

CONTROL TÉRMICO: EL COCO COMO REFERENTE PARA EL DISEÑO DE  
MECANISMOS DE AISLAMIENTO DE TEMPERATURA

Presentado por:  
Andersson Chavarría Gómez  
David Rendón Valdez  
Juan José Ruiz Raigosa

Trabajo de Investigación Monográfico  
Sistema de Formación en Investigación  
Facultad de Diseño Industrial  
Universidad Pontificia Bolivariana  
2014

CONTROL TÉRMICO: EL COCO COMO REFERENTE PARA EL DISEÑO DE  
MECANISMOS DE AISLAMIENTO DE TEMPERATURA

Presentado por:  
Andersson Chavarría Gómez  
David Rendón Valdez  
Juan José Ruiz Raigosa

Línea de Investigación en Morfología Experimental

Asesores:  
I.M. Juan Esteban Vélez Vélez  
PhD. Andrés Hernando Valencia Escobar

Trabajo de Investigación Monográfico  
Sistema de Formación en Investigación  
Facultad de Diseño Industrial  
Universidad Pontificia Bolivariana  
2014

## HOJA DE ACEPTACIÓN:

El presente trabajo de grado tiene como título “CONTROL TÉRMICO: EL COCO COMO REFERENTE PARA EL DISEÑO DE MECANISMOS DE AISLAMIENTO DE TEMPERATURA.”, Presentado por los estudiantes Andersson Chavarría Gómez, David Rendón Valdez y Juan José Ruiz Raigosa, como requisito para optar al título de Diseñador Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana. El trabajo de grado fue presentado el día \_\_\_\_ del mes \_\_\_\_\_ del año \_\_\_\_\_.

Para constancia es aceptado por:

---

D.I. M.Sc. Julián Antonio Ossa Castaño  
Director de la Facultad de Diseño Industrial

---

Ever Patiño Mazo  
Coordinador Sistema formación en investigación

---

I.M. PhD. Andrés Hernando Valencia Escobar  
Director de Trabajo de Grado

---

I.M. Juan Esteban Vélez Vélez  
Director de Trabajo de Grado

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios que nos da la vida.

A la Universidad Pontificia Bolivariana por poner a disposición los recursos e instrumentos que facilitaron el desarrollo del proyecto.

Agradecemos a los profesores Ing. Juan Esteban Vélez y PhD. Andrés Valencia por su colaboración, asesoría e insistencia en que este proyecto se llevara a cabo.

Agradecemos a nuestras familias por el apoyo constante en nuestro proceso de formación profesional.

## CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO. ....</b>   | <b>10</b> |
| 1.1 Tema general. ....  | 10        |
| 1.2 Características generales del proyecto de investigación. ....                             | 10        |
| 1.3 Investigaciones o estudios existentes sobre el tema actualmente.....                      | 10        |
| 1.4 Aspectos del tema que no han sido tratados.....   | 10        |
| 1.5 Problema de investigación identificado.....   | 10        |
| 1.6 Elementos del problema identificado.....  | 11        |
| 1.7 Pregunta para el planteamiento de la investigación.....                                   | 11        |
| <b>2 JUSTIFICACIÓN. ....</b>  | <b>12</b> |
| 2.1 Validez del proyecto en el contexto de investigación de diseño industrial.<br>12          |           |
| 2.2 Oportunidades que representa para el desarrollo de nuevos productos o<br>estrategias..... | 12        |
| <b>3 OBJETIVOS. ....</b>  | <b>14</b> |
| 3.1 Objetivo general. ....  | 14        |
| 3.2 Objetivos específicos.....  | 14        |
| <b>4 MARCO DE REFERENCIA.....</b>   | <b>15</b> |
| 4.1 Antecedentes.....   | 15        |
| 4.2 Estado del arte.....  | 15        |
| 4.3 Conceptualización de los elementos del problema .....                                     | 16        |
| 4.3.1 El coco .....   | 17        |
| 4.3.2 Anatomía .....  | 20        |
| 4.3.3 Materiales .....  | 23        |
| 4.3.4 Morfología.....   | 25        |
| 4.3.5 Aislamiento térmico .....   | 29        |
| <b>5 METODOLOGÍA.....</b>   | <b>33</b> |
| <b>6 RESULTADOS .....</b>   | <b>36</b> |
| <b>7 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>   | <b>41</b> |
| <b>8 CONCLUSIONES.....</b>  | <b>42</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>  | <b>43</b> |

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Capas de un coco maduro.

**Figura 2.** Cocos recolectados para la validación de la hipótesis planteada.

**Figura 3.** Proceso de experimentación. De izquierda a derecha se ven: Pesaje del coco, termómetros digitales, perforación de la muestra, introducción de las termocuplas, ubicación del coco en el horno y el coco después de 300 minutos en el horno.

**Figura 4.** Digitalización del corte transversal de las capas del coco. Los colores indican cada uno de las muestras estudiadas.

**Figura 5.** Luego de 50 minutos el exocarpio comienza a estabilizarse y pasados 100 o 150 minutos se estabilizan el resto de las capas.

**Figura 6.** El exocarpio es la capa que más rápido se calienta.

**Figura 7.** Gráfica del comportamiento del exocarpio.

**Figura 8.** Gráfica del comportamiento del mesocarpio.

**Figura 9.** Gráfica del comportamiento del endocarpio, el endosperma y el agua.

**Figura 10.** La morfología de las capas del coco pasa de ovoidal a esférica. La imagen izquierda muestra la asimetría de las capas exteriores y la imagen derecha muestra la tendencia simétrica de las capas internas. (Los colores indican cada uno de las muestras estudiadas).

## LISTA DE TABLAS

**Tabla 1.** Espesores y volumen de cada capa en cada coco y su promedio total.

## RESÚMEN

El proyecto de investigación se enfoca en estudiar las características morfológicas, anatómicas y los materiales del coco (*Cocos Nucífera*) buscando en ellas las capacidades que tienen de aislar la temperatura. Se ha encontrado que esta especie mantiene temperaturas más bajas en su interior a comparación del medio ambiente que lo rodea y ha sido este fenómeno el que ha generado la investigación. Este trabajo está enfocado en la indagación de las características (morfológicas, anatómicas y materiales) que tienen las distintas capas del coco frente a su capacidad de aislar temperatura buscando principios que puedan ser abstraídos y posteriormente aplicados en el desarrollo de elementos que requieran mantener temperaturas estables por determinado tiempo.

**Palabras Clave:** Control térmico, transferencia de calor, características del coco, biomimética.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria agraria en Colombia ha venido creciendo considerablemente con el fin de mejorar de manera constante la infraestructura y la tecnología que es utilizada para esta actividad, como lo reporta la Sociedad de Agricultores de Colombia en el Proyecto de Presupuesto del sector para el año 2014 (Departamento de estudios económicos, 2013). Con el afán de optimizar los sistemas productivos de la industria agraria se han venido aumentando los proyectos de inversión económica con la cual se espera que uno de los múltiples propósitos sea el de implementar nuevas maquinarias, que aunque representan un avance considerable, no responden a la totalidad de las necesidades y no son absolutamente sostenibles ya que estas demandan un gran consumo de energía.

Entre la gran variedad de componentes que se pueden encontrar dentro de ésta actividad se puede encontrar el almacenamiento de alimentos, de los que a su vez se derivan aquellos que requieren conservarse a una temperatura determinada para que se mantengan en óptimas condiciones; es allí donde se halla una necesidad de mejoría, ya que para mantener las condiciones de temperatura adecuadas que conservan frescos los alimentos se utilizan sistemas de almacenamiento eléctricos, como neveras o refrigeradores, que consumen una gran cantidad de energía lo que aumenta los costos y no favorece con el sostenimiento ecológico.

Realizando una revisión bibliográfica se encontró que hay algunos estudios efectuados desde el campo de la ingeniería industrial como por ejemplo el "Modelo para el diseño de pruebas de empaques de uchuva en las empresas exportadoras de Bogotá y Cundinamarca" desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia que busca mejorar desde el punto de vista de innovación y tecnología los empaques de frutas de exportación, implementando nuevas materias primas en dichos empaques para lograr una mayor competitividad con otras empresas (Rey, 2011). Sin embargo, los resultados de esa investigación quedan como bases teóricas a manera de recomendaciones para el diseño de sistemas de embalaje, sin llegar a poner en práctica ese conocimiento obtenido. Por su parte, existe también el libro de Robert E. Hardenburg llamado "Almacenamiento comercial de frutas, legumbres y existencias de floristerías y viveros" en el cual se encuentran estudios acerca del diseño de empaques adaptados a las necesidades de cada región productora de alimentos, además de esto, se habla acerca del diseño de empaques que se enfocan en la protección del producto (Robert E. Hardenburg, 1998).

Lo anterior indica que se han estudiado sistemas de protección de alimentos partiendo de la exploración de nuevos materiales y se han hecho estudios acerca de la conservación de la temperatura que dichos alimentos requieren para estar en óptimas condiciones. Es desde este punto que se planteó el problema científico que fundamenta desde la carencia de estudios de mecanismos funcionales de la naturaleza, partiendo del concepto de aislamiento térmico, para posteriormente abstraer principios que puedan ser aplicados en el diseño.

El proyecto de investigación se enfoca en estudiar las características morfológicas, anatómicas y los materiales del *Cocos Nucífera*, conocido normalmente como coco, buscando en ellas las capacidades que tienen en aislar la temperatura. Se ha encontrado que esta especie mantiene temperaturas más bajas en su interior a comparación del medio ambiente que lo rodea y ha sido este fenómeno el que ha generado la investigación. Es así pues que el proyecto indaga las características (morfológicas, anatómicas y materiales) que tienen las distintas capas del coco frente a su capacidad de aislar temperatura buscando principios que puedan ser replicados en el desarrollo de aplicaciones que requieran mantener temperaturas estables por más tiempo.

Esta investigación se realizó con el fin de, en primera instancia, colaborar con el agro media y baja escala aplicando los conceptos encontrados en sistemas de almacenamiento de alimentos para así optimizar la producción y conservación de las mismas. Además de esto, gracias a los resultados de la investigación, el diseño de productos se nutre de conceptos o elementos provenientes de otros campos de estudio estableciendo una relación más cercana con otras áreas del conocimiento que permiten el desarrollo de nuevos y mejorados productos.

## **1 PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.**

### **1.1 Tema general.**

Mecanismos de optimización para el control de temperaturas basados en los sistemas naturales del coco (*cocos nucifera.*).

### **1.2 Características generales del proyecto de investigación.**

El proyecto se caracteriza por la búsqueda y exploración de la morfología, la anatomía y los materiales partiendo de la investigación experimental de una especie que en su naturaleza use mecanismos de aislamiento térmico y conservación de la temperatura, con el fin de dictaminar si estos mecanismos son eficientes para ser implementados en sistemas de almacenamiento y/o transporte de alimentos que requieran conservar o mantener una temperatura baja estable.

### **1.3 Investigaciones o estudios existentes sobre el tema actualmente.**

Hay algunos estudios efectuados desde el campo de la ingeniería industrial que buscan mejorar desde el punto de vista de innovación y tecnología los empaques de frutas de exportación, implementando nuevas materias primas en dichos empaques para lograr una mayor competitividad con otras empresas, sin embargo, los resultados de dicha investigación quedan como bases teóricas a manera de recomendaciones para el diseño de sistemas de embalaje, sin llegar a poner en práctica ese conocimiento obtenido. También existen libros en los cuales se encuentran estudios acerca del diseño de empaques adaptados a las necesidades de cada región productora de alimentos. Como un buen ejemplo está el libro titulado “Tecnología del Manejo de Postcosecha de Frutas y Hortalizas”, en éste se habla acerca del diseño de empaques que se enfocan en la protección del producto.

### **1.4 Aspectos del tema que no han sido tratados.**

Se han estudiado sistemas de protección de alimentos partiendo de la exploración de nuevos materiales, y se han hecho estudios acerca de la conservación de la temperatura que dichos alimentos requieren para estar en óptimas condiciones, pero no se han estudiado los mecanismos funcionales de la naturaleza con la posibilidad para ser abstraídos y transferidos al diseño de empaques.

### **1.5 Problema de investigación identificado.**

El problema que se ha identificado es que no se han estudiado mecanismos funcionales de la naturaleza, partiendo del concepto de aislamiento térmico, para posteriormente abstraer principios que puedan ser aplicados en el diseño de sistemas de almacenamiento de alimentos.

### **1.6 Elementos del problema identificado.**

El elemento principal del problema de investigación es el coco (*cocos nucifera*) ya que ésta es la especie que se va a estudiar, de allí se derivan otros elementos como la anatomía, la morfología y los materiales del coco, por último se encuentra la capacidad de aislamiento térmico que tiene esta especie.

### **1.7 Pregunta para el planteamiento de la investigación.**

¿Cuál es la relación que existe entre los sistemas funcionales (morfología, anatomía y materiales) del *cocos nucifera* y la capacidad de aislamiento térmico que éste presenta?

## 2 JUSTIFICACIÓN.

### 2.1 Validez del proyecto en el contexto de investigación de diseño industrial.

Teniendo en cuenta que el proyecto de investigación está enfocado al agro a pequeña y mediana escala, se piensa en llegar a la optimización y el ahorro en el transporte y almacenamiento de alimentos que requieran ser conservados a temperaturas bajas estables.

El diseño industrial por su parte indaga, responde y desarrolla, desde el uso y combinación de materiales y nuevas tecnologías, sobre las problemáticas o vacíos que se generan desde el punto de vista industrial u objetual en este campo, el uso de referentes de los cuales se pueden abstraer conceptos o principios son una herramienta muy importante a la hora de desarrollar un diseño, por lo que se hace uso de este instrumento para tomar como referencia las características funcionales y la capacidad de aislamiento térmico de la corteza del *cocos nucifera* para así llenar un vacío del conocimiento que ayude a la solución de los problemas de almacenamiento y lograr desarrollar sistemas más innovadores de conservación de la temperatura y estabilidad térmica.

Esta investigación se realiza para colaborar con el agro a las escalas antes mencionadas y generar un conocimiento y posterior aplicación en sistemas de almacenamiento de frutas para así optimizar la producción y transporte de las mismas.

### 2.2 Oportunidades que representa para el desarrollo de nuevos productos o estrategias.

Partiendo del análisis y estudio de los sistemas de aislamiento térmico y conservación de la temperatura del *cocos nucifera*, se podrá desarrollar mas adelante un sistema de almacenamiento y/o transporte más óptimo que pueda brindar una mayor conservación de los alimentos desde el punto de cosecha hasta un segundo punto de tratamiento o distribución, garantizando la calidad y manteniendo las propiedades físicas y químicas de la misma. Además permitir el ahorro económico y energético que no se logra con los sistemas que actualmente se usan.

Algunos de los estudios realizados (Rey, 2011) han buscado la optimización de empaques partiendo del punto de vista de protección haciendo uso de nuevos materiales, sin embargo sus resultados solo han servido como recomendaciones para el diseño de los mismos. Por lo que ésta investigación trasciende por encima de dichos estudios ya que se vinculan conceptos de biónica, morfología, diseño y agro, innovando no solo desde los materiales sino también en el uso y optimización del empaque

aplicando el concepto de estabilidad térmica partiendo del coco (*cocos nucifera*) como referente natural.

### **3 OBJETIVOS.**

#### **3.1 Objetivo general.**

Identificar las relaciones existentes entre los factores anatómicos, morfológicos y los materiales del coco que le permiten a éste aislar la temperatura.

#### **3.2 Objetivos específicos.**

- Caracterizar la estructura morfológica, la anatomía y los materiales que componen el *cocos nucífera*.
- Determinar el nivel funcional de cada una de las características encontradas respecto a la capacidad de aislamiento térmico.
- Evaluar el desempeño térmico de las características encontradas.
- Establecer el nivel de responsabilidad funcional de cada uno de los factores.
- Establecer cómo afectan los factores de desempeño funcional en la conservación de la temperatura.

## 4 MARCO DE REFERENCIA.

### 4.1 Antecedentes.

En el momento de realizar la búsqueda sobre los antecedentes de estas investigación se hizo un ejercicio metodológico de búsqueda jerárquica, empezado a examinar acerca de diferentes investigaciones sobre empaques con propiedades de aislamiento térmico que partan de la biomimética del *cocos nucífera*, lo que significa que esta sería una investigación exactamente igual a la que se pretende realizar, sin embargo, no se encontró ningún resultado.

Siguiendo con la búsqueda, se investigó acerca empaques con aplicación biomimética que tengan como referencia el coco excluyendo el concepto de aislamiento térmico. En esta investigación no se encontró ningún resultado en el que exactamente se extraiga un patrón formal o estructural a partir del cual se haya desarrollado un empaque; sin embargo, se ha encontrado en una gran variedad de fuentes que las fibras del coco son muy utilizadas como un material de fabricación en diferentes campos industriales, en el caso de los sistemas de almacenamiento se han desarrollado empaques fabricados totalmente con fibra de coco lo que hace que éste más ecológico.

A continuación se realizó una búsqueda de empaques con algún tipo de aplicación biomimética y acerca de esto se encontró que muchas de las empresas consideran los referentes naturales como un elemento importante para el desarrollo de los empaques de sus productos, por lo que se han dedicado también al estudio de diferentes especies para abstraer conceptos o elementos que les permitan optimizar sus empaques. Por ejemplo algunas empresas han realizado estudios de la alverja o del polen para desarrollar sistemas de almacenamiento que contengan empaques en su interior y que gracias a la cercanía que hay entre uno y otro no se produzca tanto daño. (Elliott, 2009)

### 4.2 Estado del arte

Existen dos materiales que son utilizados en el desarrollo de empaques que requieren conservar la temperatura, éstos son el poli estireno expandido y el papel aluminio. Ambos materiales presentan propiedades físicas que permiten aislar la temperatura, estas propiedades son:

Poliestireno.

- Difícilmente inflamable
- 98% del material es aire y el otro 2% es materia sólida.
- Buen comportamiento térmico en densidades que van de 12 kg/m<sup>3</sup> a 30 kg/m<sup>3</sup>
- Coeficiente de conductividad de 0,034 a 0,045 W/(m·K)

Papel aluminio.

- Tiene un grosor de 20 µm a los 6,5 µm

- Tiene la propiedad de reflejar, y así reducir, en un 97% las pérdidas por radiación térmica, siendo esta propiedad independiente del espesor de la capa de aluminio.

En la actualidad se han generado nuevas investigaciones para perfeccionar los Sistemas del aislamiento e impermeabilización que hasta el momento habían funcionado pero que ahora deben cumplir con las exigencias del CTE en cuanto a seguridad, aislamiento y ahorro energético. En este sentido, Danosa ha desarrollado la cubierta deck para cubiertas ligeras metálicas. (Delgado, 2008)

También se han hechos trabajos por Al-Nimr, Asfar y Abbadi, que tienen como objetivo diseñar un sistema de aislamiento térmico inteligente. El sistema inteligente permite el paso de transferencia de calor en una dirección, mientras que la prevención de su paso en la otra dirección. (Al-Nimr, Asfar, & Abbadi, 2009)

Rafael Gamero y Joaquín Martínez Investigadores químicos y de diseño han hecho simulaciones de sólidos porosos que por medio de muestras cilíndricas que se secaron por convección desde el lado superior abierto y se calentaron por contacto con una fuente de calor en el lado inferior. Un estado cuasi-estacionario alcanzado a altas temperaturas de fuente que permitió calcular el flujo total de calor de temperaturas medidas en la superficie y la corriente de gas han permitido estimar el parámetro geométrico de ajuste de modelo de Krischer para la conductividad térmica efectiva. Han estudiado también la conductividad térmica efectiva para sistemas de dos fases, sobre todo con respecto a los elementos de aislamiento térmico. Describiendo la influencia de la composición líquida y la temperatura de la conductividad térmica debido a la evaporación; mecanismo de difusión-condensación y la conductividad térmica eficaz. (Gamero & Martínez, 2012)

Singhadej Tangjuak, Supreya Kumfu a partir de estudios preliminares sobre la producción y la propiedad térmica del aislamiento térmico producido a partir de fibra de papiro utilizando látex de caucho natural como aglutinante. Han creado paneles de aislamiento térmico que fueron hechos por pulverización del látex de caucho natural pre tratado en fibra de papiro para formar un aislamiento térmico cuadrado con el tamaño de 20 y 1,5 cm de espesor. (Tangjuank & Kumfu, 2011)

#### **4.3 Conceptualización de los elementos del problema**

Partiendo del estudio del *cocos nucífera* como especie natural se tiene como punto de partida diferentes problemas que se abordaran a manera de explicación a continuación esperando que esta especie ofrezca cierta información sobre sus mecanismos de conservación de la temperatura y aislamiento térmico. Estos elementos brindaran información importante con la cual se pueda llegar al desarrollo adecuado de la investigación.

### 4.3.1 El coco

El coco (*cocos nucifera*) es el fruto del cocotero, una palmácea de climas tropicales que puede llegar a vivir más de 100 años, siendo en la actualidad la especie de palmera más cultivada a nivel mundial gracias a que su fruto es muy apetecido por las personas y por esto lo hace uno de los frutos más importantes económicamente. El coco crece a lo largo de las costas arenosas a través de los Trópicos y en la mayoría de las regiones subtropicales es una palma alta y erecta, usualmente de 10 a 20 m de altura, posee un tronco delgado, ya sea curvo o recto, a menudo ensanchado e inclinado en la base, con una corteza parda o gris ligeramente rajada (Parrotta, 1993)

La palma de coco tiene un fruto seco forma ovoidal, que puede llegar a pesar hasta 2.5 kilogramos, este fruto es protegido por varias capas de materiales que hace que se proteja de factores climáticos y animales, es un fruto monoseminado, drupáceo, mesocarpo fibroso, endocarpo pétreo con 3 poros cerca de la base, endosperma sólido y líquido. (Parrotta, 1993), estas diferentes capas hacen que quede sellado totalmente aislando el oxígeno de la semilla para que se conserve y no se descomponga el fruto del coco, las capas están compuestas por una caparazón que es una cubierta externa verde lisa llamada exocarpo, esta corteza es la primera capa que protege el fruto, luego siguen unas fibras llamadas capacho o mesocarpo, las fibras que componen el capacho tienen una medida aproximada de 3 a 4 cm cada una que cumplen la función de contrarrestar los impactos que sufre el coco, al caer de la palma que está a una altura aproximada de 20 metros, luego nos encontramos con una corteza dura y gruesa difícil de quebrar que contiene la semilla, esta semilla está compuesta por una pulpa, agua y un cubrimiento de esta para que quede aislada, la pulpa sólida de la semilla es de aspecto blando y con un color blanquizco que la diferencia de las demás capas es la capa que las personas consumen al igual que el agua de coco, la función que tiene la pulpa es contener el agua de coco que es la que mantiene la pulpa fresca sin dejar que esta se descomponga.

En definitiva, el coco se utiliza entero, como fruto o en sus partes, la fibra del mesocarpo, la leche, la pulpa y la cáscara ya que en su interior contiene una única semilla rica en sustancias de reserva localizadas en el endosperma, que es en parte líquido (leche de coco) y en parte sólido (pulpa). El coco se planta extensamente por su fruto y como una planta ornamental y se usa a través de su área de distribución como una fuente de alimento y bebida, aceite, fibra, combustible, madera y otros numerosos productos ya que es una semilla con un contenido mineral excepcional, pues contiene todos los minerales esenciales para el cuerpo: magnesio, calcio, aluminio, bario, boro, (Parrotta, 1993). Se usa también en el entechado y en otras aplicaciones como material de construcción.

Existe en el mundo varias clases de coco que se identifican por su tamaño estos van desde gigantes, enanos y también por su combinación entre distintos tipos, los primeros son los que se emplean para la producción de aceite y el consumo del fruto. Estos cocos se caracterizan por tener un contenido de agua de mayor cantidad pero

son menos dulces, sin embargo son la clase que más se compra en el mundo. Estos se cultivan en las áreas de cultivo de los países del continente africano, como el oeste de África y Costa de Marfil, igualmente en la parte de centro América en países como Panamá y Jamaica y también en países árabes como Sudán, aunque esta especie no es muy dulce se ven altas producciones de este principalmente para la creación de aceites.

Los cocos enanos son la variedad de cocos que más se cultiva en el mundo son principalmente para el consumo de las personas por su alto contenido energético y su buen sabor; son cocos en los cuales el contenido del agua es menor, pero por su buen sabor esta variedad es utilizada para producir bebidas enlatadas con el fin de ser comercializadas. El factor principal que caracteriza este coco es su sabor y se puede encontrar con mayor facilidad en todos los países del trópico como por ejemplo Brasil.

Y por último encontramos los cocos híbridos que se dan por el cruce entre las anteriores variedades: los cocos grandes y enanos. Éstos poseen un tamaño mediano pero también se encuentran de tamaños grandes, posee un alto grado de sabor y mayor contenido de pulpa. Tiene un elevado nivel de compra ya que es muy aceptado por el consumidor, el híbrido que más se cultiva es el “mapán”, el cual es un cruce entre el coco enano de Malasia, Panamá y Colombia.

El coco es una fruta que se produce para poder ser aplicada en distintos campos de la industria por sus altos contenidos químicos que lo hacen rico para ser explotado; algunas de estas aplicaciones lo podemos ver en los sectores de:

**Industria:** donde se usa como materia prima para extracción de aceite de uso alimenticio y en productos de higiene corporal y cosmética, el coco también es utilizado en la industria para la producción de combustibles para calderas.

**Ganadería:** donde se usa como alimento de ganado las sobras del coco generadas por la producción de aceite, estas obras son llamadas harina de coco y son utilizadas para la producción de forrajes vacunos para el ganado vacuno en épocas de escases.

**Agricultura:** se utiliza el polvo de la estopa para ser mezclado en suelos arenosos ya que mejora la retención del agua y la textura del suelo. Además al producir aceite a base de coco se genera unos residuos que son utilizados para preparar abonos orgánicos. Al igual que los residuos producidos por el proceso de producción de aceite las fibras del coco entran a un proceso que genera sustratos que poseen un nivel alto de propiedades químicas un sustrato conocido como hortícola que son utilizados en el cultivos sin suelo.

**Medicina:** el coco por poseer un gran potencial de acción antiséptico y diurético, es utilizado en muchos países tropicales como remedio popular contra el asma y la bronquitis.

Ecología: son palmeras que ayudan a la regulación del clima y la protección de los suelos

Esta palma requiere un clima cálido donde las variaciones de temperatura son moderadas con una producción más eficaz a una temperatura media diaria en el cual el entorno debe estar a los 28°C aproximadamente con variaciones de 7 a 5°C y una humedad relativa menor del 60% ya que los climas cálidos y húmedos son los más favorables para el cultivo de la palma de coco. Éste nivel de humedad es perjudicial para el cocotero.

Su polinización puede ser anemófila o entomófila. En los cocoteros gigantes las flores masculinas se abren antes que las femeninas estén receptivas, lo cual contribuye a la polinización cruzada. En el caso de los cocoteros enanos es simultánea, por tanto hay un porcentaje alto de autofecundación.

El coco tiene un sistema de sellamiento térmico que hace que la semilla del fruto se mantenga con una temperatura más baja que la del ambiente con el fin de garantizar un ambiente controlado en el interior de este y proteger el fruto de la descomposición.

El coco se divide en 6 partes que se caracterizan por formar un sistema adecuado que protege el fruto y su semilla. Estas partes se identifican por un troco que es el soporte de la palma, unas hojas que protegen el fruto del sol, una flor que es la que genera el fruto después de la maduración y unas raíces que son las encargadas de sostener el árbol cocotero y absorber el agua. A continuación se da una pequeña caracterización de las partes enunciadas anteriormente:

**Tronco.** Es una palmera monoica de tronco único, que se caracteriza por ser liso, con anillado o cubierto por una gran cantidad de pecíolos de las hojas con frecuencia se puede encontrar de forma inclinado, su altura es de 10-30 metros y de 50 centímetros de grosor en la base y estrechándose hacia la parte superior. En el ápice presenta un grupo de hojas que protegen el único punto de crecimiento o yema terminal que posee la planta. Al no poseer el tronco tejido meristemático no engruesa, sin embargo las variaciones en la disponibilidad de agua inducen cambios en el diámetro del tronco. El crecimiento en altura depende de las condiciones ecológicas, de la edad de la planta y del tipo de cocotero.

**Hojas.** Son pinnadas, de 1.5- 6 metros de longitud, con folíolos coriáceos de 50-70 centímetros de longitud, de color verde amarillento, arqueadas, y sin tejido meristemático. En condiciones ambientales favorables una planta adulta de crecimiento gigante emite entre 12 a 14 hojas por año, en cambio el enano puede emitir hasta 18 hojas en el mismo periodo. La copa no es muy amplia y se compone de hasta 30 hojas arqueadas.

**Flores.** Posee inflorescencias paniculadas que nacen en las axilas de las hojas inferiores, protegidas por una bráctea llamada espata de hasta 70 centímetros de

longitud y se desarrolla en 3 o 4 meses. La época de floración es de noviembre a marzo y los frutos tardan en madurar hasta 13 meses.

**Fruto.** Es una drupa, cubierto de fibras, de 20-30 centímetros de longitud con forma ovoidal, pudiendo llegar a pesar hasta 2.5 kilogramos. Está formado por una cáscara externa amarillenta, correosa y fibrosa (exocarpo) de 4 o 5 centímetros de espesor con forma de pelos fuertemente adheridos a la nuez; una capa intermedia fina (mesocarpo) y otra más dura (endocarpo) que dispone de tres orificios próximos en disposición triangular, situados en el ápice, dos cerrados y el otro frente a la raicilla del embrión. Es vulnerable a una pequeña presión y por donde puede derramarse el agua antes de romper la cáscara del fruto, y es donde se encuentra la semilla. La pulpa blanca es comestible conteniendo en su cavidad central un líquido azucarado conocido como agua de coco y que en cantidad aproximada de 300 gramos se encuentra encerrada en el interior del fruto.

**Raíces.** El sistema radicular es fasciculado. Las raíces primarias son las encargadas de la fijación de la planta y de la absorción de agua. Las raíces terciarias derivan de las secundarias, y son las verdaderas extractoras de nutrientes. Las raíces activas se localizan en un radio de dos metros del tronco, a una profundidad de entre 0.2 a 0.8 metros, dependiendo de la profundidad efectiva. (<http://www.ecured.cu/index.php/Coco>, 2012)

#### 4.3.2 Anatomía

El análisis caracterización de las partes del coco es uno de los elementos importantes de la investigación, en este caso se referirá entonces al estudio de la anatomía del coco para poder así lograr establecer o identificar la relación que existe entre cada una de las partes del coco y los conceptos de aislamiento térmico, conservación de la temperatura, estabilidad térmica y transferencia de calor, para que así, con estos resultados, se pueda determinar el nivel de responsabilidad funcional que tienen cada una de las partes de esta especie, a la hora de conservar la temperatura interna más baja que la del exterior.

Es fundamental entonces entender antes que nada que es en realidad la anatomía desde un punto de vista mucho más general para luego contextualizarlo, es decir, enfocarlo hacia la especie que se está estudiando; por lo tanto la anatomía “se define como: la rama de la biología que estudia la estructura de los organismos” (Rodríguez, 2007). Las plantas al igual que los animales, son organismos vivos por lo que también son aptas para el estudio anatómico de su estructura. Sin embargo no se puede seguir dicha definición al pie de la letra para ser aplicada a los vegetales, ya que es una rama de la biología la que se encarga de todo el análisis y estudios, en todos los aspectos, que se le realizan a las plantas: la botánica.

Existe una gran diversidad de tamaños, formas, texturas y anatomía de los frutos que pueden generar confusiones y hacer mucho más difícil el ejercicio de clasificación, al igual que con los animales, pueden existir aun un sin fin de especies sin conocer. La

presencia de diferentes tipos de capas y de estructuras accesorias hacen que esta clasificación de frutos te torne mucho más compleja ya que estos incluyen una gran cantidad de tipos y formas que se relacionan a los frutos de uno u otro tipo de especie. Los frutos se dividen en diversos grupos, sin embargo se darán a conocer unos de los más comunes:

El aquenio es un fruto simple, seco y pequeño con una semilla unida a la pared del fruto en un solo sitio, por ejemplo están los frutos de la fresa, que pertenece a la familia *Asteraceae* y también se puede encontrar en la familia *Cyperaceae*.

La baya es un fruto simple, indehisciente, carnosos, con un pericarpo succulento y las semillas sumergidas en la pulpa; como ejemplos encontramos la carambola, la granadilla y algunos cítricos. La cápsula es un fruto simple dehiscente derivado de un ovario compuesto de dos o más carpelos.

La drupa es un fruto simple carnosos, con el endocarpo endurecido casi como si fuera un hueso, a esta familia es a la que pertenece la especie de estudio, el coco, el cual también es de la familia *Areaceae*

El hecho de ver esta clasificación de los frutos en los cuales se encuentra incluido el coco, es un buen inicio para seguir en el proceso de profundización en el tema de la anatomía de esta especie, la caracterización de las partes y las funciones que cumplen cada una de ellas es uno de los puntos más importantes de la investigación ya que gracias a esta es posible determinar una relación entre el concepto de aislamiento térmico y la estructura anatómica del coco. Inicialmente se encuentra que esta especie tiene una morfología que se simplifica sólo en dos formas: el exterior tiene una forma ovoide y el interior es de forma esférica; por lo que al analizar la estructura anatómica del coco se encontrarán más que partes, capas que encierran una a una el interior de la fruta y ayudan de uno u otro modo a conservar una baja temperatura en dicho interior. Las capas del coco varían en espesores, materiales y composición, cada una tiene una dureza y coloración diferente y cumplen determinadas funciones que ayudan a conservar el interior de la fruta en condiciones adecuadas. Se analizarán una por una cada una de estas capas y se intentará establecer una relación con el concepto de aislamiento térmico.

Iniciando desde el exterior hacia el interior se encuentra que la primera capa es una cáscara de muy poco grosor llamada exocarpo, conocida comúnmente como cáscara exterior; es esta capa la que recibe directamente la radiación del sol y debido a su poco grosor este calor se transmite rápidamente a la siguiente capa: el mesocarpo, que al igual que la anterior tiene un nombre común que es bonote. Esta capa tiene un grosor aproximado de entre cuatro y cinco centímetros, está conformada por unas fibras que se encuentran adheridas de manera muy firme a la nuez central lo que le brinda protección principalmente en el momento en el que cae desde la palma al suelo. Cuando el coco no se encuentra en su proceso de maduración, es decir, está verde; estas fibras son duras y están bastante unidas debido a la humedad que tienen en su interior, esta acumulación de líquido puede ser una de las razones por las cuales la

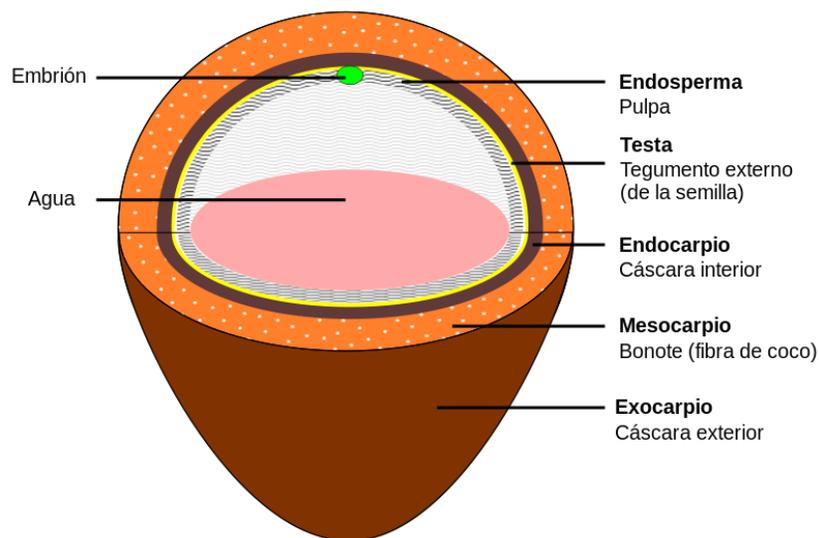
temperatura interna se conserva mucho mas baja que la del exterior, la radiación solar causa sin embargo cuando el coco madura y se seca, el exocarpo se vuelve totalmente duro y acumula mucho más calor producido por la radiación del sol.

Por su parte el mesocarpo pierde toda la humedad lo que provoca una separación de las fibras y se convierte en una capa mucho más porosa que, al igual que cuando estaba verde, actúa perfectamente como un aislante térmico, una teoría puede ser que el calor que proviene del exterior queda atrapado en los poros que contienen aire y es muy poco el calor que continúa avanzando hacia el interior. Además de esto, el mesocarpo cuando esta seco tiene una función mucho más de protección que de aislamiento, ya que el coco cae desde una altura bastante alta y es esta capa la que evita que el interior se dañe que al chocar contra el suelo, también ayuda a que la especie se distribuya con mayor facilidad debido a que por contener aire en su interior facilita que el coco flote en el agua y pueda llegar hasta otros lugares, es por esto que esta fruta es una de las que más se encuentra por el mundo.

La siguiente capa es una cáscara mucho más dura que el exocarpo que tiene una superficie rugosa y que como se mencionó anteriormente se encuentra adherida de manera muy firme al mesocarpo, esta capa recibe el nombre de endocarpo y es conocida comúnmente como cáscara interior. Esta dureza es uno de los factores primordiales que junto con el mesocarpo se encargan de proteger la nuez central de los choques que pueden provocarle daños, al igual que con las capas anteriores ésta tiene una apariencia diferente en el momento en el cual la fruta está verde y en el momento en el que se encuentra madura. En la primera etapa el endocarpo es de un color entre blanco y amarillento, y a pesar de que la fruta esta todavía verde, tiene una dureza bastante alta y la superficie es más lisa que en la siguiente etapa; en la cual es mucho más rugosa y su color es marrón, pero al igual que cuando la fruta está verde sigue siendo igual de dura. Ésta capa tiene una particularidad y es que presenta tres depresiones en una disposición triangular a manera de orificios cegados, es decir, estos orificios no se encuentran abiertos sino que tienen una capa un poco menos gruesa que la que compone todo el endocarpo.

Por lo anterior se encuentra entonces que esta capa es totalmente sellada por lo tanto lo que está en su interior se encuentra con determinada presión, esto se puede comprobar cuando en el momento en el que se perfora esta coraza inmediatamente sale un chorro de una mezcla de agua y aire; esto se hace comúnmente para poder beber el agua que está en el interior. Se podría plantear entonces que esta particularidad de que el interior del coco se encuentra sellado a presión puede ser un factor muy importante a la hora de aislar el calor proveniente del exterior, la cantidad de calor que logra pasar a través del mesocarpo ya que no se queda en las capsulas de aire que se forman en esta capa, se ve bloqueada al llegar al endocarpo y no tiene ninguna posibilidad de pasar directamente, a menos que se conduzca a través del grosor de la capa, aunque por otro lado, el aire frio que se encuentra atrapado en el interior puede evitar aún más que éste se caliente.

La última capa que se encuentra es la pulpa, ésta es llamada endosperma y es la parte comestible del coco, se encuentra adherida al endocarpio a través de una muy delgada capa llamada tegumento externo o testa y tiene una apariencia de color blanco, con textura aceitosa y un poco blanda. Finalmente dentro de esta capa está el agua del coco la cual es producida por el mismo coco y sirve fundamentalmente como el alimento para el embrión ya que éste la necesita para poder crecer y desarrollarse. Como se mencionó anteriormente el agua del coco se halla encerrada a presión y en el momento en el que se va a beber sale mucho más fría, es por éste motivo que se planteó el estudio de esta especie para determinar que factores son lo que hacen que el agua esté mucho más fría sabiendo que esta es especie nativa de clima caliente.



**Figura 1.** Capas de un coco maduro  
([http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coconut\\_layers\\_es.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coconut_layers_es.svg))

Se puede concluir entonces que el concepto de aislamiento térmico puede relacionarse con la anatomía del coco teniendo en cuenta que las capas tienen diferencias entre sí, partiendo no sólo de los materiales sino también de los grosores y la composición estructural como por ejemplo las fibras del mesocarpio que generan poros en los cuales se puede alojar el calor; o el endocarpio que se encuentra totalmente cerrado, con una corteza dura que sella a presión la endosperma y el agua de coco que son los dos elementos con más baja temperatura.

### 4.3.3 Materiales

Teniendo en cuenta las 5 principales capas del coco podemos empezar a indagar sobre los materiales de los que se componen cada una de ellas, primero encontramos el exocarpio que es la capa más exterior y la primera en la línea de protección de esta especie, es una corteza dura cuando el coco se encuentra en su etapa de maduración

y es de color café, mientras que cuando se encuentra en la palma y aun no esta maduro es de color verde intenso y su dureza varia según el clima, es relativo la forma en que esta capa endurece con respecto al cambio de color, entre mas verde se encuentre menos dura es, por lo contrario mientras mas café sea que indica que el coco esta maduro es mas dura esta corteza. En definición el exocarpo o epicarpio es la parte del pericarpo que suele proteger al resto del fruto del exterior El epicarpio forma la epidermis protectora del fruto que, a menudo, contiene glándulas con esencias y pigmentos. En muchas frutas se llama comúnmente piel.

El epicarpio tiene como componente principal material celulósico pero también contiene otros componentes, tales como aceites esenciales, ceras de parafina, esteroides y triterpenoides, ácidos grasos, pigmentos (carotenoides, flavonoides), principios amargos y enzimas.

Continuando con la siguiente capa que es la parte intermedia de la fruta, es una capa fibrosa, de aproximadamente 4 a 5 centímetros de espesor, con forma de pelos. Las células de estas fibras son estrechas y ahuecadas con paredes gruesas hechas de celulosa. El mesocarpo en donde la humedad que esta capa alberga le permite al coco conservar temperaturas mas bajas en su interior que en su exterior, El mesocarpo o fibra se utiliza en tapicería, fabricación de colchones, cuerdas, etc. Como subproducto o producto residual de la obtención y tratamiento de la fibra de coco, se obtienen unas fibras cortas (2 mm o menores) y el polvo del tejido medular. Por tanto lo que se conoce en horticultura como sustrato de fibra de coco, es una mezcla de fibras cortas (coconut fiber) y polvo de coco (coco pith).

La fibra de coco resulta un sustrato ideal para mezclar con cualquier tipo de tierra o bien para utilizar sola en cultivos hidropónico. en muchas frutas exceptuando el coco es la parte comestible, para este fruto es una mas de sus capas que le permite una estabilidad térmica.

Las fibras de coco representan alrededor de un tercio de su pulpa. Es también llamado turba, médula o polvo, es un material biodegradable, pero tarda 20 años en descomponerse.

La siguiente capa el endocarpo es la capa interior de mayor dureza es de textura leñosa y tiene dispuestos en forma triangular 3 orificios los cuales son usados por la planta para germinar, suelen encontrarse dos de estos 3 poros cerrados y uno dispuesto para la germinación de la planta. es la capa protectora y esta encargada de contener la parte mas fundamental de este fruto, como material es utilizado para la fabricación de bisutería artesanal, además es considerado como un subproducto en la industria Colombiana con potenciales aplicaciones, como lo demuestran varios estudios que brindan buenas características mecánicas de su uso al reforzar polímeros.

El endocarpo entonces es la capa ósea que protege el endospermo el cual es la parte carnosa del fruto y que además es la reserva de alimento que utilizara la planta durante los primeros estados de su desarrollo, y es la siguiente capa del fruto. El endospermo

es la pulpa blanca oleaginosa del interior, esta pulpa solidificado, cortado y desecado, es conocido con el nombre de copra, (aceite de coco), y se utiliza para la extracción del aceite. un producto comercial muy apreciado. De la copra se extrae un aceite en el cual sus componentes principales son lípidos (65%), constituidos por glicéridos en los que predominan el ácido laúrico y mirístico, junto con menores cantidades de hexanoico (caproico), oleico, palmítico esteárico y decanoico (caprílico), y ácidos grasos libres de cadena corta. El aceite de coco se obtiene de la copra simplemente por expresión. Este aceite es sólido a temperaturas próximas a 24-25 °C, por lo que en nuestras latitudes es una grasa blanca, insípida y prácticamente inodora que se enrancia fácilmente cuando no está bien conservada, es utilizado en la fabricación de jabones, velas, cosméticos, cremas y champús

En el coco el endospermo es de tipo helobial lo que quiere decir que el embrión de la planta se alimenta de este para su crecimiento y posterior germinación, acompañado del endospermo se encuentra un líquido llamado cotiledón que es un endospermo líquido que se absorbe y se disuelve en el endospermo sólido, Los cotiledones a menudo se encargan de las reservas nutritivas, Sirven para reservar y absorber nutrientes ubicados en la semilla hasta que la plántula puede producir sus hojas verdaderas y realizar la fotosíntesis.

En conclusión los materiales del coco siendo estos todos útiles para diferentes usos el más utilizado y más implementado en diferentes industrias es la fibra ya que posee excelentes propiedades acústicas y térmicas, se usa para decorar diferentes tipos de pisos como complemento estructural y decorativo.

#### **4.3.4 Morfología**

El coco es una semilla de la palma de coco (cocos nucifera) crece a lo alto de esta es una de las semillas más grandes del planeta, su forma hace que sea un contenedor perfecto al vacío donde no deja que el oxígeno entre al centro de la semilla y descomponga la fruta.

El fruto es una drupa de 20 - 30 cm de longitud, con forma ovoidal, mesocarpo fibroso de 4 - 5 cm de espesor, endocarpo leñoso, con 3 poros cerca de la base y endosperma sólido y líquido azucarado (agua de coco) en su cavidad central, puede alcanzar un peso hasta de 2,5 Kg. Su sistema radicular es fasciculado y sus flores paniculadas ubicadas en las axilas de las hojas inferiores de la palma. (asohofrucol)

EL coco está cubierto por una corteza bruscamente de ángulo,  $\frac{3}{4}$  - 1 1/2 pulgadas de grueso y que no se abre. El fruto interior es de color castaño, elíptico o casi redondo tiene 3 poros redondos cerca de un extremo es decir en la base de la nuez, es esencialmente una semilla cubierta por el casco duro exterior. Dentro tiene una capa aceitosa, ligeramente dulce, comestible, de  $\frac{3}{8}$  de pulgada de grueso y una cavidad central grande que contiene un líquido acuoso o lechoso. (Howard Vadsforth, Luther Little, & Marrero, 2001)

Los tres poros redondos que son pequeños separados por tejido central a una distancia aproximada de 5 mm de conformación más o menos triangular, compacto, estos 3 poros están elaborados por paredes delgadas y porosas que permite que la semilla transpire los sustratos sobrantes del líquido que contiene el coco en su interior, estos orificios son similares entre sí en forma y tamaño.

Cada capa del coco cumple una función diferente y su forma estructural es distinta, desde el interior se encuentra una esfera dura que contiene un líquido en su interior y una pulpa blanda blanca pegada a las paredes que en su superficie interna tiene un patrón en formas de burbujas, y en sus paredes externas un patrón de crecimiento fractal en forma de venas, luego se encuentra una capa de fibras largas que cubren la esfera estas fibras se parecen a la forma de un espagueti que ser curva estas fibras se entrelazan entre si para generar una estructura aislante de golpes esta estructura en su interior generan bombas de aire que generan un acechamiento como el de una espuma, luego en el exterior se encuentra una capa verde que contiene las capas anteriores esta capa tiene forma de una especie de trozo que en su base plana se forma una especie de obliquo donde se conecta al tallo.

Al hacerle un corte perpendicular al coco se puede observar que las capas van generando una especie de célula que en su medio se encuentra el núcleo y genera estructura que crea una forma como una especie de huevo este genera que ese núcleo sea sellado herméticamente para que el núcleo no se descomponga ni se salga el líquido de este.

La semilla del coco (*Cocos nucifera* L.) es una planta tropical valioso por su aceite y las fracciones de grasas para la producción de jabón y leche. También se utilizan como combustible diesel, y para la iluminación de la fabricación de velas. En el desarrollo, elaboración y manipulación de las semillas, algunas propiedades de ingeniería, tales como el tamaño, esfericidad, redondez, volumen, superficie, densidad, coeficiente de fricción contra diferentes materiales y pruebas de compresión fueron estudiados. Cien semillas fueron seleccionados al azar para la prueba de propiedades físicas, tales como la forma, tamaño, volumen, densidad, los experimentos de área de superficie. Los tres principales dimensiones se midió utilizando un calibrador Vernier con una precisión de 0,02 mm. El mayor diámetro variaba de 17,36 cm a 19,70 cm; área superficial varía de 4.724 mm<sup>2</sup> a 5.797 mm<sup>2</sup>, el volumen de semilla varió de cm<sup>3</sup> 600 cm<sup>3</sup> 800 con una densidad media de 1,065 g / cm<sup>3</sup>, lo que demuestra que flotan en el agua debido a que la densidad es mayor que la del agua. (Alonge & Adetunji, 2011)

El cocotero es una palmera típica, que alcanza de 10 a 15 m. de altura, de tronco sin ramificar y entrenudos cortos. El estípote termina en un penacho de hojas grandes, muy divididas; la base del tronco es cónica donde parten raíces fibrosas. El tallo del cocotero es cilíndrico, pues su diámetro disminuye muy progresivamente hacia el ápice. En el cocotero su estructura muestra, en la planta adulta : una región corta formada por células con paredes gruesas que realmente no forman una corteza sino un tejido

protector, periderma o ritidoma que origina de una capa profunda llamada el felofeno. (Alonge & Adetunji, 2011)

Cuando el tallo es cortado se pueden ver fibras en forma de pitillo lo que genera que el árbol se mas elástico y no se quiebre con facilidad ya que en esta especie de pitillos se encuentran borbuja de aire que hacen que amortigüen el viento alto y no se fracture.

Las planta adulta tienen una corona de hojas formada por 30 a 40 hojas abiertas y un numero doble de otras que aun no se han desarrollado. Entre las hojas adultas hay de 10 a 15 ya inactivas, en cuyas axilas han madurado los frutos. Las hojas en la corona están dispuestas en una filotaxia de 2/5, en 5 espirales que corren hacia la derecha o hacia la izquierda. La hoja adulta mide de 2 a 4 metros de largo y lleva 150 a 250 foliolos opuestos. (Leon, 1968)

En el fruto de la palma ósea el coco el ovario del cocotero se forma 3 carpelos los cuales solo 1 se desarrolla y los otros dos se atrofian. Como cada carpelo lleva un ovulo, el fruto maduro consta de un solo carpelo desarrollado con una semilla, pero la presencia de los otros carpelos originales se advierte aún en los 3 poros que se hallan en la base de la nuez, y en el diferente tamaño de las áreas que corresponden a los carpelos atrofiados y al fértil. (Leon, 1968)

El fruto es al principio cónico y cuando alcanza la madurez ovoide, elipsoidal o casi esférico, pero conserva los 3 lados originales, con los bordes muy redondeados.

El mesocarpo esta formado por un tejido principal de parénquima que al principio es transparente y cuando madura el fruto este se seca y se vuelve fibroso y de color café oscuro que recorren el fruto longitudinalmente y se van entrelazado entre si generando una especie de nido resistente y aislante de temperatura que contiene el fruto adhiriéndose al endocarpo con el fin de y lo manteniéndolo en su lugar. Esta fibra cambia de color verde a color café rojizo o amarillento cuando llega el fruto a la madurez.

Las fibras del coco se componen de una envoltura de colénquima que rodea por completo a los haces vasculares, y a veces tienen hacia la parte exterior cuerpos peños y silicificados.

El endocarpo esta compuesto por células de paredes gruesas y traslucidas que cubre por completo todo el coco menos el poro fértil. Esta estructura que se caracteriza por se una estructura de color café oscuro, muy dura y compacta, que esta compuesta por células pétreas o de esclerénquima , de redes muy gruesas formadas por capas concéntricas y atravesadas por perforaciones sencillas o ramificadas, que comunican el centro de una celula con sus vecinas . Las células pétreas, en su mayoría alargadas; otras en menor numero, forman grupos aislados, y son redondeadas e isodiamétricas. (Leon, 1968)

La semilla esta compuesta por una capa muy delgada de células irregulares, que son de color castaño claro, debajo de la cual se encuentra el endosperma y un embrión muy pequeño situado en la región basal. El endosperma joven consiste en capas celulares como de una sustancia es absorbida lentamente por las partes solidas. En la madurez esta formado por dos capas: la externa con células isométricas que se forman como raíces que crecen en forma de fractales y en la interna células alargadas en sentido radial. En ambas capas las paredes son delgadas. (Leon, 1968)

Desde la parte celular se vivencia una morfología mas amplia donde se encuentra diferentes composiciones en las que se distribuyen dependiendo de su función, en estas se encuentra que:

Sépalos de la flor del coco vistas desde Epidermis abaxial uniestratificada, con células cuadrangulares, la mayoría de paredes pectocelulósicas intercaladas con otras de paredes lignificadas. Cutícula gruesa, intrusiva hasta las paredes anticlinales. Epidermis adaxial compuesta por células de menor tamaño, rectangulares, de paredes engrosadas, con cutícula no tan engrosada como la abaxia, no se observaron células estomáticas. Mesofilo hacia la cara abaxial compuesto por 3-7 capas de células relativamente grandes, redondeadas o elípticas, pocas cuadrangulares, la mayoría con paredes engrosadas pectocelulósicas, alternando con otras de paredes lignificadas, que se encuentran sobre todo subepidérmicamente. Algunas células presentan contenido que se tiñe de azul oscuro. El mesofilo hacia la cara adaxial presenta 3-6 capas de células de menor tamaño, que alternan con células mayores. Son evidentes idioblastos con rafidios. El sépalo presenta 5-6 haces vasculares ubicados hacia la cara adaxial, formados por xilema y floema enfrentados (haz vascular colateral cerrado), rodeados por una gran cantidad de células esclerenquimáticas, sobre todo hacia la cara abaxial. Estos paquetes de tejido vascular y esclerenquimático se encuentran rodeados por células parenquimáticas pequeñas, ovaladas. Algunas de estas células y del tejido esclerenquimático presentan inclusiones de sílice, en forma de esfera espulosa (Guevara & Jáuregui, 2008)

En los pétalos se encuentra una epidermis abaxial constituida por células rectangulares de paredes muy engrosadas y lignificadas, una Cutícula engrosada intrusiva hasta la mitad de las paredes anticlinales con Presencia de estomas con cuernos cuticulares. La epidermis adaxial esta formada por células redondeadas a ovaladas, con cutícula ligeramente engrosada y ornamentada. El Mesofilo compuesto por una gran banda de células esclerenquimáticas en la región central; hacia la cara abaxial se encuentran 3-4 capas de células grandes, redondeadas o cuadrangulares y hacia la adaxial se observan 3-4 capas de células ovaladas o redondeadas más pequeñas que en la cara abaxial, con contenido que se tiñe de azul oscuro, en mayor cantidad que hacia la cara abaxial. En la banda esclerenquimática central se encuentran pequeños haces vasculares ubicados hacia la cara adaxial, con mayor cantidad de floema que de xilema y en el límite de esta banda hacia la cara abaxial, se encuentran células de paredes lignificadas con inclusiones de sílice. (Guevara & Jáuregui, 2008)

Los androceo son anteras con exotecio uniestratificado, formado por células rectangulares, algunas con pared externa ligeramente convexa es decir con una pared celular cutícula más delgadas con ornamentaciones. El endotecio tiene una capa de células grandes, rectangulares, con engrosamientos de las paredes en forma de barras ligeramente lignificadas dispuestas perpendicularmente a la superficie epidérmica. En el estomio se superponen los dos brazos de cada teca, cuyos bordes están compuestos por células del exotecio y del endotecio, de paredes muy delgadas que tienden a colapsa. El tejido del conectivo está formado por células de formas diversas.

El conectivo presenta un haz vascular colateral cerrado con pocos vasos xilemáticos y células de contenido denso alrededor en el cual el haz no se observa en la parte apical del conectivo. Filamento de forma triangular cerca del nivel de inserción de las anteras, epidermis uniestratificada: Seguidamente se encuentra una región relativamente amplia de células parenquimáticas redondeadas con espacios intercelulares pequeños. En la parte central se evidencia un área más densa donde se distingue un haz vascular anficribal pequeño. Tanto en el tejido conectivo como en el filamento se observaron células que se tiñen de azul o pardo-rojizo. (Guevara & Jáuregui, 2008)

#### **4.3.5 Aislamiento térmico**

El aislamiento térmico es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción. Este nivel de aislamiento se evalúa por la resistencia térmica que tienen. Todos los materiales oponen resistencia, en mayor o menor medida, al paso del calor a través de ellos. Algunos, muy escasa, como los metales, por lo que se dice de ellos que son buenos conductores; los materiales de construcción (yesos, ladrillos, morteros) tienen una resistencia media. Aquellos materiales que ofrecen una resistencia alta, se llaman aislantes térmicos específicos o, más sencillamente, aislantes térmicos.

Un aislante térmico es un material usado en la construcción y la industria y caracterizado por su alta resistencia térmica. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura, impidiendo que entre o salga calor del sistema como por ejemplo una vivienda o una nevera.

Uno de los mejores aislantes térmicos es el vacío, en el que el calor sólo se trasmite por radiación, pero debido a la gran dificultad para obtener y mantener condiciones de vacío se emplea en muy pocas ocasiones. En la práctica se utiliza mayoritariamente aire con baja humedad, que impide el paso del calor por conducción, gracias a su baja conductividad térmica, y por radiación, gracias a un bajo coeficiente de absorción. El aire sí transmite calor por convección, lo que reduce su capacidad de aislamiento, por esta razón se utilizan como aislamiento térmico materiales porosos o fibrosos, capaces de inmovilizar el aire seco y confinarlo en el interior de celdillas más o menos estancas.

Existen alimentos que requieren de un adecuado almacenamiento en el cual se conserve la temperatura apropiada para que estos puedan estar en condiciones óptimas para su consumo. En el proceso de refrigeración se manejan temperaturas

entre 2 y 5°C para frigoríficos industriales y entre 8 y 15°C en frigoríficos domésticos, este proceso logra reducir el crecimiento de microorganismos y bacterias, el cual se facilita a bajas temperaturas y aunque tienen velocidades de crecimiento lentas, los periodos de almacenamiento pueden ser prolongados y el alimento puede permanecer ahí por un largo tiempo. Durante la refrigeración, la temperatura debe mantenerse uniforme y dentro de unos límites adecuados; y ser la apropiada para cada tipo de producto.

En el medio natural se encuentra una gran variedad de organismos, todos divididos en diferentes especies y la gran mayoría de estos organismos busca que su cuerpo tenga un nivel de temperatura estable para mantenerse en óptimas condiciones, por lo que utilizan diferentes mecanismos para estabilizarse internamente dependiendo de la temperatura del medio ambiente. Cuando en el ambiente el nivel de temperatura es muy elevado, la estabilidad térmica se desequilibra y el calor en el organismo se eleva cada vez más, el medio de termorregulación del hombre y de la gran mayoría de los animales es la transpiración la cual consiste en la activación de las glándulas sudoríparas del cuerpo lo que genera una abertura de los poros y la posterior sudoración, lo que genera una sensación de frescura en el organismo y de esa manera disminuir el nivel de temperatura corporal.

Particularmente los seres humanos solo tenemos ese medio natural de estabilidad térmica y termorregulación, por supuesto que el desarrollo de diferentes productos le han facilitado al hombre mantener un nivel de temperatura estable una gran variedad de espacios, ya sea una temperatura elevada en un ambiente exterior frío o lo contrario, una temperatura baja en ambientes exteriores muy calientes. Pero estos productos o elementos no son utilizados por los animales, cada uno de ellos tienen en su instinto natural buscar varios medios para poder lograr una estabilidad térmica en su cuerpo, y estos son mecanismos por los cuales se interesa esta investigación.

En el caso particular del elemento de estudio, el coco es una especie nativa de tierra caliente, se hallan en ambientes en los cuales se encuentran niveles de temperatura establecidos entre 35 y 40°C, por lo que éste busca un mecanismo o sistema para que su fruto se conserve a una temperatura estable mucho más baja que en el medio exterior. Después de realizar una experimentación acerca de cuánto es la variación de la temperatura del interior del coco con referencia a la del medio ambiente, se ha encontrado que este cambio es de aproximadamente 20°C menos que lo que se encuentra en el ambiente exterior, claro está que por las condiciones climáticas del lugar en el cual se realizó fue necesario controlar dichas condiciones para que se asemejaran a las del ambiente real en el cual se encuentra la especie.

Este experimento se hizo utilizando aproximadamente ocho cocos, cuatro de ellos eran cocos ya maduros, en los que su capa exterior se encontraba seca y dura; y los otros cuatro eran cocos que aún no estaban en su punto de maduración por lo que su capa exterior estaba verde y blanda. En los resultados se encontró que la temperatura interna de los ocho cocos se encontraba en un rango de entre 20 y 23°C, pero la gran diferencia se hallaba en su exterior, la capa externa del coco maduro tenía un nivel de

temperatura mas alto que la del coco que aún estaba verde.

Para corroborar la información antes mencionada es necesario tener claro varios conceptos de transferencia de calor ya que para el estudio a realizar es pertinente aclarar varios conceptos.

La transferencia de calor es el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre las fuentes de calor y los receptores, es el paso de energía térmica entre un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura.

Existen tres formas de transmitir calor, conducción, convección y radiación.

En la conducción, dos materiales solidos a diferente temperatura se ponen en contacto directo, de tal forma que las moléculas del material a mayor temperatura, con mayor movimiento molecular, transfieren energía en forma de movimiento a las moléculas del cuerpo a menor temperatura.

La convección es el desplazamiento de masas de algún líquido o gas. Cuando una masa de un fluido se calienta al estar en contacto con una superficie caliente, sus moléculas se separan y se dispersan, causando que la masa del fluido llegue a ser menos densa. Cuando llega a ser menos denso se desplazará hacia arriba u horizontalmente hacia una región fría, mientras que las masas menos calientes, pero más densas, del fluido descenderán o se moverán en un sentido opuesto al del movimiento de la masa más caliente (el volumen de fluido menos caliente es desplazado por el volumen más caliente).

En la radiación, que a diferencia de las dos anteriores no requiere un contacto directo entre los puntos calientes y fríos, sino que debido a la diferencia de temperatura cada material posee un movimiento de partículas determinado, el cual esta asociado a un nivel de radiación, la diferencia neta entre las emanaciones de radiación de ambos cuerpos es la transferencia de calor.

Por lo tanto la transferencia de calor que se da entre las diferentes capas del coco es un movimiento de partículas con mayor temperatura desde el exterior hasta el interior disminuyendo aproximadamente 5 grados de temperatura entre cada capa y así al llegar al centro en donde se encuentra el liquido, este se encuentre por debajo de la temperatura exterior a 20 grados menos de temperatura.

La conducción de temperatura que se da en el coco disminuye a través del paso entre capas, el coco usa este sistema de refrigeración y de estabilidad térmica para mantener el liquido encargado de nutrir la semilla y proceder a una posterior germinación de la misma sin necesidad de una agente humectante en el exterior.

Gracias a este sistema de estabilidad térmica la conducción de temperatura en el interior del coco posibilita de alguna u otra forma la vida de la especie, ese movimiento de partículas que disminuye a medida que se adentra en el coco es el que permite encontrar temperaturas adecuadas en el interior, y al mismo tiempo allí se da una

disminución térmica pero ya no siendo este movimiento por conducción sino por convección ya que el fluido interior presenta movimiento a causa de la temperatura que le llega de la capa anterior a este.

Otro de los puntos críticos a tratar son los mecanismos de conservación de la temperatura que usan los seres vivos para adaptarse al medio que los rodea sin sufrir ningún tipo de consecuencia que lo pueda dañar.

A manera de dato importante y pertinente para la investigación se encontró que uno de los principales procesos de descomposición de los alimentos es a causa de la variación de la temperatura ya que esta permite la proliferación de microorganismos que ayuda en la descomposición de los alimentos que necesitan conservar temperaturas estables.

Uno de los principales factores causante de su descomposición corresponde a los microorganismos y a las enzimas los cuales inciden directamente en los procesos de transformación física y química de los compuestos que forman los alimentos. Se calcula que más del 20% de todos los productos alimenticios generados en el mundo se pierden por acción de los microorganismos causados por el cambio de temperatura que tienen estos al momento de ser transportados.

En la naturaleza los organismos necesitan regular su producción de calor para poder conservar su temperatura corporal dentro de ciertos límites, incluso cuando la temperatura del ambiente es muy diferente; este es un procesos que mantiene el equilibrio entre ganancia y pérdida de calor.

La estabilidad es posibilitada por distintos mecanismos de autorregulación y diversos ajustes dinámicos; cuando la temperatura sube o baja, el organismo aumenta o disminuye, respectivamente, en una cantidad que depende de su capacidad calorífica específica.

El coco es un ejemplo claro de cómo conserva la temperatura de su interior sin tener en cuenta la cantidad de calor que hay en el entorno en el que este se desarrolla ya que puede mantener su temperatura interna mas baja que la del exterior con una diferencia de 20° a la temperatura ambiente.

La conservación de calor del organismo, depende del medio interno que regula la temperatura con la producción o eliminación de ciertas sustancias que generan que la temperatura sea mas alta o baja y del medio externo que es la relación del ser vivo con el medio; el coco como ser vivo genera un liquido en su interior que contiene nutrientes y oxigeno que mantienen la temperatura mas baja en el interior de este con el fin de que no se descompongan las distintas capas de este; este proceso implica el control de los valores energéticos que son considerados normales: en caso que un valor esté fuera de la normalidad, se activan distintos mecanismos para compensarlo.

## 5 METODOLOGÍA

En el momento en el cual se planteó la hipótesis de que el coco era una especie natural que lograba mantener la temperatura del interior más baja que la del ambiente en exterior, se tuvo que realizar una validación inicial de dicha hipótesis con el fin de determinar si era éste el ejemplar adecuado para realizar la investigación para lo cual se obtuvieron cuatro muestras de coco gigante (*cocos nucífera*), provenientes de Santafé de Antioquia (ANT) (ver figura. 1) que fueron llevadas a un laboratorio en donde se simularon las condiciones ambientales de la zona costera colombiana. Luego de aproximadamente 1 hora se insertó una termocupla tipo K hasta el interior del coco para registrar la temperatura interna y compararla con la del exterior. Con la información básica recolectada se determinó que la hipótesis era acertada, puesto que la diferencia de temperaturas era de aproximadamente 15°C. Además de validar la suposición planteada, este ejercicio sirvió para determinar que una de las capas, la testa, sería excluida como un componente de la investigación debido al poco espesor que posee y la dificultad que generaría esto para ubicar la termocupla en el lugar adecuado.

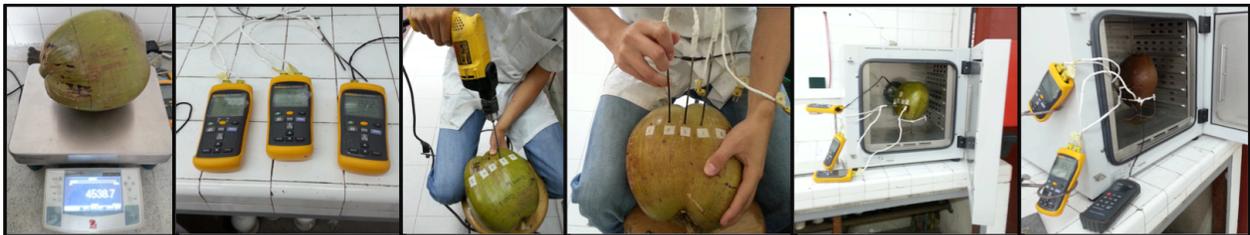


**Figura 2.** Cocos recolectados para la validación de la hipótesis planteada.

Después de efectuar los ensayos de validación de la hipótesis se realizó un estudio previo de los conceptos fundamentales acerca de la transferencia de calor, los cuales eran: radiación, conducción y convección, ya que era éste uno de los elementos de la investigación de los cuales no se tenía el conocimiento suficiente para poder iniciar la experimentación. Posteriormente se inició el proceso práctico de experimentación con 5 nuevas muestras recolectadas, con las cuales se determinó la anatomía básica del coco, estableciendo las capas que lo componen y los materiales de cada una de ellas para de ésta manera comprender la especie que se iba a estudiar y poder así pasar al siguiente ejercicio del proceso experimental.

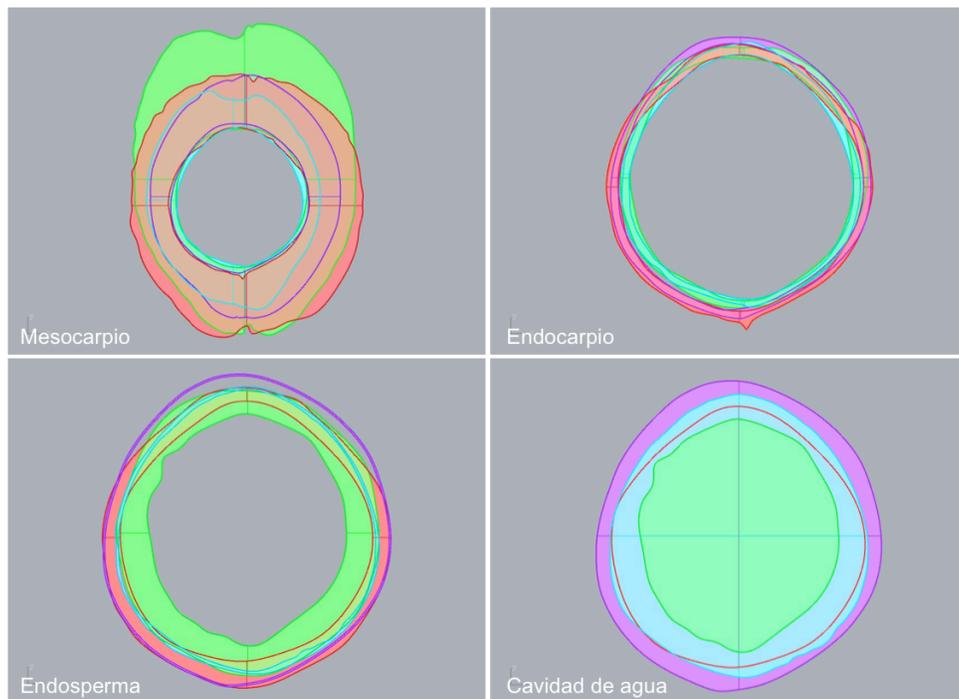
En esta fase se llevaron los cocos al Laboratorio de química y termodinámica en el bloque de ingenierías de la Universidad Pontificia Bolivariana, allí se hizo uso de una báscula para pesar cada coco antes y después del experimento con el fin de determinar el nivel de deshidratación causado por la exposición a cambios térmicos. Como paso siguiente se utilizó un taladro con una broca de 3/16 para realizar 4 perforaciones a diferentes profundidades con el fin de introducir las termocuplas tipo K hasta cada una de las capas, (ver figura 2) sin embargo, para tomar la temperatura del exocarpio se tuvo que pegar a la superficie la termocupla con cinta aislante ya que el espesor de esta es mínimo por lo que era imposible de perforar. Teniendo las termocuplas preparadas se ubicó el coco en un horno que permitiera establecer una temperatura constante de 80°C, en este caso se utilizó el horno de termo circulación digital Binder ED-115 que se encontraba en el laboratorio.

Como paso siguiente se tomó un registro de la temperatura de cada una de las capas con intervalos de 1 minuto durante un tiempo total de 300 minutos, las cifras de temperatura registradas fueron organizadas en tablas haciendo uso de Microsoft Excel con el fin de lograr obtener los gráficos que permitieran analizar los resultados obtenidos.



**Figura 3.** Proceso de experimentación. De izquierda a derecha se ven: Pesaje del coco, termómetros digitales, perforación de la muestra, introducción de las termocuplas, ubicación del coco en el horno y el coco después de 300 minutos en el horno.

Tras haber terminado la experimentación en el laboratorio de termodinámica se llevaron los cocos un taller para cortarlos transversalmente haciendo uso de una sierra y seguidamente se tomaron fotos desde la vista superior de cada coco cortado con la ayuda de una cámara digital, que posteriormente fueron utilizadas para digitalizar las capas del coco por medio del software de modelación digital, en este caso Rhino, para de esta manera realizar el estudio morfológico (ver figura. 3) que consiste en analizar la forma y los espesores de cada una de las capas relacionándolas con las cifras de temperatura obtenidas.



**Figura 4.** Digitalización del corte transversal de las capas del coco. Los colores indican cada uno de las muestras estudiadas.

Por último, en un solo archivo de Excel se adjuntaron a las tablas, los gráficos y las imágenes obtenidas de la digitalización de las capas, para de esta manera analizar las variables establecidas (anatomía, morfología y materiales) relacionándolas entre sí y poder determinar conclusiones puntuales del proyecto.

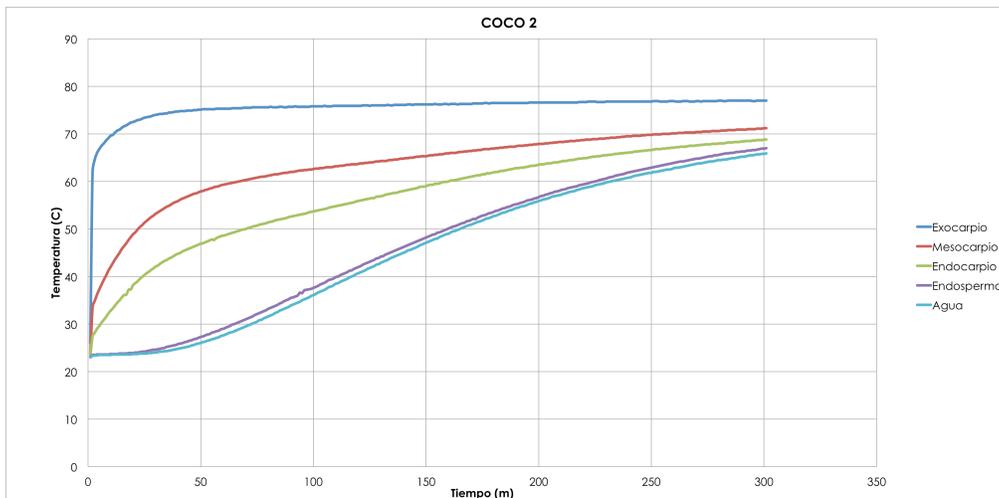
## 6 RESULTADOS

Después de realizar la experimentación en las 5 muestras solo se pudo realizar el análisis morfológico a 4 de ellas puesto que una se deterioró rápidamente luego de la experimentación con el horno, al analizarlas se determinó que el promedio de espesores de las capas es de: exocarpio 0,135 cm, mesocarpio 3,86 cm, endocarpio 0,48 cm, endosperma 0,75 cm; y la cavidad del agua tiene un promedio de 764,825 cm<sup>3</sup>. (ver tabla. 1)

**Tabla 1.** Espesores y volumen de cada capa en cada coco y su promedio total.

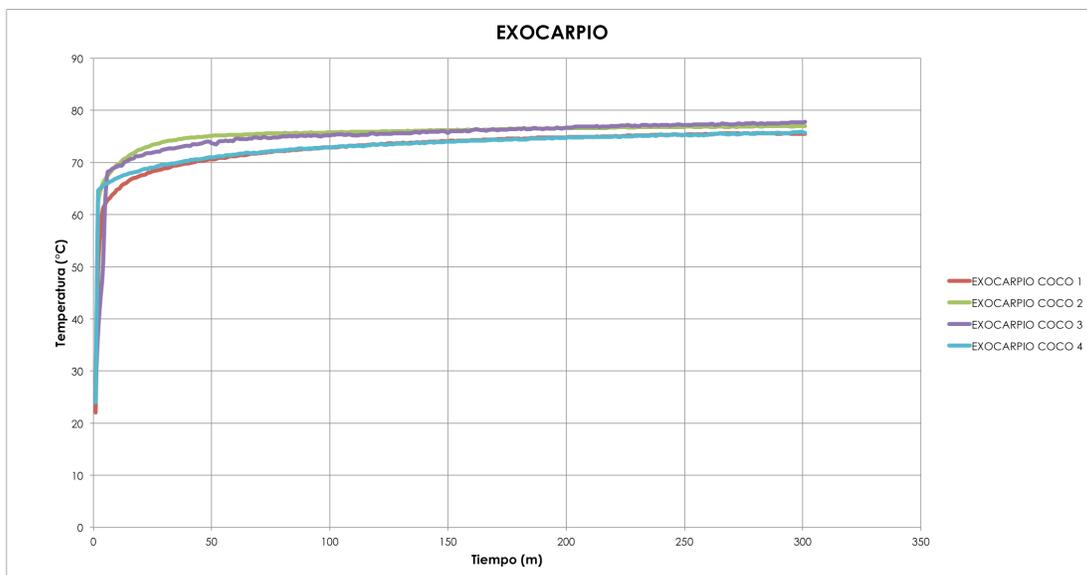
| MORFOLOGÍA            | ESPESOR (cm) |            |            |            | VOLUMEN (cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------------|--------------|------------|------------|------------|----------------------------|
|                       | EXOCARPIO    | MESOCARPIO | ENDOCARPIO | ENDOSPERMA | CAVIDAD INTERNA            |
| <b>COCO 1</b>         | 0,22         | 5          | 0,37       | 1          | 482,6                      |
| <b>COCO 2</b>         | 0,18         | 4,56       | 0,5        | 1,42       | 462,08                     |
| <b>COCO 3</b>         | 0,05         | 3          | 0,57       | 0,28       | 1044,77                    |
| <b>COCO 4</b>         | 0,09         | 2,88       | 0,48       | 0,3        | 1069,85                    |
| <b>TOTAL PROMEDIO</b> | 0,135        | 3,86       | 0,48       | 0,75       | 764,825                    |

La gráfica muestra la relación de cambio de temperatura/espesor en el tiempo y por lo tanto da una idea del comportamiento térmico del sistema, es decir que el espesor determina el tiempo en el que la temperatura se transfiere de una capa a otra. Por ejemplo el exocarpio, la capa mas delgada (0,3 cm) y externa del coco, aumenta la temperatura rápidamente y luego de aproximadamente 50 minutos empieza a estabilizarse, mientras que en las capas internas con un espesor mayor (5 cm máximo) el aumento de temperatura es más lenta y tienden a estabilizarse pasados 100 o 150 minutos (ver figura. 4). Al cumplirse el tiempo establecido de 300 minutos se observó que ninguna de las capas del coco logró llegar a 80°C, que fue la temperatura máxima a la cual se puso el horno; además de esto, se evidenció que la diferencia de temperatura entre la capa externa (exocarpio) y la interna (agua) es de aproximadamente 15°C. Al observar y comparar los pesos inicial y final del coco se determinó que el peso promedio que éste pierde luego de salir del horno es entre 150 y 200 gr.



**Figura 5.** Luego de 50 minutos el exocarpio comienza a estabilizarse y pasados 100 o 150 minutos se estabilizan el resto de las capas.

Las gráficas indican que la capa que más rápido se calienta es el exocarpio (ver figura. 5), el endosperma y el agua se calientan casi que al mismo tiempo, es decir, que la diferencia entre estas dos ultimas es de tan solo un grado. Esto da cuenta de un modelo jerárquico de funcionamiento en el cual el orden de calentamiento de cada capa obedece al grosor de cada material de la capa y el orden en que están dispuestos desde el exterior hasta el interior.

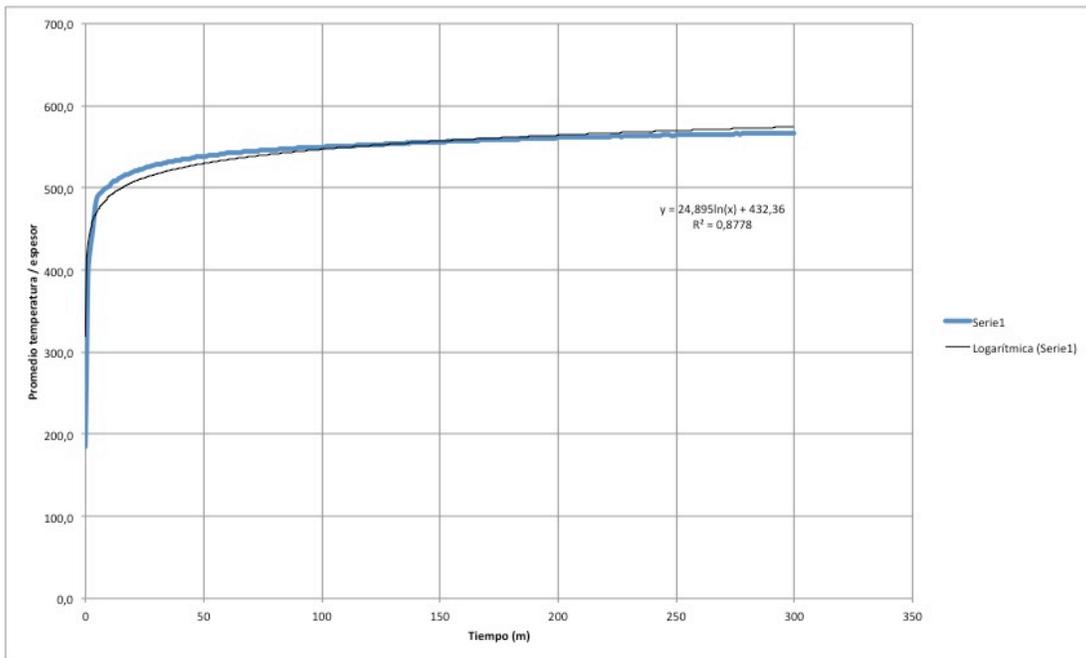


**Figura 6.** El exocarpio es la capa que más rápido se calienta.

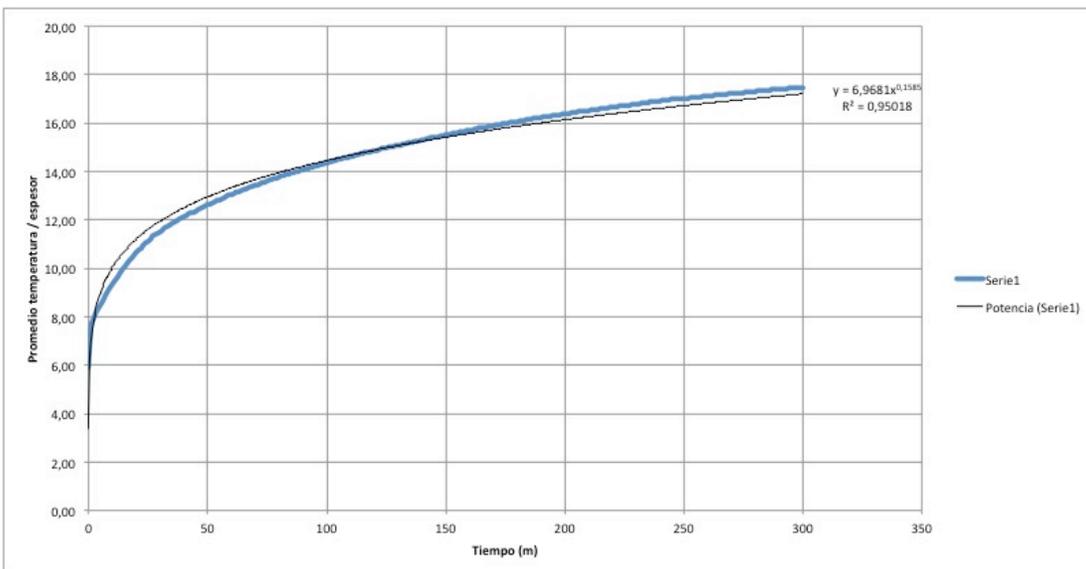
Cada capa tiene una línea de calentamiento que se comportan de manera diferente y definen la tendencia promedio en el que cada una aumenta la temperatura en dos fases, la primera es un aumento de temperatura mas rápido y la segunda es una fase de estabilización donde el aumento de la temperatura es más lento por cada unidad de

la “x” se corre menos unidades de la “y”, es decir entre más tiempo se mantiene el coco a una temperatura externa, 80°C en este caso, el tiempo de aumento de temperatura de cada capa va a ser mayor y con el pasar de los minutos tiende a estabilizarse.

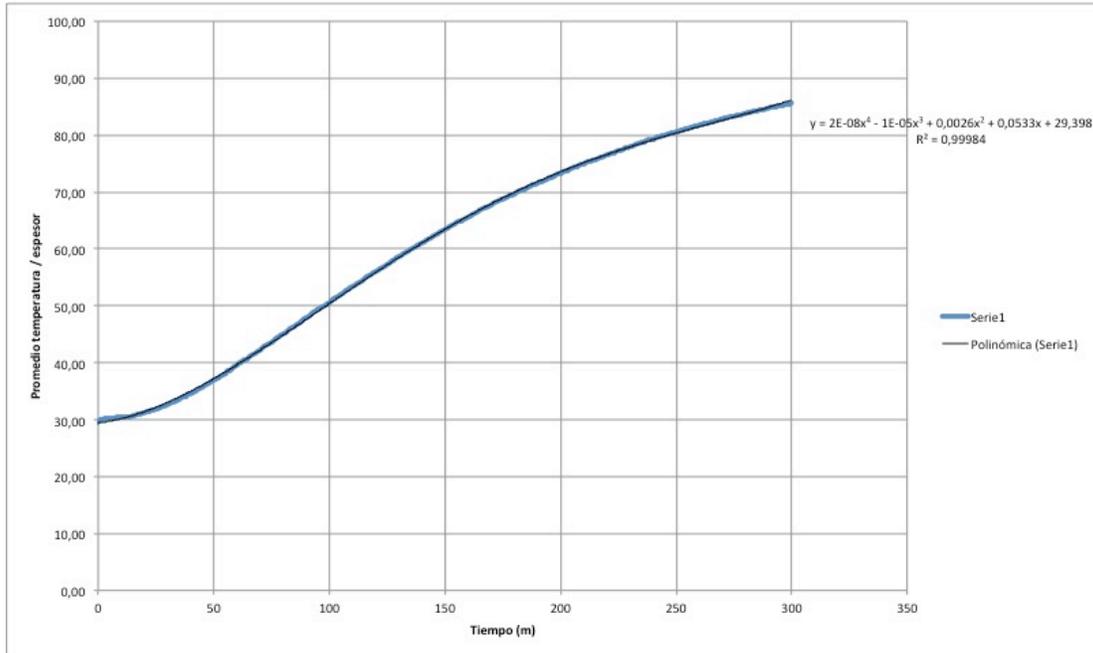
Con relación a la grafica del exocarpio se puede demostrar que las dos variables se comportan de manera logarítmica (ver figura 6). La línea de tendencia del mesocarpio se comporta de manera potencial (ver figura 7) y las tres ultimas capas: el endocarpio, el endosperma y el agua se comportan con una línea de tendencia polinomial (ver figura 8).



**Figura 7.** Gráfica del comportamiento del exocarpio.

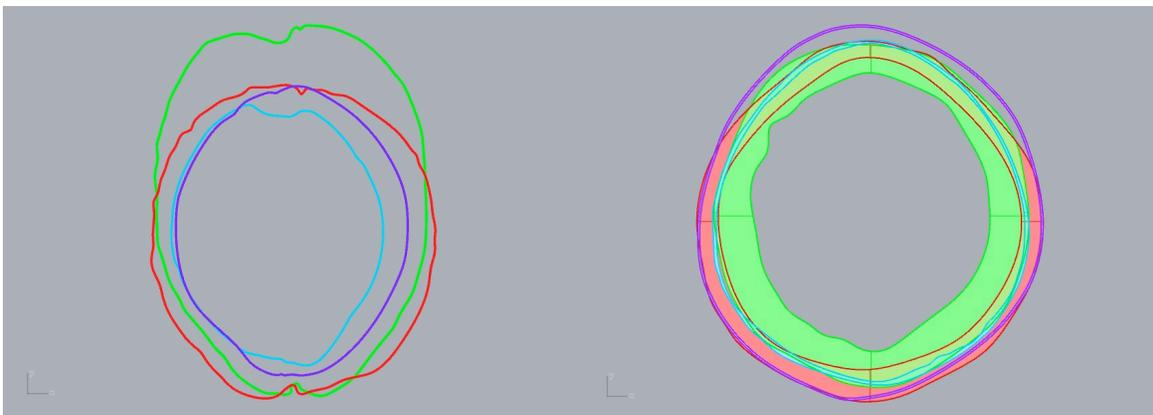


**Figura 8.** Gráfica del comportamiento del mesocarpio.



**Figura 9.** Gráfica del comportamiento del endocarpio, el endosperma y el agua.

Al realizar el análisis morfológico de las diferentes capas del coco se evidencia que el exocarpio y el mesocarpio poseen una forma idéntica debido a que ambas capas se encuentran una a continuación de la otra y además la primera de ellas tiene un espesor de 0,3 cm lo que se puede decir que la diferencia es prácticamente ninguna. Aunque la morfología de todas las capas en general tiende a ser simétrica, se puede ver que a medida que se interna desde el exterior al interior la forma adopta cada vez más simetría, como se puede ver en la digitalización de los cortes realizados (ver figura 9), de igual manera va variando la forma en sí ya que pasa de ser ovoidal (exocarpio y endocarpio) a esférica (endocarpio y endosperma) .



**Figura 10.** La morfología de las capas del coco pasa de ovoidal a esférica. La imagen izquierda muestra la asimetría de las capas exteriores y la imagen derecha muestra la

tendencia simétrica de las capas internas. (Los colores indican cada uno de las muestras estudiadas).

## 7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados encontrados demuestran que el mesocarpio es la capa a través de la cual el tiempo de transferencia es más lento, esto se da debido a que el lapso de transferencia del calor entre una capa y otra depende del espesor de las capas y el material de la mismas y es ésta la capa con mayor espesor. Además de esto la transferencia de temperatura entre las capas se da a través de conducción excepto en dos momentos: el primero de ellos es cuando el calor se trasfiere a través de radiación desde el medio ambiente hasta el exocarpio. El segundo momento se da cuando el calor pasa por el mesocarpio, esta capa es de un material fibroso que tiene en su estructura partículas de agua y aire, por lo que se plantea la hipótesis de que la transferencia de temperatura se da a través de conducción y convección, lo que quiere decir que el calor se queda atrapado en dichas partículas y retarda su tiempo de transferencia.

Según la teoría de transferencia de calor (Kreith, Manglik , & Bohn, 2012) el proceso de calentamiento de un cuerpo se da en dos fases: una en la cual la temperatura asciende y otra en la que la temperatura comienza a estabilizarse. Esto se puede evidenciar en todas las capas del coco, sin embargo el tiempo en el que se dan estas dos etapas es diferente para cada una de ellas debido al espesor y el material de las capas. Por ejemplo el exocarpio es la capa en la que la fase de calentamiento se da en un menor tiempo y llega rápidamente a la fase de estabilización ya que el espesor de ésta es de 0,3 cm y su material es leñoso a comparación del agua que se encuentra en el interior la cual se demora mucho más tiempo en calentarse y en llegar a la etapa de estabilización ya que el calor tiene que transferirse completamente desde el exterior y toma un tiempo prolongado en llegar al interior para lograr que el sistema se estabilice por completo.

La morfología de los cocos es un factor importante para la conservación de la temperatura de los mismos ya que ésta es un factor determinante dentro del análisis de transferencia de calor. Si se asume que todos los cocos tienen los mismos materiales entre el grupo de estudio determinado se puede inferir que las variaciones de forma entre uno y otro permiten obtener las variaciones de temperatura entre los cocos estudiados.

## 8 CONCLUSIONES

Es probable que la variación de temperatura se deba a un cambio en la homogeneidad del material en las mismas zonas, debido a que, aunque los materiales eran iguales, las frutas eran distintas; como en la naturaleza los procesos de crecimiento no son uniformes ni homogéneos entonces la parte de consolidación y de homogenización del material tampoco es homogénea, es decir, las paredes del coco no mide los mismo, hay unas paredes mas gruesas que las otras en una misma línea diametral. Por lo anterior, se puede decir que existe la probabilidad de que los tiempos de transferencia de calor sean diferentes en cada coco debido a la diferencia de espesores que existe entre las mismas capas de cada uno de ellos.

El proceso de calentamiento del coco hay dos fases hay dos pendientes con niveles distintos de temperatura. En los cinco especímenes analizados el comportamiento de las variables fue el mismo, siempre había un pendiente inicial y al cabo del mismo tiempo la pendiente cambiaba y se mantenía mas o menos paralela. Lo que indica que el comportamiento del proceso de aislamiento térmico se da en dos fases una fase donde el cambio se da en menor tiempo y otra fase donde el cambio se da mas lento.

La geometría no es la variable que cambia, porque aparentemente los espesores varían en menor porcentaje que los porcentajes de la temperatura medidos, la variabilidad se asocia al nivel de homogeneidad de la pared y se debe al nivel de la madurez y condiciones de crecimiento. Con lo anterior se puede decir que una de las razones por las cuales la variable es afectada es por que la consistencia del material puede ser distinta.

## BIBLIOGRAFÍA

Robert E. Hardenburg, A. E. (1998). *Almacenamiento comercial de frutas, legumbres y existencias de floristerías y vicios*. San José, Costa Rica: Marcelle Banuett B.

Rey, C. A. (2011). *Modelo para el diseño de pruebas de empaques de uchuva en las empresas exportadoras de Bogotá y Cundinamarca*. Universidad Nacional de Colombia, Sistemas en Industrial. Bogotá: Magister en Ingeniería Industrial.

Parrotta, J. A. (1993). *Cocos nucifera L.* New Orleans: Department of Agriculture, Forest Service.

<http://www.ecured.cu/index.php/Coco>. (06 de abril de 2012). Obtenido de ecured.

Rodriguez, R. (2007). *Anatomía elemental*. Zopopan, Mexico: Umbral.

Howard Vadsworth, f., Luther Lilittle, E., & Marrero, J. (2001). PALMAS palma de coco. En *Arboles comunes de puerto rico y las Islas virgenes* (pág. 764). Puerto Rico: La Editoria, UPR.

Alonge, A., & Adetunji, W. (2011). Propiedades del coco (*Cocos nucifera L.*) pertinentes para su descortezamiento. *Journal of Agricultural Science & A Technology* .

Leon, J. (1968). *Fundamentos botanicos de los cultivos tropicales*. lima, Peru: EDITORIAL IICA.

Guevara, L., & Jáuregui, D. (junio de 2008). *scielo*. Recuperado el 23 de marzo de 2013, de [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=s0084-59062008000100004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=s0084-59062008000100004&script=sci_arttext)

Elliott, D. (30 de Septiembre de 2009). *Designing packs as nature intended*. Obtenido de Packagingnews: <http://www.packagingnews.co.uk/news/designing-packs-as-nature-intended/>

Delgado, Á. G.-P. (2008). Soluciones para cubiertas ligeras metalicas. *Directivos Construcción* , 64-69.

Al-Nimr, M. A., Asfar, K. R., & Abbadi, T. T. (2009). Design of a Smart Thermal Insulation System. *Heat Transfer Engineering* , 762-769.

Gamero, R., & Martínez, J. (2012). The use of drying experiments in the study of the effective thermal conductivity in a solid containing a multicomponent liquid mixture. *Chemical Engineering Research & Design: Transactions of the Institution of Chemical Engineers Part A* . , 1765-1778.

Tangjuank, S., & Kumfu, S. (2011). Particle Boards from Papyrus Fibers as Thermal Insulation. *Journal of Applied Sciences* , 2640- 2645.

Departamento de estudios económicos. (30 de Junio de 2013). SAC. Obtenido de Sociedad de Agricultores de Colombia: <http://www.sac.org.co>

Kreith, F., Manglik , R. M., & Bohn, M. S. (2012). *Principios de tranferencia de calor*. México DF, México: Editec S.A.