

# BIOMIMÉTICA DE ESTRUCTURAS VEGETALES

MEJORANDO LA SEGURIDAD EN EL CICLISMO A PARTIR DE LA *OLLA DE MONO*

---

Lucía Paulina Buelvas Álvarez  
Jenny Alexandra Ramírez Osorio

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Arquitectura y Diseño

Facultad de Diseño Industrial

Medellín

2014

**Línea de morfología experimental**

# CONTENIDO

---

Resumen – Abstract

Introducción

Planteamiento del proyecto.

    Tema general del proyecto.

    Características generales del proyecto de investigación.

    Problema identifica.

    Elementos del problema.

    Hipótesis o pregunta que se formula frente al tema como planteamiento de la investigación.

Justificación del proyecto.

    Validez del proyecto en el contexto de la investigación en diseño industrial.

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

Objetivos.

    Objetivo general.

    Objetivos específicos.

Alcance.

    Límites y metas temáticas para el proyecto.

    Límites y metas metodológicas para el proyecto.

Marco de referencia.

    Antecedentes.

    Estado del arte.

    Conceptualización de los elementos del problema.

Materiales y métodos

    Material botánico

    Métodos

        Caracterización anatómica y morfológica del fruto del árbol Olla de mono

        Identificación del tipo de materiales del fruto de la Olla de mono

        Definición del nivel de desempeño funcional estructural del fruto

Resultados y discusión

Conclusiones

Agradecimientos

Glosario

Bibliografía

# Biomimética de estructuras vegetales

## Mejorando la seguridad en el ciclismo a partir de la *Olla de mono*

Lucía Paulina Buelvas Álvarez – Jenny Alexandra Ramírez Osorio

Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia

“El éxito parece ser en buena parte cuestión de perseverar después de que otros hayan abandonado.”  
William Feather

### Resumen

Actualmente el ciclismo es uno de los deportes con mayor nivel de aceptación en Colombia. Para su práctica se requiere del uso de sistemas de protección personal que garanticen la seguridad del deportista, siendo el casco uno de los objetos más importantes de este equipamiento. Como todo objeto industrial, el casco permite ser mejorado y optimizado desde su funcionamiento, para lo cual el diseño industrial se presenta como la disciplina más pertinente para ejecutar este proceso. El diseño industrial se establece como puente entre las necesidades económicas de la industria, el mercado y las necesidades prácticas, funcionales, y comunicativas del usuario. Una de las herramientas con las que el diseño cuenta como soporte del ejercicio proyectual es la biomimética, la cual utiliza referentes naturales como punto de partida para el desarrollo de sistemas artificiales.

Para desarrollar este proyecto se identificó como objeto de estudio el fruto del árbol conocido como *Olla de mono* (*Lecythis minor*), que consiste en un sólido hueco, con forma de cápsula de material leñoso de borde grueso con dos o más celdas internas que se encargan de contener las semillas. Tiene además una tapa u opérculo que se desprende del fruto cuando este alcanza la etapa de madurez. La olla de mono es un fruto procedente de las zonas tropicales y cálidas que están entre los 25° y 32° de temperatura, fue obtenida de árboles maduros ubicados en el municipio de San Antonio de Palmito en el departamento de Sucre – Colombia.

La pregunta de partida del proyecto fue: ¿Qué relación existe entre la morfología, la anatomía, los materiales y el desempeño funcional estructural de la *Olla de mono* (*Lecythis minor*)? Como objetivos específicos se tuvieron la caracterización anatómica y morfológica del fruto, tipos de fibra y materiales presentes y la identificación del nivel de desempeño funcional estructural. Metodológicamente se utilizaron la estereomicroscopía, la microscopía electrónica de barrido (SEM) y pruebas mecánicas de tracción, compresión e impacto.

Se encontró que el fruto estaba compuesto de varios materiales dispuestos en capas que a su vez tenían configuraciones morfológicas diferentes, como fibras y sólidos celulares. Además, se obtuvieron como resultado valores numéricos de las propiedades mecánicas de tensión, compresión e impacto realizadas al fruto, las cuales evidencian su nivel de desempeño funcional estructural. Uno de los hallazgos propone que, en posición invertida el fruto del árbol *Olla de mono* llega a soportar cargas de compresión de hasta 800 kg sin deformarse. Esto puede deberse en parte a la presencia de un patrón geométrico identificado en la estructura y conocido como la curva catenaria.

A partir de lo anterior es posible concluir que la configuración jerárquica de los materiales y el patrón morfológico encontrados pueden ser usados como referencia funcional y formal para el diseño de diferentes productos, entre ellos el casco.

## **Abstract**

Nowadays cycling is one of the sports with a major level of acceptance in Colombia. In the practice, the system use of personal protection is needed that guarantees the safety of the athletes, being the helmet one of the most important objects of this equipment, like any industrial object, it allows functioning to be improved and optimized from. For that reason, the industrial design appears as the most pertinent discipline to execute this process. The industrial design is established as a bridge between the economic needs of the industry, the market and the practical, functional, and communicative needs of the user. One of the tools which the design possesses as support of the exercise is the biomimetic, which uses natural models as point of item for the development of artificial systems.

To develop this project there was identified as object of study the fruit of the tree known as "la olla de mono" (*Lecythis minor*), which consists of a solid hollow, by form of woody capsule of thick edge by two or more internal cells that take charge containing the seeds. A lid has in addition or operculum that parts with the fruit when this one reaches the stage of maturity. This is a fruit from the tropical and hot zones that are between 25 ° and 32 ° degrees of temperature, it was obtained from mature trees located in the municipality of San Antonio of Palmetto in the department of Sucre - Colombia.

The starting question of the project was: what relation exists between the morphology, the anatomy, the materials and the functional structural performance of "la olla de mono" (*Lecythis minor*)? Among specific aims, it had the anatomical and morphologic characterization of the fruit, types of fiber and present materials and the identification of the functional structural performance level. Methodologically they used the stereomicroscopic, the electron microscopy of sweep (EMS) and mechanical tests of traction, compression and impact.

We thought that, the fruit was composed by several materials arranged in caps, that in turn has morphologic different configurations, as fibers and cellular solids. Besides, they were obtained numerical values of the mechanical properties of tension, compression and impact realized to the fruit as results, which represents the functional structural performance level. One of the findings proposes that, an inverted position the fruit of the "la olla de mono" manages to support loads of compression of up to 800 kg without been deformed, This can be, partly due, to the presence of a geometric boss identified in the structure and known as the curved chain.

From the previous thing, it's possible to conclude that the hierarchical configuration of the materials and the morphological opposing pattern, they can be used as functional and formal reference to the design of different products, between them the helmet.

## 1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación hace referencia a la morfología experimental de estructuras vegetales, tomando como objeto de estudio al fruto del árbol *Olla de mono*. La idea general es, por medio de la observación y el análisis, abstraer patrones y principios en el fruto que puedan ser transferibles al diseño de producto, específicamente al diseño de cascos para el ciclismo.

Este proyecto está pensado de lo micro a lo macro en términos de observación, es decir, primero fue preciso comprender la composición estructural interna del fruto para luego apreciar su morfología a simple vista y posterior a eso llevar a cabo pruebas mecánicas de tensión, compresión e impacto, con la finalidad de poder determinar el nivel de desempeño funcional estructural del objeto de estudio. Con lo anterior se esperaba establecer relaciones entre la morfología, la anatomía, los materiales y el desempeño funcional estructural del fruto (*Lecythis minor*). Por lo cual se presenta como oportunidad definir si este sistema natural es eficiente en cuanto a capacidad portante, nivel de absorción de impactos y ligereza.

Los antecedentes presentados en la investigación, muestran algunos estudios realizados sobre el fruto del árbol *Olla de mono* (*Lecythis minor*) relacionados con información botánica, usos de las semillas y de la madera del árbol del que proceden. Así como también algunos ejemplos de estudios y experimentos realizados alrededor de la biomimética aplicada para el mejoramiento de las condiciones que generan seguridad en los cascos en diferentes condiciones de uso, en los cuales aparecen acercamientos morfológicos, anatómicos y de desempeño funcional estructural.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO**

### **Tema general del proyecto.**

Mejoramiento de las condiciones que generan seguridad en la práctica deportiva del ciclismo a través de la biomimética de estructuras naturales.

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

El tipo de investigación para el proyecto es aplicada de tipo cuantitativa, soportada con un estudio documental, descriptivo y relacional.

Investigación aplicada: dar respuesta a la pregunta establecida para esta investigación por medio de los conocimientos adquiridos sobre la especie a estudiar.

Investigación cuantitativa: aplicar modelos numéricos a las posibles relaciones que se encuentren entre la morfología, la anatomía, los materiales y el desempeño funcional en la estructura del fruto de la *Olla de mono* (*Lecythis minor*), para permitir mediciones objetivas.

Investigación documental: Hacer uso de fuentes bibliográficas, hemerográficas y de archivo que permitan recolectar, ampliar y organizar la información de la investigación para conceptualizar el marco teórico, además reconocer los distintos autores que han logrado algún aporte concerniente al tema de estudio. La investigación documental también dará la posibilidad de ordenar la información encontrada.

Investigación descriptiva: Describir como se manifiestan los siguientes fenómenos en el fruto de la *Olla de mono* (*Lecythis minor*): capacidad portante, nivel de absorción de impactos y ligereza, con el fin de determinar la relación entre morfología, anatomía, materiales y desempeño funcional estructural.

Investigación relacional: Comparar, asociar y correlacionar la morfología, la anatomía, los materiales y el desempeño funcional estructural en el fruto, para organizar esta información en términos de medidas y dar respuesta a la posible relación.

### **Problema identificado.**

Ausencia de conocimiento en torno a la relación entre la morfología, la anatomía, los materiales y el desempeño funcional estructural del fruto de la *Olla de mono* (*Lecythis minor*).

Elementos del problema:

1. Morfología.
2. Anatomía para identificar estructuras internas.
3. Materiales que componen al fruto de la *Olla de mono* (*Lecythis minor*).
4. Desempeño funcional estructural: capacidad portante, nivel de absorción de impactos y ligereza.

## **Hipótesis o pregunta que se formula frente al tema como planteamiento de la investigación.**

¿Qué relación existe entre la morfología, la anatomía, los materiales y el desempeño funcional estructural del fruto de la *Olla de mono* (*Lecythis minor*)?

## **JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

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

Este proyecto es válido en cuanto genere nueva información desde la ciencia acerca del fruto de la *Olla de mono*, (*Lecythis minor*) que permita relacionar los datos adquiridos con el diseño de cascos para el ciclismo y el mejoramiento de las condiciones que generan seguridad a través de la biomimética de estructuras naturales.

Lo anterior presenta como oportunidad definir si este sistema natural es eficiente en cuanto a capacidad portante, nivel de absorción de impactos y ligereza. En términos científicos el impacto que provocaría es que se tendría acceso al planteamiento de relaciones que antes no habían sido consideradas.

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

Este proyecto estará enfocado en el campo del deporte, por lo tanto los resultados de esta investigación podrían ser utilizados en el campo del diseño para mejorar las condiciones que generan seguridad en el casco de los ciclistas, implementando los conocimientos adquiridos acerca de la morfología, la anatomía, los materiales y el desempeño funcional estructural en el objeto de estudio (*Lecythis minor*).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general.**

Determinar la relación entre la morfología, la anatomía, los materiales y el desempeño funcional estructural en el fruto del árbol *Olla de mono* (*Lecythis minor*).

### **Objetivos específicos.**

1. Caracterizar la anatomía y la morfología.
2. Identificar el tipo de materiales presentes.
3. Definir el nivel de desempeño funcional estructural.
4. Establecer las relaciones posibles entre la morfología, la anatomía, los materiales y el desempeño funcional estructural.
5. Abstracter los principios y los patrones que sean transferibles al diseño.

## **ALCANCES**

### **Límites y metas temáticas para el proyecto.**

Como temática principal del proyecto se tiene la biomimética del fruto de la *Olla de mono* (*Lecythis minor*) para el mejoramiento de las condiciones que generan seguridad en la práctica deportiva del

ciclismo. Los límites temáticos de este proyecto se definen desde la indagación de los fenómenos naturales asociados al desempeño funcional, hasta la abstracción de los principios y los patrones morfológicos y/o materiales que sean transferibles al diseño.

### **Límites y metas metodológicas para el proyecto.**

Desde lo metodológico, se espera acudir a fuentes primarias y/o secundarias de información de manera que sea posible constatar el hecho de la función natural y su relación con la morfología y los materiales.

## **MARCO DE REFERENCIA**

### **Antecedentes.**

Introducción.

Los antecedentes presentados a continuación dan cuenta de algunos estudios realizados sobre la *Olla de mono* (*Lecythis minor*) relacionados con la información botánica, los usos de las semillas y de la madera del árbol del que proceden. Los siguientes antecedentes también dan cuenta de los estudios alrededor de biomimética aplicada para mejorar las condiciones que generan seguridad en los cascos a través de la biomimética, donde aparecen acercamientos morfológicos, anatómicos, y de desempeño funcional estructural, mediante la biomimética aplicada en funciones de impacto.

### **Investigaciones o estudios realizados sobre el tema.**

Estudios previos encontrados sobre la *Olla de mono* (*Lecythis minor*) comprenden básicamente breves descripciones de la especie, Mario Pinedo en su estudio “*OLLA DE MONO, OTRA ESPECIE PROMISORIA DE LA GRAN FITODIVERSIDAD AMAZONICA*” ofrece una descripción y algunas características principales, hace también una comparación de la *Olla de mono* (*Lecythis minor*) con uno de sus parientes más cercano: el castaño o *Nuez del Brasil* (*Bertholletia excelsa*), dicha comparación consiste en la derivación de sus nombres a partir del tamaño de sus frutos y el árbol que los produce. (Pinedo, 2010)

Por otro lado se encontró que un estudio realizado por el investigador Quirico Jiménez titulado “*Jícaro, Olla de mono: (Lecythis ampla miers)*” (ver figura 1) presenta una información más completa con respecto a la *Olla de mono* (*Lecythis minor*), pues ofrece la posibilidad de saber la procedencia del mismo así como su hábitat, fenología, reproducción, relaciones, ecología, usos de la madera del árbol, estado de su conservación, distribución e información taxonómica. (Jimenez, 1999)



Figura 1. *Lecythis ampla miers*.

La *Olla de mono* (*Lecythis minor*) es un fruto de procedencia tropical y sus semillas (ver figura 2) tienen ciertos usos al igual que la madera de su árbol, en la investigación de Quirico Jiménez se logró identificar algunos, como por ejemplo: la madera dura del árbol es utilizada en construcciones, vías de ferrocarril, gabinetes, artesanados, pasamanos y ebanistería, dice además que los pobladores de la zona en la cual florece esta especie fabrican un tipo de dulce con las semillas del fruto y que el consumo excesivo del mismo provoca la caída del cabello. Entre otros usos, el autor da cuenta de que estas semillas pueden funcionar en el campo de la medicina natural, pues son útiles para combatir la neumonía y las diarreas. Señala por último que el mal uso y manejo de las semillas puede provocar en las personas un efecto tóxico. (Jimenez, 1999)



Figura 2. *Lecythis minor* – Semillas – [museobolivariano.org.co](http://museobolivariano.org.co)

### **Biomimética en cascos.**

Un estudio publicado por Biomival BLOG titulado “Un casco biomimético puede salvar el alquiler de bicicletas” expone el caso de un grupo de emprendedores de Valencia (España) que han creado un casco con un coste de entre 1 y 3 euros, *auto montable*, resistente, plegable y que no se ve afectado por la humedad. Tiene fecha de caducidad y precisa de la responsabilidad del usuario. Este casco tiene como referente natural el pájaro carpintero imperial (ver figura 3) pues este animal tiene la peculiaridad de golpear fuertemente la madera, para obtener su alimento, sin que su cerebro se vea perjudicado por los golpes. Esta especie es utilizada como referente no solo por lo anterior sino que además se encuentra protegido por un hueso esponjoso, y que está rodeado por un músculo tendinoso hioides. Como lo dice este estudio:

“Este equipamiento musculo-tendinoso (ver figura 4) sirve como distribuidor de la fuerza del impacto en todo el cráneo como en el caso de nuestros cascos, con el añadido de un "muelle" y una estructura. El hueso del cráneo es relativamente denso y esponjoso comparado con otros tipos de hueso. Además, un fluido cerebro espinal evita el impacto sobre el cerebro. Este sistema ha sido usado con éxito como se ha indicado en cascos de bicicleta, en protecciones eléctricas y en herramientas, pero hasta ahora no se había planteado la solución de un casco “ultra-low-cost” (bajo costo) con todas las características reseñables de un casco de bicicleta de 30 veces más precio. ”



Figura 3. Pájaro carpintero imperial.

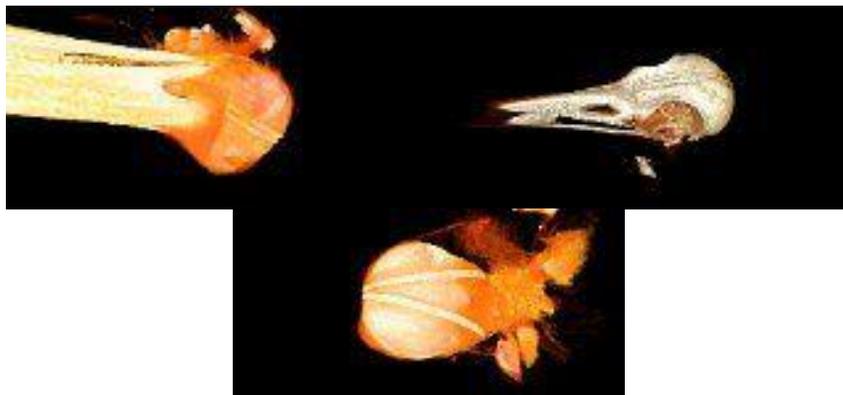


Figura 4. Cráneo – pájaro carpintero imperial.

Un proyecto realizado por la compañía PHILLIPS HELMETS LIMITED ha lanzado un sistema de protección de la cabeza usando biomimética, dicha compañía comunica que el Dr. Ken Phillips (participante del proyecto) “miró a la naturaleza de su inspiración (ver figura 5). Se dio cuenta de que, aunque el espesor del hueso del cráneo proporciona gran parte de la protección directa contra un duro golpe, la piel en el exterior actúa como una protección adicional cada vez que la cabeza recibe un impacto. Los sistemas convencionales de protección de la cabeza y de seguridad sólo protegen contra una parte del peligro de impactos en la cabeza y por lo tanto sólo se refieren a la mitad del problema.



Figura 5. Lazer Helmet.. / License – casco



“El Sistema de Protección de la cabeza Phillips (PHPS) mejora el diseño tradicional de cascos mediante la adición de una membrana de polímero de alta tecnología especialmente diseñado con un lubricado sobre la parte exterior del casco. La membrana está diseñada para deslizarse de una manera controlada a lo largo de la cáscara interior del casco.

El lubricante y la calidad elástica de la membrana PHPS en un casco de protección disminuyen la fuerza de rotación y reduce su efecto en más de un 60% en los milisegundos críticos después de un golpe, lo que reduce significativamente el trauma en la cabeza y reducir el riesgo de lesión cerebral traumática. La membrana de polímero de alta tecnología PHPS fue desarrollado en conjunto con un lubricante especialmente diseñado. La membrana está diseñada para deslizarse de una manera controlada a lo largo de la cáscara interior del casco. ”

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

Como aspectos acerca del tema de investigación que no han sido tratados se identificó la construcción de relaciones o comparaciones más amplias de esta especie con otras y no solo en términos botánicos, así como las aplicaciones en ingeniería y en diseño basadas en el estudio morfológico, anatómico y funcional estructural del fruto del árbol *Olla de mono* (*Lecythis minor*).

#### **Estado del arte.**

Se sabe que existen al menos 50 especies de plantas de la familia *lecythidaceae*, estas crecen en zonas tropicales y cálidas. El árbol de la *Olla de mono* (*Lecythis ampla miers*) es un árbol de crecimiento lento y se cree que su madera es de alta resistencia, pues logra sobrevivir a la exposición del sol y al agua, además comienza a dar frutos cuando ya han pasado aproximadamente 10 años de su sembrado. (Cazabonne, 2011).

Es importante para este proyecto de investigación saber cuáles son las aplicaciones más recientes de la biomimética en el diseño de cascos, los cuales tienen por finalidad el mejoramiento de las condiciones que generan seguridad, un estudio publicado por Biomival en julio del 2013 habla sobre un casco de bajo costo inspirado en la naturaleza, su referente principal fue el pájaro carpintero imperial. Este proyecto fue desarrollado por unos emprendedores de Valencia (España) y cuentan que dentro de las propiedades más importantes del casco se encuentran la resistencia y su función de plegado.

Por otro lado un diseñador Británico llamado Anirudha Rao también se inspiró en el pájaro carpintero, diseñó un casco llamado “Kranium” el cual fue creado en el 2010 del que se sabe que su característica principal es ser ligero para practicar actividades al aire libre (ver figura 6). Fue publicado en enero del 2013.



Figura 6. Casco “Kranium”

### **Conceptualización de los elementos del problema (marco teórico).**

#### **Morfología.**

En la especie seleccionada para este proyecto se pueden identificar en su estructura varios tipos de curvas, además de formas poligonales que trabajan como patrones y que tiene a su vez configuraciones que pueden organizarse en sistemas mediante simetrías y repeticiones de patrones para formar elementos individuales.

Morfológicamente hablando se describe al fruto de la *Olla de mono* como un sólido hueco, con forma de capsula leñosa de borde grueso con dos o más celdas internas que se encargan de contener las semillas (ver figura 7B). Se conoce que el fruto cuelga al final de las ramas del árbol y que además es de color marrón, otra descripción propone que su forma corresponde a la de una pequeña olla con reborde grueso con la parte apical (extremo superior) en forma de tapa, la cual se desprende del fruto cuando este alcanza la etapa de madurez, este proceso natural de desprendimiento es conocido como dehiscencia (ver figura 7B). En geometría la forma de la olla de mono corresponde a la formación de una esfera, otras descripciones morfológicas de esta especie serán depuradas en el trabajo experimental de este proyecto.



A: vista frontal del fruto maduro.

B: vista superior interna del fruto.

Figura 7. *Lecythis minor* - museobolivariano.org.co/wpcontent/uploads/2012/02/labimg\_670\_410\_1\_15619.jpg

### **Anatomía para identificar estructuras internas.**

No se encuentran estudios científicos acerca del fruto de la *Olla de mono*, inicialmente solo se conoce que la apariencia de su estructura es áspera y porosa (ver figura 8B), la obtención de estos datos fue posible gracias a la observación de sus paredes por medio de un elemento de magnificación óptica de 20x, otro tipo de información anatómica complementaria con respecto a esta especie será adquirida en la fase experimental de este proyecto.



A: tapa del fruto.

B: acercamiento a la superficie.

Figura 8. Superficie – acercamiento con elemento de magnificación óptica de 20x.

### **Materiales que componen al fruto.**

Lo único que se sabe es que el material del fruto es de tipo leñoso, un material ligero y resistente (ver figura 9). (Cazabonne, 2011).



Figura 9. *Lecythis minor*.

**Desempeño funcional estructural: capacidad portante, su nivel de absorción de impactos y su ligereza.**

La absorción de impacto es la indicación de dureza de un material, por dureza se conoce a esa oposición que ofrecen los materiales a las alteraciones externas. Esta absorción de impacto afecta a una estructura de tal forma que permite la absorción de la energía y evita las deformaciones que pueden presentarse a causa de fuerzas básicas tales como la compresión, tensión y cortante. El desempeño estructural de un sistema ante la absorción de impactos puede caracterizarse por las formas en su estructura, protección a las vibraciones, resistencia elástica, espesor, densidad y ligereza.

El material más cercano al material del fruto es la madera, la resistencia de este se define como la capacidad que tiene para absorber la energía de los golpes. Se evalúa la capacidad de absorción de energía sin que se rompa el material, el deterioro, los ataques de hongos, la exposición a temperaturas elevadas y el tratamiento químico. Los resultados dependen del tipo de madera que se utilice para realizar las pruebas, la humedad que presente y la orientación de los anillos de crecimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material botánico

El objeto de estudio de este proyecto fue el fruto del árbol conocido como *Olla de mono* (*Lecythis minor*) (ver figura 10), que consiste en un sólido hueco, con forma de capsula leñosa de borde grueso con dos o más celdas internas que se encargan de contener las semillas, tiene además una tapa (Opérculo) que se desprende del fruto cuando este alcanza la etapa de madurez, este proceso natural de desprendimiento es conocido como dehiscencia. La olla de mono es un fruto procedente de las zonas tropicales y cálidas que están entre los 25° y 32° de temperatura. El fruto fue obtenido de árboles maduros ubicados en el municipio de San Antonio de Palmito en el departamento de Sucre – Colombia y se recolectaron directamente del suelo, estaban vacías y carecían de opérculo (tapa). Finalmente fueron almacenadas en un lugar fresco y seco.



Figura 10. Muestra del fruto del árbol *Olla de mono* (*Lecythis minor*).

Se tomaron 50 muestras del fruto que fueron divididas en grupos como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Distribución de las muestras según su uso.

Objetivo de las muestras	Cantidad
Caracterización morfológica	30
Caracterización anatómica	3
Caracterización mecánica	11
Caracterización de tejidos	2
Registro fotográfico	4

### Métodos

#### Caracterización anatómica y morfológica del fruto del árbol *Olla de mono*.

Para identificar las estructuras internas en el fruto inicialmente se hizo uso de los siguientes elementos de magnificación óptica: estereomicroscopio (Advanced Optical) y microscopio electrónico de barrido (SEM) (ver figura 11).



Figura 11. A. Microscopio electrónico de barrido (SEM). – B. Estereomicroscopio.

Tabla 2. Especificaciones técnicas de los equipos.

Equipo A	Equipo B
Nombre: Microscopio electrónico de barrido (SEM)	Nombre: Estereomicroscopio (Advanced optical)
Permite la observación y caracterización superficial de materiales inorgánicos y orgánicos.	Incluye un sistema de cámara de, 2-megapixel CMOS sensor, con USB2.0 image para PC.
Abstrae información morfológica.	Oculares de campo amplio WF10x-22mm.
Aumento óptico: 1.000 X	Graduación de Distancia Interpupilar.
Usos: biología celular.	Tornillo para objetivo Zoom de 0.8 A 5X.
Funcionamiento: se basa en barrer un haz de electrones sobre un área.	Luz Halógena con foco de 6V/15W.
Aceleración de electrones: diferencia de potencial de 1000 a 30000 voltios.	Platina en vidrio, en blanco y negro – pinzas.
Voltajes elevados: muestras metálicas.	Distancia de trabajo: 115mm- Campo Visual: 27.5 ~ 4.4mm.
Voltajes pequeños: muestras biológicas sin preparación adicional o muestras muy aislantes.	Distancia interpupilar ajustable: 52mm-75mm.

En el primer caso se identificaron las zonas de análisis y se definieron 4 puntos de interés: parte interna, parte externa, sección transversal 1 y sección transversal 2. Las muestras fueron tomadas de cada zona por medio de cortes realizados con una caladora de mesa y posteriormente fueron limpiadas con un compresor de aire (ver figura 12). En el segundo caso se hace uso de las mismas muestras pero siendo ya observadas a través del microscopio electrónico de barrido (SEM), en cuanto a la preparación, se tuvo que reducir considerablemente su tamaño haciendo uso de cuchillas y secarlas además con un horno, luego fueron posicionadas en una base circular de metal y sujetadas con cinta de grafito. Una vez completado este paso, la base junto con las muestras fueron introducidas en una cápsula para realizar un recubrimiento en polvo de oro para volverse conductoras y finalmente poder observarlas mayor profundidad (ver figura 13).

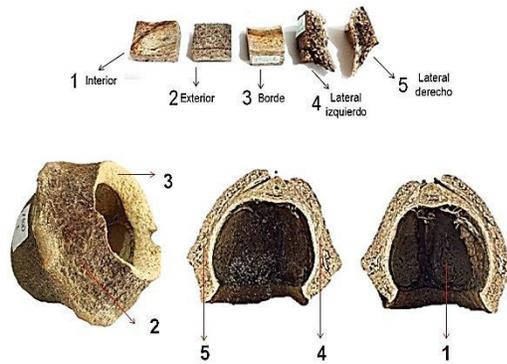


Figura 12. Esquema general de las partes observadas del fruto de la *Olla de mono*.



Figura 13. Preparación de muestras para microscopía electrónica de barrido (SEM).

Para realizar la descripción morfológica de la olla de mono se hizo un registro fotográfico del fruto que permitiera la observación más detallada de la forma. Luego se procedió a realizar cortes justo por la mitad del fruto usando una caladora de mesa con la finalidad de observar el interior (ver figura 14). Estos cortes fueron marcados con cinta de enmascarar y luego las muestras que ya habían sido cortadas se escanearon para realizar vectores digitales en un programa de diseño (Adobe Illustrator CS6) que permitiera determinar medidas estándar en zonas específicas.



Figura 14. Marcación de corte e interior de la muestra.

### **Identificación del tipo de materiales del fruto de la *Olla de mono*.**

Se recurrió a la investigación de otros frutos procedentes de árboles de la familia de las *Lecythidaceae*, con la finalidad de identificar los materiales de los cuales estos frutos están compuestos, permitiendo así la caracterización del material del fruto del *Olla de mono*. Una de las especies que se usó para la comparación en cuanto al material fue la *Nuez de Brasil* (*Bertholletia excelsa*), que de toda la familia es la especie más parecida a la *Olla de mono* (ver figura 15).

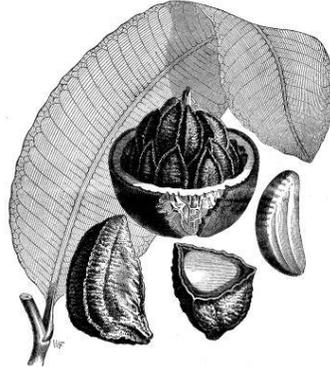


Figura 15. Nuez de Brasil (*Bertholletia excelsa*).

Para la identificación de las características de las fibras presentes en la estructura interna de las muestras, se procedió a separar una muestra con ayuda de impacto mecánico. Las muestras obtenidas fueron preparadas de manera que se separaron manualmente las diferentes capas que, posteriormente, fueron observadas a través de una herramienta de magnificación óptica (Estereomicroscopio).

### **Definición del nivel de desempeño funcional estructural del fruto.**

Para definir el nivel de desempeño funcional estructural del objeto de estudio fue preciso realizar pruebas mecánicas de tensión, compresión e impacto. Para realizar la prueba mecánica de tensión se hizo uso de una Máquina universal de ensayos, era necesario que se tomaran muestras lo suficientemente planas para que pudieran ser agarradas por las tenazas. Dada la forma esférica del fruto, las muestras obtenidas no cumplían con los requisitos necesarios para realizar la prueba de tensión, por lo cual se procedió a hacer uso de las tapas (Opérculo) del fruto de la *Olla de mono* (ver figura 16).



Figura 16. Máquina de ensayos universales para prueba de tensión.

Para la prueba mecánica de compresión se tomaron cuatro muestras del fruto, cada una fue previamente marcada y pesada. Los resultados de las pruebas arrojados por la máquina están medidos en Newton y pueden estar relacionados a las características del material y a la geometría o estructura interna. Las muestras fueron ubicadas en el centro de los platos que ejercían la fuerza de compresión, esta fuerza era suspendida una vez que la muestra llegase a fracturarse o a tener algún tipo de reacción (ver figura 17).



Figura 17. Máquina de ensayos universales para prueba de compresión.

Para la realización de la prueba de impacto, el ensayo mecánico tuvo que salirse del protocolo debido a que la máquina (péndulo charpy e izod – satec systems) obedece a ciertas normas para las probetas que tienen medidas estándar, probetas que por la morfología del fruto no se pudieron obtener. Sin embargo se sacaron muestras en forma de casquetes que se pudieron ajustar para realizar la prueba, es importante mencionar que los resultados finales muestran variabilidad debido al tipo de muestra, esto va ligado al largo y al espesor (ver figura 18).



Figura 18. Muestras de la olla de mono para prueba de impacto.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según las observaciones realizadas en cada muestra se pudieron hacer descripciones morfológicas de acuerdo a las partes seleccionadas (ver figura 12).

Parte interna: Superficie rugosa con puntos blancos de apariencia brillante que esconde un tejido de fibras desordenadas y cortas (ver figura 19).



Figura 19: Muestra del fruto de la *Olla de mono* – Parte interna – Puntos blancos de apariencia brillante.

Parte externa: Superficie amorfa que posee un entremallado de fibras cortas y blancas de apariencia brillante (ver figura 20).



Figura 20. Muestra del fruto de la *Olla de mono* – Parte externa – Fibras cortas.

Sección transversal 1 y 2: Superficie amorfa con una especie de estructura hexagonal de apariencia brillante y esponjosa (ver figura 21).



Figura 21. Muestra del fruto de la *Olla de mono* – Sección transversal 1 y 2 – estructura hexagonal.

Como primeros datos se tiene que la estructura interna parece ser de conformación hexagonal (sección transversal 1 y 2), en la parte interna existe un patrón de puntos que puede obedecer al rastro que deja el crecimiento de células vegetales y finalmente en una de las capas del fruto se observó un entremallado de fibras cortas y delgadas (ver figura 22).

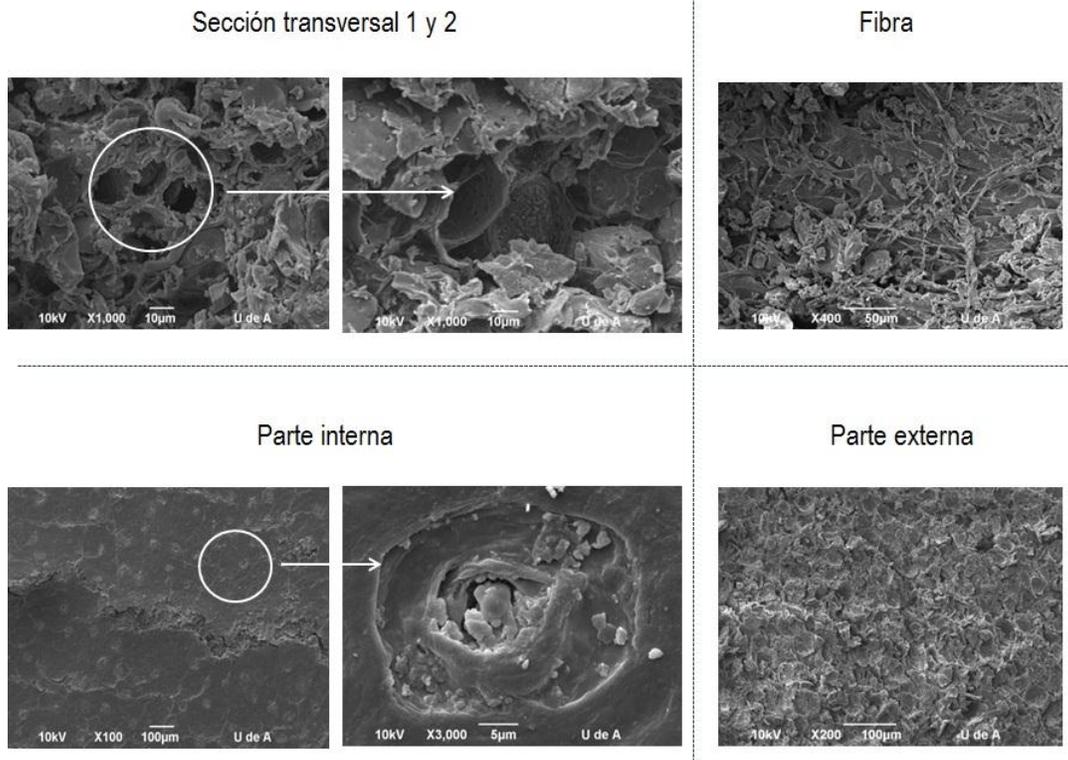


Figura 22. Imágenes obtenidas a través de microscopio electrónico de barrido (SEM).

Morfológicamente hablando se describe al fruto de la *Olla de mono* como un sólido hueco, con forma de capsula leñosa de borde grueso con dos o más celdas internas que se encargan de contener las semillas. Se conoce que el fruto cuelga al final de las ramas del árbol y que además es de color marrón. Otra descripción propone que su forma corresponde a la de una pequeña olla con reborde grueso con la parte apical (extremo superior) en forma de tapa, la cual se desprende del fruto cuando este alcanza la etapa de madurez, este proceso natural de desprendimiento es conocido como dehiscencia (Ver figura 23).

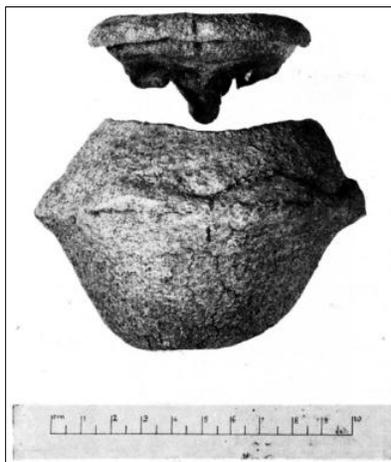


Figura 23. Vista frontal del fruto maduro.

En geometría la forma del fruto corresponde a la formación de una esfera, por lo tanto si se fuera a realizar una construcción del fruto geoméricamente hablando podría recurrirse a la teoría de las figuras de revolución, de las cuales se conoce que su desarrollo se compone de “casquetes”.

Luego al realizar cortes justo por la mitad del fruto se encontró una composición de curvas, las cuales fueron directamente relacionadas con la curva catenaria, la cual describe una cadena suspendida por sus extremos, sometida a un campo gravitatorio uniforme (Ver figura 24).

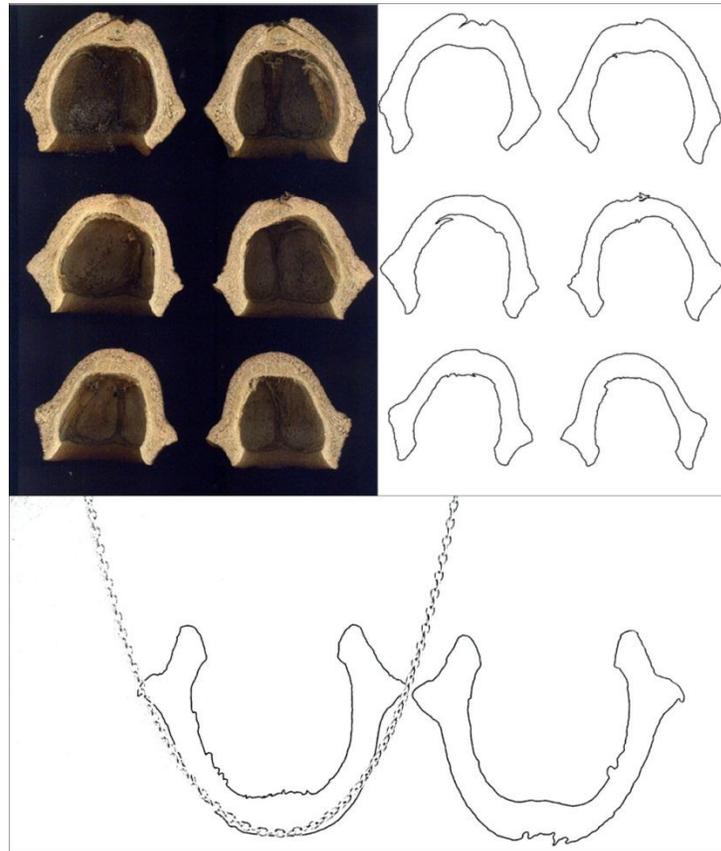


Figura 24. Vectores de la curva en el fruto de la *Olla de mono* y curva catenaria.

En el interior de la olla de mono se encontró además una capa interna (delgada y frágil) que está por encima de un entremallado de fibras muy cortas y delgadas. (ver figura 25).

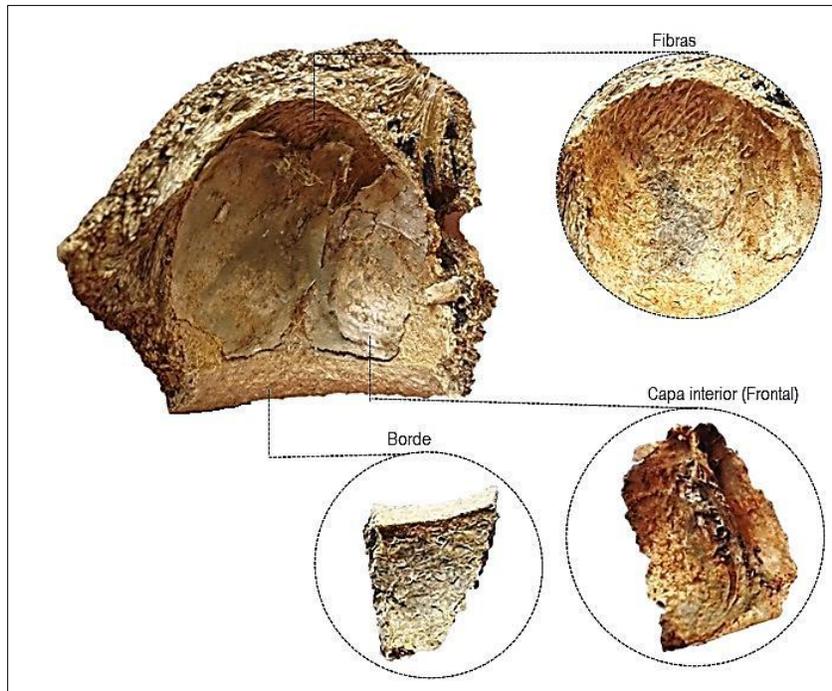


Figura 25. Fibras y capa interna en el fruto.

Según las pruebas mecánicas de tensión, compresión e impacto realizadas al fruto se logró obtener los siguientes resultados:

1. Tensión (ver figura 26).

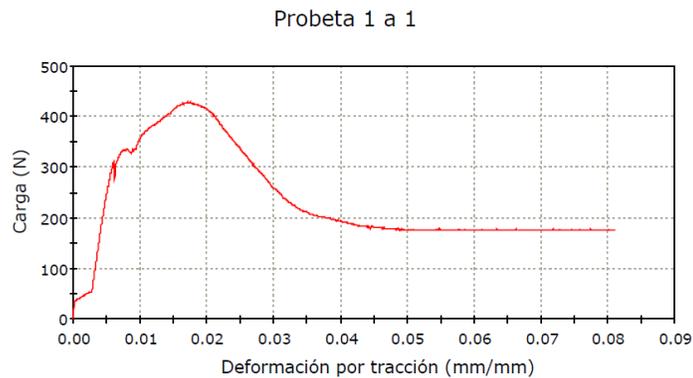


Figura 26. Grafica deformación por tracción – Muestra del fruto de la *Olla de mono* soporta carga de 40 kg.

Se puede concluir que la muestra pudo soportar una carga de 40 kg, por otro lado al retirar la muestra de las tenazas se observó que la dirección de las cargas (aplicadas desde los extremos) produjo en la muestra una fractura de 1 mm de espesor en todo el centro (ver figura 27).

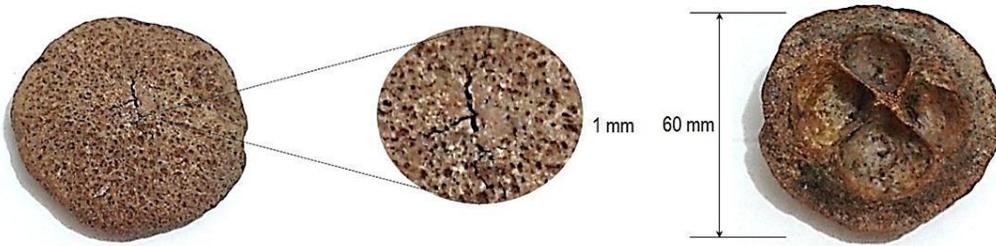


Figura 27. Muestra del fruto con medidas – Vista de fractura después de la prueba.

## 2. Compresión (ver figura 28).

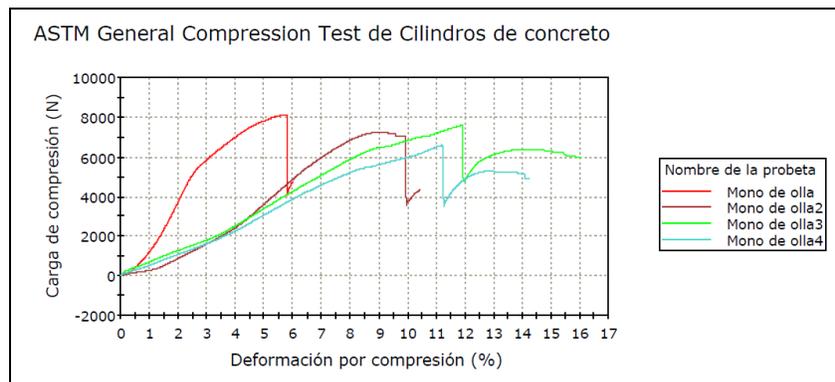


Figura 28. Resultados prueba de compresión – Muestras 1, 2, 3 y 4.

Se pudo evidenciar que el objeto de estudio genera gran resistencia a la fuerza de compresión, al soportar 800 kg. Esto puede estar ligado a diferentes factores tales como el material, la estructura interna o las propiedades de la curva catenaria que se forma en posición invertida.

Además se pudo identificar que los resultados en las cuatro pruebas de compresión realizadas, tienen muy poca variación. Esto puede ser debido a las características del material y la geometría del fruto (ver figura 29).



Figura 29. Fractura de las muestras después de la prueba de compresión.

Tabla 3. Resistencia a la fuerza de compresión.

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
8.108 N	7.279 N	7.616 N	6.580 N
827,3 kg	742,7 kg	777,1 kg	671,4 kg

Se analizó el tipo de falla presentada como resultado de la prueba de compresión, así como también la dirección, ubicación y características de ésta (ver figura 30). La fractura comienza en la parte superior del fruto, desde el polo superior hacia el borde, es decir, desde donde se aplica la compresión, hasta la base. La ubicación es en los husos geométricos y aumenta la medida de su separación en relación directa a la proporción entre el diámetro y el alto de la muestra, es decir, que en cuanto mayor sea la razón entre el alto y el diámetro, mayor es el promedio de separación en la fractura.

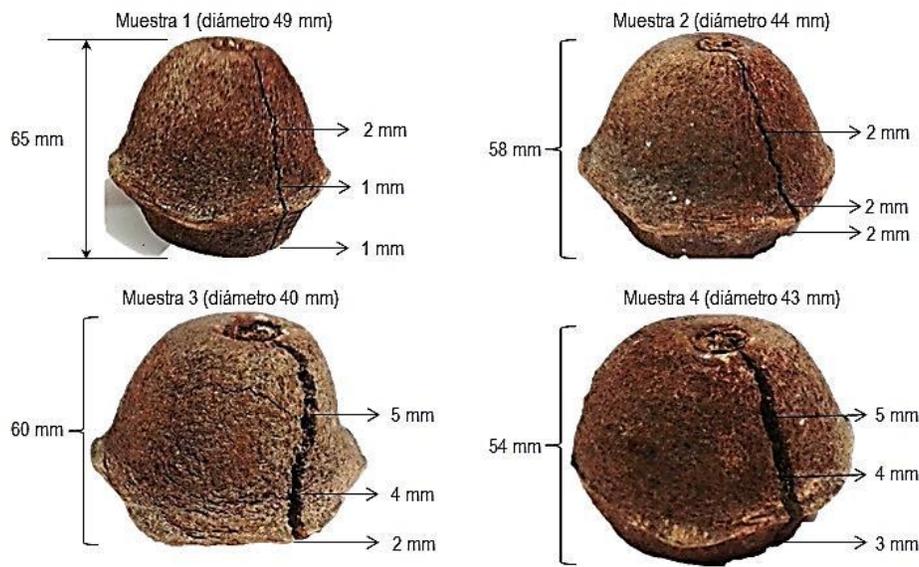


Figura 30. Tipo de falla presentada como resultado de la prueba de compresión.

Otro dato que se pudo obtener de la prueba de compresión fue la pendiente de la curva a causa de la carga que generaba la deformación, lo que dio una idea de la rigidez de la estructura del fruto (ver figura 31).

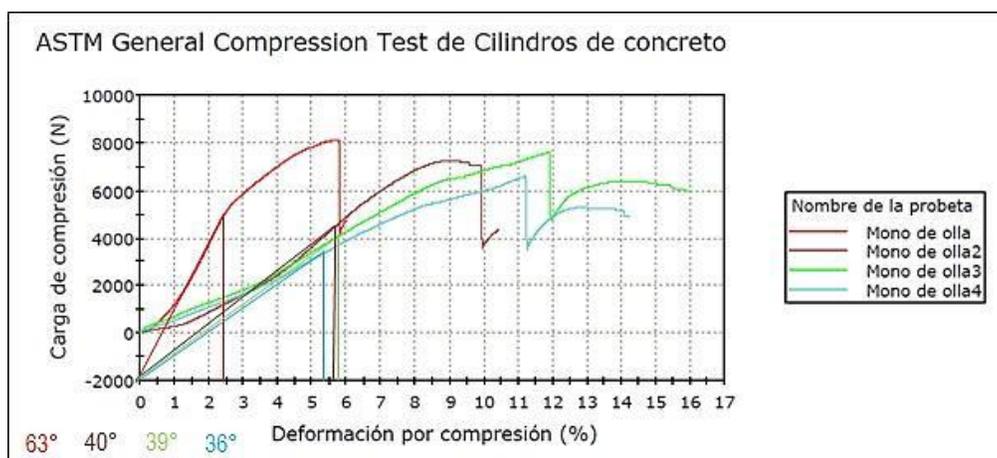


Figura 31. Prueba de compresión – Desviación estándar en las muestras 1, 2, 3 y 4.

### 3. Impacto



Figura 32. Tipo de fractura en la muestra por prueba de impacto.

La dirección de la fractura se sitúa cercana a la mitad de la muestra y se caracteriza por ser un corte diagonal (Ver figura 32). Por otro lado, de esta prueba se pudieron obtener los siguientes resultados relacionados directamente al espesor de las muestras, es decir, entre más espesor tuviera la muestra, mayor sería el resultado final, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados prueba de impacto y medida relativa de la capacidad de absorber impactos por unidad de longitud o espesor.

Muestra	Espesor en mm en A	Espesor en mm en B	Resultado en pies por libras
1	14	9	0,37
2	12	9	0,32
3	11	8	0,24
4	15	9	0,43
5	11	10	0,22
6	13	10	0,36
7	N/A	N/A	N/A
8	11	10	0,27
9	12	10	0,22
10	15	12	0,72

Muestra	A.B	Energía / A.B
1	126	0,0029
2	108	0,0029
3	88	0,0027
4	135	0,0031
5	110	0,002
6	130	0,0027
7	N/A	N/A
8	110	0,0024
9	120	0,0018
10	180	0,004

## CONCLUSIONES

- El fruto en su forma interna obedece a una composición de curvas que han sido relacionadas con la curva catenaria, patrón que ha sido transferido con éxito al diseño artificial en múltiples ocasiones por su desempeño estructural.
- Se encontró una relación entre la proporción entre diámetro y el alto del fruto y el tipo de fractura generado por las cargas de compresión. Esta relación indica que entre más cercana a la unidad sea la proporción menor es el ancho de la fractura.
- La simetría, la proporción dimensional y la geometría de la generatriz del fruto son las variables morfológicas que se pueden asociar al desempeño mecánico observado. Además, la configuración del material en la que se identificaron diferentes capas y la presencia de sustratos fibrosos podrían también estar asociadas a la capacidad estructural caracterizada.
- La configuración jerárquica de los materiales y el patrón morfológico catenario pueden ser usados como referencia funcional y formal para el diseño de cascos de ciclismo. La manera en que el fruto estudiado distribuye las cargas y reacciona ante ellas, puede compararse con el requerimiento funcional que tendría este tipo de sistemas de seguridad.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este proyecto está principalmente dedicado a los padres de familia que fueron la guía en el proceso de formación, permitiendo en gran medida y con su esfuerzo que lleváramos a cabo los estudios cursados y que hoy en día nos abren las puertas a un gran número de oportunidades.

Agradecemos a nuestros maestros que enseñaron con tanta dedicación el valor del conocimiento y de la superación, muy especialmente a los docentes *Andrés Valencia* y *Natalia Trujillo* por ser siempre un apoyo incondicional en el crecimiento académico y por ser un ejemplo de dedicación a seguir.

## **GLOSARIO**

**Morfología:** Es la disciplina encargada del estudio de la estructura de un organismo o sistema en un contexto comparativo.

**Anatomía:** Ciencia que estudia la estructura, forma y relaciones de las diferentes partes del cuerpo de los seres vivos.

**Absorción:** Fenómeno de amortiguamiento de una onda por el que parte de la energía que transporta es absorbida por el medio en el que se propaga, debido al rozamiento.

**Impacto:** Es el choque de un objeto contra algo.

**Ligereza:** Cualidad de la cosa que pesa poco.

**Plegable:** Se aplica al objeto que puede ser plegado o doblado sin romperse.

**Caducidad:** Es la pérdida o extinción de una acción.

**Hioides:** Hueso situado encima de la laringe y debajo de la lengua.

**Lubricante:** Sustancia grasa o aceitosa que se aplica a las piezas de un mecanismo para lubricarlo y hacer que el rozamiento sea menor o más suave.

**Especies:** Conjunto de cosas semejantes entre sí por tener uno o varios caracteres comunes.

**Resistencia:** Oposición a la acción de una fuerza.

## BIBLIOGRAFIA

(2009). Materials of Woody origin. El Tangar. Proyecto La Bastida.

Zuidema, P.A. and Boot, R.G.A. (2002) Demography of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. *Journal of Tropical Ecology*, **18**: 1-31.

Sun, S., et al. "Properties, biosynthesis and processing of a sulfur-rich protein in Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H.B.K.)." *Eur. J. Biochem.* 1987 Feb 2; 162(3): 477-83.

Flores. E.M 1994. olla de mono. Monkey pot. Árboles y semilla del Neotrópico (Costa Rica) V3 (2) 57 – 79.

Jiménez, Q. 1999. Árboles maderables en peligro de extinción en Costa Rica. 2 edición. Instituto Nacional de biodiversidad. 163p.

Ciencia y educación. Pájaro carpintero + papel = casco salva – vidas. Un casco de papel para proteger mejor a los ciclistas. Taringa.

Factor Noticia. Marzo 22, 2013. Tecnología casco Kranium por Anirudha Surabhi.

Miércoles 08/20/2008. Banco de objetos de aprendizaje y de información. Olla de mono. Olleto – *Lecythis minor* jacq.

Mario Pinedo. Miercoles 25 de agosto de 2010. Olla de mono. Otra especie promisoría de la gran fitodiversidad Amazónica.

Webmaster. *Lecythis minor* jacq. Nombre común: Olla de mono.

Kerdel Vegas Francisco: The depilatory and cytotoxic action of “coco de mono” (*lecythis ollaria*) and its relationship to chronic seleniosis economic Botany 20,187, 1966.

Universidad de Antioquia. (2008). Olla de mono, olleto - *Lecythis minor* Jacq. Tomado de: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/ova/?q=node/551>

Carma producciones. (2010). Olla de mono. Tomado de: <http://mariopinedo.blogspot.com/2010/08/olla-de-mono.html>

Jiménez, Q. (1999). *Lecythis* ampla Miers . Tomado de: <http://darnis.inbio.ac.cr/ubis/FMPro?-DB=ubipub.fp3&-lay=WebAll&-error=norec.html&-Format=detail.html&-Op=eq&id=2162&-Find>

Montans, A. (2012). Una solución biomimética para proteger frente a choques. Tomado de: <http://biomimetica.biomimetiks.com/2012/08/02/una-solucion-biomimetica-para-proteger-frente-a-choques/>

Pérez, J. (2013). Color y diseño se suman a la seguridad del casco. Tomado de: [http://www.elcolombiano.com/BancoConocimiento/C/color\\_y\\_diseno\\_se\\_suman\\_a\\_la\\_seguridad\\_del\\_casco/color\\_y\\_diseno\\_se\\_suman\\_a\\_la\\_seguridad\\_del\\_casco.asp](http://www.elcolombiano.com/BancoConocimiento/C/color_y_diseno_se_suman_a_la_seguridad_del_casco/color_y_diseno_se_suman_a_la_seguridad_del_casco.asp)

Cesmec. (2013). Cascos de seguridad: ¿qué cuidados debo tener? Tomado de: <http://www.cesmec.cl/noticias/Certificacion/cascos1.act>

(2011). Cascos de protección. Tomado de: <http://www.insht.es/EPI/Contenidos/Promocionales/Proteccion%20de%20cabeza/Promocional%20a%20Contenido/Fichas%20seleccion%20y%20uso%20de%20equipos%20nivel%202/ficheros/Cascosdeproteccion.pdf>

(2013). Prevención y protección, materiales de calidad, estructura in mold-technology, diseño. Tomado de: <http://www.rudyproject.es/technologies/cascos/protection.html>