se evidencia un esquema de falla tipo d o corte como se puede observar en la figura 24, todos los cilindros con agregado no convencional presentaron este tipo de corte, con lo que se llega a la conclusión de que el agregado no convencional presenta problemas de adherencia; la principal razón de este problema es la capa lisa de la cáscara de macadamia, capa que contrasta de manera evidente con la grava.

Figura 23 Cilindro Patrón en prueba de resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia

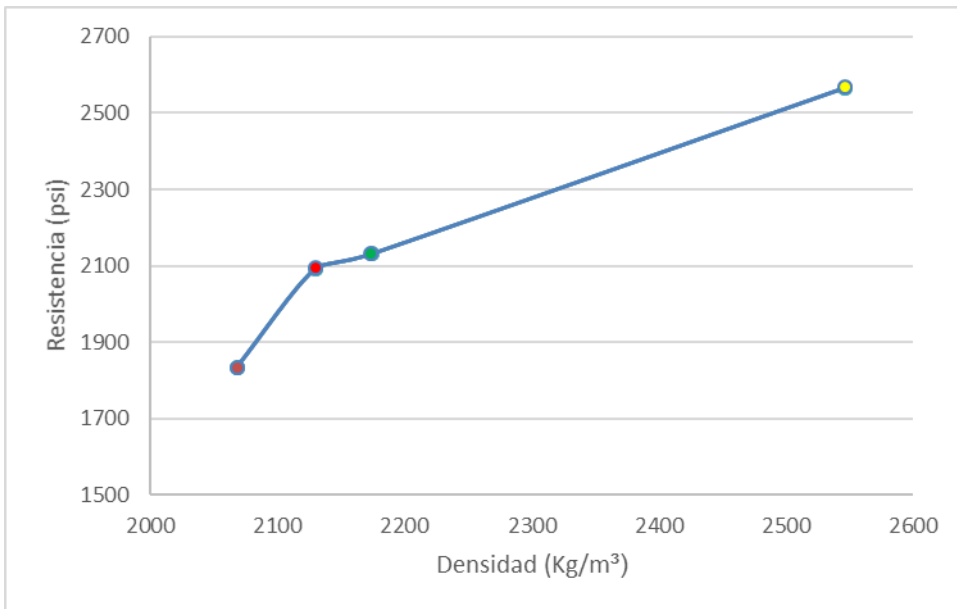
Figura 24 Cilindro con agregado no convencional cáscara de macadamia



Fuente: Elaboración propia

Por último se observa en la figura 25 el comportamiento de la resistencia y la densidad, dicha interacción directamente proporcional se relaciona con la estructura parcialmente porosa y compactada de los agregados, la resistencia a la compresión aumenta a medida que se aumenta la cantidad de cemento, es decir se vuelve más pesado el diseño.

Figura 25 Relación densidad- resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración Propia

7.5. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

En esta parte se evalúa los pro y contra que traería producir concreto adicionando cáscara de macadamia, para ello en primera instancia se realizaron los cálculos para la producción de un metro cúbico de concreto en cada uno de los diseños, estos se presentan en las figuras 26,27,28 y 29, en estas figuras se observa un incremento del 6% en cemento, arena y agua para los diseños con cáscara de macadamia respecto al patrón, este aumento es causado por los diseños originales, los cuales se plantearon para una resistencia y una granulometría específicas, al cambiar la granulometría para la adición de cáscara se reajustan los diseños para garantizar que la resistencia no varíe sustancialmente. Estos incrementos de material ocasionan un incremento económico en la elaboración de los diseños 1,2 y 3 respecto al patrón, los cuales se pueden observar en la tabla 22, donde se presentan los costos de producir un metro cubico de cada uno de los diseños. Estos aumentos económicos son del 4,5 %, 4,3% y 2.27% respectivamente para cada diseño, aquí se observaría que aunque no representa un incremento económico substancial, si sería una desventaja en términos económicos a la hora de implementar alguno de estos diseños. Es indispensable buscar alternativas para intentar en un futuro que no exista incremento de cemento arena y agua sin afectar drásticamente la resistencia, y así ayudar un poco más a la contaminación y a la parte económica de las empresas concreteras.

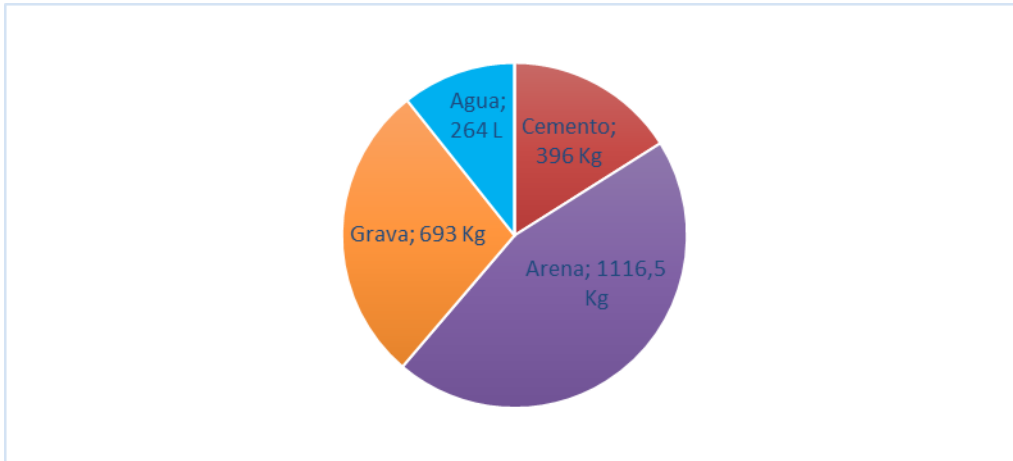
Los beneficios en la elaboración de algunos de los diseños aquí planteados, solo serán a nivel ambiental, ya que se solucionaría el problema de los residuos sólidos y su tratamiento, y se disminuiría la contaminación e impacto ambiental por la extracción de grava, esto último solo si se tiene en cuenta la recomendación de intentar mantener las cantidades de los demás agregados constantes.

Teniendo en cuenta las recomendaciones anteriores, y lo observado con la parte económica, se procede a escoger la alternativa más beneficiosa para posteriores estudios, es indispensable que lo económico, ambiental y estructural, más precisamente la resistencia, estén dentro de un equilibrio, buscando que no se afecten entre si, por lo tanto sería conveniente realizar estudios con nuevos valores de sustitución, muy cercanos al 20 %, ya que es el valor donde se presentan las características anteriormente mencionadas.

Finalmente se debe establecer la viabilidad del proyecto teniendo en cuenta la producción mensual de cáscara de macadamia en el departamento del cauca, la cual por información de la empresa “coberturas del cauca” se estima en 6 Ton mensuales aproximadamente, teniendo en cuenta que para la producción de 1 m³ se necesitan 69,81kg de cáscara de macadamia se estima que la cantidad producida mensual de cáscara en un mes logra producir 85,9 m³ de concreto al mes, un valor mensual muy bajo para la demanda de concreto estructural que en promedio es de 50 m³ cúbicos al día para PREDELCA S.A.S., pero este volumen producido puede suplir la demanda de concreto que no sea para uso estructural,

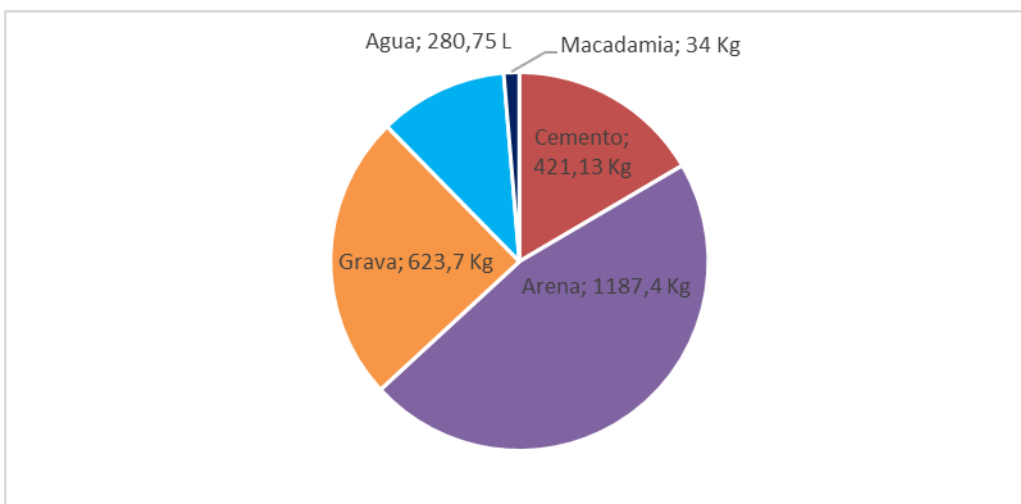
teniendo en cuenta que la resistencia del concreto de los diseños no alcanzo la resistencia para un uso estructural, pero si puede ser utilizado para diferentes fines que no soporten grandes presiones.

Figura 26 Dosificación para 1 m³ de concreto estándar



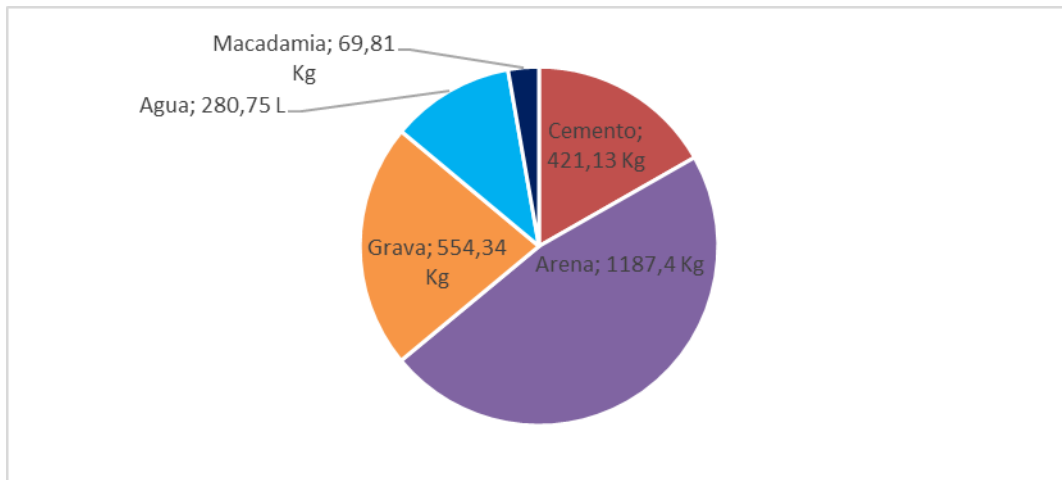
Fuente: Elaboración Propia

Figura 27 Dosificación para 1 m³ de concreto con 10% de agregado no convencional



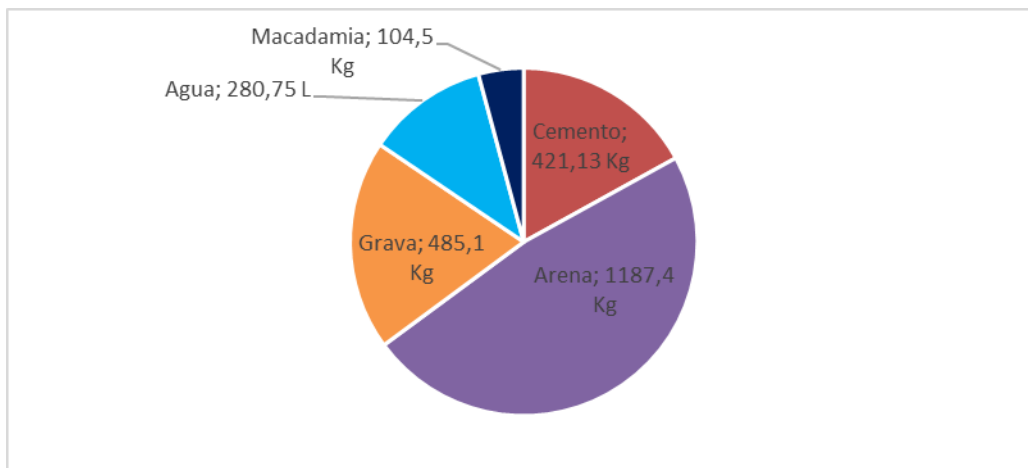
Fuente: Elaboración Propia

Figura 28 Dosificación para 1 m³ de concreto con 20% de agregado no convencional



Fuente: Elaboración Propia

Figura 29 Dosificación para 1 m³ de concreto con 30% de agregado no convencional



Fuente: elaboración propia

Tabla 22 Costo de fabricación de 1m³ de concreto.

Muestra	Patrón	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
Costo (\$)	278079	290644	287524	284464

Fuente: Elaboración Propia

8. CONCLUSIONES

- Los análisis granulométricos de las mezclas con cáscara de macadamia tanto en el porcentaje 10%, 20% y 30 % presentan un aumento en el porcentaje retenido en los tamices número 4,8 y 16 debido a la cáscara de macadamia, presentando una mala gradación del material.
- La resistencia a los 28 días de la muestra patrón es de 2565,40 psi, los diseños presentaron valores de resistencia a los 28 días de 2130,36 psi para el diseño 1, 2092,65 psi para el diseño 2 y 1834,58 psi para el diseño 3, esta pérdida de resistencia encuentra como principal consecuencia la mala gradación por parte del agregado no convencional y la pérdida de material de mayor tamaño en la sustitución de agregado grueso por agregado no convencional cáscara de macadamia.
- Otro factor importante observado en el momento en que los cilindros fueron sometidos a pruebas de resistencia a la compresión y su posterior fractura es la baja adherencia por parte del agregado no convencional con el resto de materiales.
- El diseño 2 presenta un valor relativamente cercano al diseño 1, con lo que se puede replantear el proyecto haciendo configuraciones en los diseños de mezcla con porcentajes de sustitución dentro de estos rangos.
- El diseño 3 es una opción que se descarta de manera inmediata por su mayor valor de pérdida de resistencia respecto a los patrones.
- El mayor inconveniente es el ajuste del diseño de mezcla, ya que este trabaja bajo condiciones óptimas con los materiales usados por la planta concretara, por lo que se debe proceder a estructurar un diseño de mezcla que acoja mejor las características tanto físicas como químicas de la cáscara de macadamia como agregado no convencional.
- Teniendo en cuenta la resistencia obtenida y el análisis consto-beneficio, se concluye que los diseños realizados no son recomendables en el uso de concreto estructural, sin embargo pueden ser utilizados en concretos ligeros y de baja resistencia

9. RECOMENDACIONES

- Tener especial cuidado con la cantidad de agua agregada, con el fin de mantener una relación agua-cemento apropiada que no altere la resistencia.
- En busca de mejorar la resistencia y alcanzar valores óptimos como los presentados en el estudio previo por parte de la Ingeniera María Elena Castro docente de la Universidad del Cauca, hay que replantear un diseño de mezcla que aborde de una manera completa las características físicas y químicas de la cáscara de macadamia como agregado no convencional en el concreto hidráulico, teniendo en cuenta la baja densidad de la cascara de macadamia y su alto grado de absorción de humedad respecto a la grava.
- Buscar alternativas en las que este tipo de concretos con valores de resistencia bajos pero viables ambientalmente, sean aprovechados y se los pueda tener en cuenta en el sector de la construcción.
- Estos análisis granulométricos pueden ser utilizados para un posterior diseño de mezcla de cada uno de las muestras de sustitución de cáscara de macadamia.
- Evaluar la durabilidad del compuesto en el concreto con el paso de los años.
- Plantear un diseño de mezcla disminuyendo la cantidad de cemento, arena y agua sin afectar la resistencia, para así reducir el impacto ambiental un poco más.
- Tomando como base en el comportamiento observado en el trabajo experimental, podría sugerirse que con el uso de algún aditivo que favorezca la cohesión entre los materiales, los valores de resistencia a la compresión a los 28 días pueden aumentar hasta alcanzar el valor mínimo requerido para el uso del material en la construcción.

10. BIBLIOGRAFIA

Análisis proximales. 2012. recuperada el 26 de enero de 2016 de <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB489S/AB489S03.htm>

ASTM C 94, C 138, C 173, C 330 and C 567, Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.02, ASTM International, West Conshohocken, PA, disponible en www.astm.org

Caracterización de polímeros aplicando el método termo-gravimétrico. 2012. [En línea] < revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/download/13470/13366> [Citado en 10 de agosto de 2016]

CCA (2014), *La quema de residuos agrícolas: fuente de dioxinas*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 6 pp.

CEMEX, 2015. Cemento y clases de cemento. [En Línea] <http://www.cemex.com/ES/ProductosServicios/Cemento.aspx> [Citado en 26 de enero de 2016]

COMPONETES Y PROPIEDADES DEL CEMENTO. [En Línea] <https://www.ieca.es/gloCementos.asp?id_rep=179> [citado en 25 de enero del 2016]

Concreto estructural de peso liviano. [En Línea] <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/cip36es.pdf> [citado en 25 de enero de 2016],

Concretos ligeros. 2009 [En Línea] <<http://www.imcyc.com/ct2009/jul09/tecnologia.htm>> [Citado el 15 de febrero de 2016]

De la cruz, F., Saens, A., & Cortes, F. (2015). Revista de arquitectura e ingeniería, concreto ligero utilizando cáscara de nuez, 9(1).

Dirección de Educación Ambiental - México. ¿CÓMO AFECTA LA BASURA AL AIRE? Recuperada el 23 de diciembre del 2015, de: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/ubea/educacion/residuos> México.

Ferreira-Díaz. J.S. Aprovechamiento de escombros como agregados no convencionales en mezclas de concreto. Tesis como requisito de grado para Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Noviembre 2009

Gatani Mariana; Argüello Ricardo. (Nuevos materiales de construcción sustentable con cáscaras de maní. ensayos de comportamiento mecánico con variación de la granulometría del agregado). Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE), Córdoba (Argentina). 2007

Gravedad específica y absorción, 2011. recuperado el 25 de enero de 2012, de: <http://www.cuevadelcivil.com/2011/04/gravedad-especifica-y-absorcion-astm.html>.

GUTIÉRREZ, Libia. El concreto y otros materiales para la construcción. Manizales: centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, 2003

HUERA RAUL. Concreto Ligero. [En línea] <<http://www.imcyc.com/ct2009/jul09/tecnologia.htm>> [citado en 11 de septiembre de 2016]

INVERSION EN EL SECTOR MATERIALES EN COLOMBIA. [En Línea] <<http://inviertaencolombia.com.co/sectores/manufacturas/materiales-de-construccion.html>> [Citado en 26 de marzo de 2016]

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Resistencia a la compresion de cilindros de concreto. INVE-410-07

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados compactados o sueltos. INVE-217-07

JARA, Federico. Impacto de la incompatibilidad/compatibilidad termodinámica entre proteína del lacto suero e hidroxipropilmetilcelulosa en las propiedades fisicoquímicas de las mezclas. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2011

Lightweight Concrete and Aggregates , Tom Holm, ASTM 169C, Chapter 48, ASTM International, West Conshohocken, PA disponible en <http://www.norliteagg.com/literature/lightweight_concrete_and_aggregates.pdf>

Mafla, A. (2009). Arroz Como Material Alternativo En La Construcción, (6), 74–78.

Marte Rosario, M. (2011). Utilización de la cáscara de nuez Chandler en el yeso, 1–103.

Ministerio del medio Ambiente. Ministerio de Hacienda. Documento Conpes. Disposición final de residuos., pp 30. Bogotá 2009.

Ministerio de vivienda ciudad y territorio. co-programa nacional para el manejo de residuos sólidos, pp 7. Bogota 2014. [En Línea] <<http://www.minvivienda.gov.co/Residuos%20Solidos/Marco%20de%20Gesti%C3%B3n%20Ambiental%20y%20Social%202014.pdf>> [Citado en 15 de marzo de 2016]

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-30. [En Línea] <<http://www.academia.edu/9500250/NTC-30-Cemento-Portland-Clasificacion-y-Nomenclatura>> [Citada en 25 de enero del 2016]

N. Fuentes Molina, O.I. Fragozo Tarifa, L. Vizcaino Mendoza. (2015). Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 25(2), pp. 99 - 116, DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1434>

Olanipekun, E. A., Olusola, K. O., & Ata, O. Ñ. (2006). A comparative study of concrete properties using coconut shell and palm kernel shell as coarse aggregates, *41*, 297–301. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.029>

Olarte I., Alternativas para el tratamiento y la disposition final de los residuos generados en la industria de la construcción de vivienda y edificación, Tesis como requisito de grado para Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 1999.

OSORIO, Jesus; " Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresion" Disponible en internet <<http://blog.360gradosenconcreto.com/resistencia-mecanica-del-concreto-y-resistencia-a-la-compresion/>>

OSORIO, Alexander, Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. Medellin, 2007 11p. Trabajo de grado(ingeniero agricola). universidad nacional de colombia- sede medellin. facultad de ciencias agropecuarias.

propiedades principales del concreto [en línea] <<http://civilgeeks.com/2011/12/11/propiedades-principales-de-concreto/>> [Citado el 15 de febrero de 2016]

RESIDUOS AGROINDUSTRIALES. [En línea] <<http://www.eg-ingenieria.com.ar/residuos-agroindustriales.html>> [Citado el 23 de marzo de 2016]

Residuos Sólidos - Todo Sobre el Medio Ambiente. recuperado el 30 de enero de 2016 tomado de www.todosobreelmedioambiente.jimdo.com.

Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión.2013. [En línea] <<http://blog.360gradosenconcreto.com/resistencia-mecanica-del-concreto-y-resistencia-a-la-compresion/>> [Citado en 7 de octubre de 2016]

RIVERA, Gerardo. Concreto Simple. Agregados para concreto y mortero. Universidad del Cauca. Resitencia.dosificacion de mezclas de concreto, Popayán, Cauca, Colombia. 2010, p. 41-67,121-142, 169-198

SAVAL, José. Materiales de construcción. Editorial Club Universitario; Escuela Politécnica Superior de Alicante. Resistencia al fuego. Alicante, España,2011, p. 65-71

Semana (1993). LA MACADAMIA. Recuperada el 6 de febrero del 2016, de <http://www.semana.com/economia/articulo/la-macadamia/21106-3>

Walforth Sanchez Henry; De los Ríos Carlos. (EL CULTIVO DE LA MACADAMIA). Del Alba S.A y El Canelo S.A.