

INVESTIGACIÓN DE PATOLOGÍA EN GUADUA DEL PARQUE JARDÍN  
BOTÁNICO JOSE CELESTINO MUTIS

SINDY CAROLINA SOSA MONTIEL  
DIANA CÁTERIN SÁNCHEZ TRUJILLO



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
TECNOLOGIA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTONICAS  
PROYECTO DE GRADO  
BOGOTA – COLOMBIA  
05 DE DICIEMBRE DE 2018

INVESTIGACIÓN DE PATOLOGÍA EN GUADUA DEL PARQUE JARDÍN

BOTÁNICO JOSE CELESTINO MUTIS

SINDY CAROLINA SOSA MONTIEL

DIANA CÁTERIN SÁNCHEZ TRUJILLO

Monografía de Grado para optar al título de Tecnólogo en Construcciones

Arquitectónicas

Arq. Nelson Ricardo Cifuentes Villalobos

Coordinador PTCA

Arq. Walter Barreto

Docente de Proyecto

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

TECNOLOGIA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTONICAS

PROYECTO DE GRADO

BOGOTA - COLOMBIA

05 DE DICIEMBRE DE 2018

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma Director Trabajo de Grado**

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bogotá D.C., diciembre 2018**

*Dedico este trabajo a .....*

***Sindy Sosa***

*Dedico este trabajo a .....*

***Diana Sánchez***

## TABLA DE CONTENIDO

<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	1
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	2
<b>LISTA DE ECUACIONES</b> .....	5
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	6
<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>PALABRAS CLAVE</b> .....	8
<b>ABSTRACT</b> .....	9
<b>KEY WORDS</b> .....	10
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	11
<b>Pregunta problema</b> .....	14
<b>Objetivo general</b> .....	14
<b>Objetivos específicos</b> .....	14
<b>METODOLOGÍA</b> .....	15
<b>MARCO DE REFERENCIA</b> .....	16
<b>Paleobotánica y etimología del Bambú.</b> .....	16
<b>Taxonomía de la Guadua (<i>angustifolia Kunth</i>).</b> .....	16
<b>Propiedades Físico - Mecánicas.</b> .....	19
<b>Patología de la guadua</b> .....	20
<b>Factores que intervienen en la patología de maderas.</b> .....	23
<b>Estructura.</b> .....	23
<b>Composición química.</b> .....	23
<b>Humedad.</b> .....	24
<b>Durabilidad natural.</b> .....	25
<b>Permeabilidad.</b> .....	26
<b>Fotodegradación.</b> .....	27
<b>Clases de lesiones que derivan de la fotodegradación.</b> .....	29
<b>Agentes de origen abiótico:</b> .....	29
<b>Agentes de origen biótico.</b> .....	31
<b>Características anatómicas del culmo de la guadua <i>Angustifolia kunth</i> ...</b> 32	
.....	34
<b>Ejemplo de fotodegradación jardín Botánico José Celestino Mutis.</b> .....	36
<b>Componente estructural</b> .....	38
<b>Conectores para las estructuras en guadua</b> .....	38
<b>Pernos.</b> .....	42

<b>Puente de guadua Jardín Botánico Bogotá</b> .....	43
<i>Exploración Fotográfica fotodegradación</i> .....	43
<b>MARCO GEOGRÁFICO</b> .....	44
<b>Bogotá</b> .....	44
<b>Clima de Bogotá</b> .....	45
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	48
Zona afectada por fotodegradación.....	48
Planos mano alzada, comparación de diseño inicial y diseño con aumento de alero, proyectando la sombra .....	49
Fotografía en laboratorio (heliódón) .....	52
Carta solar .....	53
<b>Resultados</b> .....	53
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	55
Bibliografía .....	57
<b>ANEXOS</b> .....	59
<b>Planos acotados</b> .....	63
Corte estructural .....	63
alzado longitudinal .....	64
<i>Planta estructural</i> .....	65
Alzado longitudinal.....	65
planta suelo estructural.....	66
<b>Construcción de maqueta intervenida</b> .....	66
corte frontal maqueta expuesta al sol ubicada a 45° al norte .....	67
Puente de guadua jardín botánico José Celestino Mutis Sketchup .....	67
Maqueta en el heliódón .....	68

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la guadua .....	16
Tabla 2. Propiedades Físico - Mecánicas.....	19
Tabla 3. Propiedades Físico - Mecánicas .....	19
Tabla 4. Composición química de las maderas.....	24
Tabla 5. Permeabilidad en tallos de Guadua.....	27
Tabla 6. Resultados de la fórmula de soleación.....	53
Tabla 7 ficha técnica teja shingle .....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Toma de agua por madera. ....	25
Figura 2. Patologías causadas por la Fotodegradación .....	28
Figura 3, relación de carga eléctrica en madera.....	28
Figura 4 Estructura anatómica del culmo de Guadua angustifolia: a. seccion transversal y B . detalle .....	33
Figura 5 Corte transversal del culmo de Guadua angustifolia: a. corteza; segundo. detalle de los estomas; do. detalle de célula de sílice (100X).....	34
Figura 6 Guaduas en estado de fotodegradación. ....	35
Figura 7 Costado derecho puente de guadua Jardin Botanico Jose Celestino Mutis .....	36
Figura 8 enfoque Costado derecho puente de guadua Jardín Botánico José Celestino Mutis .....	37
Figura 9 lustración 5 parte inferior puente de guadua Jardín Botánico José Celestino Mutis .....	37
Figura 10 corte boca de pescado .....	38
Figura 11 elementos conectores para guadua.....	39
Figura 12 encuadre de unión sin elementos conectores .....	39
Figura 13 Unión con biselo boca de pescado (Foto. Eugenia González C. 2009)40	
Figura 14 Conector boca de pescado y amarre en alambre.....	40
Figura 15 unión boca de pescado Jardín Botánico José Celestino Mutis .....	41
Figura 16 enfoque de pernos en puente de guadua Jardín Botánico José Celestino Mutis .....	42
Figura 17 Lado transversal del puente .....	43

Figura 18 encuadre detalle de base en guadua foto degradada .....	43
Figura 19 ángulo de picada, detalle fotodegradación y reflejo del lago .....	44
Figura 20 Promedio Precipitación Bogotá .....	46
Figura 21 Promedio temperatura Bogotá .....	46
Figura 22 Promedio humedad Bogotá .....	46
Figura 23 Promedio brillo solar Bogotá.....	46
Figura 24 Promedio horario de radiación (Wh/m2).....	47
Figura 25 plano en pdf del puente de guadua Jardín Botánico José Celestino Mutis señalando zona afectada por fotodegradación.....	48
Figura 26 plano a mano alzada, comparación de recubrimiento de sombra 9 am 21 de junio.....	49
Figura 27 plano a mano alzada, comparación de recubrimiento de sombra 10 am 21 de junio.....	50
Figura 28 plano a mano alzada, comparación de recubrimiento de sombra 2 pm 21 de diciembre .....	50
Figura 29plano a mano alzada, comparación de recubrimiento de sombra 3 pm 21 de diciembre .....	51
Figura 30plano a mano alzada, comparación de recubrimiento de sombra 4 pm 21 de diciembre .....	51
Figura 31maqueta a escala expuesta a la luz del heliodón.....	52
Figura 32. carta solar Bogotá .....	53
Figura 33 adiconamiento de alero en teja shingle.....	54
figura 34 referencia entre piso y base en guadua .....	62
figura 35 costado este del puente de guadua.....	62

figura 36 corte estructural .....	63
figura 37 23alzado longitudinal .....	64
figura 38Planta estructural .....	65
figura 39 Alzado longitudinal .....	65
figura 40 26 planta suelo estructural .....	66
Figura 41parte lateral de maqueta representativa.....	66
Figura 42 corte frontal maqueta .....	67
Figura 43 puente guadua en formato sketchup .....	67
Figura 44 y 45 maqueta expuesta en el heliodón .....	68

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ley de Darcy .....	26
--------------------------------	----

## LISTA DE ANEXOS

anexo 1 entrevista John Jairo Velásquez encargado del mantenimiento del Jardín Botánico José Celestino Mutis. ....	59
anexo 2 fotografía puente guadua ( hora 9 am) validación de impacto solar .....	60
anexo 3 fotografía puente guadua ( hora 10 am) validación de impacto solar .....	60
anexo 4 fotografía puente guadua ( hora 3pm) validación de impacto solar, de norte a sur .....	61
anexo 5 fotografía puente guadua ( hora 4pm) validación de impacto solar, de norte a sur .....	61

## RESUMEN

Este trabajo investigativo y analítico sobre el puente de guadua, cuyo enfoque es la fotodegradación. Inicialmente, surge de la hipótesis sobre el diseño por prevención del puente de guadua del jardín botánico José Celestino Mutis, ubicada en la ciudad de Bogotá, Colombia. Se plantea aumentar el alero para evidenciar la viabilidad y probabilidad de aumento de sombra evitando el acrecimiento de la fotodegradación de la guadua *Angustifolia Kunth* del impacto directo de rayos ultravioleta del sol. Esto corresponde a un 25%, agregando el impacto indirecto por parte del lago que lo rodea de un 15%.

El uso de la guadua como material estructural – sostenible no ha tenido mayores investigaciones encaminados a la prevención de la fotodegradación, en la investigación se determina que esta patología no genera un impacto directo mecánicamente, pero, esto genera lesiones secundarias como lo son las fisuras, bacterias, y/o plagas. Esto provoca alteraciones en las partes interiores de la guadua perdiendo la capacidad de resistencia. Teniendo en cuenta que el puente a investigar se encuentra alrededor de un lago siendo más atractivo para este tipo de agentes bióticos.

Por ende, se realiza un análisis de diseño, recopilando información de mantenimiento, fotografías con detalles de la patología, para evidenciar a vista su progreso; levantamiento de datos para la creación de planimetría, ubicación, datos de radiación solar en Bogotá, Colombia, simulación de sombra en el programa sketchup y una revisión bibliográfica, para llegar a la viabilidad de la misma

propuesta, comparando si el aumento del alero con el diseño inicial logra dar sombra a los lugares críticos del puente estudiado, alcanzando la hipótesis y concluyendo recomendaciones a futuros investigadores.

### PALABRAS CLAVE

*Guadua Angustifolia Kunth*

Bambúes de Colombia

Fotodegradación en guadua

Prevención por diseño en puentes de guadua

Radiación solar

## ABSTRACT

*This investigative and analytical work on the guadua's bridge, whose focus is photodegradation. Initially, it arises from the hypothesis about the prevention design of the guadua's bridge on the botanical garden José Celestino Mutis, located in the city of Bogotá, Colombia. It is proposed to increase the eaves and demonstrate the feasibility and probability of increasing the shade to avoid the photodegradation accretion of the Angustifolia Kunth's Guadua from the direct impact of the sun's ultraviolet rays. This corresponds to 25%, adding the indirect impact of the lake that surrounds it 15%*

*Guadua's use as a sustainable structural material has not had major investigations aimed at the prevention of photodegradation, in the research it is determined that this pathology does not generate a mechanically direct impact, but this generates secondary injuries such as cracks, bacteria, and / or pests. This causes alterations in the interior parts of guadua losing the endurance ability. Considering that the bridge to be investigated is located around a lake being more attractive for this type of biotic agents.*

*Therefore, a design analysis is carried out, collecting maintenance information, photographs with details of the pathology, in order to show their progress; data collection for the planimetry's creation, location, solar radiation data in Bogotá, Colombia, shadow simulation in the skepchut program and a bibliographic review, to arrive at the proposal's viability, comparing if the increase of the eave with the initial design manages to shade the critical points of*

*the bridge, to reach the hypothesis and to conclude recommendations for future researchers.*

### **KEY WORDS**

Guadua Angustifolia Kunth

Bamboo of Colombia

Photodegradation in guadua

Prevention by design in guadua bridges

## INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental se puede clasificar según su naturaleza, sean positivos o negativos, totales o parciales y/o temporales o permanentes. En la actualidad el mundo se enfrenta a un verdadero y problemático impacto ambiental, el calentamiento global. Ahora bien, frente a esta problemática la arquitectura busca las construcciones sostenibles como solución de la reducción del impacto ambiental. Las construcciones sostenibles realizadas en maderas disminuyen la emisión de gases de producción, el consumo energético y el uso de combustibles fósiles en comparación con el concreto y acero.

Si se toma la guadua como material sostenible para generar esta investigación que se quiere consultar por medio de una búsqueda bibliográfica sobre la patología en guadua del jardín botánico José Celestino Mutis, proyectando una validación de los impactos directos, las falencias de este material, analizando el porqué de su patología, identificarlas con bases aprendidas en la formación académica. Uno de estos impactos directos es la fotodegradación. La cual es la causante del deterioro de materiales naturales, en la investigación solo se verá reflejada para la guadua, a continuación, se realiza un preámbulo breve a cada interventor de la investigación y la metodología de la misma.

La importancia de la guadua ha tenido un enorme reconocimiento a nivel estructural, este material posee unas propiedades físico-mecánicas que la convierte en un material resistente. La guadua angustifolia, es la guadua nativa de

Colombia, su hábitat natural se remonta en el eje cafetero cuyas propiedades de los suelos son bastante óptimos para el nacimiento de guaduales, estos poseen la cualidad de regular el caudal hidráulico; ayudan a prevenir la erosión de los suelos, gracias a sus ramificaciones subterráneas; también, aporta una gran cantidad de materia viva al terreno y son retenedores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Ahora bien, a fotodegradación es la ruptura de las moléculas de un elemento causado por el efecto de la luz, lo cual ocurre en la guadua a la exposición solar; esta premisa se determina al momento de evidenciar el puente de guadua construido en el jardín botánico de Bogotá, Colombia; la fotodegradación carcome las moléculas dejando la madera (guadua) con una superficie blanquecina o grisácea, también puede generar fisuras y el nacimiento de hongos e insectos los cuales son causales extrínsecos de la pérdida de la resistencia y durabilidad de la guadua. Teniendo en consideración la ubicación del Puente de Guadua José Celestino Mutis, se evidencia otro factor que puede interferir en la durabilidad del material; está ubicado sobre un lago lo cual proporciona la reflexión de rayos solares sobre el puente.

Lo que busca la investigación es observar si una intervención de aumentar el alero del puente se puede reducir el daño producido por la fotodegradación a las guaduas que componen el puente. Metodológicamente, la investigación se centrará en las características del material (guadua), las características del evento (fotodegradación) que genera el daño, y las características del entorno en el que se

encuentra (marco geográfico); la explicación de cada ítem se realizará a través de una recolección bibliográfica. Tomando en consideración el punto de vista de autores se realizará una simulación de fotodegradación en una maqueta acotada del puente aplicando el aumento del alero, para determinar si es una solución viable para la disminución de la degradación de la madera en las instalaciones del laboratorio de luminosidad de la Universidad la Gran Colombia sede central. con el análisis de los resultados, se concluirá la viabilidad de la solución planteada en la pregunta problema de la investigación.

### **Pregunta problema**

¿Es viable el aumento al alero del puente de guadua del jardín botánico de Bogotá, Colombia; para disminuir la fotodegradación de la guadua que lo edifica?

### **Objetivo general**

Estudiar que el aumento del alero del puente de guadua del jardín botánico de Bogotá, Colombia, disminuye avance de la fotodegradación en la guadua que lo edifica.

### **Objetivos específicos**

- Especificar las características y propiedades de las partes involucradas como referencia de la investigación de la viabilidad del aumento del alero del puente de guadua del jardín botánico de Bogotá, Colombia.
- Construir una maqueta y planos acotados de la adecuación del aumento del alero y el entrepiso del puente de guadua del jardín botánico de Bogotá, Colombia.
- Aplicar la fórmula de soleación la viabilidad del aumento en el alero del puente de guadua del jardín botánico de Bogotá Colombia
- Analizar los resultados del laboratorio, concluyendo la viabilidad de la propuesta del aumento del alero y el entrepiso del puente de guadua del jardín botánico de Bogotá, Colombia.

## METODOLOGÍA

Inicialmente en la investigación se realizará una revisión bibliográfica, según el profesor Peña (2010) la revisión bibliográfica consiste en realizar un escrito en donde se evidencie la comprensión de varios escritos y a su vez donde el sujeto que la está ejecutando debe profundizar el entendimiento con un juicio de valor y/o un comentario crítico sobre lo leído. Hay que tener en cuenta que toda la bibliografía debe surgir de diferentes fuentes, con el fin de establecer relaciones o extrapolaciones y esto debe ser explicado en una síntesis. (p.2)

De acuerdo con lo anterior, en esta investigación se basó en la indagación sobre la guadua angustifolia Kunth sus orígenes, su patología, propiedades, lesiones por factores extrínsecos, fotodegradación como lesión principal, su uso arquitectónico, legislación sobre el material y finalizando se indago sobre la ubicación de la estructura a estudiar. Luego, se realizará la construcción de una maqueta y planos acotados de la estructura a estudiar, la maqueta tendrá el aumento del alero de la estructura para determinar la viabilidad de la propuesta, la maqueta intervenida será expuesta para la observación estructural de los jurados.

Aplicando la fórmula de soleación en los planos modificados y los puntos de vista recolectados en la revisión bibliográfica, se determinará la viabilidad de la propuesta y tomar las conclusiones respectivas; en caso de que no sea viable se realizaran recomendaciones para abrir una brecha investigativa sobre la estructura y la posibilidad de disminuir la fotodegradación de la misma.

## MARCO DE REFERENCIA

### Paleobotánica y etimología del Bambú.

El surgimiento del bambú aparece en el periodo cretácica “Comenzó hace 145 millones de años y terminó hace 66,4 millones de años” (Hidalgo - Lopez, 2003) antes del inicio de la era terciaria, Hidalgo – López citando a Berry menciona los hallazgos de fósiles de *Chusquea Rolloti* (Ohrnberger, 1999) cerca a Girardot, los cuales evidencia la importancia de la región andina colombiana para el crecimiento de bambús.

“La palabra bambú surge del malayo *bam boom* la onomatopeya del crujido de las cañas de esta madera cuando son quemadas”. (Hidalgo - Lopez, 2003)

### Taxonomía de la Guadua (*angustifolia* Kunth)

Tabla 1. Taxonomía de la guadua

Taxonomía		Descripción
<b>Superreino:</b>	Eukaryota	Compuestos con células con núcleo
<b>Reino:</b>	Plantae	Seres fotosintéticos
<b>División:</b>	Magnoliophyta	Plantas con flores
<b>Familia:</b>	Poaceae	Plantas herbáceas leñosas
<b>Subfamilia:</b>	Bambusoideae	Una de las familias botánicas más
<b>Supertribu:</b>	Bambusodae	extensas e importantes para el ser humano. Cuando el culmo es leñoso (una caña) su nombre vulgar es bambú. La
<b>Tribu:</b>	Bambuseae	tribu Bambuseae contiene "los bambúes leñosos de clima tropical"
<b>Subtribu:</b>	Guaduinae	
<b>Género:</b>	Guadua	Las Cañazas o tacuaras; fue clasificada
<b>Especie:</b>	<i>G. angustifolia</i>	por Carl Sigismund Kunth en 1822 como

Guadua angustifolia. Se considera como una de las plantas nativas más representativas de los bosques andinos (Colombia, Ecuador)

El descubrimiento de la guadua surge de las

El barón de Humboldt venía a la Nueva Granada... con el propósito de trazar el mapa de la región norte del Amazonas y comparar sus colecciones con las del botánico José Celestino Mutis. Lo que no esperaba encontrar era un equipo tan organizado de herbolarios y pintores trabajando en tan magna empresa. Con la generosidad propia de su espíritu, elogió ampliamente la obra de Mutis y enfatizó su admiración por los trabajos pictóricos. Así lo manifestó también más tarde en la correspondencia que sostuvo con Don José Celestino Mutis (Fajardo de Rueda, 1990)

**Investigadores:** Alexander von Humboldt & Aimé Bonpland

---

**Fuente:** (Africa Museum, s.f)

Menciona Villegas (2003); La guadua latinoamericana cubre las extensiones desde san Luis de Potosí en México hasta el norte de Argentina con excepción de Chile y las islas caribeñas; en la amazonia se encuentran cuarenta y cinco especies de guadas/bambúes. En Colombia las guadas principales que se presentan en la región andina son *Guadua angustifolia Kunth* y *guadua latifolia*.

Como se menciona anteriormente las guaduas colombianas se centran en la región andina específicamente en el eje cafetero donde las temperaturas (entre 17°C y 26°C) y altitudes (de 500 a 1500 metros). (Villegas, 2003);

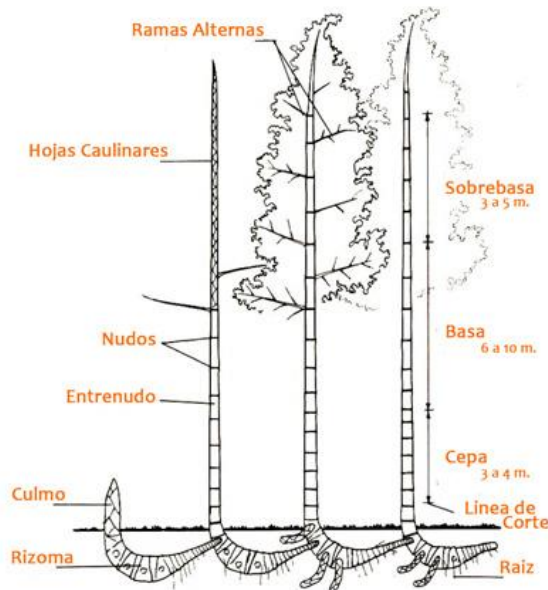


figura 1, Partes de la caña de guadua  
Fuente: (Bambusa.es, s.f.).

Sus partes son fundamentales para la aplicación de las cualidades mencionadas anteriormente. Generalmente los tallos de guadua miden 20 metros de altura, el cual se distribuyen en tres partes principales: la *Sobrebasa* es de la sección más alta de la caña, esta se convierte en la receptora de CO<sub>2</sub> de la atmosfera y son muy

usadas en la construcción de mobiliario y se usan como vigas en construcciones estructurales; luego en la sección media de la caña se encuentra la *Basa* la cual pese su gran ligereza y gran resistencia permite la creación de edificaciones y/o estructuras. Y la sección final se encuentra la *Cepa* con su superficie gruesa permite la creación de columnas para estructuras y edificaciones.

## Propiedades Físico - Mecánicas.

Tabla 2. Propiedades Físico - Mecánicas.

Unidades en kg/cm <sup>2</sup> <b>MATERIAL</b>	<b>Módulo de elasticidad a tracción</b>	<b>Módulo de elasticidad a compresión</b>	<b>Módulo de elasticidad a flexión</b>
<b>Guadua</b>	190.000	184.000	179.000
<b>Otras maderas</b>	Entre 90.000 y 180.000	Entre 96.000 y 169.000	Entre 108.000 y 128.000

**Fuente:** (Giraldo Herrera & Sabogal Ospina )

Tabla 3. Propiedades Físico - Mecánicas

Unidades en kg/cm <sup>2</sup> <b>Material</b>	<b>Resistencia a Tracción</b>	<b>Resistencia a Compresión</b>		<b>Resistencia a Flexión</b>
		<b>Perpendicular a la fibra</b>	<b>Paralelo a la fibra</b>	
<b>Guadua</b>	430	560	650	740
<b>Aliso</b>	108	68	357	460
<b>Arboloco</b>	Entre 500 y 1500	132	405	390
<b>Otras maderas</b>	1.000	Entre 50 y 144	400	Entre 500 y 720

**Fuente:** (Giraldo Herrera & Sabogal Ospina )

Las propiedades Físico - Mecánicas son directamente proporcionales, estas se expresan según las fuerzas extrínsecas del entorno, es decir, el comportamiento depende de la clase de fuerza aplicada en la estructura del material. Estas propiedades determinan si el material es apto para la construcción de estructuras, artesanías, entre otros. Si el enfoque del material es completamente para construcción las pruebas de durabilidad, gravedad, peso específico, resistencia mecánica (hugs,1979). La guadua está caracterizada por ser un material liviano económico, y de fácil desarrollo. Estas pruebas se encuentran reglamentadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC y las normas de la American Society for Testing and Materials ASTM, las cuales serán descritas en el marco legal. (INCONTEC,2003, p168) ( ASTM, 1975, p 23)

Continuando con la descripción Físico – Mecánica de la guadua *angustifolia* Kunth; en las tablas 2 y 3, representan algunos valores de resistencia frente a otros materiales para la construcción. El esfuerzo se expresa con base a la unidad media del área, y funciona para determinar la cantidad de esfuerzo que necesita el material para someterse a la fuerza aplicada por el agente externo. Al igual que las medidas de la resistencia a la compresión, flexión y tracción.

### Patología de la guadua

Un estudio patológico busca determinar los trastornos anatómicos y fisiológicos de un sujeto, es decir, lo que busca generalmente son las enfermedades que sufre un ser vivo y encontrar posibles soluciones al padecimiento. Como menciona Broto (2006) la patología botánica, como el resto de las patologías, utiliza el método científico para determinar las enfermedades del sujeto. Contextualizando en el material de la investigación, para aplicar la patología se debe: detectar, identificar la lesión y/o enfermedad de la guadua para ver su evolución; luego la documentación y planimetría de la investigación, a su vez se realiza la toma de muestras de la lesión/enfermedad; con estas muestras se realizan varios estudios de posibles patógenos externos, entonces se determinan de acuerdo a los tipos: ambientales, biológicos, mecánicos, químicos, y físicos. Para finalizar la patología se analizan los resultados anteriores y se determina la clasificación de las patologías que afectan el sujeto, en este caso la guadua.

(Broto, 2006)

Se realizará un estudio patológico a la guadua que estructura el puente del jardín botánico José Celestino Mutis, con el fin de analizar el diseño inicial de esta y su afectación por fotodegradación, contribuyendo un cambio en el mismo

diseño para dar la viabilidad de una disminución de esta patología. Carrio,( 1997) analizó que la patología constructiva “*es la ciencia que estudia los problemas constructivos que aparecen en el edificio (o alguna de sus unidades) después de su ejecución*”. (Carrio, 1997) Las diferentes manifestaciones de un problema constructivo, se denominarán Lesiones.

Las lesiones son el aviso de la existencia de un problema. Estas poseen una distinción o clasificación la cual es:

- Lesiones primarias: Dentro del proceso patológico es la que aparece en primer lugar en la secuencia del mismo, son lesiones que aparecen sin lesiones previas
- Lesiones secundarias: es la que dentro del mismo proceso surge como consecuencia de una lesión anterior.

Generalmente una lesión es origen de otras, y éstas no aparecen solas, suelen confundirse entre sí. Es muy importante calificar o identificar cuales aparecieron primero y cuales son consecuencia de las anteriores, esto dependerá de cada proceso patológico.

Las lesiones poseen una clasificación dependiendo su lesión o nivel:

- Leve
- Moderada
- Severo
- Grave

De aquí mismo se deriva unos tipos de lesiones según su causa u origen:

- Física

- Mecánicas
- Químicas

Dentro de los procesos patológicos se debe actuar sobre la causa. La causa se puede entender como el consecuente de la aparición de lesiones primarias y de ellas secundarias, es decir es un agente que origina un proceso patológico, en este caso si lo comparamos con la medicina el síntoma de la enfermedad sería la lesión, pero quien la origina es por ejemplo un virus es decir la causa, para acabar con el proceso patológico con la enfermedad se debe atacar el origen de la es decir el virus (causa) de la lesión así queda resolver del todo el problema patológico.

Para complementar lo anterior es las causas se clasifican según unos tipos como son:

- Directas: Estas son aquellas que no se pueden evitar, constituyen en origen inmediato del proceso patológico.
  - Esfuerzos mecánicos.
  - Agentes atmosféricos.
  - Contaminación. etc.
- Indirectas: Estas se pueden evitar
  - Errores o defectos de diseño y construcción.
  - Errores en los detalles constructivos, elección de los materiales, defectos de fabricación o de aplicación.

La problemática patológica de las maderas en si es igual para cada una de ellas desde el pino hasta los bambús. José Rodríguez Barreal (1990) describe los

principales factores que intervienen en la patología de las maderas; estos factores se dividen en: Estructura, composición química, humedad, durabilidad natural y permeabilidad. También indica las clases de riesgo para la madera y los agentes como causantes de las patologías en la madera, este se divide en dos grandes grupos los agentes de origen abiótico: humedad, Cambios climáticos bruscos, contaminantes atmosféricos, insolación y el fuego, luego los agentes de origen biótico: bacterias, algas, hongos xilófagos, hongos cromógenos, hongos de pudrición, i los insectos xilófagos.

### **Factores que intervienen en la patología de maderas.**

#### **Estructura.**

##### *Microestructura.*

La microestructura se refiere a la composición celular del material, puede que desde su nacimiento la madera se posea una deformación genética que convierte al material más susceptible a los cambios climáticos o la soleación.

##### *Macroestructura.*

Esta hace referencia al estado físico de la madera, es decir, la corteza: la capa protectora, el floema el tejido vivo conductor de nutrientes necesarios para el mantenimiento del árbol, el cambium el tejido vivo foque forma las células de la madera la xilema donde se muestran los anillos de crecimiento de los arboles

#### **Composición química.**

La composición química de los arboles principalmente son la celulosa (azucres) aparecen en forma de fibras, las hemicelulosas (polisacáridos) microfibras que se unen con las de celulosa formando la estructura y la lignina que es el agente ensamblador de las fibras y microfibras. En la tabla 4 se refleja la

composición química de las maderas y se ha añadido la madera del estudio para realizar el comparativo entre árboles frondosos (Ej.: Olmos) y coníferos (Ej.: Pinos).

Tabla 4. Composición química de las maderas.

Elementos	Coníferas (%)	Frondosas (%)	Guadua <sup>1</sup> (%)
<i>Celulosa</i>	50 (40–52)	50 (45-52)	59 (-)
<i>Hemicelulosas</i>	26 (23-10)	23 (19-25)	14 (-)
<i>Lignina</i>	24 (22 – 30)	27 (23-31)	27 (-)

Fuente: (Rodríguez Barreal, 1990)

Se evidencia que los intervalos de probabilidad de la celulosa de los árboles frondosos y coníferos no se compara con el aproximado 60% de la guadua, esto se debe a la fibrosidad de la guadua y al bajo porcentaje de las microfibras (hemicelulosas), y el aumento de aislador lignina es acorde con las otras dos clases de árboles, lo que se infiere es que el aumento de fibras y la constante de aislante genera la flexibilidad y durabilidad característica de la guadua.

### Humedad.

La humedad es uno de los factores más comunes de generación de patologías en la madera, el aumento de humedad en el ambiente o la saturación de agua innecesaria para la madera puede producir el aumento del volumen de la misma rasgando fibras y microfibras o también generando hinchazones en el material y/o peor aún la generación de hongos y/o el acercamiento de insectos

perforadores. En la figura 1. Rodríguez Barreal<sup>2</sup> evidencia el punto donde la madera presenta el daño por humedad.

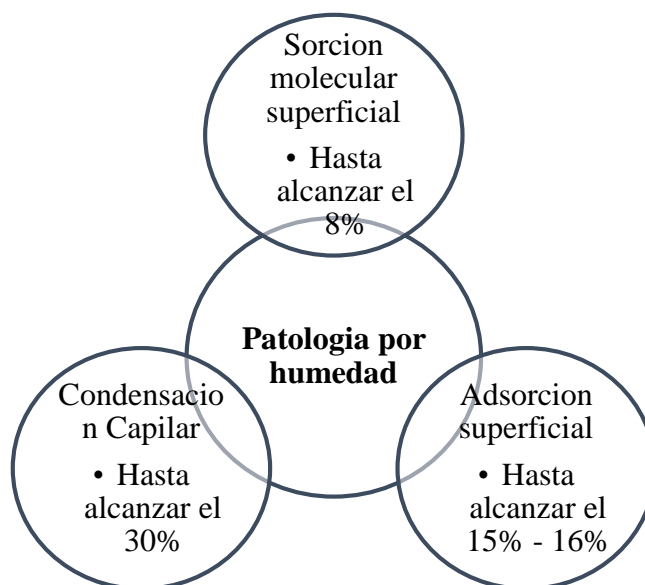


Figura 1. Toma de agua por madera.

Fuente: Elaboración propia con base en (Rodríguez Barreal, 1990)

### Durabilidad natural.

*“La durabilidad de la madera, se define como la resistencia inherente que presenta frente al ataque de organismos destructores”* (Rodríguez Barreal, 1990)

Aunque eso depende de la composición química, su macroestructura unas maderas son más resistentes a climas fríos que otras. Rodríguez Barreal (1990) determina que las maderas se dividen en cinco grupos para la resistencia frente a hongos xilófagos: Muy durables, Durables, Medianamente durables, Poco durables y No durables. Tres grupos para la resistencia frente a insectos isópteros: Muy durable, Medianamente durable y sensible; y para los xilófagos marinos: Durable, medianamente durable y sensible.

## Permeabilidad.

“La permeabilidad mide la capacidad que tienen los líquidos en el material. El número y diámetro de las fibras, es directamente proporcional al grado de permeabilidad. Las fibras de la guadua en general varían entre 40 y 120 micrómetros de diámetro” (MONTROYA A., 2005). Para determinar la permeabilidad de un material se usa la Ecuación 1. Ley de Darcy:

*Ecuación 1. Ley de Darcy*

$$\left[ \frac{V\mu}{tA} \right] = K \left[ \frac{\Delta P}{L} \right]$$

donde:

**K** = Permeabilidad específica del bambú, Darcy.

**ΔP** = Presión a través de la guadua, en atm.

**V** = Volumen del líquido en ml.

**L** = Longitud del tallo.

**t** = Tiempo en segundos

**μ** = Viscosidad, en (dinas x s/cm<sup>2</sup>)

**A** = Área transversal o perpendicular de la dirección del flujo, en cm<sup>2</sup>

En el informe *Preservación de Esterilla y trozas de Bambú, Proyecto Nacional de Bambú*. Se encuentra información experimental sobre el cálculo de permeabilidad de la guadua, realizado en costa rica en el proyecto nacional de bambú; los resultados de la permeabilidad varían dependiendo el tiempo de almacenamiento y los medios que se usen para agregar más permeabilidad (pasar soluciones acuosas por las fibras del material). En a tabla 5 se evidencian los datos de permeabilidad que se realizaron en el estudio. (GONZALEZ, CABRONERO C., & GUTIERREZ, 1991)

Tabla 5. Permeabilidad en tallos de Guadua

Parámetro	Tallos Frescos	Tallos almacenados en agua	Tallos almacenados al aire
Longitud (cm)	311	301	311
Permeabilidad específica	2,9	<b>6.5</b>	0.83

Fuente: (GONZALEZ, CABRONERO C., & GUTIERREZ, 1991)

De esta manera, se sustenta que el almacenamiento de la guadua en agua aumenta los grados de permeabilidad, lo que permite el uso de estas para ingresar selladores para reducir patologías indeseadas en las construcciones de estructuras.

### Fotodegradación.

Degradación de la superficie de la madera por la acción de la radiación ultravioleta del sol. También se conoce como agrisado, aunque en este término hay que tener en cuenta el deslavado por el agua de la lluvia. En maderas al interior, se producen decoloraciones y cambios de tonalidad. (Xylazel, s.f).

Cuando la madera está expuesta a la radiación del sol, inicialmente tiende a tomar una coloración grisácea, esto se debe a que los rayos ultravioletas atacan la lignina lo que provoca el cambio; pero al momento en que la lluvia entra en contacto las fibras de celulosa torna a un color blanco, derivado de esto empiezan a surgir el moho, hongos e insectos que empiezan a reducir la madera. Este proceso no es instantáneo, deben pasar un siglo para que se reduzca entre 1 a 13 mm (Arriaga, Peraza, Esteban, Bobadilla, & Garcia, 2002)

Las estructuras de guadua al exponerse a la fotodegradación presentan dos patologías de las cuales surgen otras cuatro patologías. Como se expone en la figura 3

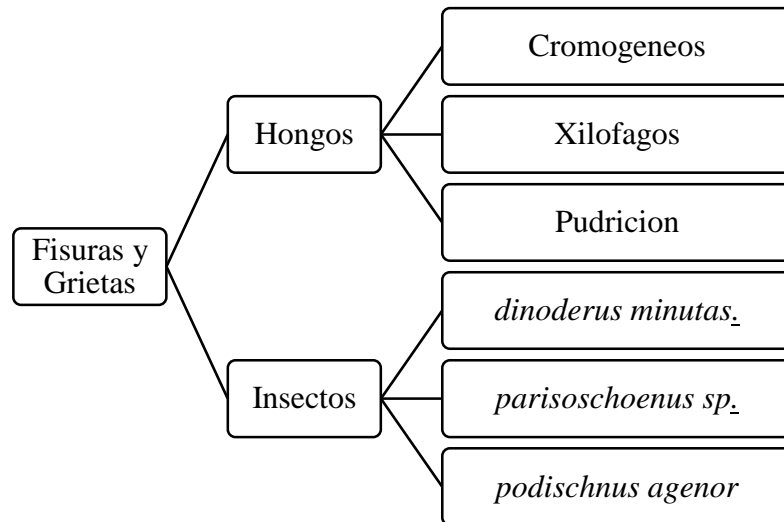


Figura 2. Patologías causadas por la Fotodegradación  
Fuente: (Broto, 2006)

“La fotodegradación se ocasiona en consecuencia a la radiación electromagnética del sol y lo que hace es romper los enlaces de la lignina, generada por una elevada temperatura que origina una cadena de daños”

(Barreto, 2017)

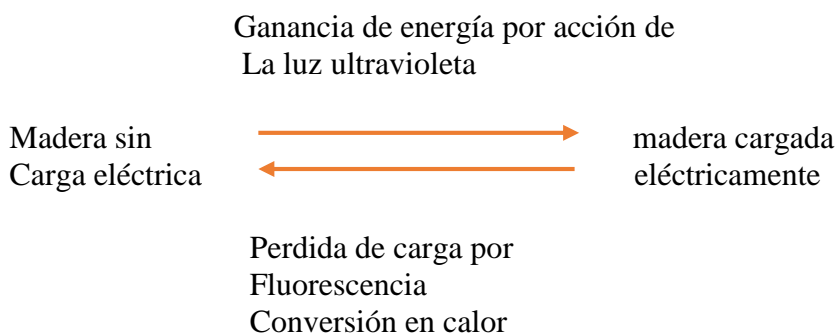


Figura 3, relación de carga eléctrica en madera  
Fuente: (Seminario internacional de construcciones vernáculas, Barreto, 2017)

## Clases de lesiones que derivan de la fotodegradación.

La madera en sí es un material perecedero, es decir, que con el tiempo perderá todas sus propiedades estructurales, hay diversos agentes que pueden generar el aumento de este proceso antes de lo debido; entre los agentes patológicos están: Agentes de origen abiótico:

Humedad, Cambios climáticos bruscos, Contaminantes atmosféricos, Insolación y Fuego. Por otra parte, están los Agentes de origen biótico: Bacterias, Algas, Hongos xilófagos. Hongos cromógenos, Hongos de pudrición y los Insectos xilófagos.

### Agentes de origen abiótico:

#### *Humedad.*

Este se describió anteriormente en los factores que intervienen en la patología de la madera. Aun así, hay que tomar en consideración que la acción negativa de la humedad depende del grado de permeabilidad de la madera, también hay que considerar el tipo de agua al cual está expuesta porque el aumento de humedad generara cambios físicos como coloración o la mala torsión de la madera.

#### *Cambios climáticos bruscos.*

Las maderas que se encuentran a la intemperie donde los cambios climáticos son abruptos, sufren patologías por no adaptarse a la velocidad del cambio. Gracias a esto aparecen grietas, las cuales son entradas para otros agentes patógenos como insectos o bacterias.

*Contaminantes atmosféricos.*

Los contaminantes atmosféricos generadores de deposiciones acidas, provocan deterioros físicos o posiblemente reacciones contraproducentes con las enzimas de la madera, creando grietas o hinchazón del material.

*Insolación.*

El material expuesto a la radiación solar directa sufre dos posibles patologías: la decoloración de la madera y/o se desfibrarían de la misma debido a la adición de insolación y los factores climáticos como lluvia y vientos fuertes. Este agente se estudiará más a fondo más adelante, debido a que este agente es el material de la investigación.

*Fuego.*

Este agente es uno de los más peligrosos, debido a que puede eliminar por completo el material. En la tabla 6 se evidencia el proceso de deterioro por fuego (pirolisis)

*Tabla 6. Reacción de la madera frente a la pirolisis respecto a la temperatura.*

<b>Temperatura</b>	<b>Efectos sobre la madera</b>
Hasta 200°C	Sufre deshidratación interna Cerca a los 100°C sufre una ligera carbonización
Entre 200°C y 280°C	Punto de inflamación de la madera Aumento de la pirolisis
Entre 280°C y 500°C	Pirolisis Grande y exotérmica El oxígeno se va generando gases carbonosos y la
Superior a los 500°C	superficie del material torna un color rojo ardiente. Así hasta que se culmine de quemar todo el material.

Fuente: (Rodríguez Barreal, 1990)

## Agentes de origen biótico.

### *Bacterias.*

El índice de impacto patológico de las bacterias es muy bajo, puesto que un daño por bacterias surge a partir de otros agentes patológicos (humedad o es propio de la microestructura)

### *Algas.*

Aquellos materiales que se encuentren en zonas de elevada humedad, y sus cambios son meramente fisiológicos estructurales como: el cambio de color, aumento de absorción de radiaciones solares y el incremento de absorción del agua. (Rodríguez Barreal, 1990)

### *Hongos xilófagos.*

Estos hongos se alimentan de la fibra de celulosa, hemicelulosa y lignina de la madera, esto lo hace por medio de la expulsión de enzimas del hongo. El daño al material varía según el tipo, la humedad, temperatura ambiente y las radiaciones lumínicas. Según estas variables se puede convertir en hongos cromógenos o de pudrición.

### *Hongos cromógenos*

Estos solo alteran la coloración de la madera.

### *Hongos de pudrición.*

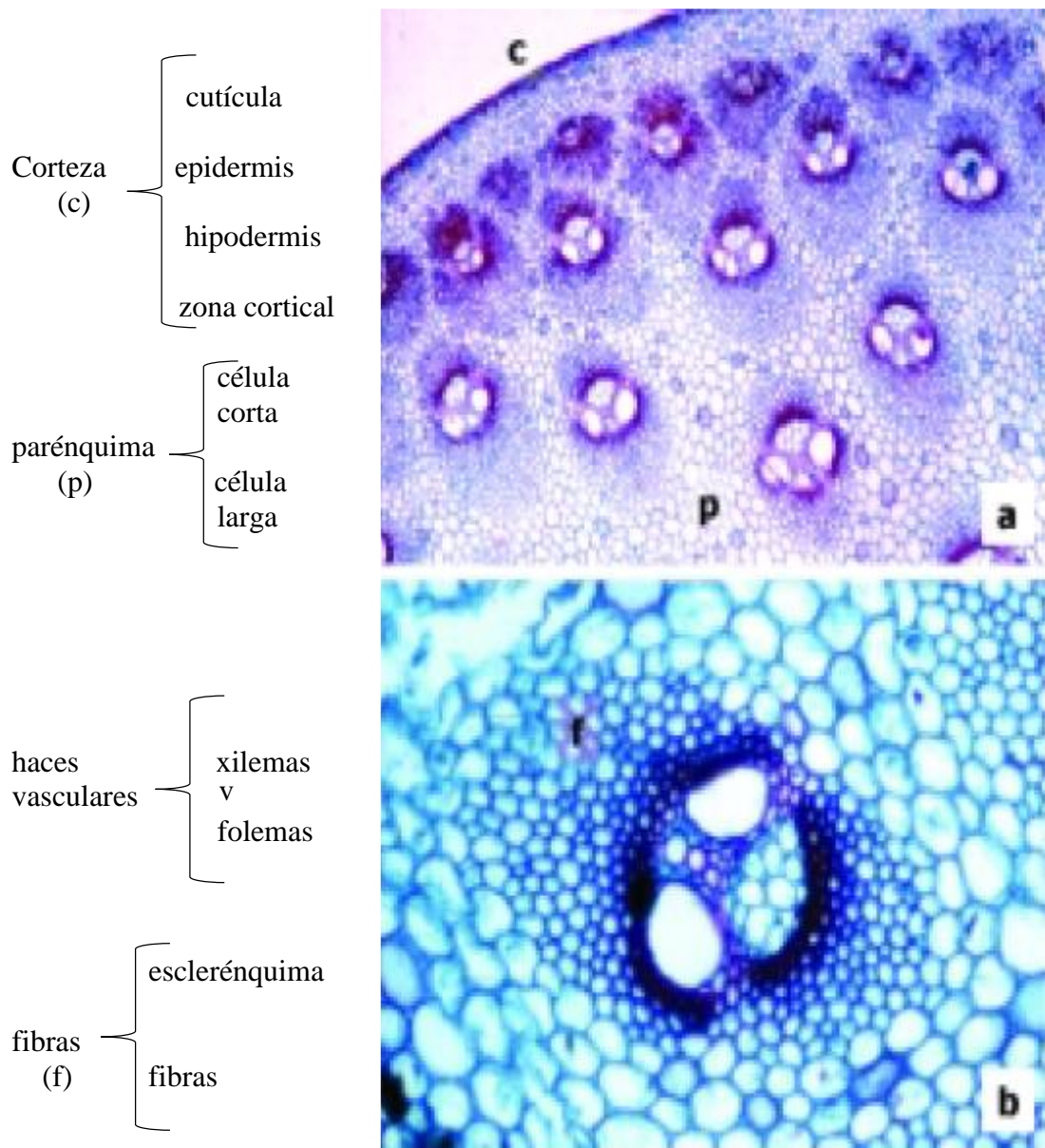
Afectan la composición celular de la madera, los hongos al soltar las enzimas para alimentarse penetran la madera atacando inicialmente a las hemicelulosas y luego a la celulosa y lignina destrozando todo el tejido que componen

### *Insectos xilófagos.*

Al igual que los hongos, los insectos buscan en las maderas un sustento alimenticio o un lugar donde habitar creando agujeros en la madera donde se puede filtrar hongos y/o humedad. La guadua es un material resistente a las termitas, pero si después de cortadas las guaduas poseen humedad será infestado por insectos coleópteros *dinoderus minutus*(gorgojos) y los podischnus agenor entre otros (Díaz, s.f).

### Características anatómicas del culmo de la guadua *Angustifolia kunht*

La guadua *Angustifolia kunht* tiene características anatómicas estables. que no están influenciados por factores de edad, la composición del tejido en el culmo es del 51%. Parénquima, 40% de fibra y 9% de conductividad. tejido; En la epidermis hay una gran concentración de células de sílice que contribuyen a la dureza de su madera; los haces vasculares se clasifican como tipos II y IIa, siendo constantes. a lo largo y ancho del culmo; hay es una correlación directa entre el número de haces vasculares y el porcentaje de fibra; el porcentaje relativo de área de fibra es mayor en los haces vasculares de la periferia y zonas de transición que en el medio e interior. El porcentaje relativo de fibra. El área es más alta en el segmento apical (56%) que en los segmentos basal (29%) y medio (26%) del culmo., (Londoño, 2002)Traducido de American Bamboo Society (p 24 y 25)



*Figura 4 Estructura anatómica del culmo de Guadua angustifolia: a. sección transversal y B. detalle*

Fuente: (American Bamboo Society, 2002, p 25)

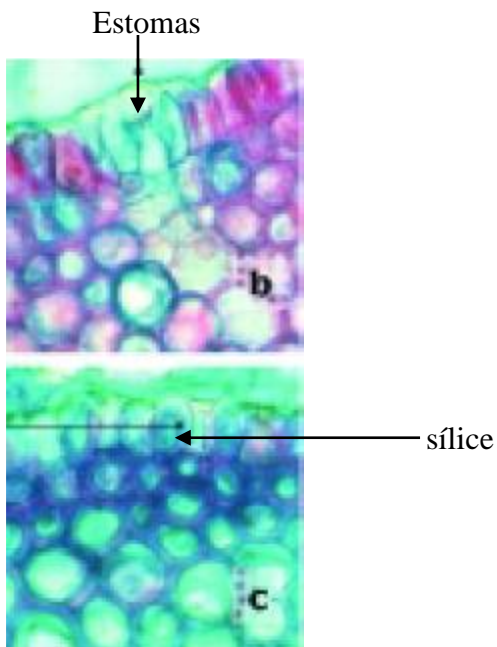
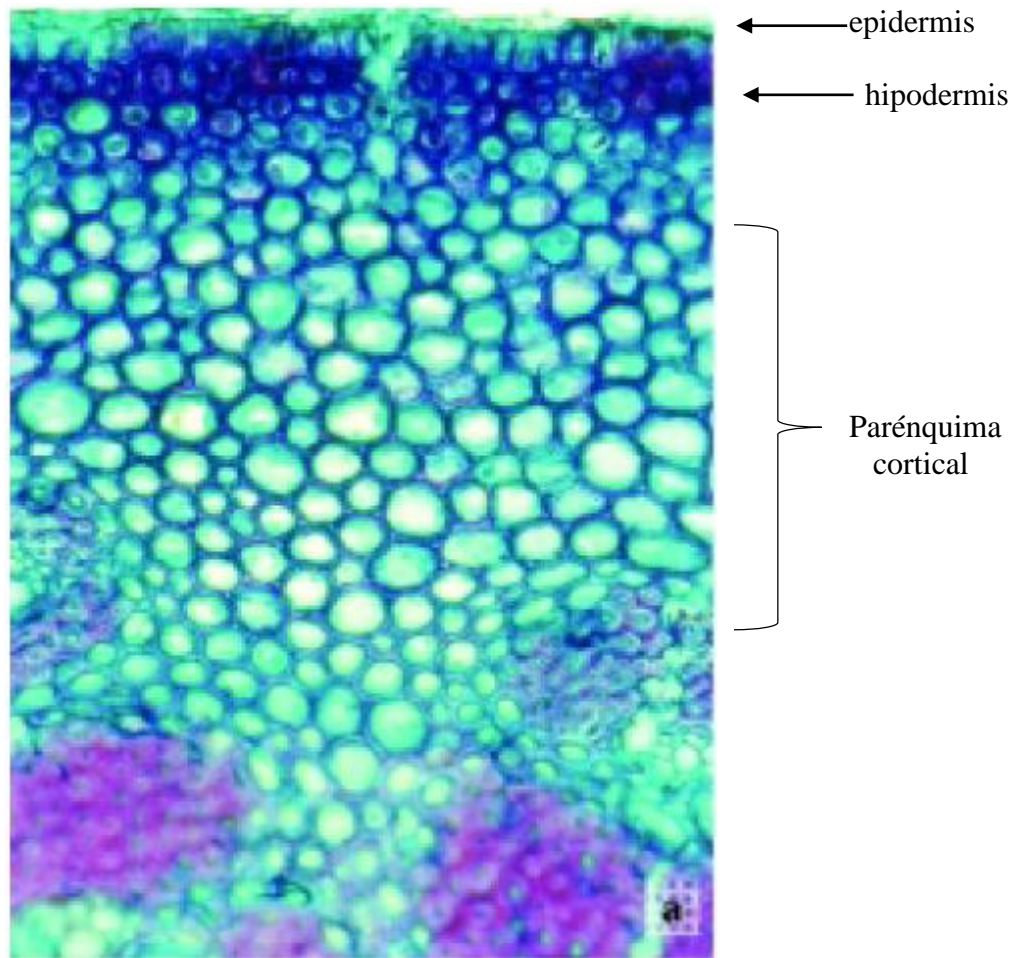
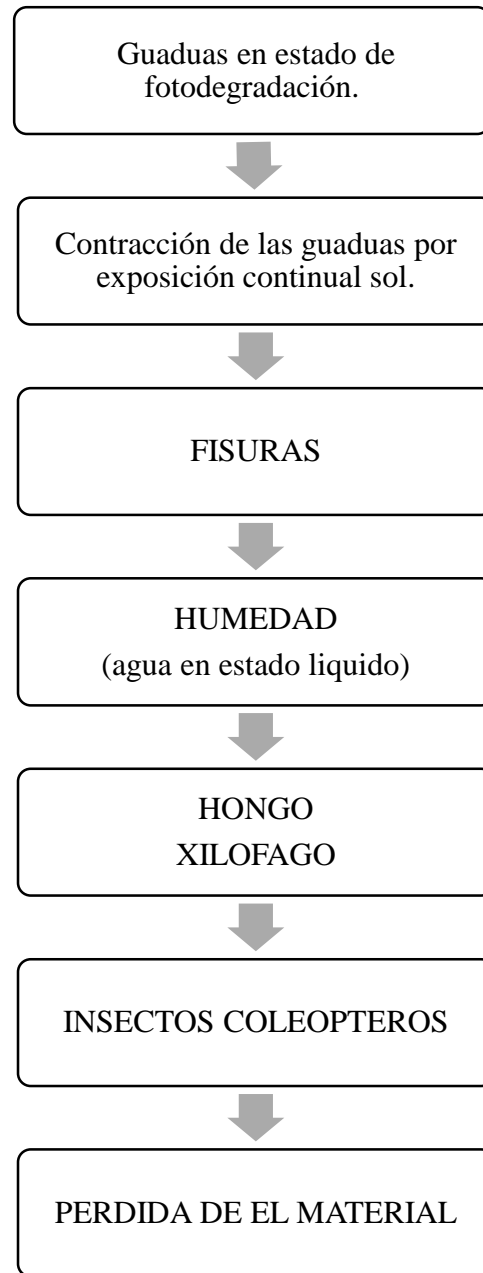


Figura 5 Corte transversal del culmo de *Guadua angustifolia*: a. corteza; segundo. detalle de las estomas; do. detalle de célula de sílice (100X)  
 Fuente: (American Bamboo Society, 2002, p 25)

Mapa conceptual, ciclo de daños en la guadua



*Figura 6 Guaduas en estado de fotodegradación.*  
Fuente: (Ardila, Garzón, 2017)

Teniendo en cuenta la información anterior se determina que la guadua como material estructural, expuesto a la radiación e impacto de los rayos ultravioleta, su capa cambia de color, provocando la fotodegradación en sus células de la superficie, no obstante esta patología genera una patología indirecta, (fisuras), que en conjunto con la humedad permite el acceso rápido a los agentes bióticos, agregando que la misma humedad en la superficie activa el proceso de degradación en la guadua.

### [Ejemplo de fotodegradación jardín Botánico José Celestino Mutis](#)



*Figura 7 Costado derecho puente de guadua Jardín Botánico José Celestino Mutis*



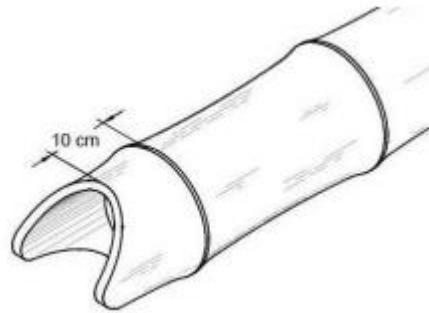
*Figura 8 enfoque Costado derecho puente de guadua Jardín Botánico José Celestino Mutis*



*Figura 9 ilustración 5 parte inferior puente de guadua Jardín Botánico José Celestino Mutis*

## Componente estructural

Algo que hay que destacar, es la manera de las uniones de la estructura de la investigación; el puente de guadua posee unas uniones de boca de pescado lo que quiere decir que es una unión de corte cóncavo transversal al eje de la guadua.



*Figura 10 corte boca de pescado*

Fuente: (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 1997)

La boca de pescado es una forma muy usual de realizar las uniones en guadua. Puesto que son más económicas y se utiliza menos material de lo previsto, un refuerzo en alambre asegura de mejor manera la unión, pero hay que determinar la durabilidad del alambre. (Osorio Saraz, González Castrillón, & Cortés Marín, 2010)

Las ilustraciones 9 y 10 muestran cómo debe realizarse el anclaje de dos cañas con boca de pescado y la ilustración 6 evidencia el corte que se debe realizar para el anclaje.

## Conectores para las estructuras en guadua

Ntc 5407, 2016: unión con elementos conectores, conformada por la guadua y otro material diferente

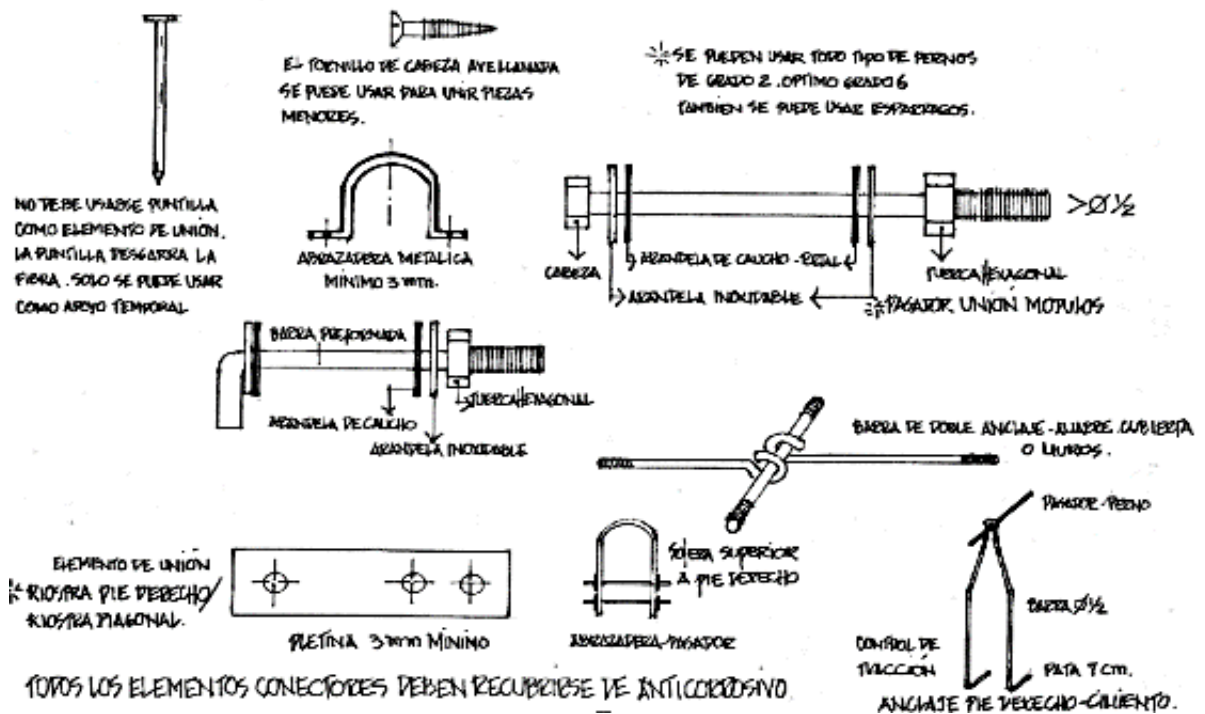


Figura 11 elementos conectores para guadua

Fuente: vivienda sismo resistente en guadua de Iván Eraso

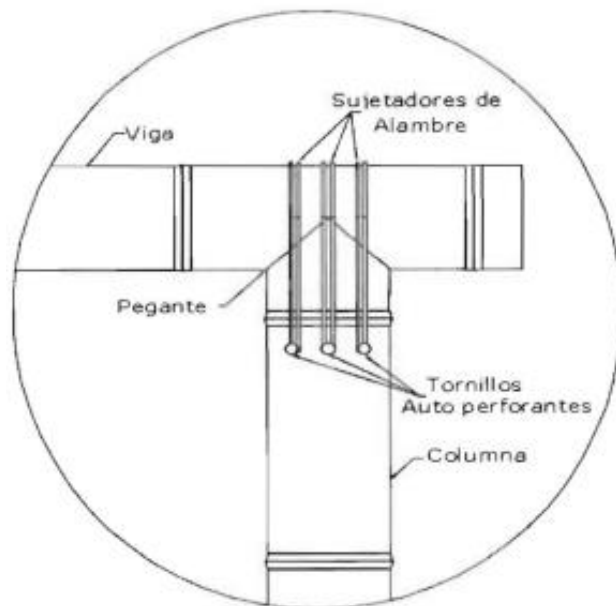
Ntc 5407, 2016: unión sin elementos conectores, se encuentran ensambladas a presión



Figura 12 encuadre de unión sin elementos conectores



*Figura 13 Unión con biselo boca de pescado (Foto. Eugenia González C. 2009)*  
Fuente: (Osorio Saraz, González Castrillón, & Cortés Marín, 2010)



*Figura 14 Conector boca de pescado y amarre en alambre*  
Fuente: (Osorio Saraz, González Castrillón, & Cortés Marín, 2010)

Unión boca de pescado jardín botánico José Celestino Mutis



*Figura 15 unión boca de pescado Jardín Botánico José Celestino Mutis*  
Fuente: Arquitecta Liliana Patiño 2018

Pernos.

*Los pernos son tornillos empleados para sujetar dos o más piezas, lo habitual es que se encuentren acompañados de tuercas. Según el modo de sujeción pueden ser pasantes, de unión, entre otros.*

Pernos en guadua



*Figura 16 enfoque de pernos en puente de guadua Jardín Botánico José Celestino Mutis*

Puente de guadua Jardín Botánico Bogotá  
Exploración Fotográfica fotodegradación



*Figura 17 Lado transversal del puente*



*Figura 18 encuadre detalle de base en guadua foto degradada*



*Figura 19 ángulo de picada, detalle fotodegradación y reflejo del lago*

## MARCO GEOGRÁFICO

### Bogotá

Se encuentra en la cordillera oriental, con una extensión de 33 kilómetros de sur a norte y de 16 kilómetros de oriente a occidente, situada en las coordenadas Latitud Norte: 4° 35'56" y Longitud Oeste de Greenwich: 74°04'51". Está dentro de la zona de confluencia intertropical, produciendo dos épocas de lluvia; en la primera mitad del año en los meses de marzo, abril y mayo y en la segunda en los meses de septiembre, octubre y noviembre. Y su altura es de 2.625 metros sobre el nivel del mar. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 21)

## Clima de Bogotá

El IDEAM en su informe características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos expone el promedio climático de Bogotá.

El promedio de lluvia total anual es de 797 mm. Durante el año las lluvias se distribuyen en dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas. Los meses de enero, febrero, julio y agosto son predominantemente secos. Las temporadas de lluvia se extienden desde finales de marzo hasta principios de junio y desde finales de septiembre hasta principios de diciembre. En los meses secos de principios de año, llueve alrededor de 8 días/mes; en los meses de mayores lluvias puede llover alrededor de 18 días/mes.

La temperatura promedio es de 13.1 °C. Al medio día la temperatura máxima media oscila entre 18 y 20°C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 8 y 10°C, aunque en la temporada seca de inicio de año, las temperaturas pueden bajar a menos de 5°C, en las madrugadas. El sol brilla cerca de 4 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos, la insolación llega a 6 horas diarias/día. La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 77 y 83 %, siendo mayor en los meses de abril y noviembre y menor en julio y agosto. (p.4)

A continuación, se refleja gráficamente el clima bogotano, en las figuras 20,21,22, 23, y 24 se expone: Figura 20. Promedio Precipitación, Figura 21.

Promedio Temperatura Figura 22. Promedio Brillo Solar, la Figura 23. promedio de la humedad relativa y la figura 24. promedio de horario radiación en (Wh/m<sup>2</sup>)

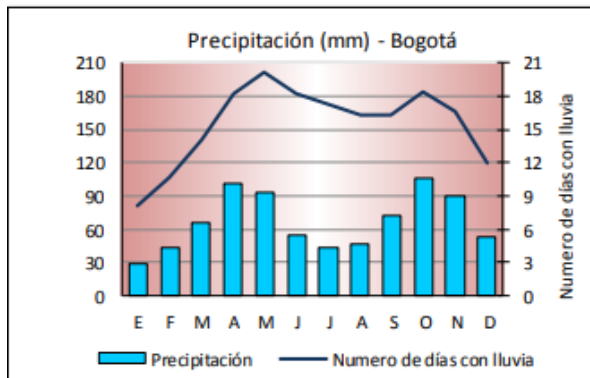


Figura 20 Promedio Precipitación Bogotá  
Fuente: (IDEAM, s.f.)

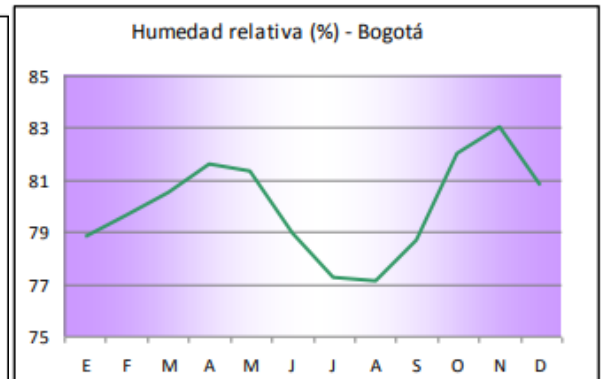


Figura 22 Promedio humedad Bogotá  
Fuente: (IDEAM, s.f.)

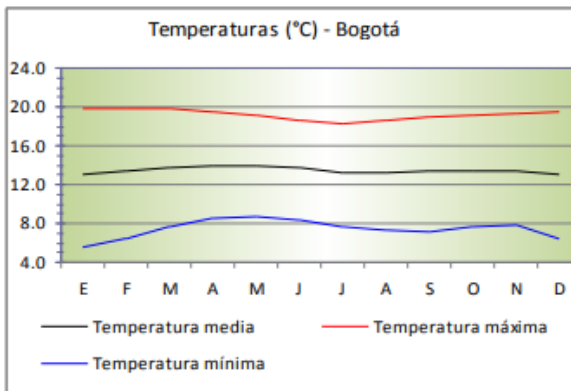


Figura 21 Promedio temperatura Bogotá  
Fuente: (IDEAM, s.f.)

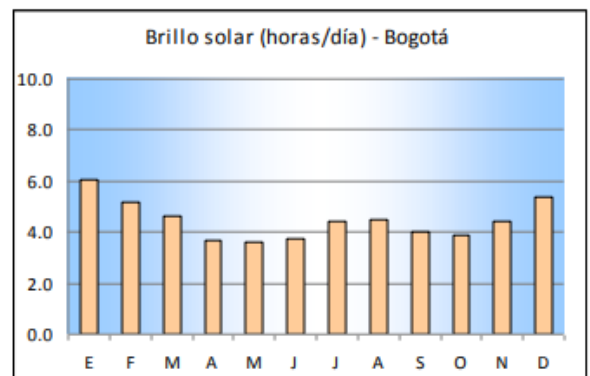


Figura 23 Promedio brillo solar Bogotá  
Fuente: (IDEAM, s.f.)

ESTACION UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (BOGOTÁ)												
PROMEDIO HORARIO DE LA RADIACIÓN (Wh/m <sup>2</sup> )												
HORA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0-1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3
1-2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,5	0,4	0,2	0,4	0,4
2-3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3
3-4	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3
4-5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,4	0,3
5-6	0,2	0,1	0,3	1,3	2,5	1,9	1,2	1,2	2,0	3,0	2,7	0,7
6-7	31,8	28,1	39,5	52,9	66,3	62,0	55,2	50,6	60,2	71,0	61,4	50,2
7-8	184,9	162,3	149,3	177,2	188,3	188,0	191,0	172,9	180,6	205,6	198,3	208,9
8-9	351,3	342,2	264,3	309,3	294,4	291,3	313,7	290,8	284,5	346,4	356,3	378,8
9-10	507,6	455,8	366,7	388,1	391,4	366,9	399,7	387,8	399,5	457,6	458,6	504,3
10-11	599,0	543,7	469,8	425,6	431,5	447,8	476,8	467,0	460,2	501,8	519,1	545,5
11-12	607,4	544,1	483,3	433,2	455,7	497,2	520,6	491,4	489,4	458,0	488,2	522,5
12-13	522,5	503,8	433,2	412,9	464,7	490,0	544,6	494,3	481,1	442,4	414,1	491,1
13-14	475,7	465,6	389,8	365,9	404,2	476,3	499,4	457,5	432,5	393,3	355,3	423,4
14-15	375,9	357,0	313,5	307,7	334,2	391,8	404,2	392,0	398,2	315,9	274,7	248,9
15-16	304,4	275,2	231,1	225,1	245,4	275,5	292,9	305,2	298,4	209,9	188,3	254,7
16-17	177,2	145,7	145,0	135,4	143,1	158,6	177,2	168,1	168,4	111,0	90,2	124,9
17-18	47,4	48,7	47,7	35,6	35,7	46,3	59,4	48,9	34,5	16,7	13,0	26,0
18-19	0,5	0,9	0,7	0,2	0,3	0,5	1,1	0,9	0,4	0,3	0,4	0,4
19-20	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2
20-21	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3
21-22	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2
22-23	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3
23-0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,5	0,2	0,3	0,2
Acumulada diaria	4207,3	3873,1	3334,2	3270,4	3457,9	3716,7	3937,1	3728,5	3690,0	3533,0	3420,7	3891,2

Entre 0 y 200 (Wh/m<sup>2</sup>)
Entre 400 y 600 (Wh/m<sup>2</sup>)
Entre 200 y 400 (Wh/m<sup>2</sup>)
Entre 600 y 800 (Wh/m<sup>2</sup>)
Mayor a 800 (Wh/m<sup>2</sup>)



21 junio

9:00 am

10:00 am



No se analiza por que el sol esta vertical geométricamente y no va incidir en la guadua.

21 diciembre

2:00 pm

3:00 pm

4:00 pm

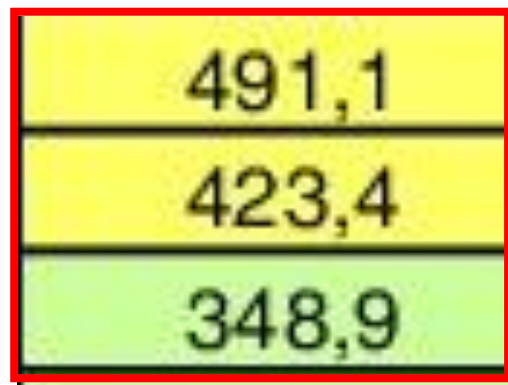


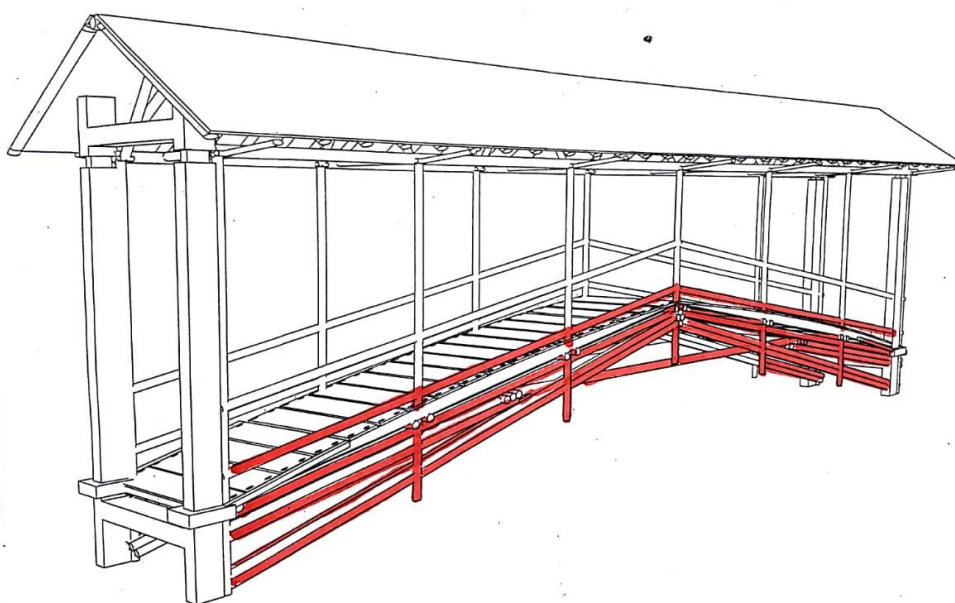
Figura 24 Promedio horario de radiación (Wh/m<sup>2</sup>)

Fuente: (IDEAM, s.f.)

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Después de realizar una exploración fotográfica en el jardín botánico José Celestino Mutis, se identifica las zonas afectadas por la fotodegradación en impacto de la radiación electromagnética del sol. No obstante, agregando que la parte inferior del puente recibe no solamente el impacto directo que corresponde al 25% de radiación si no también el 15% por reflejo del lago que está ubicado a su alrededor.

Zona afectada por fotodegradación.



*Figura 25 plano en pdf del puente de guadua Jardín Botánico José Celestino Mutis señalando zona afectada por fotodegradación*

De acuerdo con los datos obtenidos frente a los resultados establecidos de Azimut y Angulo, tomando las horas con más radiación en ( $\text{wh}/\text{m}^2$ ), y las fechas de

verano e invierno en nuestro hemisferio Norte de acuerdo a la línea del ecuador, con ayuda de la tabla de soleación de Bogotá.

Con aras de lograr una mejor explicación de lo tratado anteriormente, se evidencia registro fotográfico de planos realizados a mano alzada con el paralelo entre el diseño inicial, y, la ampliación del alero, para verificar la reducción del impacto por radiación electromagnética del sol y aumento en la sombra, donde se evidencia la reducción mínima de la fotodegradación.

Planos mano alzada, comparación de diseño inicial y diseño con aumento de alero, proyectando la sombra

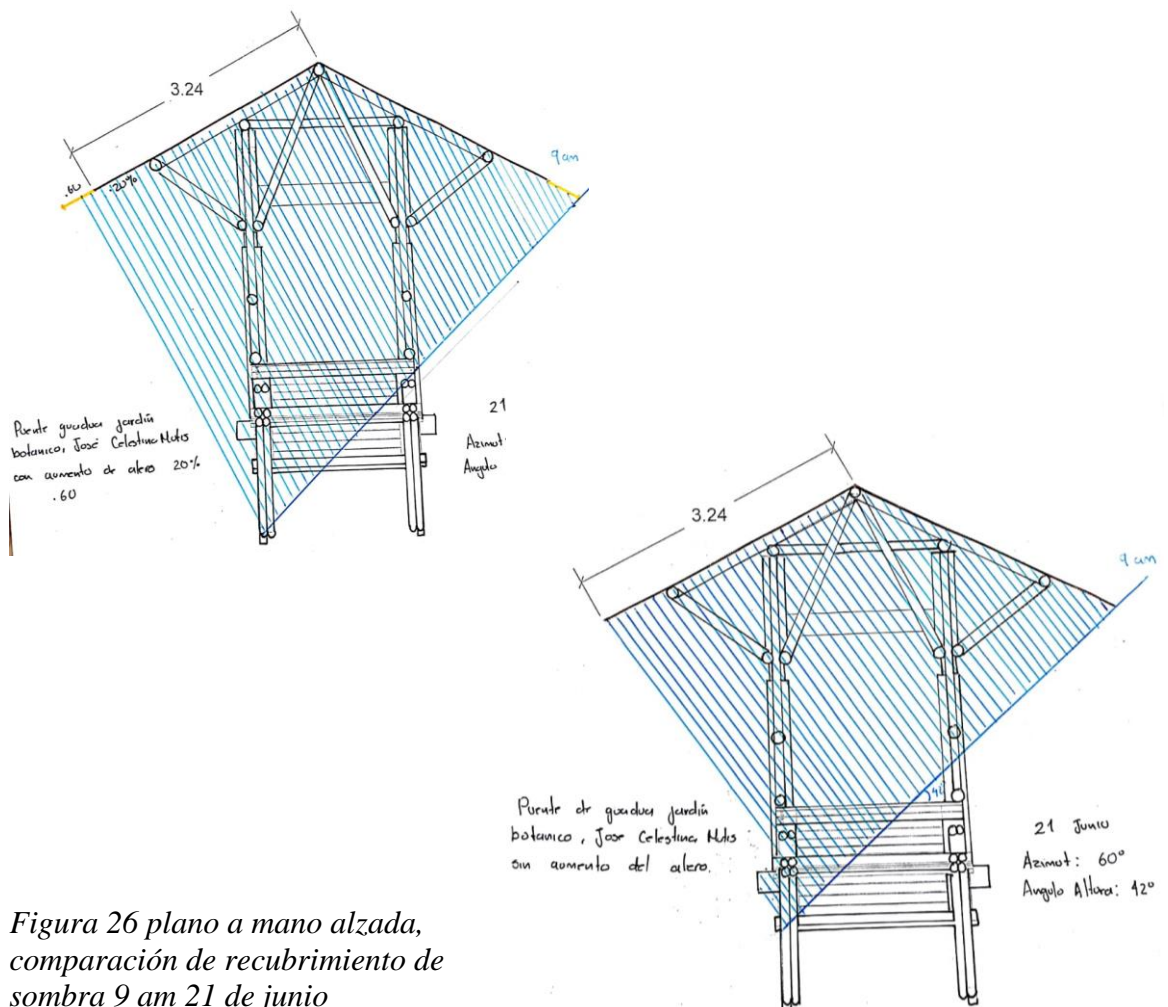


Figura 26 plano a mano alzada, comparación de recubrimiento de sombra 9 am 21 de junio

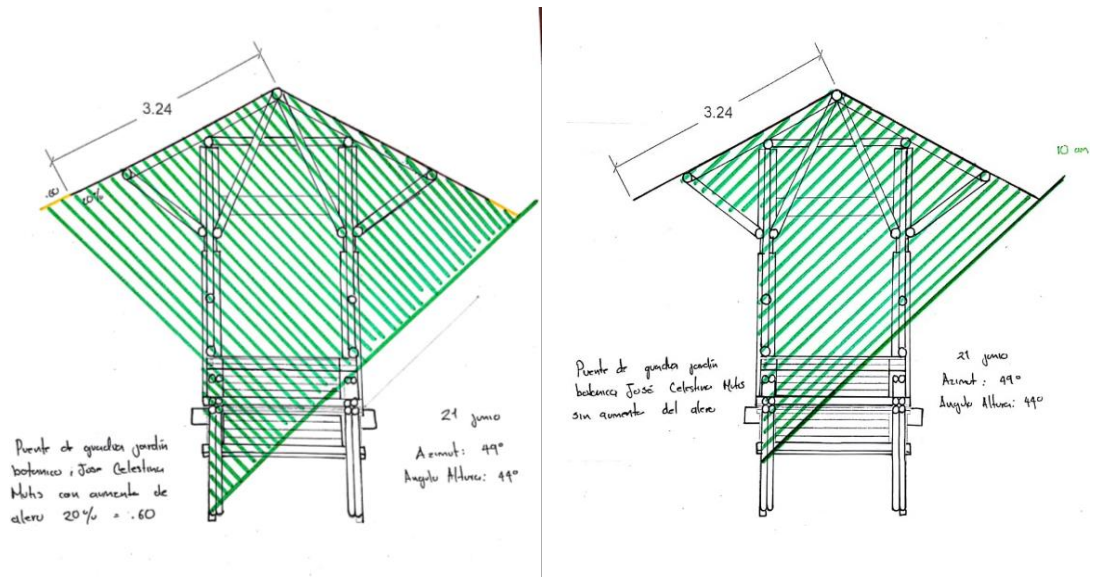


Figura 27 plano a mano alzada, comparación de recubrimiento de sombra 10 am 21 de junio

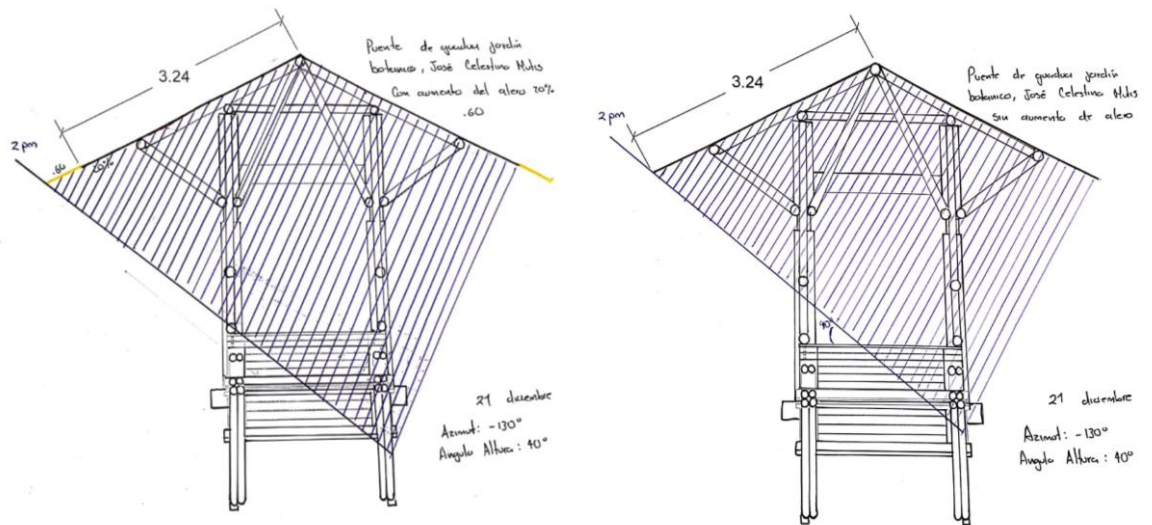


Figura 28 plano a mano alzada, comparación de recubrimiento de sombra 2 pm 21 de diciembre

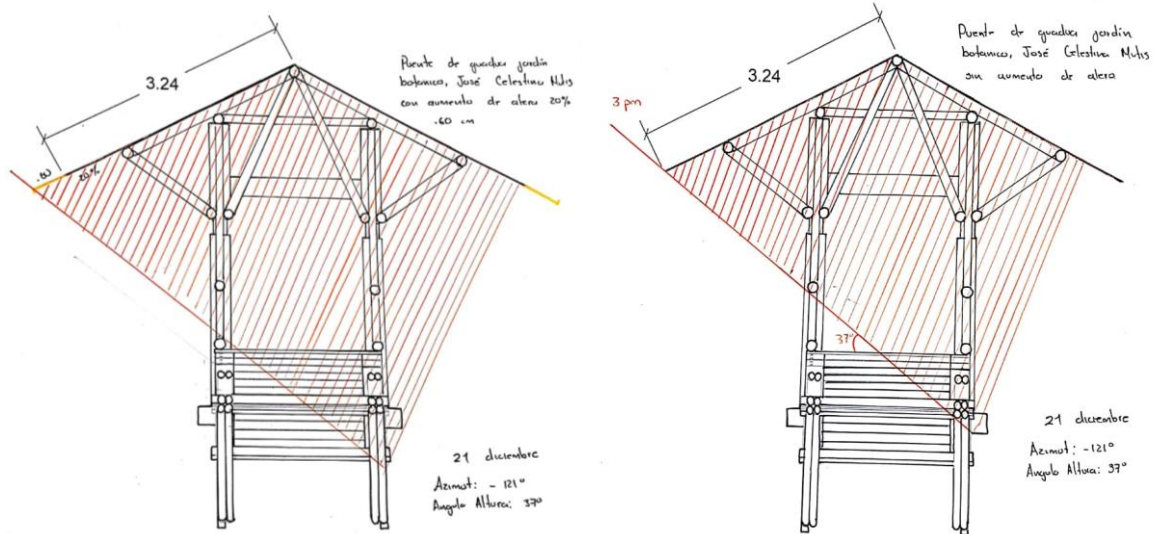


Figura 29plano a mano alzada, comparación de recubrimiento de sombra 3 pm 21 de diciembre

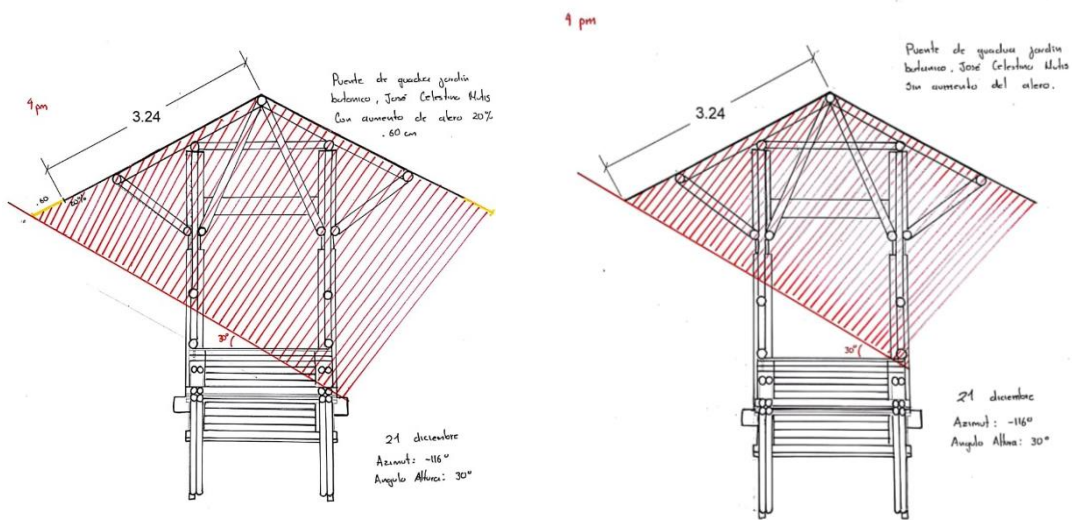
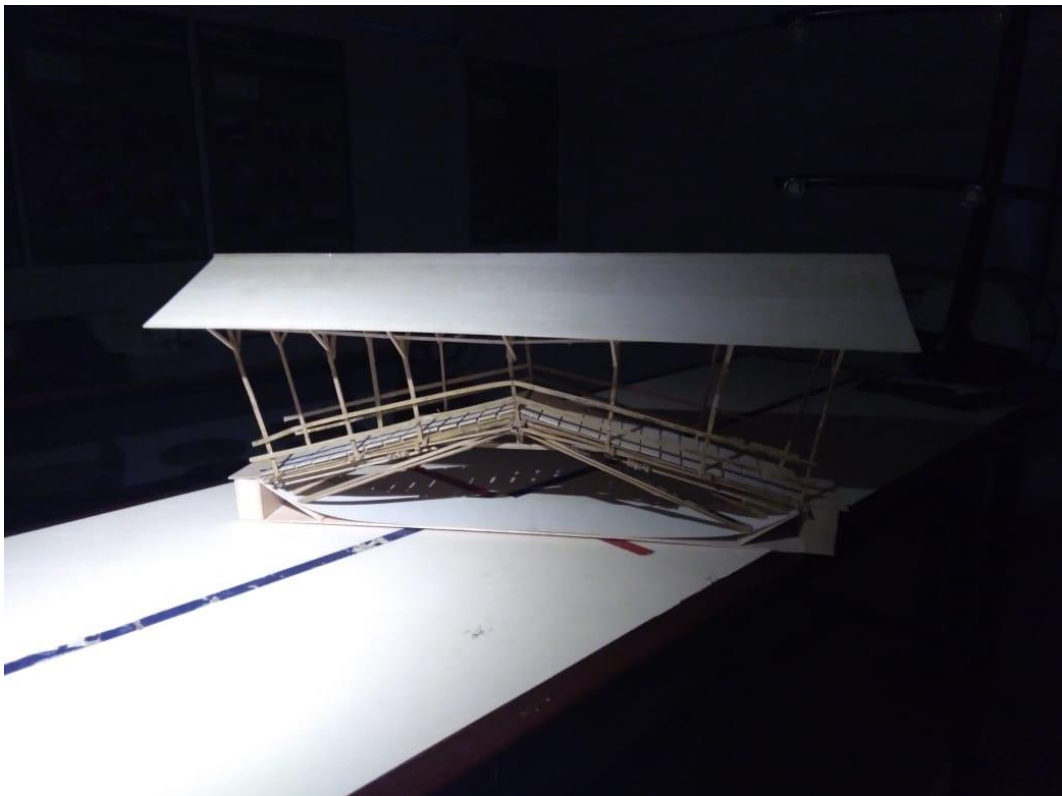


Figura 30plano a mano alzada, comparación de recubrimiento de sombra 4 pm 21 de diciembre

### Fotografía en laboratorio (heliódón)

Se hace uso del laboratorio de soleación de la universidad la gran Colombia, el heliódón más específicamente para poder estudiar a escala la actividad solar frente al puente de guadua del jardín botánico, José Celestino Mutis, no obstante, los resultados no son muy puntuales y claros ya que la iluminación que se recibe en la maqueta a escala no es de la misma manera que se da en nuestra estructura, sus puntos de iluminación no están al 100% ubicados con los puntos cardinales reales del sol en Bogotá.



*Figura 31maqueta a escala expuesta a la luz del heliódón*

## Carta solar

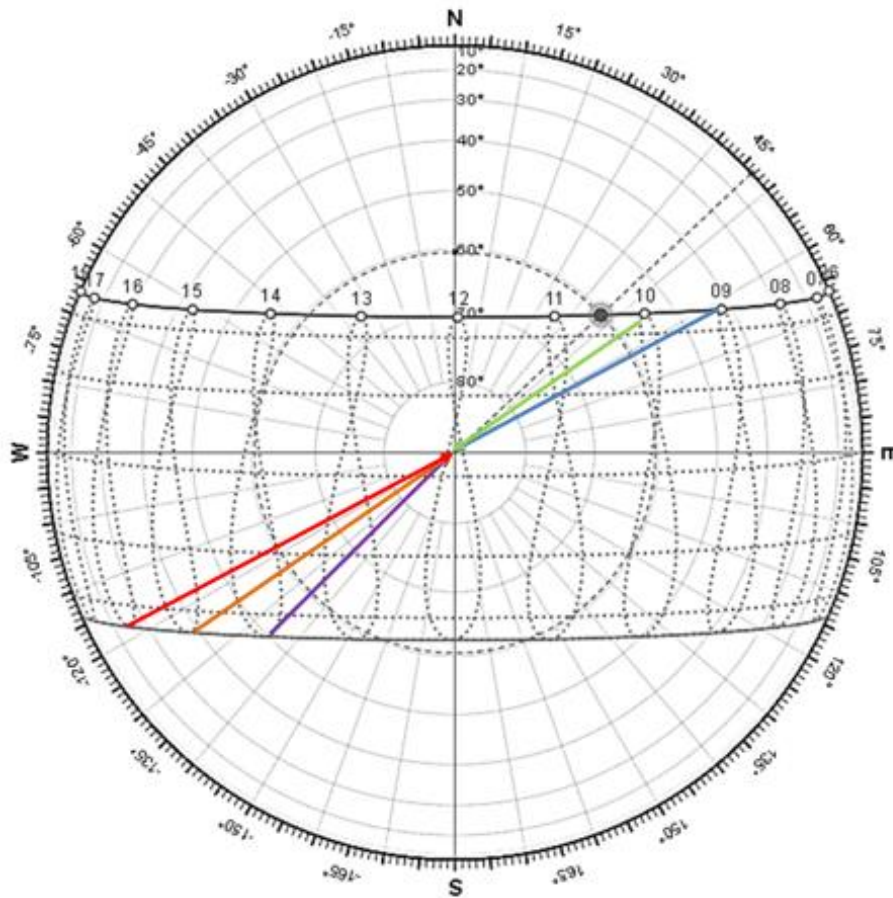


Figura 32. carta solar Bogotá

Fuente: <http://andrewmarsh.com/software/sunpath2d-web/>

## Resultados

Tabla 6. Resultados de la fórmula de soleación.

Fecha	Hora	Azimut	Angulo
21 diciembre	14:00	-130°	40°
21 diciembre	15:00	-121°	37°
21 diciembre	16:00	-116°	30°
21 junio	9:00	59°	38°
21 junio	10:00	49°	44°

Fuente: elaboración propia con base en resultados

Para el aumento del alero, se determinó implementar el mismo material utilizado para las cubiertas (Teja Shingle) que en su medida corresponda a 0.60 cm.

Tabla 7 ficha técnica teja shingle

Producto	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Peso neto +/- 10% kg/m <sup>2</sup> (lbs/ft <sup>2</sup> )
SHINGLE MOIRE BLACK CT-20	0,91	0,30	1,5	9,56 (1,96)
SHINGLE TILE RED BLEND CT-20	0,91	0,30	1,5	9,56 (1,96)
SHINGLE EVERGREEN BLEND CT-20	0,91	0,30	1,5	9,56 (1,96)
SHINGLE CEDAR BROWN CT-20	0,91	0,30	1,5	9,56 (1,96)

Fuente: [https://www.isover.com.co/sites/isover.co/files/assets/documents/web\\_manual\\_t\\_eja\\_shingle.pdf](https://www.isover.com.co/sites/isover.co/files/assets/documents/web_manual_t_eja_shingle.pdf).

Ilustración de ensamble de teja shingle para adicionar en el alero

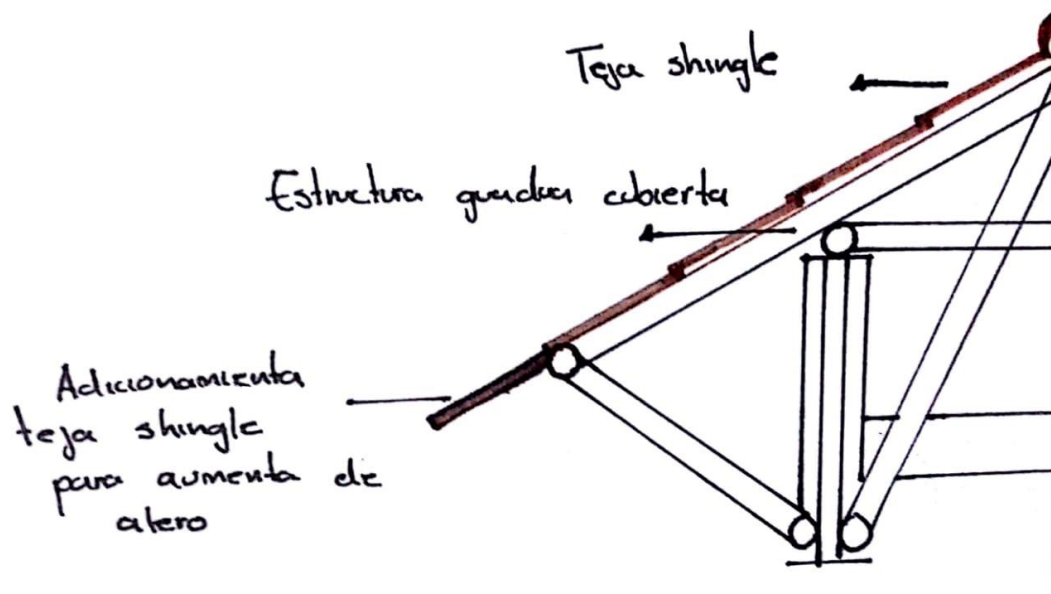


Figura 33 adición de alero en teja shingle

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el ensayo del análisis de la patología de fotodegradación se observó que el aumento del 20% del alero del puente de guadua ubicado en el Jardín Botánico José Celestino Mutis construido en 1988 no reduce el incidente de la patología seleccionada para el estudio de caso, no es mayor al 50% del diseño inicial de este, ya que su ubicación geográfica de la estructura no es la adecuada, esa misma ubicación impacta directamente las partes inferiores del puente, no obstante no obtiene sombra alguna por medio de otro elemento, ya que su alrededor está cubierto por un lago que ayuda en un 15% a la irradiación solar en reflejo, impacto indirecto de esta.

Se evidencia que los aumentos que se establecieron para el análisis del diseño si lograría reducir la parte superior del puente un 50% y de la parte inferior el impacto sería directo e indirecto de la radiación solar en las horas más impactantes, agregando la posibilidad de una patología indirecta por parte de la fotodegradación y afectación de la células superiores que ocasionarían la pérdida de capacidad resistente, descoloramiento en tonalidad de grises causando fisuras y atracción los agentes bióticos agregando la humedad constante del lago

En recomendación se debería establecer una ubicación más viable que logre evitar el impacto directo de la radiación solar de Bogotá, reubicar la estructura a su diseño inicial, ya que por más que se pruebe aumentar el alero para generar la sombra no se logra ser mayor del 50% y se generaría alteraciones tal vez mecánicas en la estructura por el aumento de cargas.

Por consiguiente:

- Se recomienda a directivas o personal encargado de su mantenimiento del Jardín Botánico José Celestino Mutis establecer un a posible sombra al puente de guadua del de manera externa que provenga de los alrededores de este sin que genere efecto alguno al daño de la estructura y sin afectación por el lago que está a su redonda.
- Se recomienda para futuros investigadores, hacer un estudio de prevención por diseño, enfocados en la fotodegradación, alterado la ubicación geográfica actual para generar un mejor análisis de reducción de la misma patología

## Bibliografía

- Africa Museum. (s.f). Tervuren Xylarium Wood Database. Obtenido de [http://www.africamuseum.be/en/research/collections\\_libraries/biology/collections/xylarium/species/SN5835](http://www.africamuseum.be/en/research/collections_libraries/biology/collections/xylarium/species/SN5835)
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2017 de Noviembre de 21). *bogota.gov.co*. Obtenido de <http://www.bogota.gov.co/ciudad/ubicacion>
- Arriaga, F., Peraza, F., Esteban, M., Bobadilla, I., & Garcia, F. (2002). Intervencion estructuras en madera. *Asociacion de investigacion tecnica de las industrias de madera y corcho*.
- Bambusa.es. (s.f.). *BAMBUS.A.ES*. Obtenido de <https://bambusa.es/caracteristicas-del-bambu/bambu-guadua/>
- Barreto, W. (2017). *Seminario internacional de construcciones vernáculas*, . Bogotá: universidad la gran colombia.
- Broto, C. (2006). *Patología de los materiales*. Barcelona: Links.
- CUÉLLAR, A., & MUÑOZ, I. (2010). fibra de guadua como refuerzo de matrices poliméricas. *dyna*, 77(162), 137-142. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532010000200015&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532010000200015&lng=en&tlng=es)
- Diaz, F. (s.f.). *Pequeño manual del Bambu*. Physis.
- Fajardo de Rueda, M. (1990). *Los pintores de la flora de la real expedición botánica*. Bogota: Cidar, Facultad de Artes.
- Giraldo Herrera , E., & Sabogal Ospina , A. (s.f.). LA GUADUA una alternativa sostenible. *Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ.*, 147.
- GONZALEZ, G., CABRONERO C., R., & GUTIERREZ, J. (1991). *Preservación de Esterilla y trozas de Bambú, Proyecto Nacional de Bambú, Proyecto COS/87/001*. San José, Costa Rica: PNUD-HOLANDA.
- Hidalgo - Lopez, O. (2003). *Bamboo the gift of the gods*. Bogota: D'VINNI LTDA.
- IDEAM. (s.f.). *características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticoS*. Bogota: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- International Commission on Stratigraphy. (2018). *International Chronostratigraphic Chart* . IUGS.
- Londoño, J. (2002). *Bamboo science y culture*. American Bamboo Society.
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (1997). *Reglamento Colombiano de Contruccion sismo resistente*. Bogota.
- MONTOYA A., J. A. (2005). sap displacement method – metodo de desplazamiento de savia (metodo boucherie) para la preservación de la guadua angustifolia Kunth. *Scientia et Technica Año XI*, 211-216.
- Ohrnberger, D. (1999). *The Bamboos of the World: Annotated Nomenclature and Literature of the Species and the Higher and Lower Taxa*. Elsevier.
- Osorio Saraz, J. A., González Castrillón, E., & Cortés Marín, E. A. (2010). *La guadua: fundamentos para el diseño de estructuras agropecuarias*. Medellin: Universidad Nacional de Colombia.
- Peña, L. B. (2010). La revisión bibliográfica. (F. d. Psicología, Ed.) *PROYECTO DE INDAGACIÓN*, 1-2.
- Quiñones Sanchez, I. D. (s.f.). *Centro de Desarrollo Infantil El Guadual*. Villa Rica, Cauca, Colombia.

- Rivera, Y. (17 de 04 de 2018). *archdaily.co*. Obtenido de *archdaily.co*:  
<https://www.archdaily.co/co/892457/construcciones-en-guadua-una-tecnica-local-en-colombia-que-debes-conocer>
- Rodriguez Barreal, J. A. (1990). *Patología de la madera*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Ruta 4 & La Morena TV. (s.f.). *La Casa Ensamble Chacarrá*. Pereira, Colombia.
- Sanchez, D. (2018). *Planos Jardín Botánico*. Bogotá.
- SOSA, S. (s.f.). *EXPLORACION JARDIN BOTANICO (18 DE SEPTIEMBRE, 2018)*. BOGOTÀ.
- Vélez, S. (s.f.). *Templo sin religión*. Cartagena, Colombia.
- Villegas, M. (2003). *Guadua Arquitectura y Diseño*. Bogota D.C.: Villegas Asociados S.A.
- xylazel. (s.f.). *xylazel.com*. Obtenido de  
<http://www.xylazel.com/es/glossary/fotodegradacion>

## ANEXOS

*anexo 1 entrevista John Jairo Velásquez encargado del mantenimiento del Jardín Botánico José Celestino Mutis.*

1 ¿En qué año se construyó el puente de guadua?

RTA: El puente se construyó en el año 1998

2 ¿Cómo fue el proceso de construcción?

RTA: Cuando se construyó la estructura, el puente de guadua se lijo y se le aplicó un

impermeabilizante.

Laca

Resina

3 ¿Tienen planos del puente de guadua o evidencias de los procesos que se han realizado?

RTA: Nunca se realizaron planos del puente y los procesos de mantenimiento se han hecho sin registro alguno.

4 ¿Se ha realizado algún mantenimiento?

RTA: Se le hizo un mantenimiento en el año 2002 el cual se lijo y se le aplicó un impermeabilizante y se cambiaron unos tornillos y se le realizó un reforzamiento adicional.



anexo 2 fotografía puente guadua (hora 9 am) validación de impacto solar



anexo 3 fotografía puente guadua (hora 10 am) validación de impacto solar



anexo 4 fotografía puente guadua (hora 3pm) validación de impacto solar, de norte a sur



anexo 5 fotografía puente guadua (hora 4pm) validación de impacto solar, de norte a sur



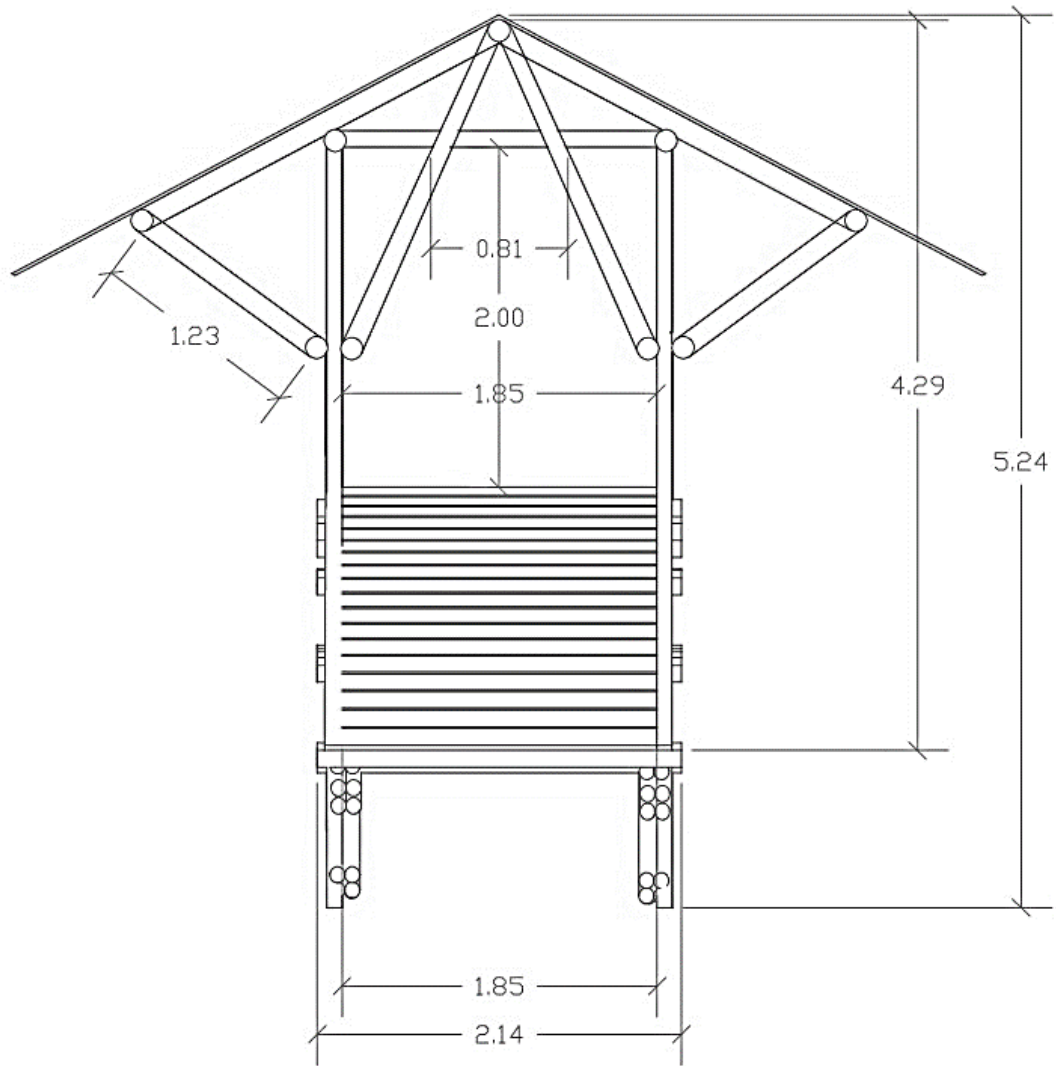
*figura 34 referencia entre piso y base en guadua*



*figura 35 costado este del puente de guadua*

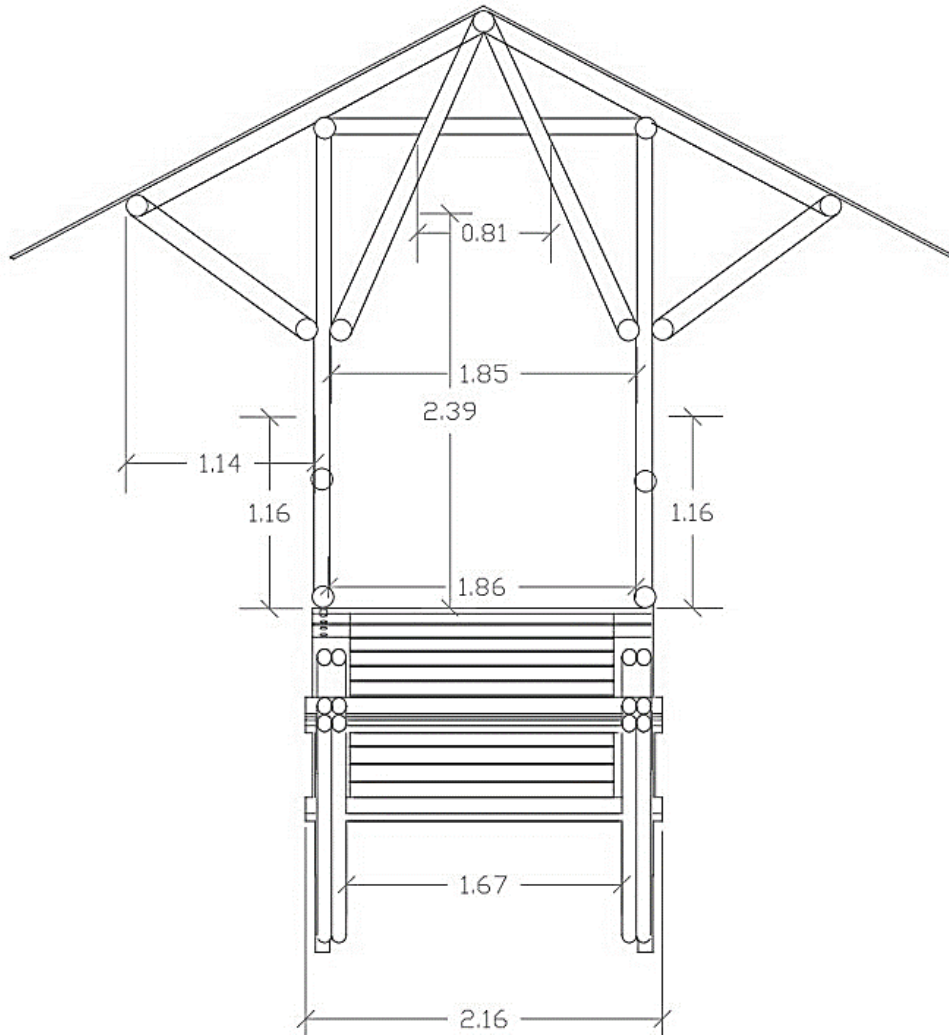
Planos acotados

corte estructural



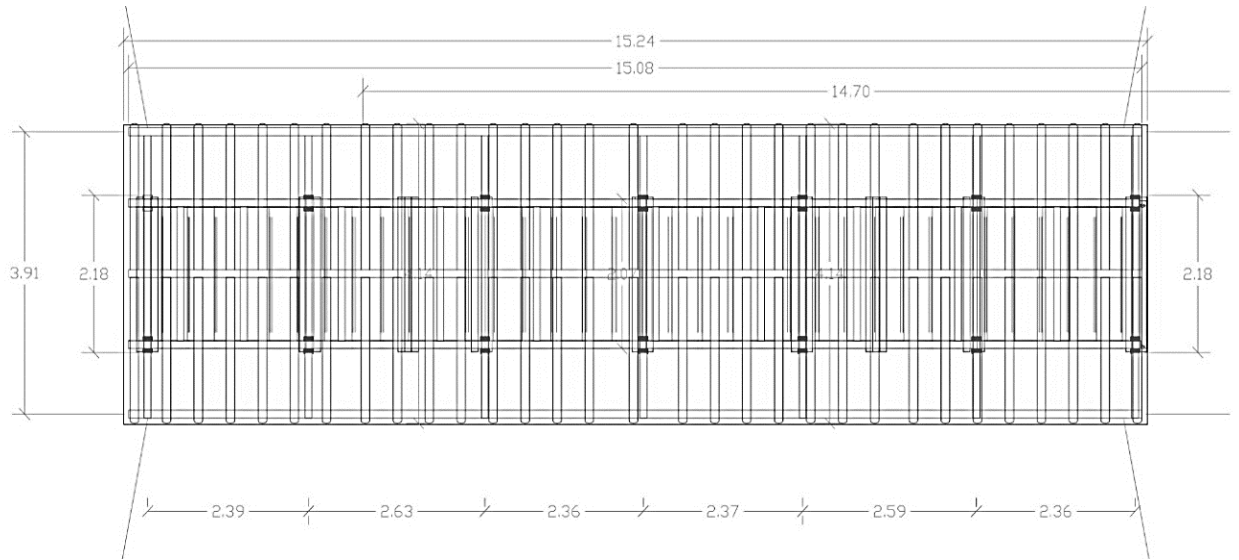
*figura 36 corte estructural*

alzado longitudinal



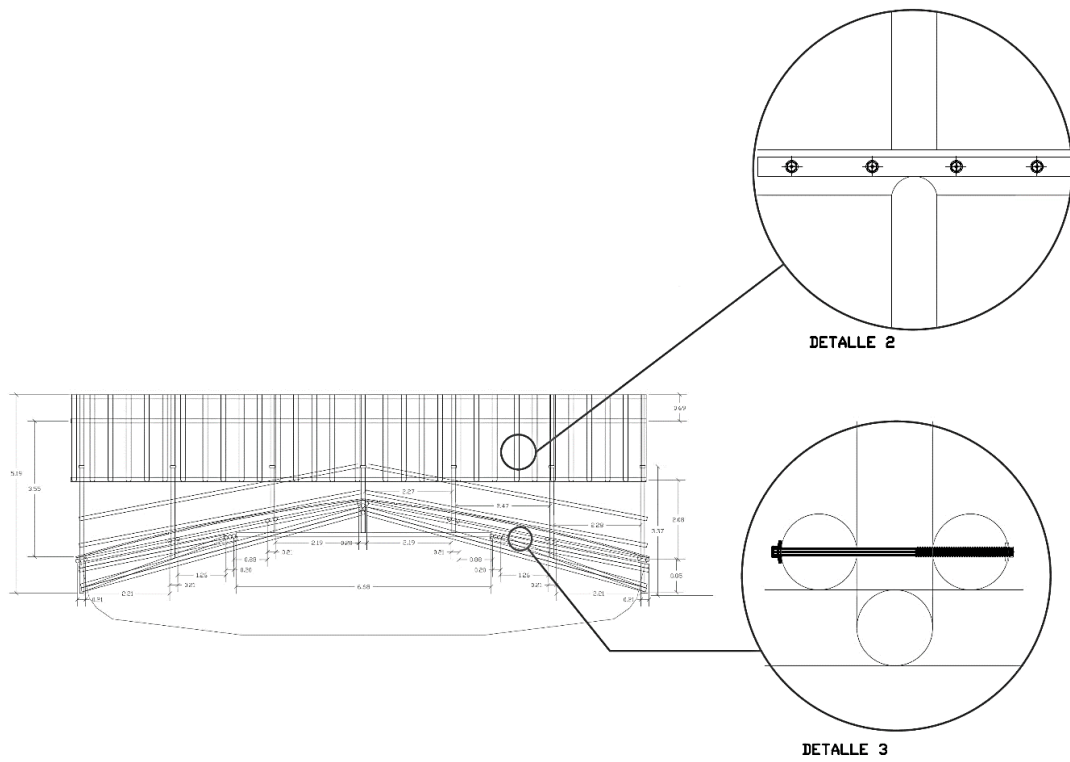
*figura 37 23alzado longitudinal*

*Planta estructural*



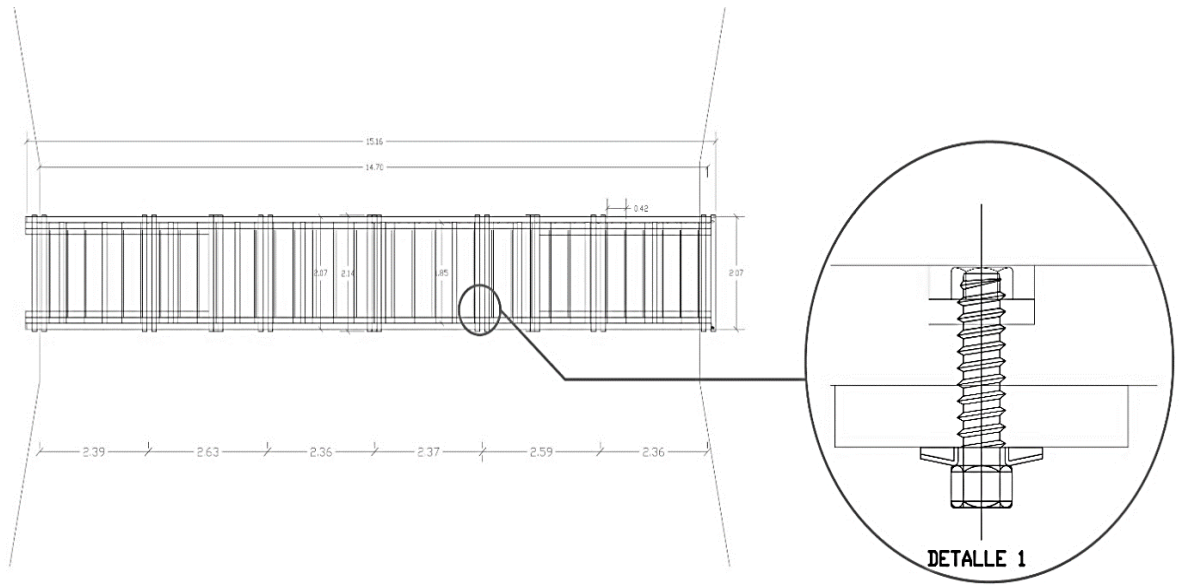
*figura 38 Planta estructural*

*Alzado longitudinal*



*figura 39 Alzado longitudinal*

planta suelo estructural



*figura 40 26 planta suelo estructural*

Construcción de maqueta intervenida



Figura 41 parte lateral de maqueta representativa

[corte frontal maqueta expuesta al sol ubicada a 45° al norte](#)



Figura 42 corte frontal maqueta

[Puente de guadua jardín botánico José Celestino Mutis Sketchup](#)

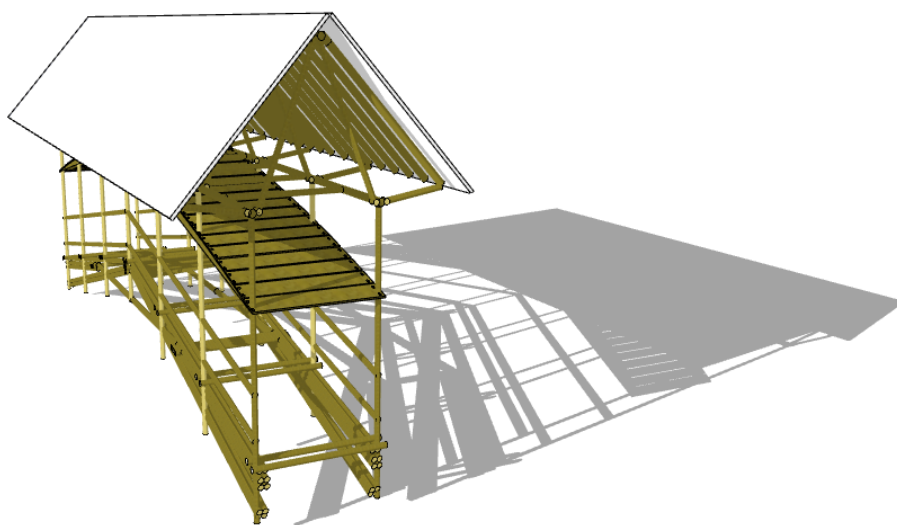


Figura 43 puente guadua en formato sketchup

Maqueta en el heliodón

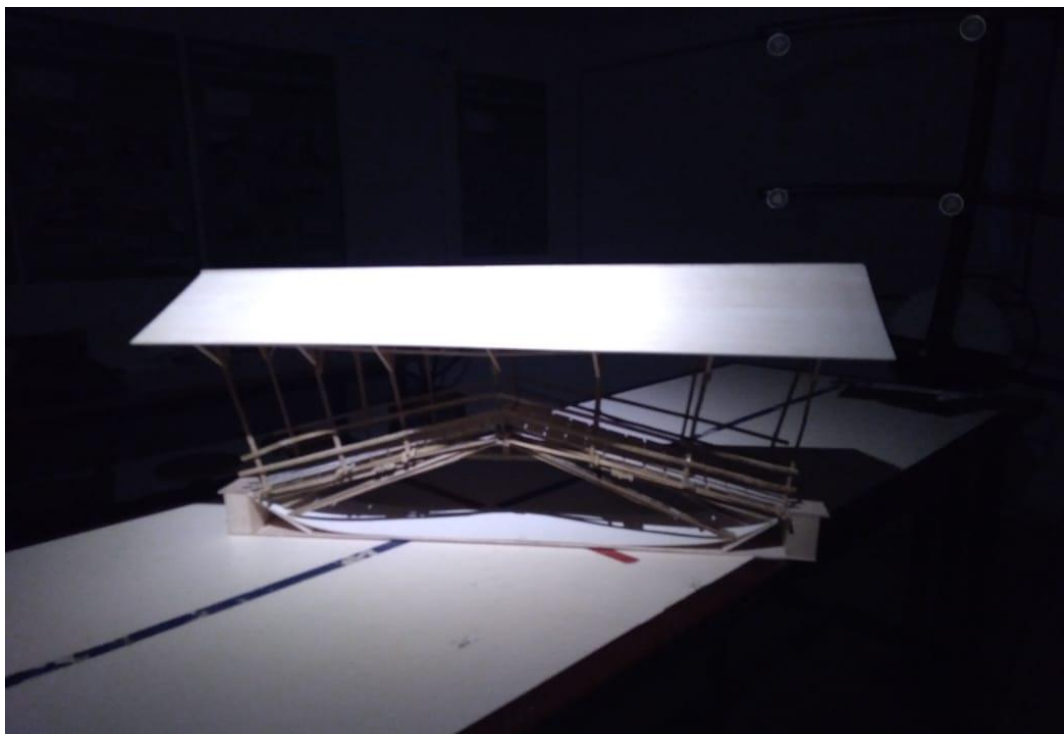
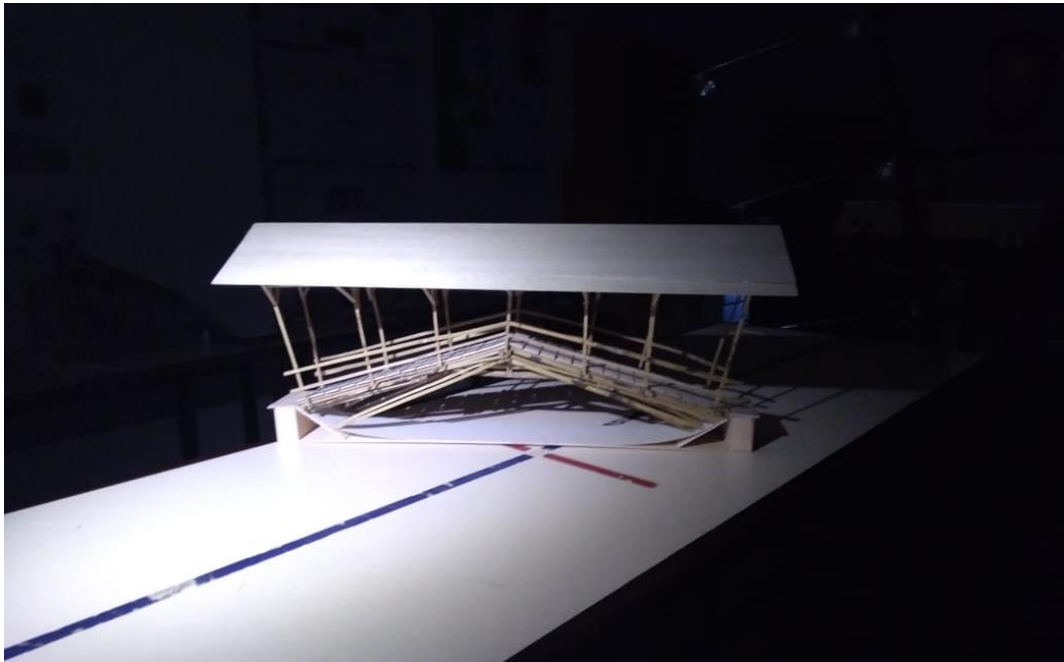


Figura 44 y 45 maqueta expuesta en el heliodón