

**ESTADO DEL ARTE DE LA GUADUA COMO MATERIAL
ALTERNATIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

**TATIANA BUILES HOYOS
CAROLINA GIRALDO MONTOYA**

PROYECTO PARA RECIBIR EL TÍTULO DE PREGRADO

**ASESOR
ARQUITECTO CONSTRUCTOR
LUIS FERNANDO BOTERO BOTERO**

**UNIVERSIDAD EAFIT
MEDELLÍN – ANTIOQUIA
INGENIERÍA CIVIL**

2011

**ESTADO DEL ARTE DE LA GUADUA COMO MATERIAL
ALTERNATIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

**TATIANA BUILES HOYOS
CAROLINA GIRALDO MONTOYA**

**UNIVERSIDAD EAFIT
MEDELLÍN – ANTIOQUIA
INGENIERÍA CIVIL**

2011

**ESTADO DEL ARTE DE LA GUADUA COMO MATERIAL
ALTERNATIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

**TATIANA BUILES HOYOS
CAROLINA GIRALDO MONTOYA**

PROYECTO PARA RECIBIR EL TÍTULO DE PREGRADO

**ASESOR
ARQUITECTO CONSTRUCTOR
LUIS FERNANDO BOTERO BOTERO**

**UNIVERSIDAD EAFIT
MEDELLÍN – ANTIOQUIA
INGENIERÍA CIVIL**

2011

DEDICATORIA

A nuestros padres, por su apoyo incondicional en estos años en la universidad, y por darnos la oportunidad de desarrollarnos profesionalmente.

A nuestras hermanas por su acompañamiento constante durante nuestro proceso de desarrollo profesional.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Luis Fernando Botero Botero, por su constante acompañamiento y motivación a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Gustavo Rojas y al guía Jaime Botero por su acompañamiento y disposición incondicional durante el recorrido que realizamos por el eje cafetero.

A todas las personas que contribuyeron con el desarrollo de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	14
1 FORMULACIÓN Y DESCRIPCIÓN	16
2 OBJETIVO GENERAL.....	18
3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4 JUSTIFICACIÓN	20
5 MARCO DE REFERENCIA	23
5.1 MARCO TEÓRICO.....	23
5.1.1 DESARROLLO SOSTENIBLE.....	23
5.1.2 CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE.....	25
5.1.3 LA GUADUA.....	28
• Generalidades.....	28
• Silvicultura.....	32
• Propiedades físicas y mecánicas.....	35
5.2 ESTADO DEL ARTE	39
5.2.1 LA GUADUA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	39
• Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10..	41
• Bahareque Encementado.....	42
• Muro Tendinoso	44
• Guadua estructural expuesta.....	46

•	Estructuras para cubiertas.....	47
5.2.2	LA GUADUA COMO MATERIAL SOSTENIBLE	50
•	Ciclo de Vida de la Guadua o Estados De Madurez	52
6	TRABAJO DE CAMPO	57
6.1	MEMORIA METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE CAMPO	57
6.2	RESULTADOS TRABAJO DE CAMPO	65
7	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
8	CONCLUSIONES.....	86
9	FUENTES DE CONSULTA	87

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1 Áreas, en hectáreas, de cultivo de guadua en la zona cafetera. Información obtenida de las CAR del eje cafetero, año 2000.....	29
Tabla 5.2 Áreas potenciales, en hectáreas, para el cultivo de la guadua. Información obtenida de las CAR del eje cafetero, año 2000.....	29
Tabla 5.3 Convención de clasificación de la guadua basada en su diámetro.....	31
Tabla 5.4 Esfuerzos admisibles F_i (MPa), $CH= 12\%$. Modificada de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente, NSR-10, Marzo de 2010).....	36
Tabla 5.5 Módulos de elasticidad, E_i (MPa), $CH= 12\%$. Modificada de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente, NSR-10, Marzo de 2010)	36
Tabla 5.6 Valores de módulos de elasticidad de la guadua comparada con otras maderas. Modificada de (SALAS D., Eduardo, 2006).....	36
Tabla 5.7 Valores de módulos de resistencia de la guadua compara con otras maderas. Modificada de (SALAS D., Eduardo, 2006).....	37
Tabla 5.8 Otras propiedades mecánicas de la guadua. Tomada de (Colombia, Guadua y Bambú, 2007).....	37
Tabla 5.9 .Ciclo de vida de materiales de construcción de edificaciones. Tomado de (Agenda de la Construcción Sostenible, 2011)	55
Tabla 6.1 La Karakola de Cerritos	65
Tabla 6.2 Parador Cerritos.....	66
Tabla 6.3 Liceo Pino Verde.....	67
Tabla 6.4 Restaurante Aquí está Harry.....	68

Tabla 6.5 Recinto del pensamiento.....	69
Tabla 6.6 Sede Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER).	70
Tabla 6.7 Concha acústica.	71
Tabla 6.8 Kioscos (Parque de la Vida).....	72
Tabla 6.9 Hotel KARLAKÁ.....	73
Tabla 6.10 Combia.	74
Tabla 6.11 I.E. San Bernardo.....	75
Tabla 6.12 Barrios el Italiano, el Europeo y Coovinoc.....	76
Tabla 6.13 Hotel Las Camelias.....	77
Tabla 6.14 Caseta de teleférico Parque Nacional del Café.....	78
Tabla 6.15 Mirador del Café.	79
Tabla 6.16 Parque Nacional de la Cultura Agropecuaria (PANACA).....	80
Tabla 6.17 Hotel y restaurante Palmas de Santa Helena.....	81
Tabla 6.18 Puente de guadua. Santo Domingo Sabio.	82
Tabla 6.19 Peajes de Circasia, Las Pavas y Corozal.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1 Conformación del culmo de la guadua. Tomada de (ECOBAMBUSA, Empresa Colombiana de Negocios con Guadua - Bambusa, 2008)	31
Figura 5.2 Ejemplo de casa construida en bahareque encementado ubicada en el municipio de Circasia, Quindío.	44
Figura.5.3 Ejemplo de muro tendinoso en una casa ubicada en el municipio de Calarcá, Quindío.....	46
Figura 5.4 Recinto del pensamiento ubicado en las afueras de la ciudad de Manizales.	47
Figura 5.5 Sede de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER, también conocida como el Arca de Noé ubicada en la ciudad de Pereira.....	49
Figura 6.1 Cubierta y entrada principal restaurante La Karakola de Cerritos	65
Figura 6.2 Puesto de venta Parador Cerritos.	66
Figura 6.3 Salón de clases y comedor Liceo Pino Verde.	67
Figura 6.4 Fachada y cubierta restaurante Aquí está Harry.	68
Figura 6.5 Estructura Recinto del pensamiento.	69
Figura 6.6 Interior y fachada Arca de Noé.....	70
Figura 6.7 Estructura y cubierta Concha acústica.	71
Figura 6.8 Estructura y cubierta kioscos ubicados en el Parque de la Vida.....	72
Figura 6.9 "Casa en el aire" y cabaña en el Hotel KARKAKÁ	73
Figura 6.10 Fachada casa Hernando González y de su madre en Combia.....	74

Figura 6.11 Cubierta de techo y fachada I.E. San Bernardo.	75
Figura 6.12 Fachada casas elaboradas en guadua en los barrios el Italiano, el Europeo y Coovinoc.	76
Figura 6.13 Estructura cabañas de habitaciones hotel Las Camelias.	77
Figura 6.14 Caseta de teleférico y guadual en el Parque del Café.....	78
Figura 6.15 Estructura y cubierta Mirador del café, en el Parque Nacional del Café.....	79
Figura 6.16 Puente peatonal y cubierta de un establo en PANACA.....	80
Figura 6.17 Cabaña y restaurante del Hotel Palmas de Santa Helena.....	81
Figura 6.18 Estructura puente en guadua Santo Domingo Sabio.....	82
Figura 6.19 Estructura peajes de Circasia y Las Pavas.	83

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se viene manejando un nuevo concepto que busca hacer que la construcción sea más amigable con el medio ambiente, que no consuma tantos recursos y que se enfoque en el ámbito social. Dicho concepto es la construcción sostenible, la cual se puede definir de la siguiente manera:

“La construcción sostenible es un concepto global que identifica un proceso completo en el que influyen numerosos parámetros que, apoyados unos sobre otros, tienen como consecuencia productos urbanos eficientes y respetuosos con el Medio Ambiente”(Construible, 2010).

En general, todo proyecto pasa por diferentes fases que en conjunto se denominan el ciclo de vida del proyecto, que va desde su comienzo, cuando se determina que existe una necesidad por suplir o una oportunidad de negocio, pasando por el diseño arquitectónico del edificio y la obtención de las materias primas, hasta que éstas regresan al medio en forma de residuos; dentro de este contexto, lo que busca la construcción sostenible es integrar tres principios básicos que son el ecológico, el social y el económico, basándose en una adecuada gestión y reutilización de los recursos naturales y la conservación de la energía.

Dentro de la construcción sostenible es importante la planificación, teniendo en cuenta el comportamiento social, el entorno urbano y su desarrollo, la elección de los materiales y los procesos constructivos, cambios en el uso de los edificios con el objeto de incrementar su vida útil, y la optimización de procesos como construcción, funcionamiento y mantenimiento.

Se resalta la importancia de los materiales al momento de idear un modelo de construcción sostenible. En el proceso de selección de dichos materiales se deben identificar las necesidades y los requerimientos del producto final y poder así definir las propiedades que estos deben tener. La combinación de los materiales se debe realizar

procurando que se complementen entre ellos para obtener resultados óptimos y eficientes.

El comportamiento de un material es el resultado de la combinación de propiedades mecánicas, físicas y térmicas que pueden cambiar con el tiempo y de características como el costo, disponibilidad, procesamiento y acabado; todo lo anterior se debe estudiar muy bien al momento de considerar un material.

Si se hace una buena selección del material se pueden tener beneficios como la optimización de costos a largo plazo en cuestión de mantenimiento y funcionamiento, garantizando su calidad y buen comportamiento.

Se consideran materiales de construcción sostenible aquellos que sean duraderos y que necesiten poco mantenimiento, que puedan reutilizarse, reciclarse o recuperarse.

Como material alternativo, la guadua es una buena solución dentro de la construcción sostenible, ya que es resistente, liviana y económica. Es un material de construcción versátil, ecológico, renovable, reciclable y abundante en nuestro medio, siempre y cuando sea bien manejada dentro del concepto de la construcción sostenible y de los tratamientos que el material exige para ser eficiente.

La guadua se considera como una de las plantas nativas más representativas de los bosques andinos. Es uno de los elementos más importantes de la cultura cafetera colombiana, donde desde hace cientos de años, se ha utilizado el material para construcción de forma empírica; y que ahora se busca aprovecharlo de una forma más tecnificada y bajo las normas de construcción vigentes, y poder así lograr un adecuado uso del material.

Es por lo anterior que en este proyecto se evalúan las experiencias obtenidas en diferentes construcciones con la utilización de la guadua angustifolia, específicamente en el eje cafetero colombiano desde los tres principios básicos de la construcción sostenible.

1 FORMULACIÓN Y DESCRIPCIÓN

En la búsqueda de soluciones a la creciente emergencia ambiental global, se han venido creando diferentes alternativas a la forma como los seres humanos desarrollan sus actividades diarias, producen su alimento, su viviendas y sus bienes en general, para aminorar los efectos de la actividad humana en la naturaleza, y no agotar los recursos naturales para las generaciones venideras.

Las grandes industrias son las principales llamadas a hacer un cambio en su manera de operar; ya que son estas las que consumen de forma más acelerada los recursos. Como se sabe, la industria de la construcción es uno de los sectores que más recursos naturales consume y que en el desarrollo de sus procesos, es el que más contaminación causa al ambiente.

Luego de darse cuenta de lo anterior, y en vista de que la población mundial no va a detener su crecimiento y que cada día va a haber mucha más demanda de infraestructura y déficit de vivienda; el sector de la construcción ha venido desarrollando herramientas para mitigar y minimizar el impacto de esta actividad en el ambiente, lo cual llamó construcción sostenible.

La construcción sostenible evalúa el impacto ambiental de las edificaciones desde el diseño, la construcción, la operación, hasta la disposición final de los materiales, luego de que la construcción alcanza el final de su vida útil; teniendo en cuentas varios aspectos como el bajo consumo de energía y el uso de energías renovables, disminución de residuos y emisiones, disminución en el mantenimiento de las mismas y que los materiales que se utilizan para su construcción sean amigables con el ambiente.

En este proyecto se quiere resaltar la importancia que tiene la debida evaluación de la guadua como material para la construcción y si ésta si es compatible con el concepto de sostenibilidad, como la disponibilidad del recurso en la zona, el efecto que tendría en la naturaleza si este es explotado, el beneficio que le trae a la comunidad el uso de este material y si es asequible, todo lo anterior sin dejar a un lado las propiedades físicas y mecánicas que deben tener los materiales para poder ser utilizados en la construcción de infraestructura.

Este proyecto busca evaluar la guadua dentro de la sostenibilidad, tratando de responder interrogantes como:

¿Cómo se utiliza este material actualmente, y si la forma como se hace está dentro de los principios de sostenibilidad?

¿Es realmente la guadua apta para ser usada como material alternativo para la construcción sostenible?

En el ciclo de vida del material, ¿se alcanzan a utilizar todos los insumos que esta provee?

¿La guadua cumple con las propiedades físicas y mecánicas propias de los materiales de construcción?

En caso de que la guadua cumpla con los principios de sostenibilidad y resistencia ¿podría ser utilizada para construir de forma masiva? ¿Qué impacto causaría esto en los guaduales? A partir de esto, ¿Es viable hacer viviendas de interés social utilizando este material como insumo?

2 OBJETIVO GENERAL

Identificar la guadua como material alternativo para la construcción sostenible mediante la investigación de su uso en diferentes construcciones con el fin de mostrar los beneficios que se han obtenido en su utilización.

3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las diferentes características de la guadua como material de construcción, a través de información de experiencias en el procesamiento del material y su uso en la construcción y finalmente hacer un balance de su sostenibilidad.
- Mostrar los diferentes usos que tiene actualmente la guadua y los resultados obtenidos de su implementación en diferentes construcciones.
- Enfatizar que una obra sostenible, debe ser evaluada desde su diseño teniendo en cuenta el aspecto social, ecológico y económico.

4 JUSTIFICACIÓN

A partir de los años 70 la sociedad comenzó a entender que los recursos que estaba demandando para su crecimiento económico eran mucho mayores que los que la naturaleza le podía proveer y comenzó a crearse conciencia que debería existir equilibrio entre el desarrollo deseado por la sociedad y la cantidad de recursos demandados. En vista de esto y por medio de varias declaraciones y cumbres que se han venido desarrollando a lo largo de todos estos años, se han tratado de crear criterios que ayuden al hombre a preservar y mejorar el medio ambiente. Y es cuando en 1987, en el Informe Brundtland, nace el término *Desarrollo Sostenible*, el cual tiene como objetivo “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer las suyas” (Comisión Mundial Para el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1987).

El desarrollo sostenible se sustenta en tres pilares fundamentales: ambiental, social y económico. Considera el aspecto social como enlace entre el equilibrio ambiental y el desarrollo económico (BAÑO N., Antonio y VIGIL-ESCALERA P., Alberto, 2005). La sociedad debe desarrollarse económicamente, al mismo tiempo que cuida al medio ambiente para que pueda absorber los impactos generados por dicho desarrollo. Es por esto que se deben reevaluar los sistemas de los sectores productivos y reorientarlos hacia una producción más limpia.

El sector de la construcción es uno de los sectores industriales que más influye no solo en el desarrollo económico de los países, aportando un 11% al PIB mundial (El Economista, Marzo, 2011), sino que a la vez es el sector que más consume recursos naturales (32%) como materias primas y agua potable, energía primaria y electricidad, además de que contribuye a la producción del 40% de los desechos sólidos (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2007), emisión de dióxido de carbono y gases de efecto invernadero. Es por esto que este sector debe adoptar prácticas que ayuden a minimizar el impacto que tiene sobre el medio ambiente y el agotamiento de los recursos; es decir, un modelo de construcción sostenible.

“La construcción sostenible es un concepto global que identifica un proceso completo en el que influyen numerosos parámetros que, apoyados unos sobre otros, tienen como consecuencia productos urbanos eficientes y respetuosos con el Medio Ambiente” (Construible, 2010)

“Proceso completo de actividad constructiva que tiene como resultado productos urbanos eficientes y respetuosos del equilibrio entre los tres pilares básicos de la sostenibilidad; este proceso requiere un análisis complejo de las variables que puedan afectar dicho equilibrio a lo largo de todo el ciclo de vida del producto urbano construido”. (Área Metropolitana del Vale de Aburrá, Subdirección Ambiental y Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, 2010)

El proceso constructivo utiliza cuatro recursos: energía, terreno, materias primas y agua. Desde estos, se establecen parámetros que definirán una construcción como sostenible. Un ejemplo de esto es una adecuada elección de materiales provenientes de recursos renovables que se puedan encontrar en el medio en el cual se va a construir.

En la actualidad se realizan investigaciones en materiales alternativos que tengan las propiedades mecánicas, físicas y térmicas con las que debe contar cualquier material de construcción, y que a la vez puedan cumplir con los criterios de sostenibilidad. Dichas investigaciones dan cuenta de una gran variedad de materiales que cumplen con las propiedades antes mencionadas, con el inconveniente de que no hay buena divulgación de esta información, lo cual hace que no exista cultura de uso de los mismos.

En el caso colombiano existe un material en particular que es resistente, liviano, económico, ecológico y que es representativo de la región andina: la guadua. Sus propiedades físicas como material han sido evaluadas en los últimos años, probando así, que aunque es un material esbelto y liviano, es lo suficientemente resistente como para utilizarse en la construcción. El gradual tiene la capacidad de crecer en diferentes tipos de suelos, al mismo tiempo que puede renovarse en cortos periodos de tiempo (entre 4 y 6 años), lo cual hace que la guadua esté disponible, sin discriminación, para toda clase de consumidores.

Es por esto que se quiere dar a conocer las ventajas que tiene este material al ser utilizado en la construcción y las experiencias que se han tenido con su utilización en la región, además de su desempeño, viabilidad y potencial para convertirse en un material alternativo para la construcción sostenible, si se aprende a utilizar como tal.

GLOSARIO

Bahareque encementado: es un sistema estructural de muros que se basa en la fabricación de paredes construidas con un esqueleto de guadua o guadua y madera, cubierto con un revoque de mortero de cemento aplicado sobre malla de alambre, clavada sobre el esqueleto del muro.

Carrera: Solera superior que corona una estructura de muros. Vigas de amarre.

Caulinar: Que nace del tallo.

Correa: Elemento horizontal componente de la estructura de cubierta.

Chusquijo: Brote que tiene su origen en la yema basal del rizoma, que se activa como respuesta a la regeneración del culmo.

Entrenudo: Células conformadas por fibras en un 40% y tiene forma axial.

Guadual: Cultivo de guaduas.

Huella ecológica: Medida de la capacidad de la Tierra para soportar el consumo humano que se genera en ella.

Liquen: Organismos que surgen de la simbiosis entre un hongo llamado micobionte y un alga o cianobacteria llamada ficobionte.

Muros tendinosos: Sistema de cerramiento no convencional, fabricado a partir de mortero enriquecido con cemento, cascarilla de arroz y arena en proporciones 1:1:3, sacos o costales de fique y alambre de espino, confinado entre parales de madera, bambú o perfiles metálicos.

Nudo: Tabique con intensa ramificación de vasos y floema que hacen la conducción transversal.

Pie amigo: Elementos oblicuos que transfieren cargas a los elementos verticales.

Pie derecho: Elemento vegetal de la estructura de un muro de bahareque encementado en posición vertical, apoyado sobre la solera.

Plántula: Material vegetal, o chusquín, en bolsa con una mezcla de suelo orgánico.

Recubrimiento: Material que conforma las caras de un muro.

Solera: Elemento horizontal que sirve de base a la estructura de un muro e integra las cargas de los pie derechos.

5 MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO TEÓRICO

5.1.1 DESARROLLO SOSTENIBLE

En su libro *La Revolución Necesaria*, Peter Senge dice que la revolución industrial le trajo al mundo un sinnúmero de aspectos positivos en materia de progreso, desarrollo, mejoramiento del nivel material de vida, expectativa de vida, educación, entre otros. Pero durante este periodo de crecimiento económico, se causó un daño irreparable al planeta; ya que a medida que el crecimiento industrial se iba dando, el consumo de recursos no renovables como los combustibles fósiles aumentaba, al igual que el consumo excesivo de recursos renovables, los desperdicios industriales y desperdicios tóxicos; lo cual fue aumentando la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera, deteriorando la calidad del agua y los suelos, causando también la extinción de especies naturales, y en general un desequilibrio ecológico, donde el consumo de recursos y la producción de desechos es tan acelerado, que la naturaleza pierde su capacidad de auto regeneración.

Pero este crecimiento económico acelerado no sólo causó un desequilibrio ambiental en el planeta, también causó un desequilibrio social en sus habitantes en la medida en que durante este periodo los ingresos de la población más pobre decrecieron, al igual que su calidad de vida.

A medida que el hombre va saliendo de la “burbuja de la industrialización” (SENGE, Peter et al., 2009), se va percatando del daño causado, y creando conciencia que si continúa el ritmo de consumo que lleva hasta ahora, puede llegar a agotar por completo los recursos del planeta para las generaciones futuras, en nombre del progreso.

El concepto de desarrollo sostenible sale a la luz por primera vez en 1987 en el Informe Brundtland, producto del trabajo de La Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas. En este se define el desarrollo sostenible cómo aquel que es capaz de satisfacer las necesidades de las generaciones actuales, sin comprometer los recursos de las generaciones futuras.

Dicho informe tiene como objetivo encontrar soluciones a largo plazo que ayuden a revertir los problemas ecológicos y sociales del mundo actual, ya que el problema ambiental, no es sólo de las regiones, sino que le compete a todo el globo. El enfoque que se le debe dar a la solución de estos problemas es uno donde la conservación del medio ambiente no esté en contra del desarrollo económico del mundo, sino que se puedan ver como uno sólo.

Con el fin de mejorar la calidad de vida de todas las personas sin que se comprometa el equilibrio del planeta y que no se demande mucho más de lo que éste puede brindar, el desarrollo sostenible trabaja tres esferas fundamentales, en las cuales es importante adoptar medidas si se quiere un verdadero desarrollo sostenible: ambiental, social y económico.

En la esfera ambiental se promueve la conservación de los recursos naturales y el medio ambiente por medio de la creación de soluciones que disminuyan el consumo de recursos y la contaminación.

La esfera social vela porque se respeten y atiendan las necesidades básicas de todas las personas al igual que la diversidad y los derechos de los trabajadores.

El ámbito económico se enfoca en lograr un crecimiento que sea responsable a largo plazo y que sea incluyente a todas las sociedades del mundo.

5.1.2 CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

En búsqueda de soluciones al problema ambiental global, se identifica un sector económico que consume gran porcentaje de los recursos naturales y que es uno de los mayores causantes de la contaminación en el planeta: La construcción.

La construcción es uno de los sectores industriales que más impulsa la economía, este representa más del 11% del PIB mundial (El Economista, Marzo, 2011). Pero también consume el 32% de los recursos mundiales (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2007) como el agua, la tierra que sirve para diferentes cultivos y materias primas que sirven para los procesos constructivos; durante estos procesos y en el periodo de utilización de la edificación, se generan contaminantes como los residuos de construcción y demolición (escombros), que no siempre disponen de manera adecuada, gases de efecto invernadero, debido, entre otras cosas, a la utilización de combustibles fósiles; se generan también grandes consumos energéticos y de agua; el hecho de que la construcción tenga tal impacto en la economía y en el medio ambiente, la convierte en una pieza clave en el desarrollo sostenible, ya que tiene gran potencial para reducir el cambio climático.

El concepto de *Construcción Sostenible* nace luego de identificar un problema, al que hay que darle una solución inmediata y a largo plazo. Se comienzan a generar estrategias para aminorar el impacto ambiental causado hasta ahora además del que se generará en el futuro; y al mismo tiempo poder suplir la demanda de infraestructura que se genera cada día debido al aumento constante de la población mundial.

La construcción sostenible pretende generar productos de infraestructura que sean eficientes, amigables con la comunidad y que causen el menor impacto ambiental posible, todo esto teniendo como base las tres esferas de la sostenibilidad. Para lograr esto, se deben concebir los procesos desde cada variable que lo compone y que puede afectar el entorno durante la vida útil de la construcción.

La construcción sostenible se fundamenta en cuatro recursos que son la energía, el terreno, las materias primas y el agua; los cuales dan paso a cinco parámetros que la definen:

- 1) Aprovechamiento de recursos y materiales de una manera amigable con el ambiente.
- 2) Disminución el consumo de energía e implementación del uso de energías renovables.
- 3) Aumento de la calidad de vida de los habitantes.
- 4) Diminución de todo tipo de residuos y emisiones generados por la actividad humana.
- 5) Reducción de mantenimiento y uso de las edificaciones.

La humanidad a lo largo de su historia ha diseñado sus viviendas en función del clima reinante en cada parte del mundo y de los materiales constructivos disponibles en su entorno, lo cual presentaba ventajas como la reducción de la necesidad de energía en las viviendas, disminución de costos por transporte de materiales, reducción de emisiones contaminantes nocivas para los habitantes y el ambiente. Posteriormente se utilizaron nuevos materiales como el concreto y el acero, utilizados en todo el mundo como los mejores materiales al momento de construir cualquier estructura, sin tenerse en cuenta que estos causan gran impacto ambiental y que los recursos naturales que lo componen no siempre están disponibles en el sitio, lo cual genera grandes acarrees.

En la actualidad se busca que al momento de concebir un proyecto se piense en su estructura como un todo, teniendo en cuenta los parámetros anteriores desde su diseño hasta la disposición final de los materiales que lo componen al momento que este termine su vida útil. Es por esto que la construcción con materiales nocivos, que no respetan el medio ambiente ha venido cambiando por materiales que no son tóxicos y que no causan gran impacto en el medio ambiente al ser utilizados. Un ejemplo de esto, es una adecuada elección de los materiales con los cuales se va a construir procurando que estos sean provenientes de recursos renovables que se puedan encontrar en el medio en el cual se pretende construir.

En Colombia, específicamente en la región Andina, se encuentra un material que ha sido utilizado ampliamente para la fabricación de elementos decorativos, muebles y como material de construcción: la guadua. Este material no sólo cuenta con las propiedades

físicas para ser utilizado en la construcción, sino que también cuenta con las características para ser un material sostenible, ya que se renueva en poco tiempo, está disponible en el medio, no requiere gran uso de energías fósiles para ser explotado y una vez el material ha cumplido con su vida útil, su disposición final no causa gran impacto en el ambiente.

5.1.3 LA GUADUA

- **Generalidades**

El bambú es una planta gramínea, clasificada en los Cormofitos, dentro de la subdivisión de los espermatofitinos.

Clase : Angiospermas
Subclase : Monocotiloideas
Orden : Glumiflorales
Familia : Gramineales
Subfamilia : Bambusoideae
Tribu : Bambusae o Poaceae

En Colombia se utiliza para la construcción la *Guadua angustifolia* Kunth, la cual pertenece a la especie bambusea conocida entre de la tribu Bambusae.

Debido al poco valor económico atribuido al recurso del bambú, la mayoría de los países latinoamericanos no cuentan con estimados sobre áreas cubiertas o producción. Sólo Colombia, Ecuador, Nicaragua y Venezuela tienen algunos datos en este sentido. Sin embargo, las fotografías de satélite permiten calcular que en el sur occidente de la Amazonía, en la frontera entre el estado de Acre en Brasil, Madre de Dios en Perú y Pando en Bolivia, el área cubierta puede ser de unos 180 000 km².

En Colombia hay cultivados aproximadamente 400 hectáreas y en total, entre naturales y cultivadas hay 68 000 hectáreas, de las cuales 98 a 99% son guaduales naturales, es decir guaduales de conservación; los cuales juegan un papel muy importante como reguladores hídricos, como capturadores de CO₂ y liberadores de oxígeno.

Tabla 5.1 Áreas, en hectáreas, de cultivo de guadua en la zona cafetera. Información obtenida de las CAR del eje cafetero, año 2000.

Departamento	Caldas	Quindío	Risaralda	Total
Guadual Natural	5 000	5 800	3 476	14 276
Guadual plantado	500	640	615	1 755
Total	5 500	6 440	4 091	16 031

Tabla 5.2 Áreas potenciales, en hectáreas, para el cultivo de la guadua. Información obtenida de las CAR del eje cafetero, año 2000.

Departamento	Hectáreas
Caldas	20 000 a 30 000
Risaralda	10 000 a 15 000
Quindío	2 500 a 3 000
Total	32 500 a 48 000

“Los bambúes son el único grupo de gramíneas enteramente adaptado a los bosques“ (VILLEGAS, Marcelo, 2003) y es debido a esta adaptación que pueden crecer en muchos tipos de climas; en Colombia, la guadua crece entre los 500 y los 2 000 msnm a temperaturas entre los 15°C y 25°C. Se le puede encontrar en la región andina, entre la cordillera occidental y la cordillera central.

La guadua, comparada con un árbol, presenta un mayor crecimiento, entre los 4 y 6 años está lista para ser utilizada, y si se le da el manejo adecuado al guadual, este puede producir ilimitadamente. Durante su crecimiento, que oscila entre los 5 y 10 cm diarios, la guadua no varía su diámetro, y aunque es cónica, el diámetro entre su copa y su cepa no varía más de un centímetro.

El guadual presenta un sinnúmero de beneficios para la naturaleza: regula los caudales de los ríos, protege el suelo, controla la erosión, capta CO₂, aporta materia orgánica y contribuye a la biodiversidad.

Como material de construcción, la guadua angustifolia se destaca por sus diversas propiedades estructurales, como la alta relación resistencia/peso la cual es superior a la de muchas maderas, capacidad para absorber energía y permitir una mayor flexión; es tal

su comportamiento estructural que ha sido comparado con el acero y otras fibras de alta tecnología.

Partes de la guadua y su utilización en la construcción:

- **Copa:** Tiene una longitud entre 1,20 y 2,00 m. Se repica en el suelo del guadual como aporte de materia orgánica.
- **Varillón:** Tiene una longitud de 3,00 m. Se utiliza en la construcción como correa de techos con tejas de barro o de paja. Se emplea como tutor en cultivos transitorios.
- **Sobrebasa:** Tiene buen comercio debido a su diámetro; tiene una longitud de 4,00 m. Se utiliza como elemento de soporte en estructuras de concreto de edificios en construcción. También se emplea como moldes para losas y como postes de espalderas en cultivos.
- **Basa:** Parte que mayores usos tiene, debido a su diámetro intermedio. Es la sección más comercial de la guadua, llamada también guadua rolliza. Longitud de 8,00 m. De esta sección se elabora generalmente la esterilla, la cual tiene múltiples usos: en construcción de paredes, casetones y moldes para losas. Se utiliza además como vigas y postes.
- **Cepa:** Sección basal del culmo de mayor diámetro, debido a sus entrenudos¹ más cortos proporciona una mayor resistencia, tiene una longitud de 3,00 m. Se utiliza como columnas en construcción y como cercos.
- **Rizoma:** Es un tallo modificado, subterráneo, que se conoce como “caimán”. Se usa en decoración y juegos infantiles.

¹ Células conformadas por fibras en un 40% y tiene forma axial.

² Brote que tiene su origen en la yema basal del rizoma, que se activa como respuesta a la regeneración del culmo.

³ Que nace del tallo.

⁴ Tabique con intensa ramificación de vasos y floema hacen la conducción transversal.

⁵ Organismos que surgen de la simbiosis entre un hongo llamado micobionte y

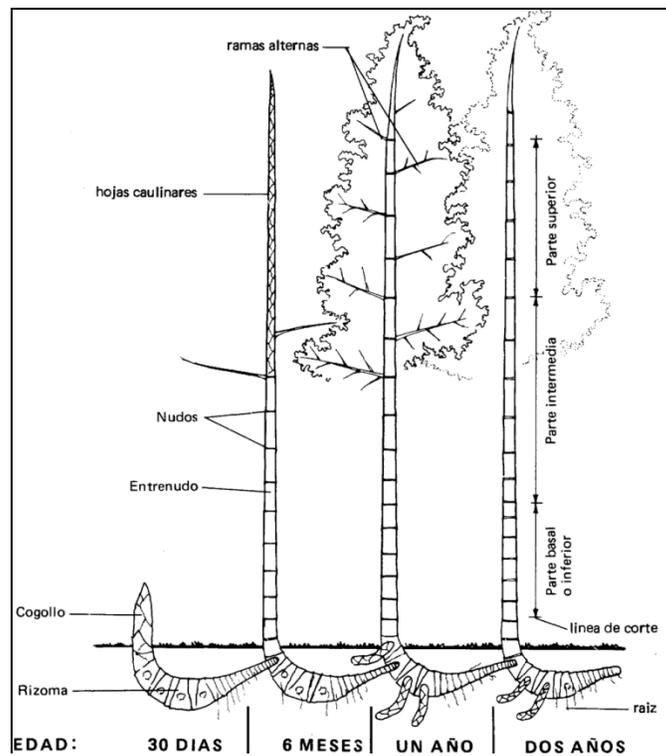


Figura 5.1 Conformación del culmo de la guadua. Tomada de (ECOBAMBUSA, Empresa Colombiana de Negocios con Guadua - Bambusa, 2008)

Las guadas se diferencian por sus diámetros, pero con el tiempo se han creado convenciones basadas en sus rangos de medida. Como la guadua es más ancha en su base que en su punta, al momento de clasificarla para almacenamiento y posterior distribución, se debe procurar que esta sea lo más uniforme posible (no más de un centímetro de diferencia entre su base y la punta).

Tabla 5.3 Convención de clasificación de la guadua basada en su diámetro.

N°	DIÁMETRO (cm)
1	8 a 8,90 cm
2	9 a 9,90 cm
3	10 a 10,90 cm
4	11 a 11,90 cm
5	12 a 12,90 cm
6	13 cm

- **Silvicultura**

Se entiende como el conjunto de las técnicas aplicadas a los guaduales que tienen como objetivo mejorar la protección y producción sostenida de los mismos para poder así satisfacer las necesidades sociales, económicas y ambientales (Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS y Cámara de Comercio de Manizales, 2002).

El cultivo de la guadua comienza desde los chusquijos²; se introducen en una bolsa con material orgánico y se someten a condiciones de temperatura especiales en un invernadero o banco de propagación por un tiempo de 6 meses hasta que alcanzan una altura de al menos 20 cm se siembran a una distancia de 1,50 m entre ellas. Luego de este proceso el guadual se tardará 10 años en producir guaduas aptas para ser trabajadas.

Luego de un año, la guadua se considera joven o “viche”, sus fibras forman una especie de pitillos o conductos, dentro de los cuales se forman fibras que luego le van a dar al material sus propiedades resistentes, comienza a presentar lo que se conoce como hoja caulinar³, las cuales son hojas de color verde esmeralda, y sus nudos⁴ son de color blanco; durante este tiempo puede llegar a crecer 10 cm por día. A medida que sigue creciendo, alrededor de los 3 años, al interior de los conductos se forman otros, en su superficie se comienzan a ver líquenes⁵ de maduración de color claro y sus nudos comienzan a adoptar un color grisáceo.

Cuando la guadua alcanza 5 años de edad, ya está madura o “hecha”, esto quiere decir que todo el grupo de fibras que se formaron dentro de los conductos están trabajando de

² Brote que tiene su origen en la yema basal del rizoma, que se activa como respuesta a la regeneración del culmo.

³ Que nace del tallo.

⁴ Tabique con intensa ramificación de vasos y floema hacen la conducción transversal.

⁵ Organismos que surgen de la simbiosis entre un hongo llamado micobionte y un alga o cianobacteria llamada ficobionte.

forma óptima y está lista para ser cortada y trabajada; luego de este tiempo las fibras que se encuentran en la parte exterior comienzan a debilitarse por efectos del sol, el ambiente y otros factores a los cuales están expuestas, es por esto que ya no son aptas para ser utilizadas en construcción; una forma para identificar si la guadua no es apta para ser trabajada es que a la superficie de esta se le comienzan a notar líquenes de color rojizo.

La guadua es invasiva, pero altamente resistente, no necesita de ayuda para protegerse del viento; aun así, es importante que durante todo el proceso de cultivo se mantenga el guadua en buenas condiciones, haciendo proceso de entresaca periódicamente. En este proceso se deben cortar el 70 % de las guaduas maduras, las que están torcidas o muy delgadas, estas últimas se remueven para que obstaculicen la entrada de luz de las otras guaduas. Se debe tener cuidado cuando se hace el corte de las guaduas de que sea a ras del cañuto, para que no se empoce el agua dentro de este, y la guadua no se pudra; el buen corte de esta garantiza que hayan rebrotes y que no se acabe el guadua; para guaduas que posteriormente van a ser utilizadas en construcción, se recomienda que sean cortadas de laderas, a una distancia mínima de 10 m alejada del río.

Para mejorar las propiedades de resistencia al bambú suelen hacerse tratamientos al suelo para mejorar sus condiciones; ya que cuando se tienen capas vegetales muy delgadas o suelos muy arenosos, no se obtiene un cultivo con guaduas de buenas especificaciones.

El aprovechamiento forestal se refiere a la recolección y extracción de los productos que se destinan para el procesamiento industrial y la comercialización, esta práctica favorece la regeneración del guadua, asegurando su rendimiento en el tiempo (Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS y Cámara de Comercio de Manizales, 2002). Las corporaciones autónomas regionales, como entes reguladores, aprueban cada sitio de aprovechamiento, el cual debe tener su propio ciclo de corte, la intensidad de corte y las técnicas de aprovechamiento; las autoridades ambientales visitan los cultivos periódicamente y verifican que se esté haciendo el proceso de entresaca; hacen control que las guaduas sean aptas para ser utilizadas, y según el tamaño y las condiciones en que estén las guaduas y el guadua otorgan las licencias de corte y aprovechamiento forestal del cultivo (40% - 60%).

Para el proceso de corte de la guadua se hacen recomendaciones generales, con el fin de que el material tenga desempeños óptimos; como cortar la guadua cuando esté madura, cortarla en fase lunar de menguante entre la media noche y las cuatro de la mañana y dejar las guaduas en el gradual por un periodo mínimo de 5 días (ÁLVAREZ U., Mario F., 2001).

Luego de que se han seleccionado y cortado las guaduas para el proceso constructivo, estas deben pasar por dos procesos muy importantes que le van a dar su valor agregado y que le van a permitir tener mayor durabilidad: el secado y el inmunizado. Para desarrollar estos procesos existen sistemas artesanales y semi-industriales que se han venido desarrollando con el tiempo y se diferencian entre ellos en diferentes aspectos.

En el sistema artesanal de secado e inmunización de la guadua, esta permanece en el gradual por 5 días, con el fin de conservar sus propiedades químicas. Cuando llega a la planta se procede a limpiarla con agua y viruta para remover los líquenes que tiene en su superficie, luego se dispone horizontalmente en perchas para el proceso de pre secado donde no permanece más de una semana para que no pierda completamente su humedad y no se raje; durante este proceso la guadua se perfora, ya sea en su eje vertical a través de los nudos u horizontalmente en los entrenudos, para que cuando se haga el proceso de inmunización el líquido penetre en todo el material y luego pueda ser recuperado. El proceso de inmunización se desarrolla en un tanque que contiene una solución de pentaborato u otra sustancia química preservante donde el material permanece por cinco días; para reforzar este proceso se puede aumentar la temperatura de la solución a 35°C, esto hace que la sustancia penetre más fácil en la guadua. Pasados los cinco días se retira el material y se dispone verticalmente durante una semana, rotándolas constantemente y permitiendo que se sequen. Finalmente se seleccionan las guaduas y se almacenan según su tamaño.

Otros sistemas de inmunización como el ahumado consisten en ahumar la guadua sobre el fuego de sus propias ramas, lo que la hace incomedible para los insectos; en la técnica del calentado se somete la superficie a 150°C por poco tiempo, este método puede rasgar el material; existen diferentes sistemas de inmunización que pueden variar según el tipo de químico que se utiliza (Naftenato de Cobre en Solución Orgánica, Pentaclorofenol,

Creosota, Tratamiento Salino), varían también en el tiempo que se emplea en el proceso, la aplicación de temperatura, si se hace por solución o por hornos, entre otros.

- ***Propiedades físicas y mecánicas***

Desde el año 2010 se establecen en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, los requisitos para el diseño estructural y sismo resistente con la Guadua angustifolia Kunth. Esta norma sólo puede ser aplicada para estructuras de hasta dos pisos que sean completa o parcialmente de guadua. A continuación se muestran algunos apartes de la norma que regulan el material⁶:

REQUISITOS DE CALIDAD PARA GUADUA ESTRUCTURAL: La guadua considerada como rolliza al ser utilizada como elemento de soporte estructural en forma de columna, viga, vigueta, pie derecho, entramados, entrepisos y otros, debe cumplir con ciertos requisitos como:

- Debe ser de la especie Guadua angustifolia Kunth.
- La edad de cosecha de la guadua debe estar entre los 4 y 6 años.
- El contenido de humedad del material debe ser correspondiente con la humedad del lugar donde se va a construir.
- El material debe tener buena durabilidad natural o estar adecuadamente inmunizada. Además de esto, se debe proteger por medio del diseño, del contacto con los agentes naturales que la puedan dañar.

CLASIFICACIÓN MECÁNICA: Esta clasificación se hace con relación a la capacidad a resistir cargas de compresión, corte, flexión, tracción y módulo de elasticidad. Todo

⁶ Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes. Título E

Título G. Marzo de 2010. Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente, NSR-10. Bogotá D.C., Colombia. P. E-23 - E40 y G-103 - G-133.

elemento que cumpla con los requisitos de calidad estructural, debe utilizar los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad establecidos en las siguientes tablas.

Tabla 5.4 Esfuerzos admisibles F_i (MPa), CH= 12%. Modificada de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente, NSR-10, Marzo de 2010)

F_b Flexión	F_t Tracción	F_c Compresión Paralela	F_{p^*} Compresión Perpendicular	F_v Corte
15	18	14	1,40	1,20

Tabla 5.5 Módulos de elasticidad, E_i (MPa), CH= 12%. Modificada de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente, NSR-10, Marzo de 2010)

Módulo promedio $E_{0,5}$	Módulo percentil 5 $E_{0,05}$	Módulo mínimo E_{\min}
9 500	7 500	4 000

Cabe mencionar que para un material como la guadua las propiedades mecánicas que esta pueda tener varían en cada guadua en particular y no se pueden dar valores absolutos definitivos del material. Sin embargo, la información suministrada a continuación, donde se compara la guadua con otras maderas, permite darse una idea de los beneficios que puede traer este material.

Tabla 5.6 Valores de módulos de elasticidad de la guadua comparada con otras maderas. Modificada de (SALAS D., Eduardo, 2006)

MATERIAL	MÓDULO DE ELASTICIDAD A TRACCIÓN	MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN	MÓDULO DE ELASTICIDAD A FLEXIÓN
Guadua	190 000 kg/cm ²	184 000 kg/cm ²	179 000 kg/cm ²
Otras maderas	Entre 90 000 y 180 000 kg/cm ²	Entre 96 000 y 169 000 kg/cm ²	Entre 108 000 y 128 000 kg/cm ²

Tabla 5.7 Valores de módulos de resistencia de la guadua compara con otras maderas. Modificada de (SALAS D., Eduardo, 2006)

MATERIAL	RESISTENCIA A TRACCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
		Perpendicular a la fibra	Paralela a la fibra	
Guadua	430 kg/cm ²	560 kg/cm ²	650 kg/cm ²	740 kg/cm ²
Aliso	108 kg/cm ²	68 kg/cm ²	357 kg/cm ²	460 kg/cm ²
Arboloco	Entre 500 y 1 500 kg/cm ²	132 kg/cm ²	405 kg/cm ²	390 kg/cm ²
Otras maderas	1 000 kg/cm ²	Entre 50 y 144 kg/cm ²	400 kg/cm ²	Entre 500 y 720 kg/cm ²

Tabla 5.8 Otras propiedades mecánicas de la guadua. Tomada de (Colombia, Guadua y Bambú, 2007)

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	RESISTENCIA AL CORTANTE	PESO ESPECÍFICO
18 N/mm ²	1,10 N/mm ²	790 kg/m ³

A pesar de que el material cumpla con los requisitos estipulados en la norma que lo regula, es muy importante que al momento de construir cualquier estructura con ella se tenga en cuenta los principios de sismo resistencia; de lo contrario, aunque el material tenga muy buenas propiedades físicas y mecánicas, la edificación no será segura. Para hacer una estructura que sea sismo resistente la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica plantea, en el Manual de Construcción Sismo Resistente de Viviendas en Bahareque Encementado⁷, los principios básicos para hacer estas construcciones; como mantener una forma sencilla en planta y en elevación, si se construye una estructura liviana, está no tendrá que soportar menores esfuerzos al momento de un sismo; al tener mayor rigidez y buena estabilidad, se va a tener una estructura mucho más estable y no se presentarán daños en los acabados, los cuales deben estar adheridos a la estructura.

⁷ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Manual de Construcción Sismoresistente de Viviendas en Bahareque Encementado. s.l.: La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina- LA RED, 2001. 69 p.

Es importante también trabajar en suelos firmes y tener una buena cimentación que permita transferir con seguridad las cargas al suelo. Los materiales que compongan las estructuras deben ser de buena calidad al igual que la calidad en el proceso constructivo; es decir, que es importante que los materiales cumplan con los requerimientos de resistencia y capacidad, pero que al momento de construir se debe tener el control necesario de la estructura y realizar bien los procesos. La estructura construida debe también, ser capaz de soportar deformaciones en sus componentes sin perder sus propiedades resistentes.

5.2 ESTADO DEL ARTE

5.2.1 LA GUADUA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

En Colombia, la guadua y la madera han sido usadas como materiales de construcción desde hace cientos de años, ya que eran materiales que han estado disponibles en el medio; a partir de la época de la colonización y con la entrada de nuevos materiales como el acero y el concreto, se relegó el uso de estos materiales a zonas rurales.

La guadua es un material natural que posee características que ningún otro recurso natural posee, como mayor elasticidad, dureza y resistencia. “Es un material liviano que permite bajarle el peso a la construcción y que es un factor muy importante para construcciones sismo resistentes. Especialmente sus fibras exteriores la hacen muy resistente a fuerzas axiales. La relación entre peso - carga máxima y su forma tubular apto para fuerzas axiales lo convierten en un material perfecto para estructuras espaciales en donde trabajan solamente dichas fuerzas axiales” (ZUARQ, 2011).

“La especie *Guadua angustifolia* sobresale dentro del género por sus propiedades estructurales tales como la alta relación resistencia/peso que excede a la mayoría de las maderas y puede incluso compararse con el acero y con algunas fibras de alta tecnología. La capacidad para absorber energía y admitir una mayor flexión, hace que este bambú sea un material ideal para construcciones sismo resistentes” (VILLEGAS, Marcelo, 2003).

Las nuevas tecnologías constructivas con este material, logradas gracias al esfuerzo de arquitectos e ingenieros colombianos y ecuatorianos, han permitido que hoy en día la vivienda en guadua cumpla con requisitos indispensables y que la enmarcan como un material sostenible con características como: bajo costo, estética, segura y rápida.

Dentro de los elementos que se pueden lograr con la guadua en construcción encontramos:

- Casetones: Se hacen en esterilla de guadua, estructurado con marcos en listón, tienen doble recubrimiento aislante (lona sintética y plástico) para un mejor desempeño en calidad, ahorro de concreto y acabado.
- Guadua laminada: Anatómicamente, la guadua está compuesta en un 40 por ciento de fibras longitudinales que van desde su tallo hasta la parte más alta, esto facilita el

laminarlo incluso para usarlo en estructuras; en Colombia se han adelantado investigaciones para explorar el potencial de la guadua laminada como material estructural para la construcción. Se producen vigas y tablas de guadua laminada, como elemento prefabricado. Este proceso se lleva a cabo con las latas rústicas de guadua, es una transformación secundaria hacia la tablilla pulida para garantizar una homogeneidad en las dimensiones; los espesores oscilan entre 5mm hasta 25mm.

- Paneles laminados: Los paneles son compuestos de varias tablas, organizadas en fibras cruzadas. Las dimensiones son limitadas por la prensa.
- Esterilla: “Es la pieza de mayor valor agregado, se obtiene de la basa y la sobrebasa, la cual se pica y se transforma en láminas hasta de 60 cm de ancho, dependiendo de su variedad. Utilizada en entresijos para vivienda, es componente importante del bahareque y la construcción tradicional” (Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS y Cámara de Comercio de Manizales, 2002). La esterilla es muy utilizada como acabado para cubiertas, muros y es materia prima para algunos métodos de construcción con este material.

En Colombia, después del terremoto de 1999 en el eje cafetero, se desarrollaron planes de vivienda con guadua en forma masiva para las personas afectadas por este sismo, esto con la ayuda de instituciones como la UTP (Universidad Tecnológica de Pereira), GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit - Cooperación Alemana al Desarrollo), FOREC (Fondo para la Reconstrucción del Eje Cafetero) y las CAR (Corporaciones Autónomas Regionales). Se aprovechó un material que estaba disponible en el medio, y que permitía que los mismos damnificados la trabajaran por su familiaridad con el material, ya que es de fácil manejo; se desarrollaron además cartillitas donde se explicaba paso a paso como se debía construir vivienda con guadua, lo cual permitió dar una solución rápida, económica, pero afectando la disponibilidad del recurso en la zona.

“El costo de construir con guadua resulta muy por debajo del costo de construir con materiales convencionales, hasta un 45% menos; de allí que este recurso se convierta en una alternativa real para ayudar a solucionar de una manera eco-constructiva los serios problemas de déficit de vivienda que afectan a la mayoría de los países de América latina” (VILLEGAS, Marcelo, 2003).

- **Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10**

Dentro de los principios de sismo resistencia se consideran factores como:

- Formas regulares.
- Bajo peso.
- Mayor rigidez.
- Buena estabilidad.
- Suelo firme y buena cimentación.
- Estructura apropiada.
- Materiales competentes.
- Calidad de construcción.
- Capacidad de disipar energía.
- Fijación de acabados e instalaciones.

Muchos de estos principios se cumplen con la guadua como material de construcción, siempre y cuando esta sea manejada según lo establecido en la norma.

Las anteriores normas sísmicas colombianas desde su primera expedición en 1984 incluyeron un título de requisitos mínimos para el diseño y construcción de casas de uno y dos pisos. La última actualización de la norma de diseño y construcción sismo resistente (NSR-10) incorporó de nuevo dichas disposiciones bajo la misma denominación de título E, más específicamente en el capítulo E7- “Bahareque encementado”, capítulo E8- “Entrepisos y uniones en bahareque encementado” y capítulo E9- “Cubiertas para construcción en bahareque encementado”; en él se presentan requisitos para diseño estructural y sismo resistente para construir casas de uno y dos pisos utilizando esta técnica, con un grado de sismo resistencia que minimice la posibilidad de daños durante eventos sísmicos; La guadua es el material predominante de este sistema constructivo. El Título E facilita a los profesionales de la construcción y a otras personas no expertas la aplicación de requisitos mínimos en casos de viviendas individuales.

En el título G se establecen los requisitos para el diseño estructural y sismo resistente de estructuras cuyo elemento resistente principal es el bambú *Guadua angustifolia* Kunth; refiriéndose a que cumpliendo con los requisitos de dicha norma la estructura tendrá un

nivel de seguridad equivalente al de estructuras diseñadas con otros materiales. Dentro de este reglamento se tienen en cuenta tanto estructuras diseñadas con elementos estructurales totalmente en guadua como elementos mixtos de guadua y otros materiales.

En esta norma el diseño de construcción para vivienda está limitado a dos pisos y se permiten muros de mampostería y concreto. La norma no contempla el diseño de estructuras como puentes o estructuras diferentes a edificaciones para vivienda, comercio, industria y educación.

Dentro de los contenidos de dicho título se tienen en cuenta como puntos principales: los requisitos de calidad para la guadua estructural y la clasificación mecánica en relación con la capacidad para resistir cargas, además de los requisitos de calidad para estructuras en guadua.

La inclusión de la guadua dentro del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NRS-10 le da a este material una connotación de material confiable para la construcción, respaldando así sus propiedades y además de regular su uso dentro de esta industria.

- ***Bahareque Encementado***

“El bahareque encementado es un sistema estructural de muros que se basa en la fabricación de paredes construidas con un esqueleto de guadua o guadua y madera, cubierto con un revoque de mortero de cemento aplicado sobre la malla de alambre, clavada en esterilla de guadua que, a su vez, se clava sobre el esqueleto del muro” (Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente, NSR-10, Marzo de 2010)

Como se menciona en la norma, el bahareque encementado está constituido por dos partes principales:

- El entramado: Está constituido por dos soleras o elementos horizontales, inferior y superior, y pie-derechos o elementos verticales conectados entre sí, además puede contener diagonales.
- El recubrimiento: Fabricado con mortero de cemento aplicado sobre malla de alambre, que esta clavada en la esterilla de guadua, o sobre un entablado; en lo

posible, los muros de bahareque encementado deben tener recubrimiento por ambos lados.

La guadua es el material predominante de este sistema constructivo, siempre y cuando este material se encuentre en estado maduro y según las especificaciones técnicas que se citan en el contenido del reglamento, al igual de los cuidados previos y posteriores a su uso, como por ejemplo, el proceso de inmunización para evitar el ataque de insectos, además de la protección contra diferentes efectos ambientales que pueden afectar seriamente las propiedades del material.

Al mencionar el trabajo estructural que ofrece la guadua en conjunto con otros materiales, se debe garantizar que los miembros y elementos estructurales deberán estar anclados, arriostrados, empalmados e instalados de tal forma que garanticen la resistencia y rigidez necesaria para asistir las cargas transmitidas con seguridad a la cimentación; así mismo se debe cuidar las uniones entre diferentes sistemas constructivos con muros de bahareque encementado.

Al realizar las uniones con elementos adicionales que requieren perforaciones e impactos en elementos como las guaduas y las maderas, bien sea con clavos, pernos, acoples, sunchos, platinas y varillas, estas acciones producen fisuración ya que son elementos compuestos por fibras longitudinales, por esta razón se debe verificar en qué tipo de uniones es empleado cada uno de estos elementos además de ser realizados con herramientas adecuadas para tal fin. Se debe además rellenar con mortero de cemento. (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, 2010).

Al momento de transmitir las cargas a la cimentación y realizar las uniones con la cubierta, se deben cumplir las funciones estructurales, tanto de rigidez como de resistencia y además de garantizar que la guadua al igual que la madera queden aisladas de la humedad.

Como se menciona en la norma es importante tener en cuenta que no se permite losas de mortero o concreto en cubiertas de casas de uno y dos pisos en muros de bahareque encementado; para realizar cielo-raso, estos se deben construir con materiales livianos; se debe evitar enchapes, fachadas o acabados en materiales pesados, y en espacios donde se haga necesario este tipo de enchapes como la zona húmeda de los baños, se

debe poner dicho enchape pegado con mortero sobre la malla clavada directamente sobre la guadua.

Dentro del trabajo de campo realizado en el eje cafetero se vieron varias casas que se conservan construidas con bahareque encementado, en municipios como Circasia, Filandia y Calarcá; estas construcciones alcanzan edades de hasta 100 años, resistiendo incluso al terremoto del eje cafetero en 1999, algunas de estas han sido restauradas. Se ven también construcciones nuevas, donde este sistema constructivo se ha venido retomando, demostrando que esta técnica representa nuestra cultura ancestral.



Figura 5.2 Ejemplo de casa construida en bahareque encementado ubicada en el municipio de Circasia, Quindío.

- ***Muro Tendinoso***

El sistema de muros tendinosos se viene aplicando en Colombia desde principios de la década de los noventa de forma empírica en la construcción de viviendas de uno y dos pisos. Este sistema tiene antecedentes en el Bahareque.

Es un sistema de cerramiento no convencional ejecutado in situ compuesto por mortero enriquecido con cemento, cascarilla de arroz y arena en proporciones 1:1:3, sacos o

costal de fique que es un material natural que demora muchos años en descomponerse y alambre de espino confinado entre parales de madera, bambú o perfiles metálicos; esta conformación de alambre de espino que se denomina “tendón” y el costal de fique dispuestos sobre la estructura que se denomina “tendido”, le dan el nombre de “tendinoso” a este sistema de construcción de muros.

El confinamiento es estructural, es conformando con las vigas y otros componentes de un entramado estructural ligero. Ya que la dimensión óptima para la ejecución de los paneles exige una modulación estricta, en múltiplos de 90 cm, es posible tener múltiples puntos de apoyo tanto perimetralmente como al interior de las edificaciones, reduciendo el volumen y la cantidad total de la estructura. Finalmente se obtienen muros con un espesor aproximado de entre 6 y 7 cm que en su interior tienen expuesto el material de confinamiento, bien sea madera, bambú o perfiles metálicos.

Este entramado estructural ligero generalmente va empotrado en una solera a manera de base de cimentación que amarra la estructura sobre la que se ejecuta un muro perimetral de arranque en ladrillo, o una viga sobre cimiento, que permite aislar el mortero y el fique del suelo además de facilitar el paso de las instalaciones.

Su facilidad constructiva, rapidez de ejecución, y sobre todo su bajo costo han permitido dar una respuesta rápida a la necesidad de viviendas para personas con pocos recursos; sobre todo por la facilidad de consecución de los materiales componentes del sistema. Estas características han hecho que el sistema haya sido rápidamente adoptado y reproducido de forma empírica en procesos de autoconstrucción, con diferentes métodos constructivos y configuraciones geométricas y resultados.

Los muros construidos con este sistema requieren un poco más de cuidado para garantizar su durabilidad. La cohesión del mortero se ve amenazada por factores como la resequedad o los pequeños movimientos.

En las obras que se visitaron para este proyecto se pudo ver como este sistema constructivo viene retomando fuerza con diseños arquitectónicos llamativos y flexibles que permiten que la guadua este a la vista en el interior de las obras y sin comprometer así sus propiedades estructurales, protegiéndola de efectos ambientales y haciendo de la ella un elemento arquitectónico (VELÁSQUEZ R, Andrés, 2010).



Figura.5.3 Ejemplo de muro tendinoso en una casa ubicada en el municipio de Calarcá, Quindío.

- ***Guadua estructural expuesta***

La guadua no puede exponerse al sol ni al agua, en ninguna parte de la edificación, pues la acción de los rayos ultravioleta producen desecamiento, fisuración, decoloración y pérdida de brillo, y los cambios de humedad pueden causar pudrición (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2001). A pesar de esto dentro del trabajo de campo realizado para esta investigación se encontraron algunas estructuras representativas construidas de esta forma y sus procesos de protección son realizados con pinturas, resinas y aceites, además de mantenimientos periódicos para garantizar su conservación.

Dentro de las construcciones vistas con guadua estructural expuesta se encuentran: puentes con cables tensados, muros de contención, trinchos, kioscos, peajes y demás. Algunos ejemplos de este tipo de estructuras han sido diseñados y construidos por los Arq. Simón Vélez y Marcelo Villegas, tomando fuerza nuevamente la construcción con este material, además se han hecho obras de gran importancia y reconocimiento a nivel mundial; cabe mencionar estructuras como El Recinto del Pensamiento, ubicado en Manizales, una réplica del Pabellón Zen en Expo Hannover 2000, CARDER o Arca de

Noé sede de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda, ubicada en Pereira, y múltiples obras visitadas.

Las investigaciones y aportes realizados por los arquitectos antes mencionados, han contribuido con la inclusión de la guadua dentro del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, y además esto ha hecho que tome fuerza de nuevo este material, ya con una connotación de material arquitectónico.



Figura 5.4 Recinto del pensamiento ubicado en las afueras de la ciudad de Manizales.

- ***Estructuras para cubiertas***

Se llama cubierta al elemento constructivo que protege a los edificios en la parte superior y, por extensión, a la estructura sustentante de dicha cubierta.

Dentro de las estructuras más representativas y comúnmente encontradas realizadas con guadua están las cubiertas, estas brindan un menor peso y con suficiente capacidad para soportar el peso de la misma y las cargas por viento.

Las cubiertas construidas en guadua logran diseños llamativos y variados, además este material tiene la capacidad de soportar aleros en voladizos de grandes longitudes que a su vez ayudan a proteger la estructura misma.

Los elementos portantes de la cubierta deben conformar un conjunto estable para cargas laterales, para lo cual tendrán los anclajes y arriostramientos requeridos. Las correas o los elementos que transmitan las cargas de cubierta a los muros estructurales de carga, deben diseñarse para que puedan transferir las cargas tanto verticales como horizontales y deben anclarse en la carrera o solera superior que sirve de amarre de los muros estructurales. Cuando las correas se construyen en guadua, los cantos en contacto directo con el muro deben rellenarse de mortero de cemento fluido.

“Cuando se utilicen cubiertas de teja de barro, debe evitarse su contacto directo con la guadua, mediante un aislamiento impermeable, pues estas transmiten la humedad por capilaridad provocando pudrición de las correas” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2001).

Dentro de las cubiertas más representativas se encuentra la del mirador ubicado en el parque del café, la de la sede de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER, la del Recinto del Pensamiento con voladizos significativos, entre tantas cubiertas construidas con este material y que demuestra la variedad de entramados y diseños que permite el mismo.



Figura 5.5 Sede de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER, también conocida como el Arca de Noé ubicada en la ciudad de Pereira.

5.2.2 LA GUADUA COMO MATERIAL SOSTENIBLE

“El material es un elemento distintivo de los productos y por lo tanto define muchas de sus múltiples cualidades, que hacen de este un producto más o menos competitivo o más o menos innovador. Entendiendo el material como herramienta para encontrar puntos de desarrollo tecnológico y de innovación desde el diseño veremos que hay mucho aun por explorar y que no es solo una cuestión de buscar en los nuevos avances tecnológicos sino también de mirar al interior de una región y encontrar nuevas posibilidades con materiales que siempre han estado ahí, tal vez subutilizados” (CASTELLANOS A., Sandra, 2008).

En el año 2006 nace el proyecto Gobernanza Forestal/ Bosques FLEGT (Forest Law Enforcement Governance, and Trade, Aplicación de la Ley Forestal de Gobierno y Comercio), Colombia. Con la iniciativa de la CARDER (Corporación Autónoma Regional de Risaralda), el apoyo de las Corporaciones Autónomas Regionales de Quindío - CRQ, Tolima - CORTOLIMA, Norte de Santander – CORPONOR, y auspiciado por la Unión Europea. El objetivo del proyecto es “Contribuir al manejo forestal sostenible y al incremento de la producción y comercialización de los recursos forestales de pequeños y medianos productores en los departamentos de Risaralda, Quindío, Tolima y Norte de Santander” (MORENO O., Rubén D, 2008).

Su ejecución sentó las bases de una cultura institucional en la legalidad de la cadena forestal, estableciendo una normatividad unificada de este sector que permitiera un control y fomento más efectivo en la zona, donde se capacitara y asesorara para el desarrollo tecnológico y de mercadeo permitiendo un manejo de bosques más sostenible y el incremento de ingresos de los grupos productores.

En el desarrollo de este proyecto se decidió también revisar la Norma Unificada para el Manejo y Aprovechamiento de la Guadua en el Eje Cafetero – Tolima – Valle del Cauca. En esta norma “se tiene como objetivo lograr el manejo sostenible de los Guadales, detalla el procedimiento que deben seguir los propietarios y aprovechadores de la Guadua para obtener los permisos de aprovechamiento forestal de las CAR, e incluye el primer incentivo institucional al buen manejo de los guaduales, al crearse el Registro de Guadales Naturales de Manejo Sostenible.”(MORENO O., Rubén D, 2002).

Ante la creciente demanda de madera sobre los bosques y la necesidad de utilizar cada vez más materiales renovables y sostenibles para la construcción, se hace necesario explorar la posibilidad de utilizar materiales alternativos que disminuyan esta demanda y en combinación con la madera permitan construir edificaciones seguras y funcionales. La especie de Bambú Colombiana *Guadua Angustifolia Kunth* (Guadua a.k.) parece ser una posible solución a este problema. En general, el bambú es una especie que se caracteriza por su contribución a la oxigenación del medio ambiente dado que captura dióxido de carbono, además de tener una alta tasa de crecimiento. Estudios previos (CORREAL, J. F. y ARBELÁEZ, J., 2010) han encontrado que la Guadua a.k. alcanza una edad óptima de corte entre los 3 y 4 años, basado en algunas propiedades mecánicas seleccionadas. Esto significa una tasa de aprovechamiento por lo menos 4 veces mayor en comparación con la mayoría de especies maderables para uso estructural. Adicionalmente, se ha encontrado que las propiedades mecánicas de los laminados de Guadua (GLG) son comparables a las mejores maderas estructurales en Colombia (LÓPEZ, L. F. y CORREAL, J.F., 2009).

Los servicios ambientales brindados por los bosques de Guadua son fundamentales en la conservación y protección de Cuencas Hidrográficas y en la recuperación de tierras degradadas; así como también son de especial importancia como mecanismo de generación de empleo, los principales servicios ambientales son:

- Protección de la Biodiversidad
- Captura de CO₂
- Protección de suelos
- Regulación de caudales
- Turismo
- Paisaje

Dadas estas condiciones, en este proyecto se quiso profundizar un poco a cerca del aprovechamiento que se tiene de este material mediante el ciclo de vida que es una herramienta que se usa para evaluar el impacto potencial sobre el ambiente de un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida mediante la cuantificación del uso de recursos (entradas) y emisiones ambientales (salidas) (CARVALHO M., Daniel, 2010).

- ***Ciclo de Vida de la Guadua o Estados De Madurez⁸***

El ciclo de vida de un tallo se estima en 5 años, durante los cuales pasa por diversos estados.

- **Rebrote, Renuevo O Borracho:** Desde que emerge del suelo ("cogollo" "espolón") hasta que alcanza su altura máxima transcurre aproximadamente 6 meses. Al cabo de este tiempo, empieza a arrojar sus hojas caulinares para dar salida a las ramas y así iniciar otro estado de desarrollo.
- **Guadua Juvenil- Caña Tierna Verde o Biche:** En este estado las guaduas se caracterizan por su color verde intenso y lustroso, inicialmente posee ramas, conserva algunas hojas caulinares en su parte inferior y se aprecian con claridad las bandas blancas en los nudos. Esta fase dura entre un año y dos años. Cuando el tallo empieza a presentar manchas blanquecinas en la corteza, es señal de que se inicia el estado de maduración.
- **Guadua Adulta - Caña Madura o Hecha:** Una guadua madura presenta manchas blanquecinas en forma de plaquetas, las mismas que cubren gran parte del culmo. En los nudos se presenta líquenes oscuros y la guadua progresivamente cambia a un color verde oscuro. Esta fase dura entre 2 y 4 años y es la época adecuada para su aprovechamiento, porque tiene su máxima resistencia.
- **Guadua Sobre madura, Vieja o Seca:** En esta fase el tallo está cubierto de líquenes y hongos, tornándose de color blanquecino. Esta fase dura un año o más y la guadua pierde sus propiedades físico-mecánicas.

Posterior a este proceso y previo a la comercialización de este material se tienen procesos que se deben restringir para así hacer el uso de este material más amigable con el medio ambiente. Aquí se enumeran los procesos necesarios luego de sacar la guadua del cultivo y ceñido al proceso de corte que se debe tener con este material (HIDALGO T, Pablo y ROMERO T, María Cristina, 2007):

⁸ Colombia, Guadua y Bambú. Análisis constructivo; Ciclo de vida de la guadua o estado de madurez [Sitio de internet]. Disponible en: <http://www.guaduybambu.es.tl/>. Citada el 30 de Agosto de 2011.

- Transporte: Consta de los subprocesos: Ida, carga, regreso. Para la definición el alcance, los productos para el desarrollo de este producto. Cabe anotar que para este proceso se hacen necesarios combustibles para la movilización de estas materias primas, por ende entre más cercano sea el destino de dicho material es más conveniente.
- Acopio de material: Consta de los subprocesos: Descarga y selección-almacenamiento. En este caso, se deben tener en cuenta las dimensiones del material, además de los procesos siguientes
- Preservado y Secado: Consta de los subprocesos: Corte segmentos en 2m, preservado con sus sub-subprocesos: Preparación de la solución, inmersión de los segmentos y el traslado de segmentos recién preservados; secado y almacenamiento. Los elementos necesarios para este proceso son: segmentos de caña guadua cortados, agua, bórax y ácido bórico.
- Transformación: Consta de los subprocesos: Latillado, cepillado de 2 caras, preservado con sus sub-subprocesos: Preparación de la solución, inmersión de las latillas cepilladas y traslado latillas cepilladas recién preservadas; secado, cepillado de 4 caras, almacenamiento de latillas preservadas y secadas, elaboración de productos y sus sub-subprocesos. Son considerados en la preservación, el agua, el prototipo de un secador solar de madera, la cantidad aproximada de desechos y la forma de almacenamiento.
- Almacenamiento de los Productos Terminados: Consta de los subprocesos: Clasificación de los productos, embalaje y almacenamiento. Son necesarios: galpón de almacenamiento, material de embalaje.
- Comercialización: Es un proceso de orden administrativo, en el cual se toma en consideración las necesidades del mercado donde se desarrolla y a partir de esto se toman las decisiones de distribución de los productos. Este subproceso está ligado completamente al desarrollo de la planificación del sub-sistema de gestión ambiental.

Se encuentran entonces algunos impactos a tener en cuenta en dichos procesos:

- Las cañas en mal estado principalmente son producto de una selección realizada durante el Acopio de Material; éstas, si no poseen un manejo adecuado e

inmediato generan contaminación visual y a largo plazo llegarían a considerarse un foco de infección por su descomposición junto con una acumulación desmedida.

- El desecho de caña en tamaños medianos y pequeños junto con la viruta provienen en su mayoría de los procesos de Preservado y Secado y Transformación; si no se realiza un manejo adecuado e inmediato de estos desechos se generará contaminación visual junto con una acumulación desmedida de este desecho.
- La solución de preservación que se prepara con Bórax, Ácido Bórico y Agua al final de su utilización posee una concentración de boro muy alta, sobrepasando las normas ambientales vigentes en el país. Por lo que un mal manejo de ésta puede provocar una contaminación severa al suelo y al agua.
- El Bórax y Ácido Bórico de madera individual pueden provocar afectación a la salud humana, específicamente a la piel y al sentido de la vista.
- La laca utilizada en el proceso de Transformación genera particulado, por lo que puede afectar a sistema respiratorio si no se lo realiza al aire libre y con las medidas de seguridad laboral necesarias.

Se mencionaron entonces algunos de los impactos que se tienen durante la vida de la guadua hasta su comercialización y es importante tener en cuenta que al reducir al máximo dichos impactos se puede hacer de este material, como ya se dijo, más amigable con el medio ambiente. Es indispensable dentro de este proyecto, los procesos que seguirían luego de la comercialización en la industria de la construcción, ya que es esta la industria que mayor utilización puede darle a este material.

Los materiales se utilizan en diferentes etapas del ciclo de vida del edificio, durante su construcción, mantenimiento y rehabilitación. Hay que recordar, sin embargo, que es durante la etapa de diseño y proyecto del edificio cuando se deciden los productos, equipos y sistemas que conformarán el edificio.

Esta selección determinará en parte el impacto ambiental global del edificio. Así, por ejemplo, el uso de un determinado sistema de cerramiento de fachada habrá provocado alteraciones en el medio durante la producción de los materiales que lo componen, además también tendrá influencia sobre el consumo energético del edificio e, incluso,

influirá de forma determinada en la huella ecológica según la posibilidad que ofrezca de repararlo o aprovechar los residuos de los materiales que lo componen al finalizar su vida útil.

Si nos planteamos aplicar medidas de construcción sostenible es fundamental adoptar una visión integrada de todas las etapas del ciclo de vida del edificio, desde la extracción de las materias primas, como se mencionó anteriormente, hasta la gestión de sus residuos una vez derribada la obra. A continuación se muestran algunos ejemplos de medidas que pueden ayudar a reducir el impacto ambiental de los materiales utilizados al edificio.

Tabla 5.9 .Ciclo de vida de materiales de construcción de edificaciones. Tomado de (Agenda de la Construcción Sostenible, 2011)

Etapa	Aspectos a considerar durante el diseño del edificio
Producción materiales	Utilizar con preferencia materiales procedentes de recursos renovables, valorizar los materiales utilizando materiales reciclados (procedentes de recuperación de residuos) Utilizar materiales de bajo consumo energético durante su proceso de extracción y fabricación Utilizar materiales procedentes de materias primas abundantes y de bajo impacto/toxicidad Considerar la distancia de transporte de los materiales hasta la obra
Construcción	Aplicar un plan de gestión de residuos de obra que maximice el reciclaje. Controlar la correcta ejecución de las medidas de reducción del impacto ambiental
Explotación / Mantenimiento	Minimizar las necesidades energéticas del edificio incorporando energías renovables y sistemas de alta eficiencia Minimizar la necesidad de agua en el edificio, favoreciendo la recirculación de aguas grises Incrementar la durabilidad del edificio Asegurar la reparabilidad de los productos, equipos y sistemas Definir las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo
Rehabilitación	Hacer una correcta diagnosis para evaluar el origen de las patologías a resolver. Utilizar materiales compatibles con los existentes y de vida útil similar a los del edificio donde se actúa Utilizar estructuras desmontables que puedan ser substituidas Aplicar el resto de criterios del apartado de: PRODUCCIÓN MATERIALES/ CONSTRUCCIÓN
Fin de vida	Facilitar el proceso de desconstrucción Maximizar la reutilización de componentes. Buscar aplicaciones a los residuos intermedios

Además, en el momento de diseñar o priorizar estrategias de reducción de impacto ambiental. Esta metodología permite tener un conocimiento más completo de los productos y evitar posibles transferencias de impactos ambientales, como por ejemplo que se utilicen materiales de bajo impacto en cuanto a producción pero que sean poco durables y se necesite una rápida sustitución.

En construcción la guadua puede utilizarse en trozos enteros, esto quiere decir, sin realizarle cortes longitudinales a este material, en este proceso es en el que se tendrían menores desperdicios; pero suelen presentarse otras necesidades según el tipo de construcción, en estos casos se estarían utilizando bien sea esterilla, alfarda y lata; quedando en esta etapa materia prima no clasificada que puede ser transformada en carbón o utilizada como leña, artesanías y utensilios básicos. Además de esto con los residuos más pequeños se pueden realizar procesos para su aprovechamiento hasta convertirlo en aglomerados.

Una vez concluida la vida útil de una edificación, cuando ya la guadua pierde sus propiedades estructurales, la guadua puede ser aprovechada, bien sea en la construcción pero sin tener cargas estructurales o en artesanías, utensilios básicos o como ya se mencionó, aglomerados.

Uno de los procesos en los que se obtiene mayor desperdicio es el laminado de guadua con casi el 50 por ciento de pérdidas en los cortes y la pulida de las 4 caras de cada fragmento cortado para poder prensarlo.

6 TRABAJO DE CAMPO

Siendo este proyecto un estado del arte, se hizo necesario, además del soporte bibliográfico, hacer un acercamiento al objeto de estudio. Por esta razón se realizó un trabajo de campo en la zona del eje cafetero, ya que es allí donde predomina este material, y donde se puede tener un mayor contacto con los diferentes aspectos que se querían evaluar sobre el mismo.

6.1 MEMORIA METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE CAMPO

La sostenibilidad es un tema que está tomando fuerza, y con ella se hace necesaria la implementación de nuevas soluciones dentro del marco de la construcción que garanticen la conservación de los recursos, ya que la construcción convencional causa un agotamiento acelerado de las materias primas que utiliza para la elaboración de materiales como concreto, acero, adobe, tejas, acabados, entre otros.

Debido a que es un tema que preocupa a la sociedad actual y que en la universidad se viene investigando sobre esto, llama mucho la atención descubrir las posibilidades que ofrece. La construcción sostenible abarca recursos importantes como energía, terreno, materias primas y agua; los cuales se derivan en temas muy amplios y complejos como:

- La salud y la ecología del lugar,
- El sol, el ahorro energético y utilización de energías renovables,
- La utilización de materiales naturales,
- El reciclaje y la gestión racional del agua,
- La minimización de la contaminación electromagnética,
- La utilización de tipologías adaptadas a la zona,
- La utilización de barreras fónicas y materiales aislantes naturales, y
- El bajo costo económico y social.

No es posible incluir todos los temas en este proyecto ya que se tocarían de manera muy superficial y no se obtendrían los resultados deseados, por esta razón se decidió enfocar el proyecto al área de materiales naturales, y ya que Colombia es un país con una gran biodiversidad se tiene la opción de retomar materiales que han perdido vigencia en el área de la construcción en los últimos años, en parte por la globalización, tipificación y estratificación de los procesos constructivos y los materiales que se usan en ellos.

Luego de considerar materiales que pudieran ser objetos de estudio, se optó por la guadua; ya que esta hace parte de la cultura ancestral en gran parte del territorio colombiano y que en este momento, y sobre todo posterior al terremoto de Armenia, ha venido retomando fuerza debido a que es resistente, liviana, económica, versátil, ecológica, renovable, reciclable y abundante en nuestro medio.

Este material ha sido objeto de diversas investigaciones en la construcción, a tal punto que la norma sismo resistente la incluye en uno de sus capítulos, y se ha tratado de impulsar su adecuado uso en todas las formas en las que puede ser utilizado en construcción, pero teniendo presente que, si se trabaja en forma sostenible, no se estaría afectado a futuro el medio ambiente. A pesar de que existe toda esta información, no es bien reconocida en el medio, es por esto que se decidió realizar este trabajo, para darla a conocer un poco más, esperando que se incremente su adecuado uso como material alternativo para la construcción sostenible.

Para comenzar la investigación se debía consultar tanto sobre la sostenibilidad, la construcción sostenible y la guadua, entonces se hizo una recopilación de la literatura disponible más reciente acerca de estos temas, buscando en las bibliotecas locales, información en la web sobre construcción sostenible y la guadua; adicional a esto se contó con la asesoría de varias personas especialistas en los temas y que guiaron la investigación.

Las investigaciones realizadas en el tema concluyen que en el eje cafetero se encuentra gran parte de la información sobre la guadua y su utilización y las construcciones en este material que se destacan en el país; por esta razón se hizo necesario realizar una visita al lugar para ver más de cerca los trabajos que se han realizado con la guadua, como se trabaja actualmente el material en la zona y cómo se ha comportado a través del tiempo.

Inicialmente se buscó información de posibles lugares a visitar, teniendo como objetivo las construcciones más significativas que se tenían en la investigación, igualmente se buscó información de empresas que trabajaran el material, tanto a nivel de construcción como de producción, y las personas, arquitectos, ingenieros y constructores que trabajan con la guadua; se elaboró un presupuesto general, un formato estandarizado para las visitas a las obras y un itinerario tentativo.

A lo largo de la investigación y en repetidas ocasiones salía a flote el nombre del Arquitecto Simón Vélez como la persona más reconocida en el trabajo con la guadua, a nivel nacional e internacional. El arquitecto Vélez la utiliza como material arquitectónico primordial, más por su disponibilidad y su belleza que por sus características de material sostenible.

En el SENA Regional Antioquia se tuvo la oportunidad de contactar diferentes personas que han investigado bastante acerca del tema, lo han trabajado y además hacen parte del personal que en este momento dicta los cursos de silvicultura y construcción en guadua. Allí se encontró información sobre el puente de guadua que se hizo en Santo Domingo Sabio en Medellín, y el ingeniero que lo construyó, además de una guía de cómo encaminar el proyecto y una lista de personas que en la actualidad trabajan también en este tema. Algunas de las personas de esta institución hacen parte de la mesa sectorial de la guadua, grupo de personas que redactó el capítulo de guadua de la norma sismo resistente del 2010 NSR-10.

Posterior a esta primera fase, se llevó a cabo una entrevista con el señor Guillermo Gutiérrez, él se convirtió en una importante fuente de información para la investigación; ya que su trabajo refleja el concepto de construcción sostenible; en la forma que trabaja la guadua de tal forma que se obtenga economía en los proyectos que desarrolla, utilizando materiales de la zona, para así evitarse sobrecostos en transporte, demoras y disponibilidad de mano de obra que esté familiarizada con el material. Con él se introdujo en el proyecto el tema de la silvicultura de manera general.

Con el interés de conocer obras elaboradas con este material en la ciudad de Medellín, se investigó más a fondo sobre el puente de guadua ubicado cerca a la estación Santo Domingo Sabio del Metrocable. Cuando se efectuó la visita, se observó que la obra ya

estaba terminada, pero nunca fue habilitada al público, y se apreciaban también diferentes patologías. Posterior a esta visita, se quiso indagar un poco más acerca de los encargados del diseño, construcción e interventoría; además de las razones por las cuales no se encontraba habilitado; es por esto que se acudió a varias fuentes de información, los entes encargado de la interventoría y el estudio de las patologías de la estructura; ninguna de las fuentes anteriores nos proporcionó información suficiente para continuar con la investigación.

Para darle un enfoque de sostenibilidad al proyecto se recurrió a fuentes de información que pudieran aclarar conceptos, y además de esto, se encontraron propuestas de temas a tratar como el ciclo de vida de la guadua, los tres pilares fundamentales de la sostenibilidad y la huella ecológica; pautas para la elaboración de la investigación y del proyecto desde la sostenibilidad; generándose así interrogantes y sugerencias sobre metodología de investigación para no perder el rumbo.

Para comenzar con los preparativos del viaje, se contactaron las personas a las cuales se pretendía entrevistar, además de entidades regionales que tuvieran investigaciones sobre el tema, entre otros. Hubo una persona, con gran experiencia en el tema y conocedora, que propuso sitios de importancia y que estuvo dispuesto a guiar el recorrido durante el viaje.

En el proceso de acompañamiento continuo con el asesor del proyecto, se hizo contacto con personas que pudieran ayudar a obtener mayor información sobre la investigación y sobre los posibles lugares a visitar en el eje cafetero.

El viaje comenzó en la Corporación Autónoma Regional de Risaralda, ubicada en la ciudad de Pereira. Su sede es una de las obras más reconocidas del Arq. Simón Vélez, la cual es llamada “El Arca de Noé” debido a su diseño. En esta corporación se hacen gran cantidad de investigaciones sobre la guadua desde distintos frentes como la silvicultura y la construcción, muchas de las cuales fueron de gran ayuda para el desarrollo de este trabajo.

En la ciudad de Pereira se tuvo la oportunidad de visitar obras como el parador Cerritos, restaurante La Karakola y el Liceo Pino Verde.

Para el segundo día una visita se tenía programado una entrevista en Chinchiná, Caldas con el Arq. Marcelo Villegas, quien es reconocido por las obras que ha realizado en sociedad con el Arq. Simón Vélez, y además ha escrito libros representativos sobre la guadua. Esta entrevista no se pudo llevar a cabo debido a que el señor Marcelo Villegas no se presentó; sin embargo se tuvo la oportunidad de recorrer las instalaciones de su taller, ver parte del proceso y recolectar información sobre proyectos que él ha desarrollado. En el camino hacia Manizales, se hizo una estación en el peaje de Chinchiná que es una de las obras realizadas por Simón Vélez y Marcelo Villegas, al igual que un restaurante de carretera elaborado en guadua.

Al llegar a Manizales se visitó el Recinto del Pensamiento ubicado en la sede de la Asociación Colombiana de Cafeteros que es otra de las obras de Simón Vélez y Marcelo Villegas y es la réplica de la estructura realizada en expo Hannover 2000.

En el tercer día se contó con el acompañamiento de un guía turístico conocedor de la zona y un ingeniero experimentado en el campo de construcción con guadua; en primera instancia se hizo una parada en el Parque de la Vida en el centro de Armenia, donde se encuentran varias estructuras hechas en guadua, como La Concha Acústica, puentes peatonales, kioscos y una de las pirámides que son punto de información turística en la zona.

Luego en la eco-aldea Pachamama ubicada en Calarcá, Quindío, se conoció el funcionamiento de esta comunidad, la cual se apoya en tecnologías alternativas para mantener un estilo de vida de acuerdo a una propuesta sostenible. Esta comunidad trabaja con guadua, sometiéndola a procesos naturales e inmunizándola de forma artesanal para su comercialización; allí se pudo observar cómo funcionan todos estos procesos de producción.

A continuación se visitó el municipio de Calarcá, donde hay diferentes estructuras antiguas construidas con la técnica del bahareque, que aún se conservan y que han sido restauradas a través del tiempo.

En la tarde se tuvo la oportunidad de estar en el hotel Karlaka que es reconocido por las casas en el aire. Este hotel tiene varias estructuras en guadua, como las casas

construidas en los árboles, restaurante, cabañas y un puente peatonal. Este hotel es representativo de la cultura cafetera debido a las construcciones con este material.

Continuando con la jornada, en el restaurante Combia que construcción realizada en guadua, se pudo apreciar que su propietario además de esta estructura ha venido haciendo desde hace 20 años varias obras con este material al mismo tiempo que se iba capacitando en el trabajo con el mismo tanto en el SENA como como instruido por personas con amplia trayectoria en este tema.

Más tarde en la institución educativa San Bernardo, en el corregimiento de Barcelona, se pudo apreciar otra de las obras de Simón Vélez, que fue construida luego del terremoto de Armenia. En este corregimiento se conoció también el barrio playa rica, el cual fue construido para los damnificados del mismo terremoto gracias a la colaboración de la GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. Cooperación Alemana al Desarrollo), la cual es una ONG que promueve, entre otras cosas, el desarrollo social y la infraestructura sostenible.

Luego de estar en el corregimiento de Barcelona se continuó la visita en el municipio de Córdoba, Quindío, donde se encuentra el Centro Nacional para el Estudio del Bambú-Guadua, en este lugar se encuentra el puente más antiguo que se conserva en guadua con más de 25 años de construcción y además se profundizó en el tema de la silvicultura y los diferentes procesos que se llevan a cabo para el cultivo y producción de guadua; en este lugar se ven también diferentes clases de bambúes y guaduas que se producen tanto en Colombia como en otros lugares del mundo.

Una vez concluida la visita al Centro Nacional para el Estudio del Bambú-Guadua se continuó el recorrido en el valle de Maravelez pero no sin antes hacer una parada en el peaje del Valle del Cauca el cual también es obra de Simón Vélez y Marcelo Villegas y al igual que los otros dos peajes conserva el mismo tipo de estructura en voladizo pero con diferente orientación. Al llegar al valle de Mara Vélez se puede ver que donde había un extenso y denso gradual hoy se encuentra en su lugar una gran extensión de tierra conformada por guadales localizados, que no tiene comparación con lo que era hace algunos años; esto es una muestra de lo que ha hecho la deforestación masiva y desenfrenada de este material.

A continuación se visitó un centro turístico con cabañas construidas en guadua, que tiene como atractivo principal una iglesia cuya estructura también está construida con guadua y que tiene aproximadamente 20 años de edad y es una de las primeras obras elaboradas en muro tendinoso, cuenta con luces de hasta 15 m.

Terminando el recorrido del día en el parque principal de la Tebaida se ven los kioscos comerciales cuya estructura está hecha en guadua; y carpas que están soportadas en guadua y sujetas con cables y anclajes metálicos. Luego en el municipio de Circasia, se entrevistó a un artesano de la zona que ha trabajado en construcción y con artesanías hechas en guadua.

En el cuarto día de recorrido se visitó el hotel Las Camelias en Montenegro, Quindío; este es un hotel que representa la cultura tradicional de la zona y que tiene varias etapas de construcción, previas y posteriores al terremoto y en el que se puede evidenciar los cambios en la metodología de construcción con guadua en el territorio.

Al terminar la visita al hotel se comenzó el recorrido por los sitios turísticos más representativos como son el Parque de Café y PANACA. En el parque del café hay diferentes estructuras en guadua como las casetas del teleférico y el Mirador del Café, ambas tienen la estructura de la cubierta en guadua; en un recorrido en el teleférico, se pueden apreciar hermosos guaduales que conforman los senderos del parque. En PANACA hay diversas construcciones en guadua, desde los puentes peatonales, pasando por los kioscos, los establos y las diferentes estaciones que conforman el parque.

Antes de finalizar el recorrido, en el municipio de Filandia; se hizo una parada en el hotel y restaurante Palmas de Santa Helena, su restaurante y cabañas están construidas en guadua. El municipio de Filandia es uno de los más antiguos del departamento, donde aún se conservan construcciones de la época de la colonización, que fueron elaboradas con la técnica del bahareque, muchas de las cuales han sido restauradas.

La primera tarea al llegar a Medellín fue filtrar toda la información obtenida en el viaje para poder plasmarla en este informe; al mismo tiempo que se trataba de contactar al Arquitecto Simón Vélez, para profundizar un poco más sobre su percepción y expectativas sobre el material.

En el trayecto de búsqueda de información, visitas a obras y entrevistas con personas conocedoras del tema, se aprendió sobre lo que se está haciendo actualmente con la guadua, aunque el tema es mucho más extenso de lo que se plasma en este informe.

6.2 RESULTADOS TRABAJO DE CAMPO

Durante este trabajo de campo, se hicieron visitas a diferentes lugares, con el fin de indagar sobre los diferentes tipos de estructuras construidas con guadua, y así poder evaluarlas desde los diferentes principios que eran relevantes para este proyecto; es decir, desde la sostenibilidad, obteniendo los resultados que se muestran en las siguientes fichas.



Figura 6.1 Cubierta y entrada principal restaurante La Karakola de Cerritos

Tabla 6.1 La Karakola de Cerritos

NOMBRE	La Karakola de Cerritos (Restaurante), Centro de recreación Los Álamos o Atraer.
LOCALIZACIÓN	Cerritos km 10, Pereira.
FECHA	1991
DISEÑADOR	Sin información.
CONSTRUCTOR	José Alfredo Reina
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	Teja metálica, eternit, aislada del suelo 50 cm. Con bases en concreto.
UNIONES	Traslapos, uniones con pernos y relleno con grouting en los extremos.
LUZ	6 m.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Bajo costo, poca duración, estética.
TRABAJO SOCIAL	Materiales y mano de obra local.
PATOLOGÍA	Cambios de guadua por fallas longitudinales.
OBSERVACIONES	Este restaurante fue remodelado recientemente, debido a que cambió de dueño.



Figura 6.2 Puesto de venta Parador Cerritos.

Tabla 6.2 Parador Cerritos

NOMBRE	Parador Cerritos INCO (Reubicación).
LOCALIZACIÓN	Cerritos vía La Virginia km 12, Pereira.
FECHA	2009
DISEÑADOR	Sin información.
CONSTRUCTOR	INCO
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	Muros en Diplast, base en concreto de 70 cm. Cubierta en acero y teja en eternit. La guadua está apoyada y abrazada en una platina de acero, que a su vez está sujeta a la base de concreto por medio de pernos.
UNIONES	Sin traslapos, uniones con pernos y relleno con grouting en los extremos.
LUZ	3 m.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Una distribución de los espacios más equitativa, limpia y organizada. Al igual que los productos de venta. Los vendedores no quedan expuestos a la intemperie y no tiene que desplazar su mercancía diariamente.
TRABAJO SOCIAL	Reubicación para vendedores ambulantes de la zona. Debido a la construcción de una glorieta que hacía necesario desplazar los puestos de venta. Materiales y mano de obra de la zona.
PATOLOGÍA	La guadua no está expuesta ni al sol ni a la humedad, pero se presenta un comején que en la zona se le denomina broma. Se cree que esto es debido a que la guadua no recibió la inmunización adecuada. Presenta también fallas longitudinales por los pernos. No todos los extremos de las guaduas presentan grouting.
OBSERVACIONES	En la construcción del parador se tardaron 1 año, lo cual es un tiempo considerable por tratarse de una estructura de tan pocas especificaciones y área reducida.



Figura 6.3 Salón de clases y comedor Liceo Pino Verde.

Tabla 6.3 Liceo Pino Verde

NOMBRE	Liceo Pino Verde.
LOCALIZACIÓN	Vía Cerritos, vereda El Tigre, Pereira.
FECHA	1995, 2002 y 2007.
DISEÑADOR	Arq. Alejandro Morales.
CONSTRUCTOR	Arq. Juan Carlos Villegas.
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	El colegio se construyó en diferentes etapas; cada etapa tiene fue diseñada por diferentes arquitectos, y presentan combinaciones de materiales diferentes. En conjunto se trabaja la guadua con madera común, ladrillo en muros, malla de vena con revoque y teja de barro para la cubierta o esterilla y teja de barro; muros con malla de vena y revoque encementado; para las bases de apoyo de la guadua se usaron ladrillo y concreto o sólo concreto. Se presentan también muros en concreto prefabricados. En el último módulo construido, se trabajaron las columnas en caña brava.
UNIONES	Traslapos, uniones con pernos y zunchos metálicos y relleno con grouting en los extremos.
LUZ	12 m.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Estético, liviano, sismo resistente, espacios abiertos, frescos y ventilados, material disponible en la región.
TRABAJO SOCIAL	Materiales y mano de obra de la zona.
PATOLOGÍA	Se presentan cambios de guaduas por fallas longitudinales; se presenta guaduas con cambios de color, debido a la constante exposición al sol y al agua. Hay módulos en los que la guadua no está aislada del suelo, sino simplemente apoyada, o aislada 10 cm del suelo y se hace evidente la presencia de humedad en el material. No todos los extremos de las guaduas presentan grouting.
OBSERVACIONES	En las etapas nuevas, se puede percibir que a la guadua se le restó importancia dentro de las estructuras, siendo reemplazadas por otros materiales más convencionales.



Figura 6.4 Fachada y cubierta restaurante Aquí está Harry.

Tabla 6.4 Restaurante Aquí está Harry.

NOMBRE	Restaurante Aquí está Harry.
LOCALIZACIÓN	km 2 Vía antigua Manizales Chinchiná, Manizales.
FECHA	2010.
DISEÑADOR	Marco Fidel Zuluaga (Empírico con experiencia en construcción de restaurantes y paraderos de carretera).
CONSTRUCTOR	Marco Fidel Zuluaga.
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	Toda la estructura es en guadua; para la cubierta se utilizó esterilla y teja eternit. Se aísla el suelo con bases de concreto de 20 cm de altura. Tiene barrera de viento con plástico transparente para no tapar la visibilidad.
UNIONES	No hay traslajos, uniones con pernos, empalmes con el mismo material, y relleno con grouting en los extremos.
LUZ	4 m.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Espacios abiertos, integración con el entorno natural, rústico y agradable.
TRABAJO SOCIAL	Mano de obra de artesanos y material de la zona.
PATOLOGÍA	No se aprecian daños en la estructura.
OBSERVACIONES	En Pereira, el señor Marco Fidel Zuluaga, había construido un restaurante con las mismas especificaciones, pero un poco más pequeño, que se vendió a Autopistas de Café; con el dinero de esta venta, se construyó el parador actual; Los materiales de dicha obra se donaron a habitantes de la zona. El propietario ha construido ya diferentes paraderos de carretera que han sido vendidos por buenas ofertas; y luego construye uno nuevo.



Figura 6.5 Estructura Recinto del pensamiento.

Tabla 6.5 Recinto del pensamiento.

NOMBRE	Recinto del pensamiento
LOCALIZACIÓN	km 11 vía al Magdalena, Manizales.
FECHA	1999
DISEÑADOR	Simón Vélez, Marcelo Villegas.
CONSTRUCTOR	Simón Vélez, Marcelo Villegas.
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	3.500 guaduas de la zona combinadas con alizo, cerezo en las columnas, chusque, Arboloco, palma de macana, zapan, para la cubierta se utilizó malla asfáltica. Se utilizaron también guaduas con terminaciones curvas que hacen parte de la raíz de la guadua, lo que le da un toque más estético.
UNIONES	No hay traslapos, 100% atornillado, uso de pernos, zunchos metálicos y copas de acero.
LUZ	Luces de 13 m y voladizos de 5 m.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Es un espacio completamente abierto, se estructura es reconocida por su diseño y estética; estructura sismo resistente, muy liviana y con luces generosas y una combinación armónica con otros materiales. Es una estructura que resalta los beneficios y la majestuosidad de la guadua.
TRABAJO SOCIAL	Se contrató mano de obra de la zona, compuesta por 46 artesanos. Todos los materiales fueron adquiridos en la zona.
PATOLOGÍA	Algunas partes presentan cambio de color en la guadua por presencia del sol y el agua.
OBSERVACIONES	Esta estructura se construyó como centro de prueba para la ejecución de un modelo igual en expo Hannover 2000. Tiene forma decagonal, inspirada en el hongo Hitachi del Japón. Para sostener la cubierta de la estructura, se formaron 20 columnas de cerezo, que sostenían 40 grupos de 8 guaduas unidas por medio de platinas y pernos.



Figura 6.6 Interior y fachada Arca de Noé.

Tabla 6.6 Sede Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER).

NOMBRE	Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER) o Arca de Noé.
LOCALIZACIÓN	Calle 46 con Avenida de las Américas, Pereira.
FECHA	2003.
DISEÑADOR	Arq. Simón Vélez, (Construcción), Ing. Enrique Castrillón (Diseño estructural e interventoría).
CONSTRUCTOR	Ing. Jorge Enrique Martínez
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	Cimientos en concreto reforzado, estructura en pórticos de madera, entramado de entrepiso y cubierta en guadua, entrepiso en concreto, cubierta en tejas de barro sobre mortero y manto, pisos en baldosa de grano y concreto allanado, y paredes en perfilera metálica con malla y revoque.
UNIONES	No hay traslajos, uso de pernos de acero, tuercas y contratuercas, zunchos metálicas y copas de acero.
LUZ	6 m. aproximadamente.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Es un material apropiado, económico y de buen desempeño estructural. “Las condiciones de flexibilidad de los materiales empleados hacen al edificio sismo resistente, condición estructural indispensable para un proyecto localizado en una zona de alta sismicidad como el Eje Cafetero”.
TRABAJO SOCIAL	300 trabajadores de la zona. La estructura representa un símbolo del progreso de la región. Uso de materiales naturales renovables. “Con esta obra se evidencia la necesidad de establecer cultivos tecnificados, de los cuales se puedan obtener materiales aptos para estructuras permanentes y así seguir incluyéndolos en la actividad de la construcción”. Ing. Civil Enrique Castrillón.
PATOLOGÍA	Algunas guaduas han presentado polvillo, se les ha tratado con veneno.
OBSERVACIONES	A la estructura se le llama también Arca de Noé, debido a la inspiración del diseño. En la estructura principal se utilizaron 43.000 m de guadua y 7.950 m de madera con diámetros entre 18 y 20 cm. Este tipo de obras generan mano de obra calificada e involucrando el tema de sostenibilidad del medio ambiente.



Figura 6.7 Estructura y cubierta Concha acústica.

Tabla 6.7 Concha acústica.

NOMBRE	Concha acústica (Parque de la Vida).
LOCALIZACIÓN	Av. Bolívar # 8 Norte Esquina, Armenia, Quindío.
FECHA	1996
DISEÑADOR	Arq. Jorge Alberto Velásquez.
CONSTRUCTOR	Arq. Jorge Alberto Velásquez.
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	Cimentación en concreto reforzado, cables de acero pos tensado, cubierta en madera y manto asfáltico.
UNIONES	No hay traslajos, uniones con pernos y cables de acero pos tensado.
LUZ	4 m en voladizo.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	El material permite hacer voladizos de gran extensión, sin comprometer la estabilidad de la estructura, combinándolo con pos tensado. Da la posibilidad de tener un espacio completamente abierto.
TRABAJO SOCIAL	Dentro de la filosofía de la creación del Parque de la Vida, se pretende generar espacios que promuevan la salud, la conciencia ambiental.
PATOLOGÍA	La guadua presenta cambio de color por exposición al sol y al agua.
OBSERVACIONES	Como recomendación se tiene que las construcciones que tengan guadua a la vista se deben orientar de manera que les de el sol lo menos posible.



Figura 6.8 Estructura y cubierta kioscos ubicados en el Parque de la Vida.

Tabla 6.8 Kioscos (Parque de la Vida).

NOMBRE	Kioscos (Parque de la Vida).
LOCALIZACIÓN	Av. Bolívar # 8 Norte Esquina, Armenia, Quindío.
FECHA	1996.
DISEÑADOR	Arq. Guillermo Olguín.
CONSTRUCTOR	Sin información.
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	Cubierta con esterilla de guadua y tejas de barro, bases de concreto.
UNIONES	Empalmes entre guaduas y uniones con pernos, bases en concreto que separan la guadua del suelo.
LUZ	4 m.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Estructura de bajo costo, resistente y que permite interacción con el entorno.
TRABAJO SOCIAL	Obras dirigidas para el esparcimiento de la comunidad.
PATOLOGÍA	Cambio de color de la guadua debido a la exposición al agua y la luz.
OBSERVACIONES	Kioscos destinados a actividades recreativas en un parque considerado de espacio público.



Figura 6.9 "Casa en el aire" y cabaña en el Hotel KARKAKÁ

Tabla 6.9 Hotel KARLAKÁ.

NOMBRE	Hotel KARLAKÁ.
LOCALIZACIÓN	km 5 Vía Calarcá al Valle del Cauca, Calarcá.
FECHA	1993 y 2001
DISEÑADOR	Arq. Alonso Barahona.
CONSTRUCTOR	Arq. Alonso Barahona.
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	Muros en ladrillo, cubiertas en esterilla y teja de barro, madera, bahareque, vigas metálicas
UNIONES	Empalmes entre guaduas y uniones con pernos, bases en concreto que separan la guadua 10 cm del suelo.
LUZ	4 m.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Estructuras livianas que pueden ser soportadas por árboles, facilidad de construcción.
TRABAJO SOCIAL	
PATOLOGÍA	Curvaturas en las vigas entre luces mayores a 2,5 veces el valor del diámetro.
OBSERVACIONES	El hotel es famoso por tener "casas en el aire" soportadas por árboles; lo cual da un incentivo para que se hagan más construcciones en guadua en la zona. También había un puente hecho en guadua, el cual presentaba desgaste por efectos del sol y la humanidad.



Figura 6.10 Fachada casa Hernando González y de su madre en Combia.

Tabla 6.10 Combia.

NOMBRE	Combia.
LOCALIZACIÓN	km 4 Vía al Valle, Calarcá, Quindío.
FECHA	1991.
DISEÑADOR	Hernando González (Conocimientos técnicos en construcción y muebles en guadua).
CONSTRUCTOR	Hernando González.
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	Muros tendinosos (costal y alambre de púa, y luego se revoca); cubierta a 12 aguas y tres niveles; con esterilla, tela asfáltica y teja de barro.
UNIONES	Empalmes entre guaduas y uniones con pernos, bases en concreto que separan la guadua 80 cm del suelo.
LUZ	4 m.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Facilidad de construcción, bajos costos, disponibilidad del material y de mano de obra.
TRABAJO SOCIAL	Materiales y mano de obra de la zona.
PATOLOGÍA	El propietario dice que no se han presentado patologías, y que cuando se le ha presentado broma, le aplica calor con un soplete.
OBSERVACIONES	El señor Hernando González estudió ingeniería civil en Bogotá y en Quindío, pero no culminó sus estudios. Realizó cursos técnicos en construcción y muebles con guadua, y aprendió con personas que trabajaron toda su vida con guadua. Comenzó haciendo su restaurante; luego una casa de muñecas para sus hijas, luego fue construyendo su propia casa, la de su madre (luego de ser perderla en el terremoto) y por último la casa de su hermana. Materiales y métodos constructivos mucho más económicos. Construcciones propias.



Figura 6.11 Cubierta de techo y fachada I.E. San Bernardo.

Tabla 6.11 I.E. San Bernardo.

NOMBRE	I.E. San Bernardo (Colegio Barcelona).
LOCALIZACIÓN	Corregimiento de Barcelona, Calarcá, Quindío.
FECHA	2001
DISEÑADOR	Arq. Simón Vélez.
CONSTRUCTOR	Sin Información.
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	La cubierta es en malla con vena y concreto; refuerzo en acero y placas de refuerzo en la cubierta. Muros en bahareque.
UNIONES	Empalmes entre guaduas.
LUZ	4 m.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Las pirámides canalizan el calor hacia arriba expulsándolo y haciendo que los ambientes sean más frescos.
TRABAJO SOCIAL	El colegio se construyó después del terremoto.
PATOLOGÍA	Guaduas podridas, grietas en los muros.
OBSERVACIONES	Este municipio fue el más afectado por el terremoto en 1999. Con este motivo, varias organizaciones se unieron para desarrollar este proyecto.



Figura 6.12 Fachada casas elaboradas en guadua en los barrios el Italiano, el Europeo y Coovinoc.

Tabla 6.12 Barrios el Italiano, el Europeo y Coovinoc.

NOMBRE	Barrios el Italiano, el Europeo y Coovinoc.
LOCALIZACIÓN	Corregimiento de Barcelona, Calarcá, Quindío.
FECHA	2001
DISEÑADOR	Arq. Gladys Rodríguez, Jorge Alberto Velásquez y Thomas Zilly.
CONSTRUCTOR	Ing. David Trujillo.
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	Muro tendinoso y columnas en guadua a la vista, posteriormente revocadas para darle durabilidad.
UNIONES	Empalmes entre guaduas.
LUZ	4 m.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Agilidad en la construcción, disponibilidad del material y conocimientos previos para trabajarlo por parte de los habitantes de la zona.
TRABAJO SOCIAL	Trabajo conjunto con ONG internacional.
PATOLOGÍA	Debido a la exposición del material a la intemperie, con el tiempo las estructuras se debilitaron, y se vio la necesidad de cubrirlas.
OBSERVACIONES	Este barrio se construyó con la ayuda de una ONG, con el fin de que los habitantes de la zona que quedaron sin hogar pudieran tener una solución de vivienda ágil, asequible y digna. Los diseños estructurales de las casas consisten en un sistema apórticado; desarrollado en la Universidad Nacional.



Figura 6.13 Estructura cabañas de habitaciones hotel Las Camelias.

Tabla 6.13 Hotel Las Camelias.

NOMBRE	Hotel Las Camelias.
LOCALIZACIÓN	km. 1,5 Vía Pueblo Tapao, Montenegro.
FECHA	Tiene varias etapas de construcción; previas y posteriores al terremoto.
DISEÑADOR	Ricardo Restrepo.
CONSTRUCTOR	Ricardo Restrepo.
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	A medida que la construcción es más nueva, la guadua se ve desplazada por materiales convencionales, y pasa a ser un acabado exterior que no tiene función estructural.
UNIONES	Empalmes entre guaduas, uniones con pernos y fijaciones con zunchos, bases en concreto que separan la guadua 50 cm del suelo.
LUZ	4 m.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Material llamativo que mantiene la apariencia de la cultura cafetera de la zona.
TRABAJO SOCIAL	Materiales y mano de obra de la zona.
PATOLOGÍA	Aplastamiento de vigas (guaduas), pandeo de vigas entre apoyos, deterioro debido a la exposición al sol y a la humedad.
OBSERVACIONES	La guadua es inmunizada con Formol, ACPM, petróleo y sus derivados; y son protegidas con lacado o reemplazadas las guaduas que se encuentran en mal estado. Las construcciones previas al terremoto y que utilizan la guadua como material estructural aún se mantienen en buen estado. Las construcciones posteriores al terremoto son más robustas y presentan patologías que comprometen la estructura; y se presentan cambios de material en las estructuras más reciente.



Figura 6.14 Caseta de teleférico y gradual en el Parque Nacional del Café.

Tabla 6.14 Caseta de teleférico Parque Nacional del Café.

NOMBRE	Caseta de teleférico Parque del café.
LOCALIZACIÓN	Km. 6 Vía Pueblo Tapao, Montenegro, Quindío.
FECHA	1996 con ampliación en 2003.
DISEÑADOR	Proyecto de grado estudiantes Universidad del Quindío; Asesor: Diego Arango.
CONSTRUCTOR	Proyecto de grado estudiantes Universidad del Quindío; Asesor: Diego Arango.
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	Estructura inferior en acero, estructura de cubierta en guadua con tejas de barro, largueros en bambú y la parte más angosta está en el centro de la cubierta.
UNIONES	Empalmes entre guaduas, uniones con pernos, la guadua es la estructura de cubierta que está adherida a una estructura de acero apoyada en una plataforma de concreto.
LUZ	6 m.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Caracterización de los materiales y la tradición de la construcción de la zona.
TRABAJO SOCIAL	Parque turístico que exhibe la cultura cafetera.
PATOLOGÍA	La guadua presenta cambio de color, por efectos del sol y el agua.
OBSERVACIONES	Son dos casetas de teleférico, una cerca de la entrada del parque, y la otra en la parte inferior, donde se encuentra el restaurante; en el recorrido entre las estaciones, se puede apreciar un extenso valle de guadua.



Figura 6.15 Estructura y cubierta Mirador del café, en el Parque Nacional del Café.

Tabla 6.15 Mirador del Café.

NOMBRE	Mirador del café (Parque del café).
LOCALIZACIÓN	km. 6 Vía Pueblo Tapao, Montenegro, Quindío.
FECHA	1996.
DISEÑADOR	Arq. Simón Vélez.
CONSTRUCTOR	Arq. Simón Vélez.
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	Estructura de cubierta en guadua con tejas de barro, estructura en mangle y abarco.
UNIONES	Uniones con pernos, la guadua es la estructura de cubierta que está adherida a una estructura de madera.
LUZ	3 m en voladizo.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Al hacer la cubierta en guadua, esta se hace más liviana, pero al mismo tiempo facilita el flujo de los vientos, si afectar la estabilidad de la estructura.
TRABAJO SOCIAL	Parque turístico que exhibe la cultura cafetera. Símbolo del parque. Materiales y mano de obra de la zona.
PATOLOGÍA	Deterioro de la guadua por efectos del sol y la humedad.
OBSERVACIONES	Debido al diseño y a pesar de ser cubierta, la guadua queda expuesta, lo que ha ocasionado su deterioro. El mirador es una estructura que mide 18 m de altura.



Figura 6.16 Puente peatonal y cubierta de un establo en PANACA.

Tabla 6.16 Parque Nacional de la Cultura Agropecuaria (PANACA).

NOMBRE	Parque Nacional de la Cultura Agropecuaria (PANACA).
LOCALIZACIÓN	km 7 Vía Vereda Kerman, Quimbaya, Quindío.
FECHA	1999.
DISEÑADOR	Arq. María Mercedes Mejía
CONSTRUCTOR	Arq. María Mercedes Mejía
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	Estructura de cubierta en guadua con paja de barro. En las estaciones las estructuras se componen de bases de concreto donde se apoyan las columnas de madera, donde a su vez se encuentra la estructura de cubierta elaborada en guadua. En el puente se encuentran bases de concreto donde se apoya la estructura del puente elaborada en guadua, y la cubierta en teja metálica. Estructuras con muros y cubiertas elaborados en esterilla.
UNIONES	Empalmes entre guaduas y uniones con pernos y zunchos metálicos.
LUZ	8 m.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Al hacer la cubierta en guadua, esta se hace más liviana y la luces pueden ser más generosas, permitiendo más flexibilidad en los espacios, pero al mismo tiempo facilita el flujo de los vientos, si afectar la estabilidad de la estructura.
TRABAJO SOCIAL	Parque turístico que exhibe la cultura agropecuaria. Materiales y mano de obra de la zona.
PATOLOGÍA	En el puente se observa desgaste del material por efectos del sol y la humedad, aplastamiento de guaduas y fallas longitudinales, al mismo tiempo que la cubierta metálica presenta orificios por donde se filtra el agua. En las estaciones no se aprecian patologías significativas.
OBSERVACIONES	En todo el parque se encuentra gran variedad de estructuras elaboradas en guadua, como los cafés, las casetas de basura, oficinas, puentes pequeños, escaleras, entre otros.



Figura 6.17 Cabaña y restaurante del Hotel Palmas de Santa Helena.

Tabla 6.17 Hotel y restaurante Palmas de Santa Helena.

NOMBRE	Palmas de Santa Helena (Hotel y restaurante).
LOCALIZACIÓN	km 2 Vía Quimbaya, Montenegro.
FECHA	2001.
DISEÑADOR	Sin información.
CONSTRUCTOR	Sin información.
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	Columnas en concreto, la estructura de la cubierta está conformada por guadua, esterilla y teja de barro.
UNIONES	Empalmes entre guaduas y uniones con pernos, bases en concreto que separan la guadua 10 cm del suelo.
LUZ	5 m.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Disponibilidad de material, se mantiene la tradición de la región. No sólo se usa como material estructural para las cubiertas, sino que también es utilizado como acabado. Permite manejar luces que generan espacios abiertos y dejan circular el aire.
TRABAJO SOCIAL	Mano de obra y materiales de la zona.
PATOLOGÍA	Se observa deterioro de las guaduas que se encuentran expuestas al sol.
OBSERVACIONES	La estructura de la cubierta se apoya en las vigas de amarre por medio de pernos, con un diseño armónico, que fisiona todos los materiales.



Figura 6.18 Estructura puente en guadua Santo Domingo Sabio.

Tabla 6.18 Puente de guadua. Santo Domingo Sabio.

NOMBRE	Puente de Guadua.
LOCALIZACIÓN	Santo Domingo Sabio, Medellín.
FECHA	2008.
DISEÑADOR	Ingeniero Francisco Rojas
CONSTRUCTOR	SENA Regional Quindío.
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	Apoyos en concreto, estructura de la cubierta elaborada con guadua y teja metálica. La estructura del puente, también elaborada en guadua está reforzada por cables de acero. Adicionalmente, tiene estructura externa compuesta por cables de acero.
UNIONES	Empalmes entre guaduas y uniones con pernos y zunchos metálicos.
LUZ	51,8 m.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Estructura liviana que permite gran distancia entre apoyos. Estéticamente atractiva.
TRABAJO SOCIAL	Estructura construida para conectar dos barrios del sector de Santo Domingo, y facilitar a la comunidad el acceso a la Biblioteca España.
PATOLOGÍA	Se aprecian fallas longitudinales en la guadua, ausencia de grouting en lugares donde debería de haber. Aplastamiento de guaduas. Se observa una inclinación de la estructura en general. Necesidad de mantenimiento de la estructura.
OBSERVACIONES	Hasta hoy el puente no se ha habilitado para uso público, debido a que la interventoría no aceptó la construcción, y el puente se encuentra bajo estudios de patología.



Figura 6.19 Estructura peajes de Circasia y Las Pavas.

Tabla 6.19 Peajes de Circasia, Las Pavas y Corozal.

NOMBRE	Peajes de Circasia, Las Pavas y Corozal.
LOCALIZACIÓN	Entre Pereira y Armenia, Chinchiná y Manizales, Armenia y Valle del Cauca, respectivamente.
FECHA	2005.
DISEÑADOR	Arquitectos Simón Vélez y Marcelo Villegas.
CONSTRUCTOR	Sin información.
COMBINACIÓN CON OTROS MATERIALES	Estructura en guadua con cables de acero, base en concreto y apoyos metálicos que conectan la estructura de guadua a la base, la cubierta está elaborada en polipropileno.
UNIONES	Empalmes entre guaduas y uniones con pernos y zunchos metálicos. Sujeto al apoyo de concreto por medio de copas de acero.
LUZ	8 m en voladizo.
BENEFICIOS CON LA GUADUA	Permite grandes voladizos sin que se afecte la estructura. Estéticamente llamativa, ya que representa la cultura de la región.
TRABAJO SOCIAL	Materiales y mano de obra de la zona.
PATOLOGÍA	No se aprecian daños en la estructura.
OBSERVACIONES	Para la construcción de las estructuras, se utilizó el mismo diseño arquitectónico, pero con diferentes orientaciones, en uno de los diseños (Peaje Las Pavas), lo cual le da una apariencia diferente.

7 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

La guadua es un material altamente sensible a los agentes naturales, el sol, el agua, los insectos, los hongos; todos son factores que pueden afectar su desempeño estructural. La NSR-10 estipula que el material se debe proteger, no sólo por métodos químicos de inmunización, sino también por medio de un buen diseño de la estructura donde se consideren los agentes mencionados anteriormente. Luego del trabajo de campo realizado, se puede decir que este factor no siempre se tiene en cuenta. Es de esperar que luego que la norma entró en vigencia, esto sea considerado para futuros diseños de construcciones en guadua.

La guadua es un material que se presta para trabajarse en todos los sectores económicos; ante la mirada de muchas personas, aún es considerado “el material de los pobres”, sin embargo existen personas en el medio de la construcción, como por ejemplo Simón Vélez, que han sacado al material de sus esquemas convencionales y lo han puesto en nivel más alto, trabajándolo como material arquitectónico y estructural principal. Si bien a nivel internacional, el material ha ganado gran reconocimiento, esto no quiere decir que se esté trabajando como material sostenible, debido a que cuando se va a construir una estructura en guadua, en un país donde no se produce, ni se trabaja el material, se elevan los costos de transporte del mismo y de mano de obra calificada, no necesariamente se benefician las poblaciones.

Es bueno que el material esté siendo reconocido y aceptado cada vez más; sin embargo, es importante que, a la vez que crece la demanda, deber crecer también el área cultivada del material. Con esto se quiere decir que es importante una adecuada explotación y conservación de los guaduales, además que se debe procurar aumentar el área de cultivos para poder cubrir la creciente demanda del material.

Al momento de considerar la guadua como material principal para construir viviendas de interés social, se deben tener en consideración varios aspectos como: La cantidad de cultivos disponibles en la zona y, debido a que no están normalizadas las construcciones

en guadaña superiores a dos pisos, las áreas a construir deben ser lo suficientemente extensas para acoger el grupo social objetivo, lo cual limita las zonas en las cuales se puede emplear el material para uso masivo en viviendas de interés social.

8 CONCLUSIONES

Dentro de las múltiples investigaciones que se han hecho con este material, se ha concluido que se hace necesario continuar desarrollando tecnologías constructivas que simplifiquen y universalicen el uso de este material como elemento de construcción, ya que además de ser natural, renovable, de rápido crecimiento y fácil manejo, se presta para múltiples usos y es manejable arquitectónicamente.

Como resultado de las investigaciones realizadas en campo, desde los diferentes principios de la sostenibilidad, se puede concluir que aunque la guadua es un material que cumple con todos estos principios, no siempre es trabajado de esta forma; un ejemplo de esto es la reconstrucción de infraestructura posterior al terremoto de 1999; en esta ocasión, aunque se ayudó a las personas más necesitadas sin incurrir en grandes costos, también se causó un impacto negativo en los guaduales, debido a su explotación masiva.

Este proyecto busca que se aumenten las investigaciones sobre la guadua, que se cree una mayor conciencia del manejo que se le debe dar al material y que si se cuida su fuente no solo traerá suficiente producción para abastecer la demanda, sino también tendría valores agregados como la protección y control de erosión de los cuerpos de agua, transformación de CO₂ en oxígeno, mejoramiento de las condiciones ambientales y embellecimiento del paisaje.

9 FUENTES DE CONSULTA

Agenda de la Construcción Sostenible. Aspectos a considerar durante el diseño de edificios [Sitio de internet]. Disponible en: <http://es.csostenible.net/temas-clave/materiales/ecoetiquetas/>. Agosto 25, 2011.

ÁLVAREZ U., Mario F. Decálogo del buen manejo de la guadua para la construcción. En: Plantemos Bambú - Guadua para Cosechar Casas. Ibagué, Colombia: s.n., 2001. p 6 - 7.

Área Metropolitana del Vale de Aburrá, Subdirección Ambiental e Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Una definición para la construcción sostenible. En: Documento Técnico Base para la Elaboración de una Política Pública de Construcción Sostenible. s.l.: s.n., 2010. p. 13-14.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Manual de Construcción Sismoresistente de Viviendas en Bahareque Encementado. s.l.: La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina- LA RED, 2001. 69 p.

BAÑO N., Antonio y VIGIL-ESCALERA P., Alberto. Guía de Construcción Sostenible. s.l.: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS), 2005. p. 10 y 11.

CARVALHO M., Daniel. Construcción Sostenible: Principios básicos. [Diapositivas]. Medellín, Colombia: 2010. 20 diapositivas, color.

CASTELLANOS A., Sandra. Diseñar con nuevos materiales, guadua una alternativa sostenible. En: Actas de diseño (Facultad de Diseño y Comunicación.: 2008: Universidad de Palermo). Memories Diseñar con nuevos materiales, guadua una alternativa sostenible. Buenos Aires, Argentina: 2008. p. 88 - 89.

Colombia, Guadua y Bambú. Análisis constructivo; Ciclo de vida de la guadua o estado de madurez [Sitio de internet]. Disponible en: <http://www.guaduybambu.es.tl/>. Citada el 30 de Agosto de 2011.

Comisión Mundial Para el Medio Ambiente y el Desarrollo. Informe Brundtland o Nuestro Futuro Común. s.l.: Organización de Naciones Unidas, 1987. 427p.

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. Construcción Sostenible. [Diapositivas]. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes, 2007. 17 diapositivas, color.

Construible. Construcción Sostenible [Sitio de internet]. Disponible en: <http://www.construible.es/noticiasDetalle.aspx?c=10&m=15&idm=15&pat=14&n2=14>. Citada el 8 de Diciembre 2010.

Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS y Cámara de Comercio de Manizales. Manejo forestal sostenible. En: Microcluster de la guadua. Manizales, Caldas: 2002. p. 19 - 23.

CORREAL, J. F. y ARBELÁEZ, J. Influence of age and height position on Colombian Guadua Angustifolia Bamboo mechanical properties. s.l.: Maderas, ciencia y tecnología, 2010. Vol. 12 No. 10,

ECOBAMBUSA, Empresa Colombiana de Negocios con Guadua - Bambusa. Guaduas y Bambúes. Diversidad y partes de la planta. [Diapositivas]. Girardota, Antioquia, Colombia: 2008. 186 diapositivas, color.

El Economista. Construcción global rebazará PIB en 10 años: PWC. México: Marzo, 2011. 04-2010-062510353600-203

HIDALGO T, Pablo y ROMERO T, María Cristina. Documentación de la fase de planificación de un sistema de gestión ambiental con base en el análisis del ciclo de vida del bambú como materia prima en la central maderera de andoas (CEMA) del Gobierno de la provincia de Pichincha. Facultad de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente., 2007, 216 p. Tesis de Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente Escuela Politécnica del Ejército, ESPE. Sede Sangolquí.

LÓPEZ, L. F. y CORREAL, J.F. Estudio exploratorio de los laminados de bambú Guadua angustifolia como maerial estructural. s.l.: Maderas, ciencia y tecnología, 2009. Vol. 11 No. 3,

MORENO O., Rubén D. Norma Unificada para el manejo de la guadua en el Eje Cafetero - Tolima - Valle del Cauca. En: SEMINARIO - TALLER AVANCES EN LA INVESTIGACIÓN SOBRE GUADUA 2002: Pereira). Memories Norma Unificada para el manejo de la guadua en el Eje Cafetero - Tolima - Valle del Cauca. 2002.

MORENO O., Rubén D. Gobernanza Forestal. Proyecto Bosques FLEGT, Colombia. [Diapositivas]. Neiva: s.n., 2008. 20 diapositivas, color.

Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes. Título E

Título G. Marzo de 2010. Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente, NSR-10. Bogotá D.C., Colombia. P. E-23 - E40 y G-103 - G-133.

SALAS D., Eduardo. Actualidad y Futuro de la Arquitectura de Bambú en Colombia. Barcelona, 2006, 410 p. Tesis de Doctorado Universidad Politécnica de Cataluña.

SENIGE, Peter, LAUR, Joe, SCHLEY, Sara, SMITH, Bryan y KRUSCHWITZ, Nina. La Revolución Necesaria. Bogotá: Editorial Norma, 2009. 412p. 978-958-45-2093-7

VELÁSQUEZ R, Andrés. Transferencia Tecnológica: El caso de los muros tendinosos. Patología, durabilidad y resistencia. Universidad Politécnica de Cataluña, 2010, 63 p. Trabajo de grado (Maestría en Tecnología de la Arquitectura) Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona.

VILLEGAS, Marcelo. Guadua. Arquitectura y diseño. Bogotá, Colombia: Villegas Editores, 2003. p. 22, 23, 30, 31. 958-8156-05-X

ZUARQ. Guadua maerial de construcción [Sitio de internet]. Disponible en: <http://www.zuarq.co>. Citado Septiembre 15, 2011. Ubicado en: Prensa, links relacionados, Nuestro Blog.