

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**SISTEMA DE INDICADORES PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL  
BAMBÚ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN**

**Autora: Yaitsa Teresa Díaz Benitez**

**HOLGUÍN 2021**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES**  
**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**SISTEMA DE INDICADORES PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL**  
**BAMBÚ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN**

**Autora: Yaitsa Teresa Díaz Benitez**

**Tutora: Ing. Claudia Sánchez Chacón, (PI)**

**Consultante: Arq. Raúl Figueredo Reyes, MSc**

**HOLGUÍN 2021**





## **PENSAMIENTO**

*” Del bambú viven miles de personas. Además, es una cultura, llevada hasta la construcción de viviendas. No necesita reforestación y su sembrado contribuye a la seguridad de la estabilidad alimentaria, porque produce mucho oxígeno y eso es vital para muchos cultivos. Por eso los países que tienen buen café tienen buenos sembrados de bambú.”*

Carlos Martínez, creador y director del proyecto Bambú Centro.



## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por iluminarme y permitir la realización con éxito de este trabajo de diploma.*

*A mi familia por su incondicional apoyo y en especial a ese bello ser humano que es*

*mi madre por darme la vida, criarme y alentarme a seguir a adelante, por decirme*

*que sí puedo, sin ella no sé si lo hubiera logrado.*

*A mi tutora y a mi consultante por toda su dedicación y comprensión.*

*A mis amigos que me ayudaron durante toda la carrera, tanto dentro como fuera del*

*aula.*

*A mi novio y a su familia por acogerme, preocuparse por mí y demostrarme que*

*siempre se puede dar un paso más adelante hacia el desarrollo personal.*

*En general a todas las personas que se preocuparon y se esforzaron por hacer*

*posible mi crecimiento profesional.*



## **DEDICATORIA**

*A todas las instituciones que necesitan implementar un sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú como material de construcción.*

*A las personas que creen y luchan por un futuro sostenible, en el cual el ser humano pueda convivir con la naturaleza en armonía, causándole el menor daño posible y ayudándola a subsistir, para así lograr que siempre exista un mañana.*



## RESUMEN

El bambú ha sido utilizado a través del tiempo por varios países como material de construcción, pero actualmente para su empleo constructivo existen limitaciones en la gestión ambiental del bambú como material de construcción que no permiten su empleo. La investigación facilita el diseño de un sistema de indicadores que permite evaluar la gestión ambiental del bambú como material de construcción. Como resultado del proceso investigativo se obtiene la creación de un sistema conformado por siete principales indicadores, los cuales se encuentran contemplados dentro del ciclo de vida del bambú para su empleo como material de construcción. Estos indicadores son extracción, transporte, transformación y manufactura, uso y disposición final. Con ellos se pretende regular los factores ambientales afectados, tomando acciones para su prevención y mitigación, con el fin de lograr el empleo sostenible del bambú. Se utilizó como guía las normas de la familia ISO 14000 mediante las cuales se logra clasificar por categorías los impactos a través del empleo del Método MEL-ENEL, que garantiza el conocimiento de su jerarquización para saber la inmediatez en el actuar de cada uno. La propuesta está sustentada en el uso de métodos teóricos, empíricos y en el matemáticos-estadísticos, que permitieron la solución del problema y el cumplimiento de los objetivos, lo que corrobora la hipótesis planteada.



## **ABSTRACT**

The bamboo has been used through the time by several countries like building material, but at present limitations in the environmental step of the bamboo like building material that they do not enable his job exist for his constructive job. The design of a system of indicators that it enables makes the investigation easy evaluating the environmental step of the bamboo like building material. You get the creation from a system conformed by seven principal indicators as a result of the investigating process, which find themselves contemplated within the life cycle of the bamboo for their job like building material. These indicators are extraction, transportation, transformation and manufacture, use and final disposition. It is intended to regulate the environmental affected factors with them, taking stock for his prevention and mitigation, with the aim of achieving the sustainable job of the bamboo. ISO utilized like guide the family's standards himself 14000 which one manages to classify for categories the impacts through the job of the Method by means of MEL ENEL, that you guarantee the knowledge of his hierarchization to know the immediacy in acting out of every one. The proposal is once what the presented hypothesis corroborates was held in the statistical use of theoretic methods, empiricists and in the mathematical, that they enabled the solution of the problem and the fulfillment of the objectives.



## ÍNDICE

Denominación	Pág
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL BAMBÚ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	16
I.1 El bambú como material de construcción	16
I.1.1 El bambú. Características morfológicas y ciclo de vida	19
I.1.2 Propiedades físico mecánicas del bambú	22
I.2 Sistema de indicadores de la gestión ambiental	25
I.2.1 Sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú	29
I.3 La gestión ambiental del bambú como material de construcción	31
I.3.1 Experiencias en el mundo	35
I.3.2 Experiencias en Cuba	38
Conclusiones parciales	40
CAPÍTULO II SISTEMA DE INDICADORES DE GESTÓN AMBIENTAL PARA EL EMPLEO DEL BAMBÚ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	41
II.1 Concepciones metodológicas para el diseño del sistema de indicadores de la gestión ambiental del bambú como material de construcción	41
II.2 Sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú como material de construcción	46
II.3 Validación del sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú como material de construcción	56
Conclusiones parciales	58
CONCLUSIONES GENERALES	59
RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXOS	65





## INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe déficit de viviendas y cada vez es más complejo construirlas con condiciones óptimas habitables teniendo en cuenta un punto de vista ecológico, ya que la Tierra sufre por la inadecuada acción del hombre sobre la misma. En busca de la sustitución de materiales más costosos y contaminantes por materiales naturales y biodegradables se ha recurrido de forma consiente al empleo del bambú. Este constituye la base de la cultura de algunas civilizaciones, siendo un fiel protagonista de una parte de la historia de la arquitectura. Él puede mejorar la vida de las generaciones futuras, tanto en regiones rurales como en urbanas, tanto en países industrializados como en países en desarrollo, por lo que ya más de 1 000 000 000 de personas en todo el mundo viven en casas de bambú.

El bambú es originario de China y se extendió por toda Asia, llegando a África y América, crece usualmente en selvas de clima cálido, en bosques de Asia fundamentalmente libres de heladas y con luminosidad elevada, así como en los bosques tropicales lluviosos. Además, en el caso de los bambúes herbáceos, los podemos encontrar en la sombra de los bosques cálidos, a lo largo de corrientes o en áreas descubiertas y algunas veces en la sombra de la vegetación baja. Usualmente dependen de la humedad, la sombra y una temperatura cálida, por lo que abundan en los trópicos y subtropicos y solo algunas especies leñosas se encuentran en zonas de temperaturas más frías (Álvarez Castilla, 2012).

Es una planta que puede prosperar en superficies adversas, en tierras degradadas, en suelos que actualmente se encuentran improductivos y dejan como resultado suelos más fértiles, pues ayudan a su rehabilitación y desarrollan ecosistemas más resistentes. Se estima al respecto que pueden reducir la erosión del suelo en un 75% según estudios realizados por el INBAR (Red Internacional de Bambú y Ratán) y sirve como un estabilizador del agua a lo largo del año. Es utilizado en lugares de gran amplitud de lluvias, almacena agua en su interior cuando el suelo se encuentra inundado ayudando a reducir dicho efecto, pero a su vez, si la zona sufre sequía, libera el agua de su interior.



El bambú actualmente se conoce como el oro verde del siglo XXI y se ha convertido en una alternativa para mitigar los efectos causados por el cambio climático. Debido a su enérgico crecimiento, superior al de cualquier otra planta, contribuye significativamente al secuestro del dióxido de carbono de la atmósfera. Según Polo de la Rosa, Zambruno y Zanchetti (2014) se estima que el mismo absorbe un 35% más que cualquier otra especie vegetal y por tanto tiene un gran papel en la descontaminación ambiental mundial. Esto lo convierte en una especie superadora en cuanto a su beneficio medioambiental, por lo que su principal ventaja radica en la generación de biomasa rápida y en su capacidad de renovación.

Su composición orgánica y estructura morfológica, así como la calidad leñosa de sus tejidos, le confieren capacidades que lo sitúan entre las especies forestales más útiles y de mayor rendimiento comercial. Desde el punto de vista mecánico, frente a requerimientos energéticos, constructivos, de resistencia y rigidez por unidad de área, facilidad y seguridad de uso, etc, se puede comparar de manera favorable con materiales de uso común como el hormigón, el acero y la madera. Es uniforme en su desarrollo, liviano, resistente, suave, de rápido crecimiento, de bello color e imperceptiblemente cónico, por lo que todas estas características hacen de él un material con multitud de usos y posibilidades.

Utilizarlo en la arquitectura puede aportar múltiples beneficios, pues necesita poca energía para su producción, con una huella ecológica baja que ayuda a reducir las emisiones de dióxido de carbono en comparación con el hormigón tradicional. Sus cañas usadas como muros demuestran tener efectividad contra los sismos al funcionar en bloque y en caso de colapso el material es bastante liviano y la reconstrucción se puede llevar de manera más fácil. Es de bajo coste y una inversión rentable a corto plazo. Constituye un excelente recurso renovable, que alivia la presión sobre otros recursos forestales y ayuda a evitar la deforestación, contribuyendo al desarrollo sostenible del sector forestal.

Su uso en América Latina e islas del Caribe se halla limitado a unas cuantas especies nativas y exóticas, y se encuentra ausente en el continente europeo y en la Antártida. América Latina ha tomado conciencia de los usos industriales del mismo, pues se está



sustituyendo acero y hormigón (materiales con un elevado coste energético) por un material sostenible. Aunque se tenga referencia sobre su uso principal en territorios menos desarrollados, normalmente empobrecidos y zonas rurales, cada vez se encuentran más construcciones en áreas urbanas y desarrolladas.

Cuba se unió el 22 de octubre de 1999 a la Organización Internacional del Bambú y el Ratán (INBAR), y en la página de la organización se corrobora la existencia de 19 especies nativas y la introducción de 22 nuevas especies de bambú. Las primeras noticias que se tienen de esta planta en Cuba Cristóbal Colón las describe en noviembre de 1492 en su diario de navegación, cuando en las inmediaciones de la bahía de Tánamo describe unas cañas en el mar (Figueredo, 2008). El impulso para su cultivo llegó a partir de 1989, con la creación del Grupo Nacional de Bambú y Ratán. A partir de un sólido apoyo gubernamental, se ha desarrollado el interés por el bambú y sus usos, creándose programas nacionales de reforestación e incentivando a la producción de materiales de la construcción y viviendas con él.

En el país se implementó el Proyecto Internacional La reforestación con bambú, como una alternativa ecológica en la producción sostenible de materiales de construcción y viviendas (Bambú-Biomasa). Este tenía como objetivo principal: “La producción de una diversa gama de materiales de construcción y otros productos de bambú, como fuente sostenible de materia prima, para aumentar la disponibilidad de alternativas de tecnologías y materiales en la construcción de vivienda popular”. Atendiendo a este objetivo se establecieron dos líneas principales de acción en cuanto a la vivienda, una es el diseño funcional de la vivienda rural popular cubana y la otra es el desarrollo de una tecnología constructiva con el uso del bambú (Pascual Menéndez, 2008).

De manera general la globalización y la apertura económica han generado concepciones diferentes de desarrollo que involucran la sostenibilidad de proyectos y procesos productivos. Los mismos en conformidad con la legislación ambiental deben de cumplir con unos requisitos óptimos para mantener los recursos naturales y mejorar continuamente la calidad de los productos. Las industrias han manifestado su interés en los temas ambientales y han tomado conciencia del agotamiento de los recursos



naturales, por esto ven la necesidad de reformular su enfoque con relación a la protección del medio ambiente.

Una de las maneras de mejorar continuamente es la implementación de un sistema de gestión ambiental, el cual ayuda a encontrar nuevas acciones para lograr el objetivo principal de la producción sin dejar de lado el cuidado ambiental. Para lograr el cumplimiento de este sistema se establecen varios indicadores que analizan la situación y recopilan los datos necesarios para el implemento de una eficaz gestión. Este brinda elementos de planeación y actuación para el mejoramiento de actividades, cumplimiento de la legislación y normatividad ambiental aplicable al desarrollo de prácticas y acciones que propicien la prevención, mitigación y reducción de los impactos generados.

Incluyendo el concepto de desarrollo sostenible o sustentable, la gestión ambiental es la estrategia mediante la cual se organizan las actividades que afectan al medio ambiente, con el fin de lograr una adecuada calidad de vida, previniendo o mitigando los problemas ambientales. Los indicadores de gestión ambiental reflejan las acciones organizativas que la dirección de empresa emprende para minimizar el impacto medioambiental de la empresa. Lo anteriormente expuesto conlleva a la conclusión de que para garantizar un correcto funcionamiento de cualquier entidad que tenga acciones sobre la naturaleza se debe de aplicar un sistema de indicadores de gestión ambiental.

En el mundo la gestión ambiental del bambú para ser utilizado como material de construcción no está claramente planteada, existe poca documentación sobre el tema, la gestión ambiental se encuentra establecida de forma general para cualquier empresa. El déficit de viviendas aumenta con el crecimiento poblacional y la búsqueda de materiales alternativos también. La sociedad necesita la utilización del bambú como material de construcción para garantizar el progreso constructivo con alternativas sustentables que mejoren la calidad de vida y favorezcan al medio ambiente.

Los estudios demuestran las potencialidades de este recurso natural en la creación de casas permitiendo observar la manifestación de la siguiente contradicción: no se dispone de un sistema de indicadores de gestión ambiental para su empleo en la



construcción, aunque existen plantaciones explotables de bambú, por lo que urge la creación de dicho sistema.

Entonces, el análisis realizado permite que se declare como problema de la investigación las limitaciones en la gestión ambiental del bambú como material de construcción que no permiten su empleo. De acuerdo con lo anterior, se define como objeto de la investigación el bambú como material de construcción, en el campo de acción que trata lo referente a la gestión ambiental del bambú como material de construcción.

Para la investigación se define como objetivo general diseñar un sistema de indicadores que permita la gestión ambiental del bambú como material de construcción, para favorecer al medio ambiente y al empleo de este material. Para el cumplimiento del objetivo general se declaran los siguientes objetivos específicos:

- Analizar el marco teórico referencial de la gestión ambiental para el empleo del bambú en la construcción.
- Sistematizar los fundamentos teóricos y metodológicos del sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú para su empleo en la construcción.
- Diagnosticar el estado actual de la gestión ambiental del bambú como material de construcción.
- Diseñar un sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú como material de construcción.
- Validar el sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú como material de construcción a través de criterios de especialistas.

Para dar solución al problema de la investigación mostrado se formula como hipótesis de la investigación que: si se desarrolla un sistema de indicadores que permita evaluar la gestión ambiental del bambú como material de construcción para favorecer al medio ambiente y a su empleo constructivo, se podrán eliminar las limitaciones existentes y se empleará el mismo para la sustitución de materiales más costosos.

Para el desarrollo de la investigación se utilizan los siguientes métodos:

- Métodos teóricos:



Histórico-lógico: Para la determinación de los antecedentes de la gestión ambiental del bambú como material de construcción.

Hipotético-deductivo: Después de realizar el estudio de disímiles experiencias en la gestión ambiental del bambú como material de la construcción se analiza la toma de decisiones del hombre para la utilización de este material.

Sistémico estructural funcional: Permite la concepción de un procedimiento de gestión ambiental que sea factible tanto para la naturaleza como para el hombre y así lograr una construcción sostenible.

- Métodos empíricos:

Análisis documental: Para la caracterización y el análisis histórico del objeto y del campo de la investigación; para conocer antecedentes de obras civiles y de sistemas de indicadores para la gestión ambiental.

Observación científica: Para analizar el comportamiento del bambú frente a otros materiales, dando a conocer sus potencialidades en la construcción y para la verificación de la necesidad de validar un sistema de indicadores para la gestión ambiental del mismo.

Consulta a expertos: Se valora la pertinencia y calidad de los resultados obtenidos, de modo que puedan ser perfeccionados hasta cumplir de manera satisfactoria todos los objetivos propuestos.

- Método matemático-estadístico:

Método estadístico descriptivo: Para el procesamiento y presentación de las propiedades físico mecánicas del bambú frente a otros materiales.

El aporte de la investigación radica en la obtención de un sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú como material de construcción. La novedad consiste en que se podrá contar con un documento que incorpora los elementos de gestión ambiental en el uso del material bambú en la construcción, y así favorecer al medio ambiente y contribuir de forma sostenible a la sustitución de materiales más costosos. La actualidad es revelada por el hecho de que la investigación responde a una de las líneas que desarrolla la Universidad de Holguín: Innovación para el desarrollo



sostenible y al proyecto Observatorio para la producción de materiales de construcción.

También está encaminado a formar parte del plan actual de desarrollo, en especial al lineamiento 133, que prioriza las investigaciones sobre estudios encaminados al enfrentamiento del cambio climático y a la sostenibilidad del desarrollo del país. Tributa, además, a los objetivos de la Agenda 2030, al de desarrollo sostenible 12 Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, y a la meta 12.2 De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales; así como al objetivo 13 Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos y su meta 13.1 Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.

El informe de la investigación se estructura en dos capítulos. En el primer capítulo se muestra el marco teórico referencial de la gestión ambiental del bambú como material de construcción. En el segundo capítulo se realiza el diseño del sistema de indicadores de gestión ambiental para el empleo del bambú como material de construcción.



## **CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL BAMBÚ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN**

En este capítulo se abordan las potencialidades del objeto de la investigación y se analiza la actualidad del campo, permitiendo que se recopile toda la información necesaria para alcanzar factiblemente el cumplimiento del objetivo general. Para conformar las bases de dicha investigación se da respuesta a los siguientes objetivos específicos:

- Analizar el marco teórico referencial de la gestión ambiental para el empleo del bambú en la construcción.
- Sistematizar los fundamentos teóricos y metodológicos del sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú para su empleo en la construcción.
- Diagnosticar el estado actual de la gestión ambiental del bambú como material de construcción.

### **I.1 El bambú como material de construcción**

Los cambios climáticos unidos a la demanda de viviendas que se incrementa de forma significativa hace necesario la incorporación de materiales sustentables para su elaboración y que apunten a favorecer el secuestro de dióxido de carbono. La degradación continúa siendo un gran problema medioambiental, pero sin embargo el bambú tiene una asombrosa capacidad para adaptarse a distintos terrenos y en ellos crecer a un ritmo vertiginoso enriqueciéndolos y mejorándolos. Lo anteriormente planteado demuestra que a partir de la utilización de madera de bambú como material de construcción se da respuesta a las inquietudes inicialmente planteadas.

Hasta hace pocos años se consideraba a Asia como la cuna de la utilización del bambú, pero investigaciones arqueológicas demuestran que en Argentina, Ecuador y Colombia ya se usaba hace más de 4 millones de años, por lo que América no se queda atrás (Ordóñez Candelaria, Mejías Saulés y Bárcenas Pazos, 2002). Este constituye la base de la cultura de algunas civilizaciones, siendo un fiel protagonista de una parte de la historia de la arquitectura. Es un excelente recurso renovable, que





alivia la presión sobre otros recursos forestales, ayudando a evitar la deforestación y contribuyendo al desarrollo sostenible del sector forestal.

En el mundo de la arquitectura de vanguardia, y en el resto de ámbitos, está cobrando cada vez más importancia y se valora cada vez más este material debido a su estética, a su facilidad de trabajo y a su valor medioambiental. Visualmente es impactante, encaja perfectamente en varios estilos decorativos llegando a ser utilizado en muros, suelos, siendo las tarimas una de las más apreciadas. Flexible, resistente, no contrae y dilata con los cambios de temperatura, respetuoso con la naturaleza y muy maleable estas y otras muchas virtudes, lo hacen un material perfecto para diseñar de todo tipo de artículos relacionados con la decoración del hogar

Su explotación y aprovechamiento se debe realizar con las herramientas requeridas y de forma adecuada para garantizar la continuidad en la producción. Existen diversas herramientas para su manejo y transformación, unas conocidas en la construcción tradicional y otras que han surgido adaptadas a su trabajo, pues se necesita cortar, perforar, sujetar, limpiar, quemar, afilar y otras. Se utilizan diversos tipos de machete, sierra, motosierra, arco y hoja de segueta, serrucho, barrena, broca circular, encofina, trinchas, cepillo de acero, mazo de madera, soplete, brocha para barnizar, etc (Figueredo, 2010).

Se trata de una planta abundante a nivel global, con gran capacidad de fijación de carbono y de rápido crecimiento, por lo que no es causa de erosión ni deforestación y como material de construcción " tiene una vida útil de entre 15 a 30 años " (Yepez, Pallares Carrion, Latorre Darquea, De La Torre y Pallares Latorre, 2020) . Si a esto se le suma que sus cualidades mecánicas permiten realizar construcciones complejas y que se trata de poner en valor un elemento de naturaleza forestal, ayuda así a proteger y favorecer el correcto mantenimiento de las masas en las que se encuentra. Sin embargo, no todas las especies se pueden utilizar en la construcción y las más empleadas se agrupan en seis géneros principales: Guadua, Dondreocalamus, Arundinaria, Bambusa, Phyllostachy y Sasalas (Baladrón, 2018).

Las especies maderables tradicionalmente utilizadas en la construcción de la vivienda rural en Cuba, tienen un desarrollo lento y no permiten su explotación a corto plazo,



por lo que el bambú es un factible sustituto de la misma. Tiene una larga y bien establecida tradición como material de construcción tropical y subtropical, por lo que sigue teniendo aceptación por la población rural cubana y supera en resistencia a unas cuantas maderas (tabla 1.1). Las construcciones con él son fáciles de edificar, resistentes (si son correctamente diseñadas y construidas) al viento y aún a las fuerzas sísmicas, a los cuales están sometidos los asentamientos en la región más oriental.

**TABLA – 1.1**

**Comparación de coeficientes de resistencia del bambú con otras maderas.**

<b>Especie</b>	<b>Tracción</b>	<b>Compresión</b>	<b>Flexión</b>
Bambú	2710	835	1700
Roble Blanco	810	490	490
Eucalipto	700	490	530
Pino Orejón	560	400	350
Pino Blanco	560	240	280
Álamo	230	200	340
Guayacán Negro	746	956	-
Algarrobo Negro	375	482	-
Caoba	368	513	-
Cedro Macho	333	354	-

**Fuente: Orosco, 2009.**

Presenta disimiles ventajas al utilizarse como material en la construcción debido a que consigue un rendimiento aproximado de 3,3 veces el de la madera, no deja residuos y necesita poca energía para su producción (Seguí, 2020). Además, se consiguen estructuras livianas mucho más fácil de transportar, es un aislante térmico y acústico y es bastante barato reduciendo el costo de una vivienda hasta en un 50 o 60% (Yepez et al. 2020). En ocasiones actúa como único elemento y resiste él todas las cargas, pero en otras ocasiones puede aparecer con un papel más secundario, formando parte de elementos de la estructura que no están sometido a elevadas cargas.

Es apto para casi la totalidad de las partes de una estructura, pero al tratarse de un material natural puede presentar problemas en la durabilidad si no se adoptan ciertas medidas. Si es posible se debe aislar las partes de bambú del suelo para evitar humedades y el ataque tanto de insectos como de hongos, y es recomendable evitar la exposición directa a la radiación solar. Los lugares menos indicados para su empleo son los cimientos y las cubiertas, aunque en estas últimas sí es habitual encontrarlo



porque, aunque dure poco sigue siendo aceptable debido a su abundancia y, además, la forma de sus varas es aprovechada para facilitar el desagüe.

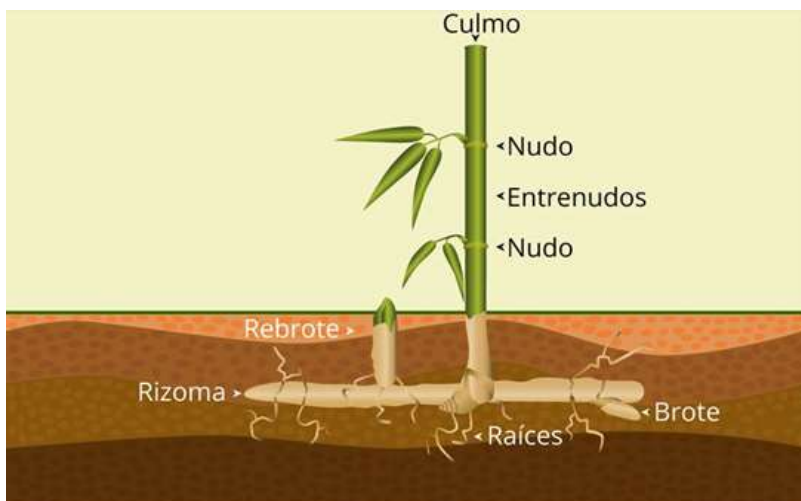
### **I.1.1 El bambú. Características morfológicas y ciclo de vida**

Botánicamente pertenece a las más primitivas de las gramíneas, es una herbácea como el arroz, el maíz o la caña de azúcar, sin embargo, la lignina de sus tejidos se convierte con el tiempo en una estructura tan dura como la madera, pero más flexible y ligera (Martínez, 2015). Generalmente entre los 4 y 6 años está listo para ser utilizado y si se maneja adecuadamente, una vez establecido, puede ser productivo ilimitadamente, rebrota tantas veces como se corte. Además, su ciclo de crecimiento constituye una tercera parte del ciclo de un árbol de rápido crecimiento, y su productividad por hectárea es dos veces la del árbol (Polo de la Rosa et al. 2014).

Existen entre 91 géneros y 1 500 especies, los hay herbáceos, trepadores, cespitosos, expansivos y leñosos, pero estos últimos son los mejores como material estructural debido a sus características (Baladrón, 2018). Su cultivo se realiza en forma sistemática, con una tecnología simple y de bajo costo. En un tiempo relativamente breve se conforman plantaciones forestales perennes, sujetas a pocos riesgos y cuya producción puede colectarse y habilitarse con facilidad y sin grandes gastos para colocarla en el mercado.

Estructuralmente el Bambú está formado por un sistema de ejes vegetativos segmentados, que forman alternamente nudos y entrenudos, que varían en su morfología según que correspondan al rizoma, al tallo o a las ramas. Tanto los nudos como los entrenudos varían de una especie a otra, principalmente los tallos, sirviendo esta característica para su clasificación; algunos tienen espinas y otros no. Es una planta perenne que se ancla fuertemente al suelo mediante unos gruesos rizomas subterráneos. Estos son su raíz y también órganos de reserva en los que la planta acumula nutrientes. Presenta un extremo puntiagudo como una aguja capaz de penetrar suelos muy duros y pedregosos. Además, posee unas yemas redondeadas a partir de las cuales crecerán las cañas o darán lugar a otros rizomas (Mercedes, 2006).  
(figura 1.1)





**Figura 1.2: Partes del bambú.**

**Fuente: Orense, 2020.**

El tallo, al que también se llama culmo, caña o vara, normalmente presenta una forma cilíndrica; los entrenudos pueden ser huecos o macizos y los nudos pueden ser prominentes. En los primeros 4 a 12 meses son muy blandos y flexibles, alcanzando su máxima resistencia entre los 3 y los 6 años, luego de los 6 años, empieza a perder vitalidad y a dañarse. Una vez que el bambú brota del suelo, lo hace con el diámetro máximo que tendrá de por vida, no aumenta de grosor, sino que disminuye con la altura. El color del tallo varía desde verde, amarillo, rojo, blanco, púrpura a negro y algunos son verdes con rayas amarillas o amarillos con rayas verdes (Mercedes, 2006).

Las hojas son muy variables en tamaño y forma. En la primera etapa del crecimiento son lisas o casi lisas en la superficie superior y es normal que durante la primavera se noten hojas caídas o amarillas en el tallo. Lo más común es que el bambú posea una mezcla de hojas en desarrollo, verdes, amarillentas y secas (Mercedes, 2006). Su floración es algo muy interesante, la mayor parte de las especies tardan varios años en florecer y la diversidad de formas en sus frutos es muy amplia. Se han identificado dos tipos de florecimiento en los bambúes: la floración esporádica, en cuyo caso, sólo una o varias plantas de una misma población florece, y la floración gregaria, cuando todos los individuos de una especie florecen al mismo tiempo y en diferentes lugares, lo cual ocurre a intervalos de 10, 20, 40 y 120 años (Ximena, 2002).



Los métodos de propagación o reproducción de los bambúes pueden ser sexuales o asexuales, mediante el uso de semillas, vástagos, siembra de rizomas, en algunos casos por acodos y masivamente por corte de secciones de tallos. Cuando se planta con un criterio comercial o de protección se busca un rápido crecimiento, el cual solo es posible en forma vegetativa. Una planta originada de estacas a los dos o tres años ya tiene su altura total, en tanto que una planta de semillas puede requerir de 4 hasta 8 años para lograr su mayor altura. Debido a que su floración sólo se presenta a intervalos o ciclos muy largos, no es común el empleo de semilla en su propagación. Además, en algunas especies con floraciones esporádicas se consigue apenas un 50% de germinación y en la gran mayoría las semillas salen vanas (Mercedes, 2006). Su recolección debe efectuarse en las estaciones adecuadas, que son el otoño y el invierno, aconsejando no cortar las cañas por encima de los 30 cm del suelo y no usar la sierra porque impide a la raíz pudrirse, evitando el crecimiento de nuevos brotes. La mejor herramienta a emplear es el machete y lo ideal es quebrar el muñón de la misma con un corte en cruz. La poda se tiene que efectuar poniendo cuidado de no impedir que las cañas se sujeten una con otra, de lo contrario crecerán encorvándose. Para que la recolección sea sostenible debe ser selectiva. (Martínez, 2015).

La primera recolección puede empezar cuando la mata llegue a su completa madurez, es decir alrededor de los 6 años después de su plantación. Si se trata de especies monopodiales (cañas separadas uniformemente), la misma se realiza cortando solamente las que están maduras. Por cada cuatro cañas maduras se genera una nueva, por lo tanto, se tardan 4 años para remplazar las quitadas. Dentro de una mata la producción de cañas varía con la especie entre 10 y 38 %. Con un período de rotación de 3 años, se pueden recoger entre 3.000 a 15.000 cañas por hectárea, que equivale a 7,5 - 38 ton/ha. El método ideal para asegurar una producción continua es determinar la producción en un año sobre la base del promedio deducido en los últimos 15 años (Martínez, 2015).

Tras el abatimiento de las cañas, las ramas se tienen que quitar con cuidado para no dañar la corteza que protege contra la humedad y los microorganismos nocivos. Las cañas tienen que ser colocadas horizontalmente y con apoyos frecuentes, de



modo que no se encorven. Deben estar protegidas del sol, la lluvia y la humedad del terreno. El secado al aire necesita de un período de 6 a 12 semanas, mientras que en el horno tarda solamente 2 o 3 semanas. Algunas especies no toleran un secado rápido y desarrollan grietas o quebraduras axiales. La forma ideal de almacenarlas es dentro de estantes, donde la primera capa no tiene que estar a menos de 50 cm del terreno, garantizando una buena circulación del aire y la posibilidad de inspeccionar cada una. (Martínez, 2015).

### **I.1.2 Propiedades físico mecánicas del bambú**

Las propiedades físico-mecánicas de un tallo de bambú están fuertemente correlacionadas con su estructura anatómica y morfológica, entre ellas se puede destacar su dureza y flexibilidad a pesar de su poco peso. Las propiedades mecánicas están determinadas por la gravedad específica, la cual varía aproximadamente de 0.5-0.9 gr/cm. La gravedad específica depende principalmente del contenido de fibra, del diámetro de la fibra y del espesor de la pared de las células, por lo tanto, varía considerablemente dentro de un mismo culmo y entre especies. La parte externa del culmo, con su mayor densidad de fibra, tiene una gravedad específica más alta que la parte interna, por lo cual la resistencia al pandeo en la porción basal y en la parte externa es 2-3 veces mayor que en la parte interna (Ximena, 2002).

Los nudos tienen una gran influencia en la resistencia mecánica del culmo: presentan una gravedad específica mayor, un menor volumen de encogimiento y una menor resistencia tensil que los entrenudos por aquello de tener fibras más cortas y haces vasculares distorsionados. La longitud de la fibra tiene una correlación positiva con el módulo de elasticidad y con la resistencia a la compresión. El comportamiento a la ruptura o fractura de un culmo es diferente al de la madera. Las fracturas no espontáneas ocurren a través de todo el culmo; las fracturas llegan a ser deflectantes en la dirección de las fibras y estas reducen el efecto desventajoso en los sitios de menos resistencia (Ximena, 2002).

Desde el punto de vista mecánico, frente a requerimientos energéticos, constructivos, de resistencia y rigidez por unidad de área, facilidad y seguridad de uso, etc, se puede comparar de manera favorable con materiales de uso común como el hormigón, el



acero y la madera (tabla 1.2). Aunque la composición química de la madera y del bambú no difiere demasiado, este es dos veces más resistente que la madera frente a la tracción uniaxial. Según Martínez (2015) el bambú requiere solo el 57% de su masa cuando es usado como viga y solo un 40% cuando es usado como columna.

**TABLA – 1.2**

**Cuadro comparativo de las características estructurales del bambú y otros materiales de construcción.**

Material	Resistencia de Diseño (Kg/cm <sup>2</sup> )	Masa por Volumen (Kg/cm <sup>3</sup> )	Relación de Resistencia (r/m)	Módulo de Elasticidad (Kg/cm <sup>2</sup> )	Relación de Rigidez (e/m)
Hormigón	82	2400	0.032	127400	53
Acero	1630	7800	0.209	2140000	274
Madera	76	600	0.127	112000	187
Bambú	102	600	0.17	203900	340

Fuente: Orosco, 2009.

Su peso específico varía con la humedad, pero para cañas secadas al aire (18% de humedad), oscila entre 700 y 850 kg/m<sup>3</sup>, dependiendo de si se tiene en cuenta solo la pared. También influye la porción de caña analizada: la base ronda los 0,57 kg/dm<sup>3</sup> (mayor volumen hueco) y la cima 0,76 kg/dm<sup>3</sup>. La conductividad térmica depende del sentido de propagación del flujo de calor y del elemento que se esté ensayando, cuanto más baja más poder aislante. La propagación en sentido perpendicular a las fibras en material secado en horno es de 0.088 Kcal/m·h·°C para el bambú frente a 0.104 Kcal/m·h·°C que presenta el abeto común. En sentido paralelo la diferencia es mayor obteniéndose valores de 0.143 Kcal/m·h·°C frente a las 0.191 Kcal/m·h·°C respectivamente (Barbaro, 1997).

Gran parte del bambú empleado en construcción está sometido a compresión paralela a la fibra, por ejemplo, en columnas, vigas, soportes, montantes y otros, los cuales están sujetos a cargas que tienden a aplastar o a acortar los miembros longitudinalmente. Su resistencia a la compresión es relativamente alta, pero si no se conoce la esbeltez de la pieza a estudiar y no se define la curación del bambú, no se podrá precisar correctamente la resistencia frente a este esfuerzo ya que sus características varían. A mayor humedad tenemos peores prestaciones. Además, la





relación longitud-sección mínima también es de vital importancia para prevenir el pandeo (Martínez, 2015).

La tracción depende del elemento de la caña ensayado (base, centro o cima), del % de humedad, del elemento a ensayar y de la presencia o no de nudos. Se trata del esfuerzo más complicado de todos a los que se enfrentan las estructuras. Los métodos mediante los cuales se unen las diversas piezas hacen que, al aparecer esfuerzos de tracción, estas se rajen debido a los herrajes. Es por esto que no es fácil encontrar valores de la resistencia del material frente a este tipo de cargas. En el caso del módulo de elasticidad al igual que en la madera tradicional, decrece de un 5 - 10% con el aumento de la carga, dependiendo del tipo de esfuerzo aplicado, y del tipo de fibra (interna o externa de la sección solicitada) (Martínez, 2015).

La fractura por corte es muy diferente de la tensión o compresión puesto que no hay reducción localizada del área, ni tampoco alargamiento. Este esfuerzo hay que tenerlo muy en cuenta especialmente en el diseño de las uniones o juntas. La mayoría de los componentes constructivos están sujetos a corte paralelo a la fibra. En culmos con paredes de 10 mm de espesor, el esfuerzo cortante es aproximadamente un 11 % más bajo que para culmos con paredes de 6 mm de espesor debido a la distribución y mayor porcentaje de fibras fuertes en la sección transversal (Rodríguez y Morales, 2008).

El cálculo de elementos con bambú, al igual que con madera puede llevar a una situación muy peligrosa: que los elementos sean suficientemente fuertes para el trabajo deseado, pero que las uniones sean débiles. Se sabe que las uniones requieren de mucho cuidado y son el punto más débil. Para el bambú existen soluciones tradicionales, pero la dificultad se manifiesta cuando se trata de hacer uniones que soporten esfuerzos a tracción. El planteamiento general para el diseño de conexiones debe tener como referente evitar al máximo la presencia de esfuerzos que provoquen la rajadura en las piezas de bambú. También se debe hacer hincapié para simplificar las uniones y lograr una arquitectura con estructuras ligeras. (Martínez, 2015).





Para ser utilizado en la construcción no basta con tenerlo, hay que someterlo a un proceso de transformación donde se le agrega valor, y estos son: el curado y el secado. El curado se realiza de forma natural o con preservantes químicos, persiguiendo evitar que las varas después de cortadas sean atacadas por insectos. El secado se efectúa de forma natural o en hornos, siendo un proceso necesario en el cual pierde la humedad, quedando después de este en un 12% aproximadamente, y disminuye su diámetro, espesor de la pared y en menor medida la longitud (Figueredo, 2010). Estos son elementos importantes para darle valor y de vital grado relacionados con su sostenibilidad ambiental.

## **I.2 Sistema de indicadores de la gestión ambiental**

La gestión ambiental según Sánchez Galán (2020) es la modalidad de gestión existente en todo tipo de organizaciones destinada a la protección medioambiental y a la disminución del impacto de su actividad en el ecosistema. Por medio de la gestión ambiental, empresas e instituciones a todos los niveles desarrollan distintas tareas con el propósito de configurar líneas de actuación sostenibles. Estas empresas tienen que tener en cuenta la familia de normas ISO 14000 que regulan todo lo relativo a los Sistemas de Gestión Ambiental, y en especial a la ISO 14001:2015 Sistema de Gestión Ambiental – Requisitos con orientación para su uso.

Esta es aplicable a cualquier empresa sin importar el tamaño, el tipo y la naturaleza. Proporciona a las organizaciones un marco con el que proteger el medio ambiente y responder a las condiciones ambientales cambiantes, siempre guardando el equilibrio con las necesidades socioeconómicas. Según la política ambiental que se establezca en la organización, los resultados esperados de un SGA incluyen: una mejora en el desempeño ambiental, cumplir con las obligaciones de cumplimiento y conseguir los objetivos ambientales (Macías Romero, 2017).

Para favorecer el aprendizaje y mejora de la organización los procesos que componen este sistema no se deben de realizar de una forma lineal, sino que deben adaptarse a ciclos de mejora continua, con enfoque PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). Este enfoque primero define y planifica los procesos de trabajo basado en la información del entorno, las peculiaridades de la organización y las necesidades y



expectativas de las partes interesadas, detectando los aspectos ambientales a gestionar y requisitos legales aplicables. Después se realizan las tareas planificadas, se verifican y en el proceso de actuación se emprenden acciones para corregir las desviaciones detectadas y así el ciclo se retroalimenta continuamente.

Una de las maneras de implementarla la gestión ambiental es a través de un sistema de indicadores, por lo cual es necesario conocer qué es un indicador. De acuerdo a Pérez (2021) un indicador es la serie de datos o la información, concerniente a cierto aspecto de importancia, en donde se puede evaluar su estado actual y cómo será su evolución a través del tiempo. Se entiende que es una serie de puntos de partida o de referencia que se encuentran conformados por diferentes datos, números, información, medidas e incluso opiniones que abren paso al desenvolvimiento de un estudio, evaluación o un proceso en específico que tiene relación con el mismo. También se trata de la muestra de algo mediante una señal o de una serie de indicios determinados.

Al aportar información valiosa en una investigación o conversación debido a la relevancia y referencia que tiene con otros temas o disciplinas, los indicadores cuentan con una función en específico. Esta es la de constituir una base o parámetro de seguimiento para lograr evaluar el proyecto del que se habla o de aquel que está a punto de ser ejecutado. Además, especifica correctamente los objetivos siempre de manera precisa y concisa, de forma que cada uno sea suficiente para emplearlo no una sino varias veces, por eso es necesario que los indicadores sean verificados antes de emplearlos sin importar el contexto o su tipo (Pérez, 2021).

Según Ascorve (2014) un sistema de indicadores consiste en la recopilación de un conjunto de indicadores que midan el grado de consecución de los objetivos propuestos y de las tareas definidas para lograrlos. Dentro de los tipos de indicadores según las etapas de un proceso productivo (en este caso el del bambú) se encuentran en primer lugar los indicadores de gestión, seguido consecutivamente de indicadores de procesos, productividad, resultados, evaluación, eficiencia, eficacia y cumplimiento. Para el propósito de esta investigación se concentra la atención en los indicadores de



gestión que permiten establecer que tanto se ha logrado el cumplimiento de la misión, objetos y metas de un determinado proceso.

Los indicadores de gestión ambiental tienen como principal función detectar potenciales oportunidades de mejora, obtener y perseguir metas medioambientales, identificar oportunidades de mercado y potenciales de reducción de costos. También, evaluar el impacto medioambiental de la empresa, proporcionar datos esenciales para informes y declaraciones medioambientales exigibles, y favorecer la implementación de la norma ISO 14001 (González, 2012). Una vez definidos y establecidos los indicadores de gestión ambiental, la mayor utilidad de estos según la norma ISO 14001 se encuentra cuando permiten cuantificar aspectos relacionados con al menos los siguientes puntos:

- Ahorro de costos: mejora en el control de materias primas y energía; mejor posición para obtener préstamos y subvenciones; optimización de los costos de residuos y emisiones; reducción de los riesgos de accidentes y los costos de las reparaciones por daños al medio ambiente, etc.
- Ventajas de competitividad: buena imagen de la empresa; relaciones con los agentes externos; aumento de motivación de los empleados.
- Cumplimiento de la legislación vigente aplicable.

Para la realización de un sistema de indicadores para la gestión ambiental se puede emplear la norma ISO 14040:2015 Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida - Principios y marco de referencia. Esta propone el análisis del ciclo de vida de un proyecto en cuatro fases: objetivo del estudio, alcance del estudio, análisis del inventario y análisis del impacto. Sin embargo, para el desarrollo de la última fase es necesario emplear otra norma, la ISO 14042:2015 Evaluación del ciclo de vida: Evaluación de los impactos. Mediante ella se seleccionan todas las categorías que generan un impacto, lo cual se realiza mediante modelos científicos, dentro de los que se encuentra el Método MEL-ENEL.

Según González, 2012 para establecer un sistema de indicadores de gestión ambiental se puede seguir cinco etapas: análisis de la situación/inventario, establecimiento del sistema de indicadores, recopilación de datos y determinación de indicadores,



aplicación de los indicadores y revisión del sistema de indicadores. En la primera se busca identificar los impactos significativos de las actividades de la empresa, considerando la situación de los centros de trabajo o de la región, además de las exigencias externas. Basándose en esta información, se pueden definir los elementos principales para el establecimiento y uso de los indicadores ambientales, los cuales deberían estar basados en los aspectos significativos que haya determinado la organización.

En la segunda etapa podrían establecerse en forma inicial una amplia lista de estos posibles indicadores para todas las áreas de la empresa con ayuda de los responsables o de un grupo de trabajo. Luego se seleccionan sólo aquellos que resulten clave para la gestión ambiental de cada área. El análisis realizado en la etapa anterior define los puntos de atención para la organización. Mientras se recopila un registro de los indicadores de esta gestión, hay que tener presente el principio de orientación a la meta, y sólo hay que definir indicadores para las categorías en las que la empresa puede influir directamente.

En la tercera etapa para una adecuada recopilación de datos se debe tener en cuenta una descripción clara del indicador, sus unidades de medición, las fuentes de datos, los factores de conversión que resulten necesarios y su frecuencia de determinación. Además, se debe tener responsabilidad en la recopilación de dichos datos y por último se establecen los indicadores medioambientales absolutos y relativos. El objeto de establecer estos indicadores consiste en poder medir y mejorar la gestión de la organización, de modo que resulta necesario que también puedan emplearlos los departamentos individuales para el control y seguimiento de los impactos ambientales.

En la cuarta etapa resulta indispensable que los datos estén limitados a un volumen manejable para conservar una adecuada perspectiva sobre cuáles son los esenciales. Para cada usuario (especialista en el medio ambiente, dirección, director de departamento) la visualización de la información más importante debería limitarse a un máximo de entre 10 y 15 indicadores ambientales clave para conseguir el objetivo de un resumen breve y conciso de la información. Los indicadores deben de aplicarse de



forma clara para que todos los trabajadores puedan comprenderlos y su cumplimiento debe de ser obligatorio.

Por último, el sistema de indicadores ambientales debe ser revisado periódicamente para determinar si sigue siendo adecuado para medir y mejorar la gestión ambiental. En este contexto, una forma de efectuar este análisis es encontrar respuestas a preguntas tales como:

- ¿Reflejan de forma adecuada los indicadores disponibles los impactos ambientales de la empresa?
- ¿Pueden desarrollarse o utilizarse nuevos o mejores indicadores ambientales?
- ¿Pueden incrementarse la calidad y la fiabilidad de la recopilación de datos?
- ¿Se dispone de recursos suficientes para establecer indicadores ambientales?
- ¿Se determinan los indicadores con la suficiente frecuencia?
- ¿Permiten los indicadores que se cuantifiquen los objetivos ambientales?

### **I.2.1 Sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú**

Para poder definir una serie de indicadores para la gestión del bambú, es necesario partir de su producción, desde las acciones previas que ponen en valor la materia prima para entonces desarrollar el análisis de las principales etapas de la construcción. La construcción de un indicador de gestión requiere de dos condiciones básicas, a saber: la definición clara del atributo que se desea medir y la existencia de información confiable para poder realizar la medición. Estas condiciones son indispensables para poder plantearse la posibilidad de construir un indicador compuesto, la satisfacción de la primera le dará un sustento conceptual, mientras que la segunda le otorgará validez. Según Roncancio (2019) para su adecuada confesión es necesario identificar la intención de la medición y lo que se quiere medir, revisar las alternativas de medición, seleccionar las medidas correctas para cada objetivo estratégico y definir indicadores compuestos. Además, se debe establecer la línea base y la meta del indicador. Al tener claro que en esta investigación se aborda el ámbito ambiental es importante tener en cuenta que estos indicadores deben estar relacionados con el marco de los procesos, en los cuales los requerimientos de mitigación y de revisión de reducción de los impactos cumplan con los índices legales.



Bajo el análisis de parámetros ambientales y económicos, se visionan los esquemas de construcción en los cuales sopesa la variable ambiental y su peso en relación con las mediciones de la contabilidad ambiental. Desde lo ambiental, los indicadores de sostenibilidad esencialmente describen las presiones o intervenciones directas e indirectas, que las actividades humanas ejercen sobre el medio natural. Estas actividades son el producto de la adaptación social con la naturaleza, destacándose: las relacionadas con la economía (sectorial y total) y el crecimiento de la población, así como los residuos y las emisiones provenientes de todo tipo de dichas actividades. Las actividades humanas y su intervención en la construcción se dividen en dos tipos de variables, las relacionadas con la afectación que tiene un bien y un servicio ambiental en relación con los capitales naturales y los elementos de aprovechamiento. En el caso del bambú y la construcción, las afectaciones en los recursos son determinantes, ya que pueden establecer índices generales de sostenibilidad ambiental. Estos son: el indicador de emisiones de gases o índices de calidad de aire (ICA), el índice de ruido, y el de la erosión del suelo y su indicador de sostenibilidad (García Valencia, Medina Suarez y Pérez Gómez, 2016).

El ICA busca poder establecer los factores de emisión que se dan y también los relacionados con el tasamiento desde lo ambiental. El tasamiento es importante, pues hace que se consolide un esquema de medición o una escala de las sustancias que son monitoreadas o los contaminantes que son medidos para establecer el nivel de contaminación. El índice de ruido identifica la magnitud del ruido, lo cual reafirma que la sostenibilidad ambiental se logra teniendo por debajo del máximo permisivo, los niveles de presión sonora en los espacios propicios para la construcción.

Para la estimación de la erosión que se genera en el suelo, hay que tener en claro que no solamente son propiciadas por actividades derivadas de la agricultura, pues el cambio paisajístico, la disgregación de los suelos y el cambio de la cobertura vegetal, también generan un impacto ambiental. Estos procesos deben ser medidos de forma urgente, pues se requieren soluciones, ya sea por medio de un proceso ambiental o de geotecnia, que persiga la mitigación de acciones tales como: la desertificación y degradación del suelo. La estimación de indicadores químicos, físicos y biológicos, dan



un punto de referencia para estimar el valor del costo ambiental de suelos fértiles o de suelos aptos para el trabajo donde se requiere, en este caso: el bambú.

Los indicadores para la gestión del bambú abarcan todo el proceso de transformación del mismo jugando un papel fundamental en las empresas para cumplir con éxito sus objetivos. Al medir todos los procesos a emplear (en este caso los efectuados para su uso como material de construcción) permite controlar las acciones a ejecutar, facilitando poder ejercer una mejor dirección sobre los mismos. En general son marcadores puntuales de las metas planteadas en una organización para su mejora continua (García Valencia et al. 2016).

### **I.3 La gestión ambiental del bambú como material de construcción**

Los disímiles trabajos en la construcción que hacen tan costoso el acceso a la vivienda unido a la degradación de los ecosistemas, la afectación de los suelos y la contaminación medioambiental, hacen que la gestión ambiental del bambú fomente una nueva vía para los procesos de construcción. Con la utilización de este material en la construcción de forma sostenible, se disminuyen los impactos a causar en la naturaleza y se logra bajar los costos de las viviendas haciéndolas más asequibles a todas las personas. Al gestionarlo desde su producción velando por su óptimo aprovechamiento y el bienestar medioambiental se garantiza la adecuada explotación del mismo, lo cual se logra al cumplir con los documentos legales establecidos.

La gestión ambiental del bambú como material de construcción ha sido implementada por disímiles personas en varias entidades ya que facilita un marco de actuación para el empleo de este material dentro de lo legal y de forma ambientalmente sostenible. Avendaño Ramírez y Montoya Correa (2007) formularon un Plan de Gestión Ambiental para el proceso productivo de la Guadua en la Empresa Bambú de Colombia, basándose en la Norma – ISO 14001:1996. El plan debe llevar a cambios en el comportamiento y las actividades dentro de la organización y revisarse periódicamente para ajustar los cambios en objetivos y metas establecidos.

Este fortalece internamente a la empresa a través del mejoramiento continuo, para hacerla más competitiva a nivel económico, social y ambiental. Dentro del plan de gestión se incluyó la propuesta de una nueva política ambiental para la empresa y el





desarrollo de un plan de contingencia que incluye diferentes procedimientos operativos para ayudar a tomar conciencia de los riesgos que se pueden presentar en la cotidianidad de la empresa. Sin embargo, la empresa debe mejorar su organización administrativa para que nada quede a la deriva ya que se encontraron deficiencias en esta y en el uso de los equipos de seguridad de los trabajadores por lo que tenían que haberse establecido medidas con este fin.

Por otra parte, Rea Lozano (2012) realiza la proyección de una vivienda de interés social en la que evalúa las cargas ambientales que se generan en tres sistemas constructivos distintos, hormigón armado, acero y caña guadua. Los resultados obtenidos los comparó de forma cuantitativa, en base al uso de energía y emisiones de gases de efecto invernadero. Para el uso de la caña guadua como material estructural en el tema ambiental utilizó como herramientas las normas ISO 14000, ISO 14004, ISO 14040, ISO 14041, ISO 14042, ISO 14043 y ISO/TC 207/SC 5 (2000).

Al comparar quedó demostrado numéricamente que la ventaja al usar la caña guadua es superior a las alternativas tradicionales, pues la energía consumida en la construcción de tres viviendas con guadua equivale a la utilizada en apenas una unidad de hormigón armado o acero. Se recomendó el uso de este material como base estructural de cualquier edificación, sin embargo, se observa que el sistema constructivo estudiado podría reducir aún más el impacto ocasionado, si se sustituye la teja cerámica por otro material más noble en el campo medioambiental. Además, por la fecha de esta investigación se emplearon normas que ya han sido mejoradas, por lo tanto, no cuenta con la actualización requerida en este momento.

También, Polo de la Rosa et al. (2014) plantean, la creación de viviendas sustentables a base de bambú, pero en este caso prefabricadas, que permite tener un sistema estandarizado que reduce los tiempos de edificación, de forma ecológica, económica y durable. Crean un proyecto de forma factible tanto en lo económico financiero como medioambiental, mediante la implantación de un SGA y un plan de seguimiento para la comprobación del cumplimiento del mismo. Sin embargo, como elemento negativo se encuentra que el mercado objetivo es la clase media y la clase media baja, por lo





que no se abarcan todas las clases y además la aceptación del producto no está garantizada debido al desconocimiento de las propiedades del bambú.

Además, Cerrón Oyague (2016) plantea tres estrategias de arquitectura ecológica con bambú, pero para el confort térmico, en el Parque Nacional del Manu, Cusco, con el propósito de mejorar la situación del parque y de la calidad de vida de la población. Expresa que era necesario el uso de materiales locales naturales como el bambú, empleando un adecuado diseño y construcción con tecnologías apropiadas, con soluciones de adaptabilidad, con confort térmico, que contribuyeran a la sostenibilidad. Para lograrlo consideró dos ejes prioritarios para diseñar las estrategias a desarrollar en el caso estudiado: el Medio físico natural y el Uso del bambú, y el Diseño y Construcción.

También planteó consideraciones y lineamientos para las prácticas ambientales en dos aspectos: consumo de energía y gestión de residuos con la aplicación adecuada de un sistema y cadena de procesos durante el desarrollo de la construcción. Demostró el beneficio y disponibilidad directa de la obtención del recurso bambú desde el bosque, con un ahorro y optimización del material en un 17%. Ofreció un sistema constructivo sencillo y práctico, fácil de ejecutar, validado por los pobladores del lugar y en donde se optimiza el material bambú al máximo, aplicando buenas prácticas ambientales.

Se comprobó la eficacia de los ejes estratégicos al alcanzar resultados positivos en la estimación de condiciones térmicas en una habitación experimental del Modelo – Cabaña de bambú. Sin embargo, su propuesta se encuentra centrada en este emplazamiento en específico y no es aplicable a otras localidades. Su diseño no está estandarizado por lo que para su empleo se deberá adecuar el modelo al clima presente en el sitio de construcción y es posible que en algunas situaciones haya que diseñar desde cero. Además, aunque logró minimizar el consumo de energía y gestión de residuos confirmando su moderado uso, no planteó la construcción de un SGA para dar solución a todas las afectaciones ocasionadas al medioambiente.

Macías Romero (2017) crea un Programa de Gestión Ambiental para la Central del Bambú Andoas (CENBA) del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincia de



Pichincha. Este programa tiene el propósito de dar inicio a la corrección, mitigación y control de los impactos ambientales negativos identificados en esta central. Basó su diseño en una investigación de tipo descriptiva y documental con enfoque cuantitativo y cualitativo, donde la información obtenida fue analizada en la etapa preliminar y posteriormente los datos fueron medidos en el Estudio de Impacto Ambiental. Las acciones propuestas detallaron los lineamientos, responsabilidades, metas, objetivos, proceso de verificación, indicadores, recursos con los que contó y el financiamiento del programa de forma individual.

Para encontrarse dentro del marco legal establecido cumplió con la Constitución de la República del Ecuador, Ley de Gestión Ambiental, Ley de la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, Ley Orgánica de la Salud, Código Penal y Norma ISO 14001-2015. Además, de otras normas y reglamentos tales como: niveles de exposición a agentes químicos, nivel de ruido y vibraciones, normas regionales y ordenanzas distritales. Los impactos ambientales negativos que detectó no representaron un alto riesgo de afectación, siendo el factor de ruido y emisión de partículas (polvo) los más prominentes, pero fue necesario corregir, mitigar y/o prevenir para no aportar a la generación un impacto a nivel global.

Las normas empleadas son actuales, sin embargo, hay algunas específicas del Ecuador como es el caso de su Constitución por lo que no coinciden a nivel mundial con todas las leyes a cumplir en otros países. Logró la creación de un buen Programa de Gestión Ambiental pero enfocado a las condiciones de esta empresa en el procesamiento de industrialización del bambú rollizo. Debido a estas razones este programa para su empleo en otras empresas tendrá que sufrir adecuaciones ya sea por la legislación a cumplir o porque el proceso industrial varíe.

En Cuba, Matamoros Tuma, Álvarez López, Rojas Rojas, Pérez Ríos y Fonseca Salgado (2019) plantean el uso del bambú como material de construcción para el diseño de 100 habitaciones de una villa turística en “Salto y Ganuza”, al norte de Villa Clara. Como parte del proceso, produjeron un prototipo a escala 1:10 de una cabaña, que permitió la familiarización con el material y con las soluciones estructurales y constructivas, así como con sus posibilidades expresivas. El diseño de la villa fue



efectuado según el análisis de las normas vigentes, y su comparación se realiza con ejemplos de instalaciones existentes.

Al realizar el estudio comparativo entre la cabaña de bambú propuesta con la misma cabaña suponiendo que fuera construida con materiales y técnicas tradicionales estimaron que el costo de la cabaña de bambú representa el 61% de la otra. En el proyecto se utilizó el bambú no solo en muros, enchapes y elementos decorativos, sino como el material estructural predominante, además de aprovechar su buen comportamiento como aislante térmico y acústico. Se concluye de manera preliminar, la conveniencia del uso del bambú en la construcción como una alternativa al uso de la madera en villas turísticas de pequeña capacidad vinculadas a entornos naturales, lo que contribuiría a la diversificación de las ofertas.

Como elemento negativo se encuentra que el bambú todavía no tiene una adecuada aceptación, existe desconocimiento de sus bondades, todavía los trabajadores en el sector constructivo no se encuentran familiarizados con su empleo. Se sigue empleando de forma específica normalmente para la sustitución de la madera, pero no destaca como modelo a seguir para su empleo en diversas edificaciones. Además, para la confección de esta villa no tienen en cuenta la implementación un SGA que ayude a lograr con éxito los objetivos del proyecto con las menores afectaciones posibles al medioambiente.

### **I.3.1 Experiencias en el mundo**

La utilización del bambú en el mundo se encuentra en diferentes niveles, hay países muy avanzados en su empleo y otros que apenas lo conocen, y el que históricamente ha estado en la vanguardia es China. Esta fábrica la madera prensada de esta planta desde 1940 y usa los tallos para tableros y duelas, sustituyendo un millón de m<sup>3</sup> de madera en píce (Figueredo, 2008). En el continente europeo las casas de bambú buscan su lugar, y Anna Heringer es la arquitecta de referencia en el uso de este material, entre sus trabajos destacan museos y escuelas en países como Bangladesh, India y Zimbabwe. La arquitecta balinesa Elora Hardy se ha convertido en promotora de este material a nivel mundial, y ya ha construido decenas de edificios en su país, entre los que se encuentran colegios, hospitales y restaurantes (Iznoala, 2019).



Isaac González, el diseñador que dirige la empresa española Bambusa Estudio afirma que las personas viven en casas de bambú porque son más baratas que las de madera, pero también más ligeras, fuertes y resistentes a los terremotos que las construcciones de ladrillo y cemento. Como obstáculo en Europa no crece esta planta y todavía no es posible utilizarla libremente dado que no cuenta con un marco regulatorio, sin embargo, la ley da camino libre cuando se utiliza para recubrimientos. (Iznaola, 2019). Además, en España ya se ha implementado el uso de la gestión ambiental para el empleo del bambú en la construcción, lo que representa un avance para su utilización sostenible en el futuro.

Por otra parte, en América Latina los países están combatiendo el desconocimiento de sus propiedades en general, dando pasos para lograr su implementación de forma fluida y viable. En Argentina se busca darle uso a esta especie nativa de la región por lo que surge EcoCasa Bambú, que es una empresa comprometida con el medio ambiente en su búsqueda de la optimización de sus actividades, la reducción de impactos negativos sobre el ambiente y el manejo adecuado de los residuos. Se fija objetivos que mejoran el medioambiente, pone en marcha procedimientos para conseguir esos objetivos y controla que el plan está siendo cumplido mediante la implantación de un SGA.

En otras partes como en Ecuador también se utiliza la gestión ambiental para el empleo del bambú en empresas como es el caso de la Central del Bambú Andoas (CENBA). Existen normas en el país tales como: la Ecuatoriana de la Construcción – Estructuras de Guadua y se tratan temas en la construcción sobre la cimentación de estructuras de bambú, su mantenimiento, costos unitarios, entre otros. El 7 de enero de 2021 se efectuó la suscripción del convenio de macro de cooperación entre el Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) e INBAR, con el objetivo de promover el desarrollo sostenible, integrando al bambú en planes y proyectos impulsados a la construcción. Además, el INBAR capacita a las personas en todo el territorio nacional, con el fin de fortalecer y promover la utilización del bambú en el país.

Desde el 20 de enero hasta el 6 de marzo de 2021 se efectuó el curso internacional de construcciones sustentables con bambú, con el propósito de fortalecer los



conocimientos en ese ámbito a los funcionarios públicos del gobierno central y local del país. Durante la gira presencial pudieron observar, de primera mano, una plantación de caña guadua (bambú) y su dinámica, prototipos de viviendas bioclimáticas, técnicas constructivas aplicadas en infraestructura social y turística, entre otras. Con la realización de este encuentro el bambú continúa posicionándose como una alternativa ecológica, sostenible y que dinamiza las economías locales a través de la construcción.

En Perú la implementación del SGA no está garantizado, por lo que las afectaciones al medioambiente no son debidamente controladas. Las poblaciones significativas de bambúes nativos existentes, presenta serios problemas causados por las actividades humanas, cuyos impactos originan presiones diversas o causan deterioro sobre los ecosistemas, especies de flora y fauna nativas. Tal es el caso del Parque Nacional del Manu, en Cusco, en donde se realizó en 2016 un proyecto para lograr la utilización sostenible del bambú, el con confort térmico de las casas ellas con él, logrado así mejorar la calidad de vida de la población.

La Guadua es el bambú más abundante en el territorio nacional de Colombia y se encuentra regulado y protegido bajo el sistema nacional ambiental, lo cual no impide su utilización en la construcción de viviendas de interés social. Este país es un prototipo a seguir en cuanto al empleo de la gestión ambiental en los procesos del bambú, pues hace más de una década que se utiliza, ejemplo de ello es en 2007 la realización del Plan de Gestión Ambiental para el Proceso Productivo de la Guadua en la Empresa Bambú. Sin embargo, por parte del gobierno no se tiene una gestión eficiente en cuanto al uso del bambú y la guadua con fines comerciales.

Pese a existir políticas de negocios verdes y desarrollo sostenible, la regulación y categorización del recurso no permitió el desarrollo de éstas plantaciones hasta la creación de la cadena productiva de la Guadua y el Bambú. Mientras tanto para el aprovechamiento de guaduales naturales el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) quien regula su uso, requiere de permisos que generan un sobre costo y son sujetos de una tramitología que tarda mucho tiempo. Lo anterior impide la obtención oportuna de la materia prima para emprendimientos de menor



escala, los cuales son la base del desarrollo del sector para comunidades pequeñas que buscan obtener beneficios de los guaduales que tienen en sus territorios.

### **I.3.2 Experiencias en Cuba**

Hace años que en Cuba se viene fomentando la conciencia de los beneficios que trae consigo la utilización del bambú, y se han realizado talleres y encuentros internacionales a lo largo del país. Como producto de esto, en diciembre de 2004 se formuló por primera vez en un Taller celebrado en Holguín el Proyecto Reforestación con bambú como alternativa ecológica para la producción sostenible de materiales de construcción y viviendas (Bambú-biomasa). Este un año después se aprobó totalmente y tuvo su propia cuenta bancaria. La importancia del bambú en Cuba no se basa en el hecho de que existan grandes plantaciones, sino en que es la única planta existente en el país que, después de 4 años de plantada, puede crear un bosque lo suficientemente formado para ser explotado económicamente.

Carlos Martínez (2018) creador y director del proyecto Bambú Centro quisiera que en Cuba el bambú se convirtiera en «un renglón económico importante»; que la Isla se integrara a la industria millonaria que genera puestos de trabajo y dólares, con una planta además beneficiosa por otras razones. Él sabe que sería imposible emular con un ejemplo como el chino, superior en superficie de cultivo y población. Pero Cuba, a pesar de las diferencias, tiene personal a quien “los chinos vinieron a consultar. Tenemos gente muy preparada en ese tema. Hay cultura sobre bambú, porque hay personas en los primeros niveles de conocimiento y aplicación”, afirma. Y lo más importante: hay bambú.

Uno de los impulsores del uso de esta planta ha sido el Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM), que estudia la utilidad del bambú, que dicen pudiera usarse en fabricar casas, andamios, mobiliarios y utensilios para el hogar. En el año 2001 se inició la construcción de la primera vivienda de bambú, ubicada en el municipio Sagua de Tánamo y después le siguió una en el municipio de Rafael Freyre, además de utilizarse como material de terminación y soportería de techo en otras. En este momento se utiliza casi exclusivamente en la elaboración de muebles y objetos artesanales, a pesar de que hay más experiencias en la



construcción en el ámbito nacional, que las antes mencionadas, y también hay producción a pequeña escala de tableros.

Algunos de los proyectos e investigaciones han sido promovidos por la Comisión Nacional de Bambú y Ratán (CNBR), la Organización No Gubernamental (ONG) Hábitat Cuba y el proyecto Bambú Biomasa. No obstante, las evidencias no han bastado para contrarrestar los prejuicios que persisten aun en el país en relación con el uso de este material en la construcción. La paralización de algunos de estos planes y la escasa difusión de los resultados obtenidos han causado la discontinuidad del conocimiento acumulado, e impedido que esta tecnología se extendiera con mayor fuerza.

Además, como principal limitación para su uso en la construcción en el ámbito nacional se aprecia por el momento en la escasez de mano de obra calificada, lo que podría encarecer el proceso constructivo en las etapas iniciales. Conjuntamente no están normalizados los costos de construcción con bambú, ni tampoco los de comercialización de este material. Unido a todo lo anterior, no se tiene registros de la aplicación de la gestión ambiental para el uso de este material en la construcción, aun existiendo entidades en el país que brindan servicios en esta área. Específicamente en diagnósticos ambientales, revisión ambiental inicial, auditorías ambientales, implementación del SGA y el expediente para la solicitud de la licencia ambiental.

De forma general en la Revista Cubana de Educación Superior: SicELO en 2020 publicaron una guía metodológica para la gestión ambiental. Esta guía tiene el propósito de elevar el nivel de preparación de especialistas y personas relacionadas con la gestión ambiental empresarial y en actividades de producción y servicios que generan impactos al medioambiente en cualquier organización. Además, evidencia que como parte de las estrategias ambientales que han existido en el país, se orientó la inclusión de la gestión ambiental en el desempeño del sector empresarial, asumiéndose para su implementación la serie de las normas ISO 14000 (Gil Rodríguez, Pell del Río y Valdés, 2020).

Para elevar el nivel de preparación se plantea que se realice a través de cursos de posgrado impartidos por las universidades y las entidades autorizadas y por medio de



una asignatura electiva dentro del currículo. No todas las personas pueden asistir a estos cursos y es necesario que la información llegue a todas partes, por lo que no debería de realizarse de esta forma nada más. Existen otras opciones como folletos, videos o programas interactivos, y para validar lo aprendido sí se debe de hacer una prueba integral para otorgar un certificado que lo respalde.

### **Conclusiones parciales.**

Mediante la investigación realizada se evidenciaron las potencialidades del bambú como material de construcción, y su aceptación por parte de las personas en diferentes países para su utilización en las construcciones. Se analiza el marco teórico referencial de la gestión ambiental para el empleo del bambú en la construcción y se sistematiza los fundamentos teóricos y metodológicos que la sustentan, lo que destaca los beneficios que trae consigo su implementación, no solo a la naturaleza sino también a los trabajadores de la empresa. El diagnóstico del estado actual de la gestión ambiental del bambú como material de la construcción permite determinar las ventajas que tiene el uso de esta herramienta de gestión en el proceso constructivo con bambú y la insuficiente aplicación de la misma.





## **CAPÍTULO II SISTEMA DE INDICADORES DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA EL EMPLEO DEL BAMBÚ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN**

En este capítulo se expone la información de los criterios analizados para llegar a la elección de los mejores indicadores, así como de la confección de las diversas tablas requeridas. Para dar una solución satisfactoria al objetivo general de la investigación primero se cumple con los siguientes objetivos específicos:

En este capítulo se expone la información de los criterios analizados para llegar a la elección de los mejores indicadores, así como de la confección de las diversas tablas requeridas. Para dar una solución satisfactoria al objetivo general de la investigación primero se cumple con los siguientes objetivos específicos:

- Asumir posiciones teóricas metodológicas para diseñar un sistema de indicadores de gestión ambiental para el empleo del bambú como material de la construcción.
- Diseñar un sistema de indicadores de gestión ambiental del bambú como material de construcción.
- Validar el sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú como material de construcción a través de criterios de especialistas.

### **II.1 Concepciones metodológicas para el diseño del sistema de indicadores de la gestión ambiental del bambú como material de construcción**

Para la realización de este trabajo se siguen las fases planteadas en la norma ISO 14040, por lo que en la primera fase se define el tema de estudio y se incluyen todos los motivos del por qué se debe realizar. En la segunda se establecen los límites para determinar que procesos deben incluirse dentro del análisis del ciclo de vida. En la tercera se obtienen los datos y procedimientos necesarios para realizar el cálculo que permita identificar y cuantificar los diferentes efectos ambientales adversos que se pueden asociar a la unidad funcional.

Para terminar, en la cuarta fase se le da cumplimiento a la ISO 14042. Las categorías que generan un impacto se clasifican y se caracterizan según los diferentes datos del inventario de impacto ambiental. Cada categoría de impacto precisa de una representación cuantitativa que se denomina indicador de categoría. Para la



clasificación se suman todas las intervenciones ambientales en una misma categoría y para caracterizar se utiliza el Método MEL-ENEL, de matriz causa-efectos.

Las matrices son estructuras bidimensionales que se utilizan en este trabajo para definir metódicamente las múltiples interrelaciones entre el proyecto y su entorno. La matriz de causa-efectos contempla que la acción es el resultado de hacer algo que produce cambios, alteración natural hecha por el hombre, causando un efecto, cambio por una acción, que genera impactos, variación en la calidad ambiental (positiva o negativa) como resultado de la secuencia anterior. Al abarcar los aspectos anteriores se emplea para identificar los problemas ambientales y para reconocer las interacciones entre las actividades propuestas del proyecto y sus efectos sobre el entorno (Ramos, 2004).

El Método MEL-ENEL es un sistema racional de generación, manejo y procesamiento de datos ambientales, que se aplica como herramienta para la evaluación ambiental del proyecto en etapa de preinversión o en explotación, sin perder el sustento científico. En el ámbito de aplicación se abarca tanto los estudios de Evaluación de Impacto Ambiental (EslA) como los Estudios de Diagnóstico Ambiental (EDA). Los EslA son de carácter preventivo efectuado en la etapa de preinversión de un proyecto y los EDA de carácter correctivo que permiten identificar y evaluar los impactos negativos significativos ocasionados por actividades en funcionamiento (Ramos, 2004).

Según Ramos, 2004, tiene como ventajas:

- En un EDA puede excluir el riesgo de una evaluación ambiental mal efectuada.
- Para la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) garantiza conocimiento del proyecto evaluado y del medio interactuante, una exhaustiva identificación de impactos y una evaluación racional de ellos a través de su significancia ambiental, con lo cual es posible elaborar un Programa de Gestión Ambiental, PGA.
- Tiene énfasis en los EIA al ser una herramienta de instrucción oportuna y específica en los momentos claves del método, para diferenciar este enfoque de los EDA.



Además, tiene como limitaciones que al igual que cualquier otro método de evaluación ambiental, no es más que una herramienta técnica metodológica de apoyo para la generación, evaluación y procesamiento de información ambiental. Este por sí mismo no garantiza los óptimos resultados esperados en el estudio, a menos que sea aplicado correctamente, y alimentado con información técnica racional. No conducirá a buenos resultados por sí solo, es necesario una base académica sólida.

La característica principal del método radica en su proceso separativo de matrices en las diferentes fases de los proyectos, por establecer o ya establecidos. Puede utilizarse como una herramienta de planificación en proyectos por desarrollarse, o bien como una herramienta de medición y/o diagnóstico en proyectos ya establecidos, a los cuales no se les desarrolló un EIA en su fase de planificación. Para su aplicación se debe de seguir seis etapas secuenciales. En la primera etapa el grupo evaluador deberá conocer a fondo el proyecto o acción propuesta, tanto en su fase de ejecución como de operación, de tal forma que pueda desglosarlo en sus componentes o acciones potencialmente impactantes (Ramos, 2004).

En la segunda se realiza el desglose de factores ambientales mediante un listado y con su jerarquización adecuada según sus contenidos temáticos, con el orden siguiente: físico-química, biológica, socio-económica y estética. El listado finalmente permitirá definir en forma preliminar el área de influencia o entorno del proyecto. Como producto de esta etapa se elabora una tabla resumen con los factores ambientales potencialmente impactados, que cumplen con requisitos de colectividad y exclusividad. La colectividad significa que la sumatoria de las acciones debe ser igual al proyecto total y, por ende, no se deben dejar por fuera acciones potencialmente impactantes del mismo. Para facilitar el trabajo posterior, el método recomienda reducir mediante un sistema de jerarquización, el número de acciones hasta un valor máximo de 20. La exclusividad significa que el contenido temático o significado de cada acción o componente de proyecto, no debe repetirse total o parcialmente en otro componente, o sea, que no debe haber intersección entre las acciones.

En la tercera etapa se realiza la matriz de identificación de impactos conformando un listado horizontal de las actividades del proyecto con un listado vertical de factores



ambientales. Se revisa una a una, en forma descendente las interacciones entre el primer componente del proyecto y cada uno de los factores ambientales. Cada vez que existe una interacción causa/efecto, se anota en la celda un número en orden ascendente (1, 2, 3, 4...) y cuando no se determina interacción se deja la celda en blanco y se continúa con la siguiente.

Se confecciona una tabla de cuatro columnas que respalda el proceso de identificación en la matriz específica: en la primera columna se pone el número de referencia. En la segunda se asigna un nombre clave (resumen) junto con el signo (positivo o negativo) del impacto directo. En la tercera columna se describe brevemente el significado del impacto, y en la cuarta se procede a listar tres posibles impactos indirectos que se generan en el medio ambiente a partir del directo identificado. Podrá observarse que los impactos en algunos casos se repiten (aunque las causas sean diferentes) y en otros se refieren a efectos similares, dado el carácter sistémico del medio.

En la cuarta se analizan todos los impactos con el fin de reconocer las categorías o grupos genéricos por impactos y se construye un cuadro con cuatro columnas, impacto genérico, signo, número de referencia y descripción. Se recomienda que la lista de impactos ambientales genéricos sea compacta, por lo se propone un límite de 15. Se agrupan y detallan los impactos directos e indirectos de cada categoría, con su correspondiente detalle general. Para llenar la casilla de la descripción basta con copiar las reseñas parciales de los impactos directos e indirectos que se presentan anteriormente.

En la quinta se realiza la evaluación de los impactos genéricos en donde su lista se divide según su signo ambiental y el tratamiento de los datos se efectúa por separado. Los positivos son aquellos que se refieren a modificaciones que resultan en ganancias o beneficios para el medio ambiente y los negativos provienen de modificaciones que resultan en pérdidas o costos para el medio ambiente. Para poder establecer con certeza el signo, es estrictamente obligatorio aplicar para cada caso la ecuación básica de evaluación ambiental:  $IA = \text{calidad con} - \text{calidad sin}$ .

La significancia de cada impacto genérico se toma en cuenta con respecto a las siguientes características particulares: magnitud, importancia, extensión, duración y



reversibilidad. La magnitud, se refiere a la escala o intensidad del impacto. La importancia es una valoración cualitativa que se establece por consenso interdisciplinario del equipo para cada uno de los factores ambientales impactados. La extensión se refiere al área geográfica afectada. La duración, se refiere al tiempo de exposición o de permanencia del impacto. La reversibilidad se refiere a la capacidad del medio de retornar a su calidad ambiental original una vez que la fuente generadora sea eliminada.

Estos datos se agrupan en una tabla para resumir los resultados relevantes de la evaluación, y al final de cada resumen se anota una letra que califica en forma cualitativa la relevancia del impacto con respecto a su característica, de la siguiente manera: (B): bajo (M): moderado (A): alto. Después, es necesario eliminar los impactos que resulten rigurosamente no significativos. Con este fin se establece dos tipos de impactos no significativos: aquellos cuyas cinco características hayan sido calificadas con B, o aquellos que a lo más tengan una sola característica M y las restantes cuatro con B.

En la última etapa se efectúa la priorización por significancia de cada impacto genérico. Se construye una matriz cuadrada, de F filas x F columnas, en donde F es el número de impacto genéricos negativos a priorizar de acuerdo con su significancia. La matriz permite comparar parejas de impactos bajo la modalidad de todos contra todos, objetivando el proceso de calificación. El orden en que se han colocado los impactos genéricos se mantiene, tanto en filas como en columnas, y nunca se comparará un impacto con él mismo, por lo que queda una línea diagonal que deja en blanco estas casillas.

Se llena una tabla donde se asigna por casillas un valor máximo de 100 puntos según se determina para cada una de las características planteadas en la etapa anterior, pero siempre cumpliendo la condición de que la suma de los puntos de cada pareja de impacto sea 100. Dicha tabla consta de los criterios en las filas y de la colocación de los impactos por relación de pareja consecutivamente. Después con la diagonal dividiendo la matriz cuadrada en dos zonas: la superior derecha que es la que se califica (x) y la inferior izquierda que resulta calificada por añadidura (y), de la siguiente



forma:  $1-x=y$ . El valor  $x$  se halla al dividir entre 500 (cantidad total de puntos a asignar por impacto) la suma de todos los valores por impacto.

El cálculo de los coeficientes de significancia relativa (CSR) (totales) para cada impacto genérico, a través de los cuales se efectúa la priorización de impactos por significancia procede de la siguiente manera:

1. Sumatoria de todos los coeficientes de significancia relativa parcial en forma horizontal, el valor es acumulado en cada casilla de la columna denominada SUM (suma).
2. Una vez terminadas las sumas acumuladas, se hace la sumatoria de todos los valores en forma vertical ubicados bajo la columna denominada SUM.
3. Finalmente, se normaliza cada valor de CSR para cada impacto genérico.

Este último paso se realiza asignando el valor de 100% al CSR más alto y a partir de ello se calculan los restantes valores de CSR en la escala normalizada de 100. Dependiendo de los valores obtenidos, se agrupan en categorías de significancia. Finalmente, se procede a eliminar los impactos negativos no significativos, si los hubiera, los cuales son de ponderación menor del 40%, ya que se considera no significativo y, por ende, no forma parte del proceso de decisiones sobre el proyecto.

## **II.2 Sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú como material de construcción**

Para el cumplimiento de las fases de la norma ISO 14040, en primer lugar, se define como tema de estudio: Sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú como material de construcción. Además, a esto se le incluyen todos los motivos del por qué se debe realizar:

- Para favorecer al empleo de este material que ayuda a la sustitución de materiales más costosos, y reducir el peso que gravita sobre otros recursos forestales.
- La sociedad necesita la utilización del bambú como material de construcción para garantizar el progreso constructivo con alternativas sustentables que mejoren la calidad de vida y favorezcan al medio ambiente.



- La gestión ambiental es la estrategia que tiene como fin previniendo o mitigar los problemas ambientales.
- Los indicadores de gestión ambiental reflejan las acciones organizativas que la dirección de empresa emprende para minimizar el impacto medioambiental de la empresa.
- El sistema de indicadores para la gestión ambiental brinda un marco de actuación en cada impacto ambiental que posibilita la toma de medidas al respecto para su correcta prevención, control y mitigación.

En segundo los límites de los procesos que deben incluirse dentro del análisis del ciclo de vida del bambú son todos los impactos causados por el desarrollo de las actividades a ejecutar, sin tener en cuenta las acciones ajenas al ciclo de vida de este material para su empleo constructivo. En tercera se realizan investigaciones empíricas que permiten la obtención de los datos requeridos. En cuarta se determinan todas las categorías que generan un impacto mediante el empleo del Método MEL-ENEL y en este trabajo se propone agruparlas en 4 niveles, el primero es 100%, el segundo 99% - 80%, el tercero de 79% - 60% y el cuarto 59% - 40%.

Para la investigación se analiza el ciclo de vida del bambú como material planteado por Olvera (2021) el cual consta de seis etapas: extracción, transporte, preparación y mano factura, transporte, uso y disposición final, a las que se les determinan los indicadores correspondientes (tabla 2.1). Como el transporte se repite solamente se analizará una vez, aunque se tiene en cuenta que se efectúa dos veces, quedando resumido a cinco etapas. En la primera se efectúa la recolección de las barras de bambú, en la segunda estas son transportadas hasta el lugar designado. En la tercera etapa se preparan y transforman las varas hacia el producto final de acuerdo a la utilización a la que esté destinada, que puede ser en forma de los siguientes productos: esterillas, medias cañas, tiras o latillas, cintas, laminados o las varas para los elementos estructurales.

Después se vuelve a transportar hacia el lugar de uso, quinta etapa, en donde se realiza el montaje del producto. Por último, en la disposición final de las piezas de bambú, como ya el producto se encuentra en explotación se le debe realizar una



revisión periódica para determinar si se encuentran en mal estado, y si es necesario, se reemplaza y se le busca un destino final a las piezas que ya no sirven. Es necesario aclarar que, aunque dentro del ciclo de vida no se indague en el sembrado y monitoreo del crecimiento de la planta por ser tema de agricultura, se recomienda que las actividades pertinentes antes de la extracción se realicen con la mayor eficacia posible para ir garantizando una calidad óptima del producto.

**TABLA 2.1**  
**Indicador a analizar en cada fase.**

Fase del ciclo de vida	Nombre del indicador
Extracción	Recolección de las varas de bambú.
Transporte	Transportación
Transformación y manufactura.	Preparación de la vara. Modificación hasta obtener el producto final.
Uso	Montaje del producto.
Disposición final.	Reemplazo de piezas. Destino final de las piezas en mal estado.

**Fuente: Elaboración propia, 2021.**

Par la aplicación del Método MEL-ENEL se tiene que realizan las seis etapas secuenciales que lo componen. En la primera etapa realiza una tabla que desglose las acciones del proyecto (tabla 2.2) y en la segunda otra tabla que desglose los factores ambientales afectados por las acciones del proyecto (tabla 2.3). En la tercera se realiza la matriz de identificación de impactos (tabla 2.4) y se considera que la elaboración de la tabla de cuatro columnas que respalda el proceso de identificación en la matriz no es necesaria porque consta de la misma información expuesta en la matriz.

**TABLA 2.2**  
**Desglose de acciones del proyecto.**





Número	Nombre clave	Descripción general de la acción o actividad	Factores ambientales
1	Recolección	Cortar las varas requeridas con las herramientas asignadas.	Deforestación
2	Transportación	Realizar una correcta colocación de las barras cortadas en el medio de transporte para su correspondiente traslado hacia su destino.	Aire Suelo Agua Incendio
3	Preparación	Al llegar las barras naturales al lugar destinado para su transformación se necesitan pasar por un proceso de curado y secado para que adquieran valor.	Aire Suelo Agua Salud del trabajador.
4	Manufactura	Se elaboran los productos demandados por la construcción.	Aire Residuo Salud del trabajador
5	Montaje del producto	Se coloca el producto en el lugar asignado en la construcción y con las especificaciones requeridas.	Aire Residuo Salud del trabajador. Estética
6	Reemplazo	Al realizar una inspección sistemática del producto se determina si este necesita ser cambiado por uno nuevo.	Aire Residuo Salud del trabajador
7	Destino final	Cuando se termina la vida útil del producto es necesario encontrar un lugar adecuado en donde depositarlo.	Residuos

Fuente: Elaboración propia, 2021.



**TABLA 2.3**

**Desglose de factores ambientales.**

Número	Nombre clave	Descripción general del factor ambiental
1	Deforestación	Desmonte (corte) de recurso forestal.
2	Suelo	Contaminación Degradación Disminución de la capacidad de infiltración del agua.
3	Agua	Afectación a las aguas subterráneas por sustancias químicas.
4	Aire	Generación de partículas suspendidas (polvo y humo). Aumento de los ruidos al punto de clasificarse como contaminación sonora.
5	Incendio	Chispas generadas por el mal funcionamiento del transporte.
6	Residuo	Partes sobrantes. Productos no utilizables.
7	Salud del trabajador.	Contaminación acústica, por partículas suspendidas y por sustancias químicas. Accidentes laborales.
8	Económico	Generación de empleos. Desempleo por culminación de obra.
9	Estética	Belleza de los productos obtenidos.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**TABLA 2.4**

**Matriz de identificación de impactos.**

	Recolección	Transportación	Preparación	Transformación	Montaje del producto	Reemplazo	Destino final
Deforestación	1						
Suelo		2	6				



Agua		3	7				
Aire		4	8	10	14	17	
Incendio		5		11			
Residuo				12	15	18	20
Salud del trabajador.			9	13	16	19	
Económico							
Estética							

**Fuente: Elaboración propia, 2021.**

En la cuarta se confecciona un cuadro con 4 columnas con la categorización por impactos genéricos (tabla 2.5) y en la quinta se realiza un resumen de los resultados de la evaluación de los impactos genéricos (tabla 2.6). En la sexta se califican los impactos por característica (tabla 2.7). Después se confecciona la matriz de CSR (tabla 2.8) y, por último, se realiza el procesamiento de dicha matriz (tabla 2.9).

**TABLA 2.5**

**Nombres claves de la matriz de identificación de impactos.**

Referencia	Nombre clave (signo)	Descripción de impactos directos	Descripción de impactos indirectos
1	Deforestación (-)	La flora y la fauna se encuentran afectas al cortar las plantas de bambú.	La calidad del aire se ve afectada porque este absorbe un 35% de dióxido de carbono más que cualquier otra especie vegetal. El suelo pierde la rehabilitación natural que le proporciona las plantaciones de bambú. La calidad del agua subterránea se afecta porque el bambú es un purificador natural del agua.
2	Suelo (-)	Al derramarse sustancias contaminantes en la tierra.	Erosión Desertificación Contaminación de aguas subterráneas.



3	Agua (-)	Cuando se infiltran contaminantes en las aguas subterráneas.	Contaminación del suelo. Enfermedades y/o muerte de las plantas. Muerte de microorganismos o animales que vivan en la tierra.
4	Aire (-)	Contaminación sonora, por polvo y por humo.	Problemas respiratorios en los trabajadores. Trastornos en el comportamiento de las personas. Incremento de gases dañinos a la atmósfera.
5	Incendio (-)	Probabilidad de iniciar un fuego descontrolado mediante el escape una chispa del medio de transporte.	Pérdida de recursos forestales. Afectaciones al ecosistema. Contaminación atmosférica por humo.
6	Residuo (-)	Todo lo que será desechado.	Generación de vectores. Contaminación del agua potable. Contribución antiestética del pasaje.
7	Salud del trabajador (-)	Los trabajadores se encuentran expuestos a riesgos que afectan su vida y/o causan la muerte.	Proliferación de enfermedades. Aumento de dañificados. Disminución de la población.
8	Económico (+)	Generación de empleos.	Ingresos económicos. Mejora del estilo de vida de la población. Sustitución de materiales más costosos por bambú.
9	Estética (+)	La calidades visuales del bambú favorecen la belleza final del proyecto.	Mejor venta del producto. Aumento de la demanda. Mayor utilización del bambú en la construcción.

Fuente: Elaboración propia, 2021.



**TABLA 2.6**

**Resumen de los resultados de la evaluación**

Impacto genérico	Magnitud	Importancia	Extensión	Duración	Reversibilidad
Deforestación					
Suelo					
Agua					
Aire					
Incendio					
Residuo					
Salud del trabajador					
Económico					
Estética					

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**TABLA 2.7**

**Calificación de impactos por característica**

Criterio	Deforestación	Suelo	Agua	Aire	Incendio	Residuo	Salud del trabajador	Económico	Estética
Magnitud									
Importancia									
Extensión									
Duración									
Reversibilidad									
Sumas									

Fuente: Elaboración propia, 2021.



**TABLA 2.8**  
**Matriz de CSR**

	Deforestación	Suelo	Agua	Aire	Incendio	Residuo	Salud del trabajador	Económico	Estética
Deforestación									
Suelo									
Agua									
Aire									
Incendio									
Residuo									
Salud del trabajador									
Económico									
Estética									

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**TABLA 2.9**  
**Procesamiento de la matriz de CSR**

	Deforestación	Suelo	Agua	Aire	Incendio	Residuo	Salud del trabajador	Económico	Estética	Suma	CSR
Deforestación											
Suelo											
Agua											
Aire											
Incendio											
Residuo											
Salud del trabajador											
Económico											
Estética											

Fuente: Elaboración propia, 2021.



Para incrementar la eficacia de la gestión se sugiere un sistema de indicadores para la prevención y mitigación de los impactos ambientales (tabla 2.10), con el propósito de facilitar la búsqueda de información de las acciones a realizar en cada una de las cinco fases determinadas en el ciclo de vida del bambú. Es una referencia para todas las actuaciones que se lleven a cabo en la forma de proceder y conlleven a la mejora de la situación en la que se puedan encontrar o se encuentren los factores afectados. Además, a este sistema se le pueden agregar otras acciones para el incremento del bienestar ambiental.

**TABLA 2.10**  
**Sistema de indicadores para la prevención y mitigación de los impactos ambientales.**

Fase del ciclo de vida	Ubicación específica	Responsable	Indicadores para la mejora
Extracción	Plantación de bambú.	Supervisor de obra. Contratista	Talar cuando la caña se encuentre madura. Cortar por encima de los 30 cm con respecto al suelo. Vigilar la eficacia y eficiencia del servicio de tala.
Transporte	Ruta para el traslado del material.	Chofer Contratista Supervisor de obra.	Supervisar que los equipos se encuentren en buen estado y con el mantenimiento necesario. Correcta disposición y aseguramiento de las varas.
Preparación y mano factura.	Empresa	Supervisor de la empresa.	Controlar la calidad en los procesos de preparación del material y el producto requerido.
Uso	Obra	Ministerio de Trabajo. Supervisor de obra.	Supervisar las condiciones laborales de los trabajadores. No se debe emplear en lugares propicios a constante humedad. Vigilar el adecuado empleo de los productos.
Disposición final	Lugar designado para los residuos.	Supervisor ambiental. Municipalidad	Vigilar la disposición correcta de los residuos. Empleo de los residuos para la generación de biomasa y/o como compost.

Fuente: Elaboración propia, 2021.



### **II.3 Validación del sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú como material de construcción**

Para ofrecer una valoración de la factibilidad de la propuesta, el sistema de indicadores elaborado se lleva a criterio de especialista. Este método permite consultar un conjunto de expertos, sustentado en su competencia, creatividad, disposición a participar en la encuesta, conformismo, capacidad de análisis y de pensamiento, espíritu colectivista y autocrítico.

El primer paso en la aplicación del método fue la selección de los expertos. En este caso se conforma un grupo heterogéneo de 25 personas a los cuales se les aplica una entrevista con el objetivo de determinar el coeficiente de competencia de los posibles expertos. Los cuales tienen que cumplir los siguientes requisitos:

- Ser universitarios
- Contar con más de 5 años en su desempeño profesional.
- Tener dominio teórico de las temáticas, referentes a la gestión ambiental del bambú como material de construcción.
- Presentar voluntad para su cooperación con la investigación.

Se lleva a cabo la interpretación e implementación de este método en donde se sigue los criterios teóricos y científicos que plantea el mismo para la selección de los especialistas y su posterior proceder evaluativo. Se escoge a los especialistas en correspondencia a la profesión, especialidad, experiencia laboral, cargo institucional que ocupa actualmente. Esta muestra de expertos fue sometida a la encuesta 1 (anexo 1) para determinar su coeficiente de competencia. Para este cálculo se hace uso de la fórmula del coeficiente de competencia (k):

$$k = \frac{1}{2}(k_e + k_a)$$

Donde:

- Ke es el Coeficiente de Información y;
- Ka es el Coeficiente de Argumentación.

Donde K cualitativamente asume los rangos de bajo, medio y alto. Estos rangos están dados cuantitativamente, según estudios, de la siguiente forma:





- $0.25 \leq K < 0.5$  K=bajo;
- $0.5 \leq K < 0.85$  K=medio;
- $0.85 \leq K \leq 1$  K=alto.

Este coeficiente de competencia se determinó a partir de una tabla que contiene elementos que permiten medir los niveles de argumentación o fundamentación sobre el tema propuesto. Esto permitió realizar las valoraciones pertinentes respecto a la competencia de los especialistas (anexo 2). Luego de este proceso, se procedió a la selección de 13 expertos con un coeficiente de competencia alto, de los seleccionados, de los cuales 2 son profesores del Departamento de Ingeniería Civil, 5 son profesionales con más de 5 años de experiencia de la Empresa Forestal de Mayarí y 6 son profesionales con más de 5 años de experiencia del CITMA.

Luego se somete a criterio de los expertos el Sistema de indicadores propuesto para la gestión ambiental del bambú como material de construcción, en cuanto a las dimensiones de aplicabilidad, eficiencia y pertinencia (anexo 3). Para esta valoración se tienen en cuenta los siguientes criterios:

En el caso de la aplicabilidad se debe tener en cuenta que el sistema de indicadores será:

- Aplicable (A). Cuando existan todas las condiciones para su aplicación.
- Medianamente Aplicable (MA). Cuando no existen todas las condiciones, pero aun así puede ser aplicado.
- No Aplicable (NA). Cuando la inexistencia de las condiciones tecnológicas no permite que se pueda aplicar.

Para el criterio de eficiencia del sistema de indicadores será:

- Eficiente (E). Cuando se considere que con su utilización se logra un significativo cambio en el medio ambiente.
- Medianamente Eficiente (ME). Cuando se considere que con su utilización no se logre un significativo cambio, pero aun así se contribuya con cierta mejoría.
- Ineficiente (I). Cuando se considere que con su utilización no se contribuye a la mejoría en el medio ambiente.

Para la evaluación de pertinencia del sistema de indicadores se considera:



- Pertinente (P). Cuando se reconozca como un buen instrumento teórico-práctico para lograr las metas deseadas.
- Medianamente Pertinente (MP). Cuando se reconozca como instrumento teórico-práctico que permita lograr algunas de las metas deseadas.
- No Pertinente (NP). Cuando no constituya un buen instrumento teórico-práctico y no permitan lograr las metas deseadas.

El análisis de los resultados obtenidos (anexo 4) luego del procesamiento de los criterios obtenidos por los expertos permite determinar que el sistema de indicadores propuesto para la gestión ambiental del bambú como material de construcción es 84.61% aplicable, 92.30% eficiente y 92.30% pertinente. Estos resultados de opiniones de los especialistas acerca de los aspectos que evalúan la propuesta en correspondencia con las dimensiones planteadas, permitieron conocer qué criterios evaluados por los expertos fueron considerados positivos.

### **Conclusiones parciales.**

Para diseñar un sistema de indicadores de gestión ambiental para el empleo del bambú como material de la construcción se asumieron varias posiciones teóricas metodológicas. Se partió desde el marco legal, para el cumplimiento de la familia de normas internacionales ISO 14000, siguiendo las especificaciones que se aplican a este trabajo, conectando perfectamente con lo planteado en el actuar de la ISO 14040. Para el diseño del sistema se tuvo en cuenta el ciclo de vida del bambú y los impactos a causar por sus fases. En el desarrollo de los pasos a seguir se destaca el papel del Método MEL-ENEL que brinda una base científicamente sólida a la investigación, permitiendo la adecuada obtención y procesamiento de los datos necesarios a emplear para determinar el orden de prioridad a la hora de combatir los impactos negativos. También se somete el sistema de indicadores al proceso de validación a través del criterio de especialistas lo que demuestra resultados positivos de acuerdo a las valoraciones emitidas.



## CONCLUSIONES GENERALES

1. Se analizó el marco teórico referencial de la gestión ambiental para el empleo del bambú en la construcción. Se identifica que la gestión ambiental tiene que estar basada en el cumplimiento de las normativas existentes para lograr el empleo sostenible de este material en la construcción. Además, su aplicación en las empresas trae consigo disímiles beneficios para la naturaleza y los trabajadores.
2. Al sistematizar los fundamentos teóricos y metodológicos del sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú para su empleo en la construcción no se encontró un documento que lo detalle, pero se recopiló la información necesaria para su creación.
3. La gestión ambiental del bambú como material de la construcción actualmente solo se emplea en algunas empresas e instituciones lo que permite concluir que todavía existe desconocimiento en este tema.
4. El desarrollo del sistema de indicadores de gestión ambiental para el empleo del bambú como material de construcción se basa en la concepción de indicadores que guían el procedimiento de empleo de este material, velando que en cada una de las fases de su utilización exista la menor cantidad de afectaciones ambientales.
5. La validación del sistema de indicadores permitió concluir la aplicabilidad, eficiencia y pertinencia de la propuesta.



## RECOMENDACIONES

Se recomienda a:

1. La autora por los resultados obtenidos a lo largo de esta investigación a continuar profundizando en la línea de investigación.
2. La autora y su tutora continuar con la publicación de los resultados de la investigación en revistas indexadas.
3. El Departamento de Construcciones continuar con las investigaciones y divulgar los resultados para favorecer el uso del bambú de forma sostenible.
4. Los Ministerios de Construcción y el CITMA divulgar y aplicar este sistema de indicadores y sus criterios para tener futuras referencias en la construcción con bambú.
5. Las empresas agregar otros indicadores para la prevención y mitigación de los impactos ambientales que determinen convenientes según su particularidad.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Álvarez Castilla, E.R. (2012): Comportamiento mecánico de las conexiones en los elementos de bambú para estructuras ligeras: el caso de las especies del trópico de Veracruz. (Tesis inédita de doctorado). Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid. España
2. Ascorve, N. (2014): Difusión de ideas, proyectos y realidades sobre el tránsito hacia una nueva Humanidad más consciente, en los ámbitos personal, empresarial y social. Consultado en: <https://nachoascorve.wordpress.com>. Consultado en Internet en agosto 2021.
3. Avendaño Ramírez, D. P. & Montoya Correa, J. (2007): Plan de Gestión Ambiental para el Proceso Productivo de la Guadua en la Empresa Bambú de Colombia. (Propuesta de trabajo de grado). Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira. Ecuador
4. Baladrón, J. (2018): Bambú: el acero vegetal. Consultado en: <https://arquitectura-sostenible.es>. Consultado en Internet en marzo 2021.
5. Barbaro, G. (1997): La biónica del bambú. Tesis en opción al título de Arquitecto. Universidad IUAV de Venecia.
6. Cerrón Oyague, T. M. (2016): Estrategias de Arquitectura Ecológica con Bambú y el Confort Térmico, en el Parque Nacional del Manu, Cusco. Tesis de maestría en Ecología y Gestión Ambiental. Universidad Ricardo Palma.
7. Figueredo Reyes, R. (2008): Manual para la producción y construcción de la vivienda rural con bambú. (Tesis inédita de maestría). Facultad de Arquitectura. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Holguín, Cuba.
8. Figueredo Reyes, R. (2010): Manual para la producción y construcción de la vivienda rural con Bambú. Holguín, Cuba.
9. García Valencia, V. M, Medina Suarez, K.J & Pérez Gómez, A. (2016): Indicadores de evaluación de sostenibilidad ambiental a partir del uso de la Guadua en viviendas en Colombia. Taller de grado para optar el título de Contador Público. Universidad cooperativa de Colombia.



10. Gil Rodríguez, A., Pell del Río, S. M. & Valdés, D. (2020): Guía metodológica para la gestión ambiental: una propuesta cubana. Revista Cubana de Educación Superior: SicELO. Vol.39 no.2 La Habana. Consultado en: <https://scielo.sld.cu>. Consultado en internet en agosto del 2021.
11. González, H. (2012): Indicadores de Gestión Ambiental - Calidad & Gestión – Consultoría para Empresas. Consultado en: <https://calidadgestion.wordpress.com>. Consultado en Internet en agosto 2021.
12. González Martínez, E. (2018). Bambú: ¿alternativa para Cuba? OnCubaNews. Consultado en: <https://oncubanews.com>. Consultado en Internet en marzo 2021.
13. Iznaola, B. (2019): Las casas de Bambú buscan su lugar en Europa. Consultado en: <https://blogthinkbig.com>. Consultado en internet en agosto del 2021.
14. Macías Romero, J. L. (2017): Programa de Gestión Ambiental para la Central del Bambú Andoas (CENBA) del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincia de Pichincha. Tesis presentada en Especialización en Gestión Ambiental Local con Énfasis en Gestión Integral de la Guadua. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira. Ecuador
15. Martínez García, S. (2015): Bambú como material estructural: Generalidades, aplicaciones y modelización, de una Estructura Tipo. (Trabajo fin de grado). Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agrónoma. Valencia, España.
16. Matamoros Tuma, M. R., Álvarez López, A. E., Rojas Rojas, M. R., Pérez Ríos, B. & Fonseca Salgado, J. P. (2019): Villa turística de bambú ¿Una alternativa para el desarrollo hotelero en Cuba? Revista de Arquitectura y Urbanismo, vol. XL, núm. 1. Consultado en: <https://www.redalyc.org>. Consultado en internet en agosto del 2021
17. Mercedes, J. R. (2006): Guía Técnica Cultivo del Bambú. Serie Recursos Naturales - Guía Técnica. Publicación. CEDAF. República Dominicana.
18. Olvera (2021): El bambú y la Construcción Sostenible. Consultado en: <https://bambu.com.ec>. Consultado en Internet en noviembre 2021.



19. Ordóñez Candelaria, V. R., Mejías Saulés, T. & Bárcenas Pazos, G. M. (2002): Manual para la construcción sustentable con bambú. Comisión Nacional Forestal. Coordinación General de Educación y Desarrollo Tecnológico. Gerencia de Desarrollo y Transferencia de Tecnología. México
20. Pascual Menéndez, J.M. (2008): El bambú, una alternativa sostenible en la solución de la vivienda social. Ciencia en su PC, núm.1, pp. 89-99. Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba. Cuba
21. Pérez, M. (2021): ¿Qué es Indicador? Su Definición y Significado. Consultado en: <https://conceptodefinicion.de>. Consultado en internet en agosto del 2021.
22. Polo de la Rosa, M., Zambruno, M. & Zanchetti, N. (2014): Construcción de Viviendas Sustentables a base de Bambú. (Trabajo Final de Ingeniería Industrial) Instituto Tecnológico de Buenos Aires. Argentina
23. Ramos Soberanis, A. N. (2004): Metodologías Matriciales de Evaluación Ambiental para Países en Desarrollo: Matriz de Leopold y Método MEL-ENEL. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Civil. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala.
24. Rea Lozano, V. (2012): Uso De La Caña Guadua Como Material De Construcción: Evaluación Medioambiental Frente a Sistemas Constructivos Tradicionales. (Tesis inédita de maestría). Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Universidad Politécnica de Madrid. España
25. Rodríguez Alonso, C. A. & Morales Díaz, E. (2008): El bambú como material estructural. Análisis de un caso práctico. Consultado en: <https://dugi-doc.udg.edu>. Consultado en Internet en junio 2021.
26. Rodríguez Expósito, F. & Concepción García, R (s.f): El Método DELPHY para el Procesamiento de los Resultados de Encuestas a Expertos o Usuarios en Estudios de Mercado y en la Investigación Educativa.
27. Roncancio, G. (2019): ¿Cómo crear indicadores de Gestión? Consultado en: <https://gestion.pensemos.com>. Consultado en internet en agosto del 2021.



28. Ropero Portillo, S. (2020): Indicadores ambientales: qué son, tipos y ejemplos. Consultado en: <https://www.ecologiaverde.com>. Consultado en internet en agosto del 2021.
29. Sánchez Galán, J. (2020): Gestión ambiental. Consultado en: <https://economipedia.com>. Consultado en Internet en agosto 2021.
30. Seguí, P. (2020): Bambú en construcción y arquitectura sustentable ¿Por qué su uso? Periódico de Noticias de eficiencia energética y arquitectura. OVACEN. Consultado en: <https://ovacen.com>. Consultado en Internet en marzo 2021.
31. Ximena Londoño, P. (2002): Distribución, Morfología, Taxonomía, Anatomía, Silvicultura y usos de los bambúes del nuevo mundo. Tesis presentada en la opción del Título Académico de Máster en Construcción. Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá.
32. Yepez, P., Pallares Carrion, M., Latorre Darquea, C., De La Torre, E. & Pallares Latorre, J. (2020): Bambú: acero vegetal. Fundación Raíz Ecuador. Consultado en: <https://www.fundacionraizec.org>. Consultado en Internet en marzo 2021.





## **ANEXOS**

### **Anexo – 1**

#### **Criterio de especialista.**

Encuesta 1, presentada para la selección de especialistas.

Estimado colega:

Usted ha sido seleccionado como posible especialista para ser consultado sobre el grado de pertinencia de un Sistema de Indicadores para la gestión ambiental del bambú como material de construcción, que se desarrolla como investigación de tesis de grado en el Departamento de Construcciones en la Universidad de Holguín. Se necesita antes de realizarle la consulta, determinar su nivel de competencia en esta temática, a los efectos de reforzar la validez del resultado de la consulta. Por tal motivo le pedimos que responda las siguientes preguntas de la forma más objetiva que le sea posible.

Muchas gracias.

#### Datos Generales

Años de experiencia profesional: \_\_\_\_\_

Cargos que ha ocupado: \_\_\_\_\_

Centro en el que labora actualmente: \_\_\_\_\_

Grado científico: \_\_\_\_\_

Cargo que ocupa: \_\_\_\_\_

#### Pregunta 1.

Marque con una (X) en la siguiente tabla, el valor correspondiente al grado de conocimientos que usted posee sobre el tema planteado con anterioridad. Considere que la escala presentada es de forma ascendente, es decir el valor 0 significa que la persona no tiene ningún conocimiento sobre la temática que se aborda y 10 que la persona posee amplios conocimientos.



**TABLA 1**

**Escala para la calificación del conocimiento que usted considera tener acerca del problema que se evalúa.**

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Pregunta 2. Realice una autovaloración del grado de influencia que cada una de las fuentes que se presentan a continuación, ha tenido en su conocimiento sobre el tema abordado. Para ello marque con una (X) según corresponda en A (alto), M (medio) o B (bajo).

**TABLA 2**

**Clasificación de las fuentes de conocimiento de acuerdo a la autoevaluación.**

Fuente del conocimiento	Alta	Media	Baja
1. Análisis teóricos realizados por usted			
2. Su experiencia profesional y/o científica			
3. Trabajo de autores nacionales consultados			
4. Trabajo de autores extranjeros consultados			
5. Su propio conocimiento sobre el estado actual del problema de la investigación			
6. Su intuición			

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**TABLA 3**

**Clasificación de las fuentes de conocimiento.**

Fuentes de conocimiento.	Grado de influencia de cada una de las fuentes.		
	A (alto)	M (medio)	B(bajo)
1. Análisis teórico realizados por usted.	0.3	0.2	0.1
2. Su experiencia profesional y/o científica.	0.5	0.4	0.2
3. Trabajo de autores nacionales.	0.05	0.05	0.05
4. Trabajo de autores extranjeros.	0.05	0.05	0.05
5. Su propio conocimiento del estado del problema en el extranjero.	0.05	0.05	0.05
6. Su intuición.	0.05	0.05	0.05

Fuente: Adaptado de Rodríguez y Concepción (s.f)



Anexo – 2

**TABLA 4**

**Tabulación de los resultados de la encuesta de selección.**

Especialistas	Fuentes de conocimiento						Ka	Ke	K
	1	2	3	4	5	6			
1	0.2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.6	0.6	0.6
2	0.2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.7	0.7	0.7
3	0.3	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.9	0.9	0.9
4	0.2	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	1.0	1.0	1.0
5	0.3	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.9	0.9	0.9
6	0.2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.7	0.7	0.7
7	0.3	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	1.0	1.0	1.0
8	0.2	0.4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.8	0.8	0.8
9	0.3	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	1.0	1.0	1.0
10	0.3	0.4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.9	0.9	0.9
11	0.3	0.4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.9	0.9	0.9
12	0.2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.6	0.6	0.6
13	0.2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.7	0.7	0.7
14	0.2	0.4	0.05	0.05	0.05	0.05	1.0	0.9	0.9
15	0.3	0.4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.9	0.9	0.9
16	0.3	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	1.0	1.0	1.0
17	0.3	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	1.0	1.0	1.0
18	0.2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.6	0.6	0.6
19	0.2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.7	0.7	0.7
20	0.2	0.2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.7	0.7	0.7
21	0.2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.7	0.7	0.7
22	0.2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.6	0.6	0.6
23	0.2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.7	0.7	0.7



24	0.2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.7	0.7	0.7
25	0.3	0.4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.9	0.9	0.9

Fuente: Elaboración propia, 2021.

### Anexo - 3

#### Encuesta 2 a especialistas para someter a su consideración la propuesta del Procedimiento de gestión ambiental para el empleo de bambú en la construcción de la vivienda social rural.

La presente encuesta tiene como propósito someter a su valoración, la propuesta del sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú como material de construcción. Es por ello que solicitamos su aporte con respuestas sinceras que permitan una evaluación certera acerca del procedimiento presentado.

Muchas gracias

Para la evaluación del sistema de indicadores debe emitir su criterio respecto a si es aplicable, eficiente y/o pertinente. Para lograr este objetivo auxílese en las tablas expuestas en cada pregunta y responda de acuerdo a lo que se solicita.

Pregunta 1:

Evalúe el sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú como material de construcción propuesto, en cuanto a su nivel de aplicabilidad. Debe considerar si existen las condiciones y factores propicios para la aplicación de dicho procedimiento, para ello marque con una x el valor que considere correcto en la tabla siguiente:

**TABLA 5**

#### Valor de aplicabilidad del procedimiento.

Medianamente Aplicable MA	Aplicable A	No aplicable NA

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Considere que el procedimiento será:

- Aplicable (A). Cuando existan todas las condiciones para su aplicación.
- Medianamente Aplicable (MA). Cuando no existen todas las condiciones, pero aun así puede ser aplicado.



- No Aplicable (NA). Cuando la inexistencia de las condiciones tecnológicas no permite que se pueda aplicar.

Pregunta 2:

Evalúe que tan eficiente considera el sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú como material de construcción. Para esto tenga en cuenta los posibles cambios significativos en el medio ambiente que se lograrán con su aplicación. Marque con una x el valor que considere correcto en la tabla siguiente:

**TABLA 6**  
**Valor de eficiencia del procedimiento.**

Medianamente Eficiente ME	Eficiente E	Ineficiente I

**Fuente: Elaboración propia, 2021.**

Considere que el procedimiento será:

- Eficiente (E). Cuando se considere que con su utilización se logra un significativo cambio en el medio ambiente.
- Medianamente Eficiente (ME). Cuando se considere que con su utilización no se logre un significativo cambio, pero aun así se contribuya con cierta mejoría.
- Ineficiente (I). Cuando se considere que con su utilización no se contribuye a la mejoría en el medio ambiente.

Pregunta 3:

Evalúe la pertinencia del sistema de indicadores para la gestión ambiental del bambú como material de construcción. Para esto considere si se reconoce como un buen instrumento teórico-práctico para lograr las metas deseadas, para ello marque con una x el valor que considere correcto en la tabla siguiente:

**TABLA 7**  
**Valor de pertinencia del procedimiento.**

Medianamente Pertinente MP	Pertinente P	No Pertinente NP

**Fuente: Elaboración propia, 2021.**

Considere que el sistema de indicadores será:



- Pertinente (P). Cuando se reconozca como un buen instrumento teórico-práctico para lograr las metas deseadas.
- Medianamente Pertinente (MP). Cuando se reconozca como instrumento teórico-práctico que permita lograr algunas de las metas deseadas.
- No Pertinente (NP). Cuando no constituya un buen instrumento teórico-práctico y no permita lograr las metas deseadas.

#### Anexo - 4

**TABLA 8**

**Tabulación de los resultados de los aspectos propuestos a la consulta de los especialistas.**

Nº especialistas	Aplicabilidad			Eficiencia			Pertinencia		
	MA	A	NA	ME	E	I	MP	P	NP
1		1			1			1	
2		1			1			1	
3	1				1			1	
4		1			1			1	
5		1			1			1	
6		1			1			1	
7		1			1			1	
8	1				1			1	
9		1		1			1		
10		1			1			1	
11		1			1			1	
12		1			1			1	
13		1			1			1	
Totales	2	11	-	1	12	-	1	12	-

Fuente: Elaboración propia, 2021.

